

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Машины и технология обработки металлов давлением  
им. С. И. Губкина»

**В. И. Любимов**  
**К. Е. Белявин**

**Организационно-технические основы  
гибкого автоматизированного  
производства**

Методическое пособие  
для студентов специальности 1-36 01 05  
«Машины и технология обработки материалов давлением»

Минск  
БНТУ  
2012

УДК 621.002-027.43(075.8)

ББК 34.4я7

Л93

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор *Г. Н. Здор*;

д-р техн. наук, профессор *И. В. Качанов*

**Любимов, В.И.**

Л93

Организационно-технические основы гибкого автоматизированного производства : методическое пособие для студентов специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» / В. И. Любимов, К. Е. Белявин. – Минск : БНТУ, 2012. – 200 с. : ил.

ISBN 978-985-525-890-3.

В методическом пособии изложены основы организации производства нового типа – гибкого комплексно-автоматизированного производства. Рассмотрены структура гибкого автоматизированного производства, преимущества, трудности при его создании, а также роль, основные задачи и место в общей структуре машиностроительного производства. Приведены сведения об автоматическом оборудовании технологической, контрольно-измерительной, транспортно-накопительной систем и системы управления гибкими автоматизированными производствами.

Пособие предназначено для студентов машиностроительных и приборостроительных специальностей вузов и колледжей, слушателей курсов повышения квалификации и преподавателей средних специальных учебных заведений. Издание может быть полезно также инженерно-техническим работникам проектных организаций и машиностроительных предприятий.

УДК 621.002-027.43(075.8)

ББК 34.4я7

ISBN 978-985-525-890-3

© Любимов В. И.,

Белявин К. Е., 2012

© Белорусский национальный

технический университет, 2012

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Пособие предназначено для изучения дисциплин «Автоматизация, робототехника и ГПС» и «Проектирование цехов» студентами специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением».

Цель данного пособия – ознакомить студентов с организационно-техническими основами построения производства нового типа – гибкого автоматизированного производства, с оборудованием его исполнительной системы и системой управления им.

Важность и актуальность пособия связана с развернутой в стране работой по кардинальному переводу экономики и производства на интенсивный путь развития на основе широкого использования достижений научно-технического прогресса.

Реконструкция и обновление отечественного машиностроения, его перевооружение невозможны без значительных перемен в организации производства, применения новейших технологий и современного оборудования.

Решению задач роботизации, компьютеризации, гибкой автоматизации производства уделяется огромное внимание во всех развитых странах мира. Внедрение автоматизированных систем в различные сферы производства, и в первую очередь в проектирование, управление оборудованием и технологическими процессами, приводит к последовательному повышению организационной и технологической гибкости производства. В настоящее время в промышленности находят широкое применение системы автоматизированного проектирования, гибкие переналаживаемые технологические комплексы, линии, машины и оборудование со встроенными средствами микропроцессорной техники, многооперационные станки с числовым программным управлением, робототехнические, роторные и роторно-конвейерные комплексы.

Одновременно обращено внимание на совершенствование подготовки и переподготовки специалистов, особенно инженерно-технических кадров, с учетом требований научно-технического прогресса и необходимости усиления связей науки, высшей школы с производством.

## ВВЕДЕНИЕ

Потребности ускорения темпов социального и экономического развития общества, успехи и достижения в различных областях науки и техники привели к осознанию необходимости коренной перестройки организационно-экономических и технологических характеристик производственной деятельности в направлении создания более динамичных и сверхинтенсивных форм производства. Традиционный подход к интенсификации производства заключается во всемерном повышении производительности машин, оборудования и технологических процессов. При этом обычно сохраняется значительная доля ручного труда человека, которая в отдельных производствах достигает 60 % от общих затрат.

Постепенно, по мере прогресса науки и техники, традиционный путь интенсификации привел к резкому дисбалансу форм интенсификации труда человека и машин. Дальнейшее следование указанным путем приведет к еще большему противоречию трудовых возможностей человека и машин. Поэтому главная тенденция и особенность современного этапа интенсификации производства состоит в том, что впервые в истории эта проблема решается принципиально по-новому – за счет исключения исчерпавшего себя по интенсивности физического труда человека и расширения применения более гибких и практически неограниченных для интенсификации интеллектуальных форм труда, помноженных на широкие возможности современных ЭВМ. Очевидно, что последствия столь революционного изменения характера труда окажут глубокое влияние на разные стороны жизни общества – производственно-технологическую, научно-техническую, социально-экономическую.

Комплексная автоматизация производства – это многовариантная задача создания новой техники, как правило, принципиально отличающейся от технического арсенала неавтоматизированного производства. Генеральным направлением автоматизации является уже не столько освобождение человека от обслуживания уже созданного оборудования, сколько создание таких технологических процессов, которые полностью исключают применение физического труда.

Следующим этапом при проведении крупных мероприятий по совершенствованию технической и технологической базы в промышленности, а также при использовании новых методов организации

производства становится создание гибких производственных систем, основанных на широком применении современного программно-управляемого технологического оборудования, микропроцессорных управляюще-вычислительных систем, промышленных роботов и робототехнических систем, средств автоматизации проектно-конструкторских, технологических и планово-производственных работ.

Гибкие производственные системы – это качественно новый уровень технического оснащения и организации производства. Они характеризуются наличием автоматизированного оборудования, транспортно-накопительных систем, контрольно-измерительного, диагностирующего оборудования и средств вычислительной техники. Благодаря быстрому научно-техническому прогрессу в таких областях, как автоматика, радиоэлектроника, вычислительная техника, информатика, появилась возможность рассматривать комплексную автоматизацию производственных процессов по-новому – как систему автоматизации, охватывающую все производство, от проектирования изделий и технологии до изготовления продукции и доставки ее потребителю. Эта тенденция ведет к созданию высокоавтоматизированных цехов и заводов-автоматов, главными особенностями которых являются широкое применение вычислительной техники практически во всех звеньях производства, высокий уровень автоматизации технологического оборудования на базе числового программно-управления, устранение в значительной степени ручного труда за счет применения робототехники.

Идеи создания гибких автоматизированных производств были подготовлены всем ходом предыдущего развития техники. Гибкие производственные системы базируются на последних достижениях микроэлектроники и на управляющей вычислительной технике. Микропроцессорная электроника и робототехника открыли путь для технического решения проблемы создания гибкой технологии не только в смысле возможности решения качественно более сложных задач управления производством, но и в плане экономической целесообразности такой технологии.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АКК – автоматизированный ковочный комплекс  
АЛУ – арифметико-логическое устройство  
АСКИО – автоматизированная система контроля и испытаний объектов  
АСНИ – автоматическая система научных исследований  
АСС – автоматизированная складская система  
АСТПП – автоматизированная система технологической подготовки производства  
АСУ – автоматическая система управления  
АСУП – автоматизированная система управления производством  
АСУТП – автоматизированная система управления технологическими процессами  
АТНС – автоматизированная транспортно-накопительная система  
АТС – автоматизированная транспортная система  
АТСС – автоматизированная транспортно-складская система  
БД – база данных  
БИС – большая интегральная схема  
ВВ – устройство ввода-вывода  
ГАЗ – гибкий автоматизированный завод  
ГАЛ – гибкая автоматизированная линия  
ГАП – гибкое автоматизированное производство  
ГАУ – гибкий автоматизированный участок  
ГАЦ – гибкий автоматизированный цех  
ГПМ – гибкий производственный модуль  
ГПС – гибкая производственная система  
ГТК – гибкий технологический комплекс  
ЗУ – запоминающее устройство  
ИС – интегральная схема  
КГШП – кривошипный горячештамповочный пресс  
КИМ – координатная измерительная машина  
ЛСУ – локальная система управления  
ПО – программное обеспечение  
ПР – промышленный робот  
РТК – робототехнический комплекс  
РТС – робототехническая система  
РТЯ – роботизированная технологическая ячейка

САК – система автоматического контроля  
САПР – система автоматизированного проектирования  
СБИС – сверхбольшая интегральная схема  
СИС – средняя интегральная схема  
СТЗ – система технического зрения  
СУ – система управления  
СУБД – система управления базами данных  
СЧПУ – система числового программного управления  
ТС – транспортное средство  
ТСК – транспортно-складской комплекс  
УУ – устройство управления  
ЧПУ – числовое программное управление

# 1. ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ЕГО РАЗВИТИЯ

## 1.1. Типы производства

Под **типом производства** понимают классификационную категорию производства, выделяемую по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска продукции. В соответствии с этим различают единичное, серийное и массовое производства.

Одной из основных характеристик типа производства является **коэффициент закрепления операций**, определяющийся отношением числа всех технологических операций, выполняемых в течение месяца, к числу рабочих мест.

**Единичное производство** характеризуется широкой номенклатурой и малым объемом выпуска одинаковых изделий, повторное изготовление которых, как правило, не предусматривается. Коэффициент закрепления операций – 40–200.

**Серийное производство** характеризуется ограниченной номенклатурой изготавливаемых периодически повторяющимися партиями изделий и сравнительно большим объемом их выпуска. В зависимости от количества изделий в партии (серии) и коэффициента закрепления операций различают *мелкосерийное* (коэффициент закрепления операций – 21–40), *среднесерийное* (коэффициент закрепления операций – 11–20) и *крупносерийное* (коэффициент закрепления операций – 2–10) производства.

**Массовое производство** характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна рабочая операция. Коэффициент закрепления операций для массового производства принимают равным единице.

Следует отличать тип производства от вида производства. Под **видом производства** понимают классификационную категорию производства, выделяемую по признаку применяемого метода изготовления изделия. Примерами видов производства являются литейное, кузнечно-штамповочное, сварочное, сборочное и т. д.



## 1.2. Формы организации технологических процессов

**Производственный процесс** – это совокупность всех действий людей и орудий труда, необходимых на данном предприятии для изготовления продукции.

**Технологический процесс** – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению состояния предмета труда. Технологический процесс может быть отнесен к изделию, его составной части или к методам обработки, формообразования и сборки.

**Технологическая операция** – это законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

Форма организации технологических процессов изготовления изделия зависит от установленного порядка выполнения операций технологического процесса, расположения технологического оборудования, количества изделий и направления их движения в процессе изготовления. Существуют две формы организации технологических процессов: групповая и поточная.

**Групповая форма** организации технологических процессов характеризуется однородностью конструктивно-технологических признаков изделий, единством средств технологического оснащения одной или нескольких технологических операций и специализацией рабочих мест.

**Поточная форма** организации технологических процессов характеризуется специализацией каждого рабочего места на определенной операции, согласованным и ритмичным выполнением всех технологических операций на основе постоянного такта выпуска, а также размещением рабочих мест в последовательности, строго соответствующей технологическому процессу.

Эффективность производства обеспечивается путем его специализации. Различают технологическую и предметную специализацию. **Технологическая специализация** проводится по признакам единства технологических процессов при выпуске изделий. **Предметная специализация** базируется на выпуске однотипных деталей.

По организации производства изделий технологические процессы подразделяются на единичные, типовые и групповые.

**Единичный технологический процесс** – это процесс изготовления изделия одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства.

**Типовой технологический процесс** – это процесс изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками.

**Групповой технологический процесс** – это процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

Единичный технологический процесс разрабатывается для выпуска одного изделия, в то время как унифицированный технологический процесс предусматривает возможность изготовления на одном оборудовании ряда изделий.

Использование типового технологического процесса, таким образом, представляет собой направление технологической унификации, базирующейся на классификации деталей и их поверхностей по группам и конструктивно-технологическим признакам. Под типизацией понимают создание базовых технологических процессов для изготовления объектов данного класса, объединяемых на основе сходных высокопроизводительных методов изготовления с использованием современных механизированных и автоматизированных средств производства. Типовые процессы разрабатываются для изготовления однотипных, стандартизированных объектов и находят применение главным образом в крупносерийном и массовом производствах.

Если по методу типизации технологических процессов основным признаком классификации является конструкторская принадлежность объекта обработки, то по методу группирования основным признаком классификации являются применяемые средства технологического оснащения. Метод группирования также дает возможность сокращения сроков и уменьшения затрат на технологическую подготовку производства.

К мероприятиям по групповой обработке изделий относятся классификация объектов обработки и выбор технологического процесса для группы объектов, проектирование групповой технологической оснастки, создание специального технологического оборудования, организация групповых потоков и групповых технологических линий, а также систем оперативно-календарного планирования.

Групповые технологические процессы применяются в условиях мелкосерийного и среднесерийного производств с неустойчивой номенклатурой изготавливаемых объектов.

В машиностроительном производстве используют два метода построения технологических процессов: концентрация и дифференциация операций. Технологический процесс обработки деталей подразделяют на ряд элементарных операций, связанных с обработкой отдельных поверхностей или элементов изделия простым, некомбинированным инструментом. **Метод дифференциации операций** технологического процесса предусматривает выполнение на каждой станке одной элементарной операции, поэтому для полной обработки детали необходимо большое количество станков.

**Метод концентрации операций** предусматривает выполнение нескольких элементарных операций на одном станке. Концентрация операций может достигаться за счет применения нескольких простых инструментов, обрабатывающих одну деталь; за счет применения комбинированного инструмента, заменяющего несколько простых; за счет объединения нескольких рабочих позиций на станке; за счет обработки нескольких деталей в одной позиции. Концентрация элементарных операций позволяет выполнить полную обработку деталей на минимальном количестве станков.

Метод концентрации операций технологического процесса широко используется в металлообработке. Так, например, в кузнечно-штамповочном производстве применяют оборудование, совмещающее нагрев и штамповку в одном рабочем цикле, многоручьевые штампы, многопозиционные прессы.

Проектирование технологических процессов по методу концентрации операций позволяет во много раз сократить станкоемкость и трудоемкость изготовления деталей, увеличить производительность труда, уменьшить число станков и занимаемые ими производственные площади, снизить себестоимость выпускаемой продукции.

Метод концентрации операций создает благоприятные условия для комплексной автоматизации технологических процессов и для применения высокопроизводительных автоматов и автоматических линий.

### **1.3. Характеристика современного машиностроительного производства и основные тенденции его развития**

Было время, когда ручной труд был основным. Работа велась на универсальных станках, на которых рабочий мог вытачивать любую деталь (в пределах технических возможностей данного станка). Во

второй половине XX века получили интенсивное развитие механизация и автоматизация производственных процессов. В результате успехов механизации и автоматизации во всех отраслях промышленности появились совершенные производственные машины и линии. Автоматизация позволяла улучшить одни показатели производства (прежде всего, повышалась производительность труда, сокращалось количество занятых производственных рабочих, росло количество продукции) и неизбежно приводила к ухудшению других (снижалась универсальность и мобильность и повышалась стоимость подготовки производства).

Если для станка с ручным управлением переход к обработке новой детали занимает несколько минут, то на универсальном автомате или полуавтомате – несколько часов. Поэтому фактическая производительность такого оборудования при единичном и мелкосерийном производстве оказывается низкой.

Стремление к максимальному повышению производительности труда и увеличению масштабов производства привело к появлению специальных и специализированных автоматов, полуавтоматов и автоматических линий. Однако это оборудование может применяться только в условиях массового производства при изготовлении одних и тех же деталей длительное время (пять–семь и более лет), т. е. при отсутствии необходимости в переналадке станков. При смене выпускаемого изделия большинство специальных станков оказываются ненужными, несмотря на их фактическую пригодность.

Необходимость постоянного совершенствования и частой смены выпускаемой продукции требовало создания гибкого и в определенной степени универсального оборудования, что весьма трудно сочетается с высокой производительностью и концентрацией операций. Для удовлетворения таких противоречивых требований необходимо, чтобы автоматизированное оборудование, основанное на методе концентрации операций, обеспечивало:

- возможность переналадки и перекомпоновки станков при достаточно высокой их производительности;
- небольшие сроки проектирования и изготовления;
- невысокую стоимость и небольшие сроки окупаемости.

Прогрессивным шагом в этом направлении явилось создание агрегатных станков, отличительная особенность которых – возможность компоновки конкретного станка из нормализованных и унифици-

цированных узлов и механизмов, имеющих определенное назначение и составляющих в конструкции до 80 %. Разрабатываются при этом только те узлы и механизмы, которые зависят от индивидуальных особенностей изготавливаемых деталей, например, зажимные приспособления. Агрегатные станки сочетают преимущества специальных и универсальных станков: как и специальные, они обеспечивают высокую производительность; как универсальные, их можно переналадить при необходимости перехода на обработку новой детали.

Метод агрегатирования станков обеспечивает:

- возможность создания оборудования по оптимальному технологическому процессу. При применении агрегатных станков разрабатывают наиболее выгодный процесс обработки детали, а затем компонуют станки из готовых узлов. При этом нет необходимости подгонять технологический процесс под возможности ранее спроектированного оборудования, как, например, при применении универсальных или специализированных станков;

- возможность многократного использования одних и тех же узлов для создания станков различных компоновок. Это обеспечивает быстрое переоборудование производства и способствует совершенствованию конструкций машин, детали которых обрабатываются на агрегатных станках;

- постоянное совершенствование оборудования за счет модернизации конструкции станка по узлам. Например, заменив исполнительные механизмы агрегатного станка новыми, можно использовать станину, стол и т. д., создавая более совершенную компоновку станка;

- создание благоприятных условий для узлового ремонта станков. Вышедший из строя узел можно заменить новым, полученным со склада, а после пуска станка отремонтировать неисправный узел;

- повышение надежности работы оборудования, т. к. станки и автоматические линии создаются из проверенных в работе узлов, предварительно изготовленных и прошедших стендовые испытания;

- повышение серийности изготовления одинаковых узлов, что позволяет применять высокопроизводительное оборудование при их производстве и значительно снижает стоимость изготовления станков и автоматических линий.

Агрегатные станки нашли применение и оказались наиболее эффективны в массовом и крупносерийном производстве из-за дли-

тельных сроков переналадки при выпуске новых партий деталей и больших затрат на нее и не решили задачу полной автоматизации производства, т. к. загрузка, съем деталей, а во многих случаях и их перемещение выполнялись вручную.

Наряду с автоматическими линиями из специализированных и агрегатных станков стали использовать автоматические линии из универсальных станков. Они создавались на базе поточных линий путем оснащения их механизмами автоматической загрузки и выгрузки деталей – автооператорами, механизмами межоперационного транспортирования, накопителями заготовок и устройствами контроля. Как правило, средства автоматизации, предназначенные для таких линий, являются узкоспециальными, и поэтому сами линии, как и отдельные автоматы и полуавтоматы, также применяются главным образом лишь в массовом и крупносерийном производстве. Для использования линий из универсальных станков в серийном производстве необходима частая переналадка оборудования на изготовление ряда однотипных деталей.

Еще в большей мере это относится к автоматическим линиям, создаваемым из специального оборудования. Такие линии обеспечивают очень высокую производительность по сравнению с автоматическими линиями из универсальных автоматов и полуавтоматов. Одним из положительных качеств таких линий является также их комплексность. Они могут охватывать как процессы изготовления деталей (штамповку, механообработку и т. д.), так и процессы сборки, контроля, смазки и упаковки. Общий недостаток всех линий из специального оборудования – их высокая стоимость, длительные сроки проектирования, изготовления и освоения. Линии из специальных станков применяют в массовом производстве в том случае, когда деталь не может быть обработана на станках, выпускаемых серийно.

Таким образом, многие из создаваемых дорогостоящих автоматов и автоматических линий работали по жесткой программе, не позволяли быстро и с минимальными затратами трудовых и материальных ресурсов перестроиться на выпуск новой продукции и зачастую оказывались нерентабельными в производстве. При смене объекта производства даже в условиях массового выпуска продукции это приводило к необходимости создания новых средств автоматизации и полной перестройки производства.

В 1950 г. в Ульяновске был завершен процесс освоения и отладки впервые созданного в СССР, не имеющего себе равного в мировой практике автоматического завода по производству автомобильных поршней. Автоматический завод был конструктивно разработан сразу после войны ЭНИМС при участии других научно-исследовательских организаций и ряда станкостроительных и инструментальных заводов. Создание этого завода явилось результатом работы большого коллектива конструкторов, исследователей, технологов и рабочих в течение нескольких лет. Весь процесс изготовления поршня, от отливки до упаковки готового изделия, был автоматизирован. Технологический процесс включал в себя: отливку заготовки, термическую обработку, контроль твердости, почти все основные виды механической обработки, контроль получения заданного веса, лужение, контроль размеров с сортировкой на размерные группы, смазку и упаковку готовой продукции.

Свыше 1500 электрических машин и аппаратов было установлено в одной непрерывной линии оборудования. В одну смену автоматический завод обслуживало до 30 человек, из них 6 операторов и 12 человек были непосредственно заняты наблюдением и подналадкой автоматического оборудования. Между тем, при обычных способах производства подобный завод должны были обслуживать около 600 человек.

Завод-автомат действительно был чудом техники: на входе – металлические чушки, на выходе – три с половиной тысячи упакованных в коробки поршней в сутки. Все без вмешательства человека, и работал завод как часы. Но прожил он ровно столько, сколько нужны были поршни данного типоразмера: номенклатура изменилась, и завод пошел на металлолом.

До последнего времени существовал подход, основанный на том, что автоматизация возможна, экономически обоснована и эффективна только в массовом и крупносерийном производстве, когда выпускается большое количество одинаковых (или однотипных) изделий. Крупные материальные затраты на сложное автоматическое оборудование и значительное время подготовки автоматизированного производства оправдывались только при большой программе и длительных сроках выпуска продукции.

В традиционном производстве высокая мобильность возможна практически только при использовании универсального оборудова-

ния. Однако на таком оборудовании нельзя достичь высокой производительности труда. Для достижения высокой производительности необходимо переходить на специализированное и специальное оборудование, на базе которого создаются высокопроизводительные автоматические линии, как правило, предназначенные для производства какой-то одной детали, т. е. имеет место «жесткое» автоматизированное производство. При прекращении выпуска данной детали такое оборудование не может быть использовано для производства другой детали, т. е. мобильность полностью отсутствует. К тому же высокопроизводительное специальное оборудование создается за 4–5 лет после того, как изделие спроектировано. Если к этому сроку добавить 5–6 лет (необходимый срок) амортизации автоматических линий, то фактически изделие (деталь) не может изменяться в общей сложности 10 лет и более. Такой консерватизм производства на базе автоматических линий и специального оборудования сдерживает научно-технический прогресс.

Таким образом, в течение длительного времени в промышленности сосуществовали, почти не смешиваясь и не влияя друг на друга, два принципиально различных типа производств. Первый – это высокоавтоматизированные и высокопроизводительные массовые производства, имеющие лишь один, но существенный недостаток: они базируются на специальном оборудовании и не обладают гибкостью, т. е. возможностями перехода на выпуск иной продукции. Это вынуждает при замене выпускаемых изделий попросту списывать большую часть оборудования независимо от его физического состояния.

И второй – гибкие неавтоматизированные производства, обладающие широчайшими возможностями перестройки на выпуск практически любой продукции. Но поскольку в их основе – малопроизводительное универсальное оборудование, они не могут функционировать без непосредственного участия человека во всех без исключения технологических и вспомогательных процессах.

В последние десятилетия научно-техническое развитие ознаменовано качественным скачком. К отличительным особенностям этого периода следует отнести быстрый рост номенклатуры и частое обновление выпускаемой продукции. В этих условиях длительность разработки, изготовления и освоения необходимого автоматического оборудования может превысить периодичность смены изделий,



для производства которых оно предназначено. Кроме того, автоматизация должна быть экономически оправдана, а это возможно лишь в условиях массового производства.

Новые тенденции породили определенные изменения в структуре и характере производства. Прогресс во всех областях техники в несколько раз увеличил номенклатуру изделий, ускорил их моральное старение. Число типов и типоразмеров машин и изделий в настоящее время резко возросло. Повысились требования к их качеству и надежности, возникла необходимость в изготовлении большого числа опытных, экспериментальных и специализированных машин. Следствием этого явилось увеличение доли единичного и мелкосерийного производства в общем объеме производства. Современная промышленность характеризуется тем, что 75–80 % всех деталей в машиностроении обрабатывается в условиях серийного и мелкосерийного производства партиями от 3 до 50 деталей при номенклатуре до 4–5 тысяч типов. Стоимость такой неавтоматизированной обработки в 10–30 раз превышает стоимость обработки аналогичных деталей в условиях массового автоматизированного производства.

В современных условиях прогрессивным может быть только такое производство, которое способно учитывать изменения спроса заказчиков и может быстро переходить на выпуск новой продукции. В результате удастся избежать выпуска не находящей спроса продукции и бесполезного расходования ресурсов.

Необходимость частой смены выпускаемой продукции, модернизированной или совершенно новой, требует строить каждый технологический участок или линию так, чтобы на них можно было изготавливать попеременно сериями различные детали или изделия определенного класса с быстрой перестройкой линии. Поэтому современное производство должно быть достаточно гибким и адаптивным.

Современное состояние социально-экономического развития общества диктует необходимость создания на производстве условий, позволяющих в нужный момент и за короткое время переходить на выпуск требуемых изделий с лучшими потребительскими свойствами, быстро и безубыточно снимать с производства устаревшую продукцию. При этом именно скорость такого перехода играет решающую роль, ведь надо успевать за достижениями науки, новыми техническими разработками.

Сегодня внедрение новой техники и технологии еще отстает от потребностей экономики. В большинстве своем оборудование, которым ныне оснащены предприятия, мало приспособлено для безболезненного перехода на выпуск новинок. Дело не только в неизбежных потерях, связанных с перестройкой, заменой оснастки, нарушением технологического ритма. Само оборудование имеет, как правило, «жесткий» характер: при смене технологии оно зачастую становится ненужным. Другая сторона дела: освоение нового изделия требует и затрат на реконструкцию цехов, которые окупятся далеко не сразу.

Переход на выпуск новой продукции труднее всего дается предприятиям, оснащенным специализированным оборудованием, станками-автоматами, автоматическими линиями. Чаще всего это оборудование действует по «жесткой» программе, с большим трудом поддается переналадке для изготовления других изделий.

В недалеком прошлом, когда в цехах работали в основном универсальные станки, переход на изготовление новых изделий, как правило, не требовал радикального переоснащения производства, но производительность труда, эффективность работы предприятия была низкой. Кроме того, за каждым станком должен был стоять квалифицированный рабочий. Такое решение сегодня уже не удовлетворяет.

На долю крупносерийного производства в настоящее время приходится около 20 % продукции машиностроения. Известно, что длительное время и большими партиями, без особых перемен в технологии промышленность выпускала трактора, сельхозмашины, инструмент, бытовую технику и другую продукцию. Подобная стабильность позволяла широко использовать автоматические станки и линии. Уровень автоматизации на ряде предприятий с крупносерийным производством удалось поднять до 80–85 %. Здесь добились наивысшей выработки на одного рабочего.

Совершенно иначе обстоит дело с мелкосерийным производством. А ведь оно выпускает три четверти машиностроительной продукции: суда, самолеты, энергетическое, химическое и металлургическое оборудование. Порой за год надо сделать всего несколько десятков таких агрегатов. В этих условиях автоматическое оборудование теряет свои преимущества. Поэтому прежде и считали, что оно несовместимо с мелкосерийным характером производства.

В развитии современного машиностроения особенно отчетливо наметились противоречия между возможностями традиционных средств автоматизации и требованиями к характеру производства: гибкость, мобильность, быстрая перестройка на выпуск новой продукции более высокого качества с минимальными затратами средств, большая номенклатура одновременно выпускаемых изделий (различных модификаций). Особенно остро встал вопрос об автоматизации серийного производства, которое обеспечивает выпуск почти 80 % общего объема продукции и где занята основная масса работающих в машиностроении. Если в массовом и крупносерийном производстве уровень автоматизации технологических процессов составляет 60–80 %, а на некоторых предприятиях по отдельным видам работ приближается к 100 %, то в среднесерийном, мелкосерийном и особенно единичном производстве он не превышает 30 %, а в таком виде работ, как сборочные, составляет всего 5–7 %.

Если раньше граница между мелкосерийным и массовым типами машиностроительного производства была четкой, то теперь она начала стираться (расширение номенклатуры выпускаемой продукции постепенно распространяется на массовое производство, например автомобилестроение, где на основе базовой модели, как правило, выпускаются многочисленные модификации).

Для машиностроения с мелко- и среднесерийным характером производства характерно постоянное усложнение конструкций изделий, уменьшение серийности, а также увеличение трудоемкости производства, расширение номенклатуры и частая смена изделий.

Развитие индустрии и экономики в целом диктует необходимость комплексной автоматизации и в то же время все более широкого применения уникального оборудования.

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

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

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

В противоречии этих требований и заключаются трудности создания современного эффективно функционирующего производства. Чтобы удовлетворить данные требования, необходимо придать производству ряд определенных свойств:

- гибкость и маневренность, т. е. способность быстро перестраиваться на выпуск новой продукции;

- высокий технический уровень и хорошую оснащенность новыми технологиями и оборудованием, позволяющими выпускать изделия высокого качества;

- экономичность, обеспечивающую приемлемую для рынка продажную цену продукции, а следовательно, минимальные затраты на ее производство, экономию всех видов ресурсов, включая возможно более широкое использование прошлого труда.

Таким образом, перед промышленностью стоят, по существу, две противоречивые задачи: крупносерийное и массовое производства надо наделить гибкостью, сохранив при этом все преимущества широкой автоматизации, а мелкосерийное – комплексно автоматизировать, чтобы наряду с присущей ему гибкостью оно приобрело и лучшие черты массового производства: высокую производительность, непрерывность, ритмичность выпуска изделий.

Быстрая сменяемость выпускаемой продукции, обострение проблемы дефицита рабочих кадров, рост непопулярности ручного труда привели к возникновению новой концепции автоматизированного производства – гибкого автоматизированного производства. Именно оно призвано разрешить сложившиеся противоречия между высокой производительностью и отсутствием мобильности производственного оборудования массового производства и высокой мобильностью и низкой производительностью универсального оборудования серийного производства.

Гибкое автоматизированное производство (ГАП) наилучшим образом удовлетворяет всем требованиям современного прогрессив-

ного производства. Оно строится на основе гибких производственных систем (ГПС), к которым относятся не только автономно функционирующие единицы технологического оборудования, но и их совокупности с системами, обеспечивающими автоматическое функционирование и автоматизированную переналадку оборудования при производстве изделий широкой номенклатуры.

Для автоматизации такого производства нужны принципиально новые технические средства. К ним относятся автоматизированное технологическое оборудование, программно управляемое от ЭВМ, промышленные роботы и системы искусственного интеллекта. С помощью таких робототехнических систем стала возможной автоматизация широкого класса технологических операций, связанных не только с физическим, но и умственным трудом.

В отличие от традиционных средств автоматизации (станки-автоматы, автоматические поточные линии и т. п.), используемых в массовом производстве, робототехнические системы (РТС) снабжаются устройствами адаптации, а также элементами искусственного интеллекта. Это позволяет им быстро приспосабливаться к изменяющимся условиям, накапливать опыт, осуществлять планирование и поиск наилучших вариантов решения различных производственных задач при частой смене выпускаемой продукции. Поэтому робототехника стала сегодня мощным инструментом повышения гибкости и мобильности производства. Она обеспечивает эффективность комплексной автоматизации серийного и даже единичного производства.

Научно-технический прогноз развития промышленного производства показывает, что именно ГАП наилучшим образом удовлетворяют требованиям заказчика, решают проблемы конкурентоспособности продукции на мировом рынке, обеспечивают высокую рентабельность производства и его эффективность. Они позволяют избежать затоваривания ненужной продукцией и бесполезного расхода всех видов ресурсов. Этот тип производства может работать по прогрессивному принципу «делай вовремя», т. к. поставки заготовок, деталей и узлов осуществляются строго в определенное время.

Создание прогрессивных технологических систем стало возможным в результате развития таких областей науки и техники, как технология промышленного производства, электроника, информатика, математика, экономика, организация производства и др.

## 2. ГИБКАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ – НОВЫЙ ЭТАП НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

### 2.1. Понятие о гибких автоматизированных производствах и гибких производственных системах

Наладчики, проверив оборудование, ушли. Цех опустел, хотя смена только началась. Но станки продолжали работать, поставляя на склад готовую продукцию. Их ритмичная работа не нарушалась ни в обеденный перерыв, ни в конце каждой из трех смен. Ровный гул работающего оборудования встретил наладчиков и на следующее утро. Они были в цехе недолго: проверили, как идут дела на участке подготовки оснастки и инструмента, переговорили с операторами, несущими вахту за цеховым пультом управления. Вскоре после их ухода с тех же станков практически без остановки на склад стали поступать уже другие изделия.

Это не сюжет из фантастического романа. Так, по замыслу ученых и конструкторов, действуют ГАП, с которыми связывают надежды на значительный рост эффективности производства.

Совершенствование систем программного управления технологическим оборудованием и появление промышленных роботов сделали возможными последующие шаги в создании комплексных средств автоматизации на основе объединения станков, устройств их загрузки-разгрузки, транспорта, складов. Так возник новый тип элементной гибкой технологии – гибкие производственные системы и робототехнические комплексы (РТК). Основой ГПС стали многооперационные станки с числовым программным управлением (ЧПУ) или обрабатывающие центры, а базовыми элементами РТК – промышленные роботы.

Под **гибким автоматизированным производством** понимается производство с гибкой технологией, автоматически перестраиваемое с помощью ЭВМ на выпуск новой продукции. ГАП представляет собой цех или завод-автомат, включающий в себя ряд ГПС, каждая из которых специализируется на том или ином виде обработки. ГПС может легко и быстро перестраиваться на выпуск новой продукции в широком диапазоне номенклатур. В этом проявляются два главных свойства ГПС: высокий уровень автоматизации и большая гибкость. Именно гибкость принципиально отличает ГПС от обыч-

ных автоматических линий и станков-автоматов с жесткой структурой, у которых переход на выпуск новой продукции либо вообще невозможен, либо сопряжен со сложной реконструкцией, требующей больших затрат.

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

Другими словами, **гибкое автоматизированное производство** – это такое производство, которое за короткое время и при минимальных затратах, на том же оборудовании, не прерывая производственный процесс и не останавливая оборудование, позволяет, по мере необходимости, переходить на выпуск новой продукции произвольной номенклатуры в пределах технических возможностей и технологического назначения оборудования.

Уступая автоматическим линиям в производительности, ГПС несравнимо превосходят их в гибкости, переналаживаемости. Уступая в гибкости отдельному станку с ЧПУ, ГПС гораздо производительнее, т. к. конечный продукт получается на ней быстрее.

Гибкие производственные системы обычно создаются с применением многооперационных станков типа «обрабатывающий центр», на которых можно обрабатывать разнообразные детали в пределах технологического назначения и технических возможностей станков. Автоматизированная переналадка такого оборудования определяет быстрый переход к выпуску деталей практически произвольной номенклатуры. Таким образом, при высокой гибкости достигается и высокая производительность.

В ГАП технологическая подготовка производства осуществляется одновременно с конструкторской подготовкой. Детали изготавливаются на существующем гибком оборудовании, переналадка которого, если это необходимо, занимает не более 5–10 мин. На этом же оборудовании изготавливают как опытные образцы, так и серии изделий.

## 2.2. Автоматизация в условиях гибкого производства

Одним из важнейших средств гибкой автоматизации, стимулирующих появление ГПС, являются роботы. Сегодня манипуляционные роботы широко используются в ГПС для выполнения как вспомогательных операций по обслуживанию технологического оборудования (станки с ЧПУ, транспортно-складские системы), так и основных технологических операций (сварка, сборка, покраска и др.). В последнем случае роботы выступают в роли гибкого технологического оборудования. Подвижные роботы с различными типами шасси успешно выполняют многие операции по транспортировке грузов в ГПС. Комбинированные (манипуляционно-транспортные) роботы обеспечивают гибкость, сравнимую с гибкостью рабочего.

**Робототехника** – это новая прогрессивная отрасль техники, порожденная бурным развитием научно-технического прогресса и образовавшаяся на стыке ряда наук: механики, кибернетики, электроники, эргономики и др. Робототехника как научно-техническое направление решает задачи создания отдельных промышленных роботов и роботизированных на их базе объектов и процессов – роботизированных технологических комплексов.

Принципиальным отличием робототехники от традиционных средств автоматизации является их широкая универсальность (многофункциональность) и гибкость (мобильность) перехода на выполнение новых операций без дополнительных затрат.

Подъем в развитии и применении ГПС в последние годы стал возможен благодаря уникальным возможностям роботов производить транспортные операции с меньшими прямыми капитальными затратами при перестройке производства. Робот используется в этом случае как устройство для манипулирования заготовками, деталями и инструментом, заполняя узкое место между жесткой автоматизацией и гибкостью человеческого труда.

Промышленные роботы (ПР) обеспечивают гибкость работы оборудования при выполнении основных технологических операций, а при осуществлении вспомогательных операций придают гибкость всей системе в целом. Использование ПР обеспечивает быструю перестройку технологической системы при изменении номенклатуры изготавливаемых деталей, эффективное решение проблемы безопасности труда.



Промышленные роботы широко применяются в машиностроении, приборостроении, электротехнической, металлургической, строительной и деревообрабатывающей промышленности, а также в атомной и термоядерной энергетике.

Промышленные роботы применяются как на основных, так и на вспомогательных операциях производственного процесса ГПС. Сокращение времени на вспомогательных операциях, уменьшение простоев оборудования повышают долю основного времени, увеличивают производительность труда и создают предпосылки к организации непрерывных технологических потоков. Крайне важным является тот факт, что применение ПР в ГПС позволяет решить проблему дефицита трудовых ресурсов, значительно сократить низкоквалифицированный ручной труд, ликвидировать диспропорцию между основными и вспомогательными рабочими (по данным статистики на 100 основных производственных рабочих приходится около 300 человек вспомогательного и обслуживающего персонала).

**Роботизированные технологические комплексы** являются составной частью ГПС. РТК – это совокупность технологического оборудования, промышленных роботов и средств оснащения, автономно функционирующая и осуществляющая многократные циклы. РТК, предназначенные для работы в ГПС, должны иметь автоматизированную переналадку и возможность встраивания в систему.

При выборе объекта роботизации необходимо провести анализ факторов, определяющих эффективность и экономическую целесообразность создания робототехнических комплексов, а также факторов, затрудняющих разработку РТК и снижающих эффективность их функционирования.

К первой группе факторов следует отнести необходимость улучшения условий труда. Как известно, ряд производственных процессов сопровождается повышенной взрыво- и пожароопасностью, возможностью получения травм от движущихся элементов оборудования, вредными условиями окружающей среды: повышенной температурой, влажностью, вибрациями, шумом и т. д. Однообразие работ, их нетворческий характер, непрестижность профессий создают в таких производствах дефицит рабочей силы, поэтому вывод человека из таких условий является важной социальной проблемой общества.

Ко второй группе факторов относится возможность повышения производительности существующего и вновь проектируемого обо-

рудования на базе робототехнических комплексов. В тех случаях, когда операции технологического процесса находятся на границах физических возможностей человека (манипуляции с тяжелыми или особо легкими изделиями, высокая точность или большая величина перемещений, необходимость манипулировать одновременно несколькими изделиями и т. д.), применение ПР эффективно и их производительность выше производительности человека. Использование ПР повышает коэффициент сменности работы основного оборудования без увеличения количества рабочих. Создание РТК сопровождается обычно усложнением вспомогательного оборудования (необходимость в автоматических загрузочных устройствах, накопителях и т. д.), модернизацией основного технологического оборудования при отсутствии устройств автоматического закрепления деталей, систем автоматической уборки отходов.

### **2.3. Цели создания и основные признаки ГАП**

Процесс гибкой автоматизации производства должен быть нацелен на:

- автоматическое производство изделий сколь угодно малыми партиями;
- себестоимость и производительность, близкие по значениям к современному массовому производству;
- практически «безлюдное» производство (число занятых по сравнению с существующими производствами должно быть меньше примерно на два порядка);
- комплексную автоматизацию всех частей производства, включая технологические процессы, подготовку производства, разработку конструкторской документации на выпускаемые изделия, планирование производства, управление им и т. д.

При этом весь процесс производства происходит непрерывно круглые сутки, без деления на смены, и осуществляется на основе машинных носителей информации, т. е. без бумажной документации.

Основные признаки ГАП:

- гибкость – возможность оперативного перехода с производства одного вида изделий на другой;
- автоматизированность – все или большинство операций, включая обработку изделий, управление, переналадку на новый вид про-

дукции, проектирование изделия, технологического процесса, технологической оснастки, выполняются без участия человека;

– объединение общим автоматизированным транспортом и управлением всего или большинства технологического оборудования участка или цеха.

Комплексная автоматизация всех производственных процессов приводит к вытеснению из производства людей с присущими им психофизиологическими ограничениями. По существу, речь идет о «безлюдном» производстве. Терминами «безлюдная технология», «безлюдное производство» подчеркивается возможность работы ГПС практически без участия человека в течение достаточно длительного времени (обычно одной, двух смен).

Таким образом, гибкое автоматизированное производство включает в себя операции, выполняемые с помощью человека, в то время как высшая форма автоматизации – гибкое автоматическое производство – подразумевает так называемую безлюдную технологию, где человеку отводятся, в основном, функции контроля за технологическим процессом и управления им.

Для реализации такой «безлюдной» технологии, гибко перестраиваемой на выпуск новой продукции, требуется автоматизация всех процессов переналадки и перепрограммирования оборудования и робототехнических систем. Это достигается благодаря тому, что функции загрузки заготовок в станок, подбора и установки инструмента, смены приспособлений для крепления деталей, включения станка, контроля качества обработанных деталей и т. п. возлагаются на роботы и системы искусственного интеллекта. Вследствие этого не только высвобождается большое число рабочих-операторов, но и резко возрастает производительность оборудования, а также качество выпускаемой продукции.

Таким образом, появление и широкое использование РТС знаменует новый этап автоматизации и интенсификации производства. Чтобы лучше понять особенности этого этапа, а также сущность гибкой автоматизации, необходимо рассмотреть состав, структуру и функции ГПС.

## **2.4. Производственно-техническая структура гибких автоматизированных производств**

Гибкое автоматизированное производство представляет собой систему нового класса, отличающуюся, прежде всего, сложностью, комплексностью и многофункциональностью компонентов.

Гибкое автоматизированное производство в общем виде состоит из следующих автоматизированных систем: технологической, транспортной, складской, контроля и управления. Совокупность технологической, транспортной и складской систем и системы контроля представляет собой исполнительную систему. Общим для всех компонентов исполнительной системы, выполняющих соответствующую их названиям функцию, является их непосредственное взаимодействие с производимым изделием.

**Автоматизированная технологическая система** ГАП реализует технологические процессы и включает в себя основное технологическое оборудование, роботы, промежуточные накопители и транспортные средства. Основное оборудование, оснащенное необходимым инструментом и технологической оснасткой, осуществляет обработку изделий. Роботы и другие средства автоматизации осуществляют подготовку и смену инструмента и оснастки, загрузку и разгрузку технологического оборудования, промежуточное накопление материалов, полуфабрикатов, изделий, комплектующих элементов, инструмента и оснастки, отвод отходов производства.

**Автоматизированная система контроля** ГАП, состоящая из автоматизированного контрольно-измерительного оборудования, датчиков и систем диагностики, следит за техническим состоянием оборудования, технологической оснастки, инструмента, вычислительных средств, управляющих устройств, программного обеспечения и за качеством изделий.

**Автоматизированная складская система** ГАП состоит из автоматизированных складов, которые производят приемку, учет, хранение и выдачу материалов, заготовок, полуфабрикатов, готовых изделий, инструмента, приспособлений и тары с целью обеспечения ритмичного производственного процесса в ГАП.

**Автоматизированная транспортная система** ГАП осуществляет перемещение материалов, заготовок, полуфабрикатов, комплектующих, готовых изделий, инструмента и оснастки между оборудова-

нием технологической системы и складами, а также удаление отходов производства. В качестве автоматического транспорта используются как традиционные транспортные средства (конвейеры и транспортеры разных типов, пневмотранспорт, подъемники и др.), так и транспортные роботы различного исполнения.

**Автоматизированная система управления** ГАП координирует работу исполнительных систем и контролирует состояние производства в целом.

На управляющую систему возлагаются важнейшие функции планирования производства, проектирования продукции, программирования технологии, управления оборудованием, диагностики отказов и контроля качества изделий. Для выполнения этих функций в автоматическом режиме управляющая система реализуется на базе сети ЭВМ.

Управляющая система осуществляет выбор или расчет подходящей (оптимальной) технологии производства и в соответствии с этим программирует работу технологической и транспортно-складской систем.

Важнейшей составляющей управляющей системы является информационная система, которая служит для измерения и контроля текущего состояния всех элементов ГПС, а также для хранения информации, необходимой для автоматического проектирования и производства продукции заданной номенклатуры. Она содержит датчики состояния всех элементов исполнительных систем и базы данных на машинных носителях информации. Это позволяет использовать информационную систему в качестве источника необходимых сведений и сигналов обратной связи для управляющей системы, играющей роль своеобразного «мозгового треста» ГПС.

## **2.5. Основные элементы гибких автоматизированных производств и уровни гибких производственных систем**

**Гибкое автоматизированное производство** – производственная часть интегрированного предприятия или самостоятельное предприятие, являющееся совокупностью гибких производственных комплексов (цехового уровня), систем и служб, обеспечивающих взаимодействие всей хозяйственной деятельности и управление ей с помощью ЭВМ, нацеленное на реализацию «малолюдной» и «безбумажной» технологии, способное обеспечить выпуск широкой и постоянно об-

новляемой номенклатуры изделий, гибко реагирующее на внешние и внутренние возмущения с целью обеспечения работоспособности.

Обязательным требованием при проектировании ГАП является обеспечение блочно-модульного принципа построения основных систем (обработки, транспортирования, хранения, систем управления и информации). В соответствии с этим принципом ГАП компонуется из отдельных типовых модулей и систем.

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

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

**Гибкая производственная система** – производственная часть ГПК, состоящая из одного или нескольких гибких технологических и транспортно-складских комплексов, объединенных компьютеризованным управляющее-диспетчерским комплексом, автономно функционирующая в «малолюдном» режиме в течение заданного интервала времени, обладающая свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры в пределах технических возможностей оборудования.

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

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

**Транспортно-складской комплекс (ТСК)** – совокупность взаимосвязанных автоматических транспортных и складских устройств

и средств вычислительной техники, предназначенных для организации движения материальных и сопровождающих их информационных потоков в ГПС.

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

Простейшими элементами гибких производственных систем, которые лежат в основе всех более крупных ГПС, являются гибкий производственный модуль (ГПМ) и роботизированная технологическая ячейка (РТЯ). В них выполняется минимум основных технологических операций. При этом количество единиц технологического оборудования и промышленных роботов в составе ГПМ и РТЯ невелико, но строго оно не регламентируется.

**Гибкий производственный модуль** представляет собой единицу технологического оборудования с числовым программным управлением и средствами автоматизации технологического процесса для производства изделий произвольной номенклатуры в пределах технологического назначения оборудования, автономно функционирующую, автоматически осуществляющую все функции, связанные с изготовлением деталей, выполняющую многократные автоматические циклы, обладающую свойством автоматизированной переналадки при производстве деталей или изделий произвольной номенклатуры и имеющую возможность встраивания в гибкую производственную систему более высокого уровня. Обычно средства автоматизации ГПМ могут включать накопители, спутники (палеты), устройства загрузки и выгрузки, замены технологической оснастки, автоматизированного контроля, включая диагностирование, и т. д.

**Роботизированная технологическая ячейка** – это совокупность технологического оборудования, промышленных роботов и средств оснащения, автономно функционирующая и осуществляющая многократные циклы. РТЯ, предназначенные для работы в ГПС, должны иметь автоматизированную переналадку и возможность встраивания в систему более высокого уровня. В качестве технологического оборудования может быть использован промышленный робот. Средствами оснащения могут быть устройства накопления, ориен-

тации, поштучной выдачи объектов производства и другие устройства, обеспечивающие функционирование РТЯ.

Основными характеристиками ГПМ и РТЯ являются:

- способность работать автономно или некоторое ограниченное время без участия человека;
- автоматическое выполнение всех основных и вспомогательных операций;
- гибкость, удовлетворяющая требованиям мелкосерийного производства;
- простота наладки и устранения отказов основного оборудования и систем управления;
- совместимость с оборудованием как традиционного, так и гибкого производства.

Гибкий производственный модуль и роботизированная технологическая ячейка являются фундаментом ГПС. Они не только быстро переходят на изготовление других деталей, но и легко встраиваются в гибкие автоматизированные линии и участки.

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

**Складской модуль** – составная часть транспортно-складского комплекса, предназначенная для хранения и учета, выдачи и приема заготовок, полуфабрикатов и готовых изделий, инструмента или технологической оснастки, а также для формирования комплектов из них в процессе подготовки производственных заданий.

В соответствии с традиционными структурно-организационными признаками производства более высокие уровни ГПС могут быть представлены в виде:

- **гибкой автоматизированной линии (ГАЛ)**, технологическое оборудование которой расположено в последовательности, соответствующей выполняемым технологическим операциям, и объединено автоматизированными системами управления и транспортно-складс-



кими системами (для заготовок, полуфабрикатов, изделий, инструмента, отходов), переналаживаемыми на изделия заданной номенклатуры;

– **гибкого автоматизированного участка (ГАУ)**, функционирующего по технологическому маршруту, в котором предусмотрена возможность изменения последовательности использования технологического оборудования;

– **гибкого автоматизированного цеха (ГАЦ)**, представляющего собой совокупность в различных сочетаниях гибких автоматизированных и роботизированных линий и участков, автоматизированных складов и связывающего их в единую производственную систему автоматизированного транспорта и управления;

– **гибкого автоматизированного завода (ГАЗ)**, в котором осуществлена частичная или полная интеграция нескольких гибких автоматизированных цехов, линий, участков, модулей, робототехнических комплексов, а также функциональных систем в единую производственную систему.

Существуют **ГПС полного технологического цикла**, на которых изделия обрабатываются со стопроцентной готовностью для сборки, и **ГПС неполного цикла**, когда для завершения изготовления детали требуются дополнительные операции на оборудовании вне этой системы.

## 2.6. Системы обеспечения функционирования ГПС

Максимального эффекта от использования гибких производственных систем можно добиться, если автоматизировать всю цепочку «рождения» новой продукции – от воплощения замысла в технической документации до выпуска готовых изделий. Начинаться эта цепочка должна с системы автоматизации проектирования. Современная техника все более усложняется. В результате удлиняются сроки проектно-конструкторских разработок, что нередко приводит к моральному старению технических решений. Попытки решить эту проблему путем увеличения персонала конструкторских бюро успеха не принесли. Выход видится в ускоренном развитии систем автоматизированного проектирования (САПР), представляющих собой комплекс вычислительных устройств, средств связи и чертежных автоматов.

Реализация такого подхода даст возможность существенно повысить темпы обновления продукции, улучшить качество и поднять

технический уровень проектно-конструкторских разработок, обеспечить значительную экономию материальных и трудовых ресурсов. На смену традиционным инструментам конструктора – чертежной доске и карандашу – все чаще приходит ЭВМ, экран дисплея, коренным образом меняющие его труд. Производительность труда проектировщиков повышается в несколько раз.

Системы автоматизированного проектирования уже действуют в машиностроении, приборостроении, судостроении, электронной, электротехнической и других отраслях промышленности. С их помощью создаются проекты автомобилей, прокатных станов, компьютеров, шахт и даже городов. При автоматизированном проектировании становятся ненужными технологические карты и даже чертежи деталей: с ЭВМ в цех передаются закодированные программы для станков с ЧПУ, на которых изготавливаются детали. Для изготовления новой детали необходимо только сменить программу.

Вершина комплексной автоматизации – гибкий автоматизированный завод. Это несколько гибких автоматизированных цехов, обслуживаемых гибкой системой подготовки производства. Путь к нему один – полная автоматизация инженерного труда и производства на всех уровнях. В результате вместе с гибкостью производство обретает высокую эффективность и экономичность, становится почти «безлюдным».

Автоматизация транспортно-складских операций высвобождает вспомогательных рабочих и сокращает время самих операций. Автоматизация доставки и смены инструмента позволяет уменьшить время, затрачиваемое на смену инструмента, а автоматизация контрольных операций высвобождает контролеров и сокращает потери от брака. Автоматизация управления станками, складом, инструментальным обеспечением, контроля за ходом производства повышает оперативность управления, снижает численность управленческого персонала, потери рабочего времени и длительность производственного процесса.

**Система обеспечения функционирования ГПС** – совокупность взаимосвязанных автоматизированных систем, обеспечивающих проектирование изделий, технологическую подготовку их производства, управление ГАП с помощью ЭВМ и автоматическое перемещение предметов производства и технологической оснастки.

В общем случае система обеспечения функционирования ГПС в автоматическом или автоматизированном режиме включает в себя следующие структурные составные части:

– **автоматизированную транспортно-складскую систему (АТСС)** – систему взаимосвязанных автоматизированных транспортных и складских устройств для временного накопления, распределения и доставки предметов производства и технологической оснастки к ГПМ, РТК или другому технологическому оборудованию в ГПС;

– **автоматизированную систему инструментального обеспечения** – это взаимосвязанные устройства, оборудование и система управления, обеспечивающие подготовку, хранение, автоматическую замену инструмента в магазинах на станках или на другом технологическом оборудовании. Наиболее совершенные автоматизированные системы инструментального обеспечения включают также *автоматическую систему слежения за износом и поломками инструмента* и *автоматическую систему наладки и подналадки инструмента на станке в процессе обработки*;

– **автоматизированную систему удаления отходов** – устройства с системой управления для удаления стружки и других отходов из зоны ГПМ, РТК и другого оборудования, включенного в ГПС;

– **автоматизированную систему обеспечения качества** – систему контроля заданных параметров детали или изделия в процессе обработки, включающую контрольно-измерительную машину с ЧПУ, программируемые и моделирующие проверочно-испытательные машины, а также автоматическую систему анализа причин брака, систему устройств и мер по контролю параметров поступающего сырья и комплекующих изделий и другие устройства, обеспечивающие контроль качества выпускаемой продукции, накопление и выдачу информации;

– **автоматизированную систему обеспечения надежности** – встроенные в технологическое оборудование системы технической диагностики, системы слежения за состоянием оборудования, автоматического поиска, хронометража и анализа причин отказов и неисправностей;

– **автоматическую систему управления ГПС (АСУ ГПС)** – комплекс ЭВМ, микропроцессорной техники, программного обеспечения и центральный пульт управления, связывающий управление со всеми составными частями ГПС и обеспечивающий сбор и передачу

производственной информации для координации и принятия решений по всем уровням связей и управления;

– **систему автоматизированного проектирования** – комплекс автоматизированного оборудования на базе ЭВМ, программного обеспечения, электронных банков данных и библиотек программ с использованием видеотерминала и различных средств ввода и вывода информации;

– **автоматизированную систему технологической подготовки производства** – комплекс автоматизированных средств, программного обеспечения, электронных банков данных для разработки и расчета технологии изготовления продукции, необходимой технологической оснастки, инструмента, выбора заготовок и пр.;

– **автоматизированную систему оперативного планирования производства** – комплекс автоматизированных средств и программного обеспечения для нормирования времени, составления и расчетов оперативного планирования, гибкого графика производства по каждой ГПС, оптимизации загрузки оборудования и пр.;

– **автоматизированную систему моделирования производства** – комплекс ЭВМ, автоматизированных средств и программного обеспечения для моделирования конструкций и производства новых изделий на основе математических и имитационных моделей;

– **автоматизированную систему содержания и обслуживания оборудования** – комплекс ЭВМ, автоматизированных средств и программного обеспечения, следящий за работой и состоянием каждой отдельной единицы технологического оборудования и за содержанием производственных помещений;

– **автоматизированную систему энергообеспечения и энергосбережения** – комплекс ЭВМ, автоматизированных средств и программного обеспечения по управлению стабильностью подачи и экономией энергии, очистки и подачи воздуха и воды, климатизации производственных и служебных помещений и других задач службы главного энергетика;

– **автоматизированную систему материалосбережения и переработки отходов производства** – комплекс ЭВМ, автоматизированных средств, программного обеспечения, объединяющий системы рационального использования материальных ресурсов и различных ГПС в целях управления и слежения за сокращением количества отходов, их переработкой и сохранностью окружающей среды;

– **автоматизированную систему управления снабжением** – систему, обеспечивающую управление производственными, материальными ресурсами (слежение за движением материалов, заготовок, учет и информация о наличии материальных средств и пр.) и поставкой материалов и покупных изделий;

– **автоматизированную систему управления сбытом продукции** – систему, обеспечивающую своевременную поставку продукции заказчикам, инженерный сервис, сбор и накопление эксплуатационных показателей качества продукции и поддерживающую обратную связь с потребителем;

– **автоматизированную систему управления экономикой предприятия** – систему управления, выполняющую такие функции предприятия, как финансирование и планирование выпуска продукции предприятия, бухгалтерский учет, вопросы заработной платы, анализ себестоимости продукции и материальных потерь и др.;

– **автоматизированную систему делопроизводства** – систему, автоматизирующую документооборот предприятия: составление заявок, заказов, сводок, отчетов и прочих документов;

– **автоматизированную систему управления кадрами** – систему управления кадрами и их переподготовкой;

– **автоматизированную систему управления предприятием** – комплекс ЭВМ и автоматизированных средств управления, включающий автоматическую систему управления технологическими процессами (АСУТП), сбора и организации потоков производственной информации для принятия решения на различных уровнях (АСУ – директора и др.). ЭВМ в этой системе применяется для повседневного, ежечасного анализа хода производства и принятия решений управленческим персоналом. Эти системы организуют потоки производственной информации, различных показателей деятельности предприятия, статистических данных с помощью ЭВМ от каждого станка, оператора через все организационно-управленческие уровни до директора;

– **автоматическую систему научных исследований (АСНИ)** – комплекс ЭВМ, автоматизированных средств и программного обеспечения для проведения научных исследований по совершенствованию и дальнейшему развитию выпускаемой и разработке новой конкурентоспособной продукции.

Для эффективного функционирования исполнительной системы ГАП принципиально важным является интеграция ее с вышепере-

численными автоматизированными системами. На рис. 1 показано место исполнительской системы ГАП в интегрированном производственном комплексе. На верхнем уровне располагается автоматизированная система управления, осуществляющая планирование, координацию работы остальных автоматизированных систем и оптимальное материально-техническое обеспечение. На среднем уровне расположены автоматизированная система научных исследований, система автоматизированного проектирования и автоматизированная система технологической подготовки производства, которые обеспечивают поток входной информации для исполнительской системы ГАП, а также автоматизированная система контроля и испытаний объектов (АСКИО). Нижний уровень ИПК представляет собой базы данных (БД) и служит для реализации информационного взаимодействия между системами среднего уровня.

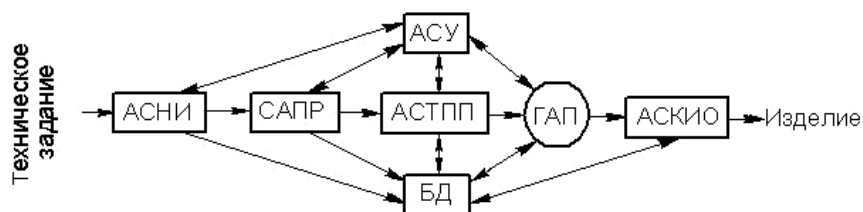


Рис. 1. Интеграция исполнительской системы ГАП с другими автоматизированными производственными системами

Интеграция всех вышеперечисленных систем в единую систему приводит к созданию гибкого автоматизированного производства. Это может быть высокоспециализированный автоматизированный завод высокой степени поддетальной и узловой специализации, поставляющий свои изделия – детали и узлы – на сборочные заводы, которые также характеризуются высокой степенью гибкости и электронизации.

## 2.7. Электронизация производства

Электронно-вычислительная техника находит все более широкое применение в инженерной практике обеспечения повседневных и долгосрочных задач производства. Развитие микропроцессорных

средств вычислительной техники дает возможность их использования для автоматизации управленческой деятельности и исполнения широкого диапазона задач и процессов производства.

Автоматизация производства на базе повсеместного применения электроники, т. е. **электронизация производства**, открывает новые пути действительно комплексной автоматизации основных технологических, вспомогательных и обслуживающих процессов и управления, физического и умственного труда каждого занятого в производстве, содействует переходу к централизованной обработке изделий машиностроения, – к главному, что отличает гибкую технологию и организацию производства от традиционной. Электронизация в сочетании с гибкой технологией и организацией производства увеличивает эффект комплексной автоматизации не только от роста производительности труда основных процессов, но и от прямого сокращения и устранения большинства вспомогательных работ, повышения качества и надежности машиностроительной продукции.

Электронизация дала начало новой области знаний – исследованию взаимоотношений человека и ЭВМ. Она ведет к применению большого числа видеотерминалов, графических дисплеев, устройств ввода информации и печатающих систем. Создано большое количество общих и специальных языков программирования (языков общения человека с ЭВМ). Во взаимоотношениях человека с машиной задачи четко разделены: человек оценивает, выбирает, определяет, контролирует, спрашивает, а ЭВМ регистрирует, рассчитывает, распределяет, хранит, выдает данные, отвечает. Общение происходит через видеотерминалы (в том числе и графические), печатающие устройства, специальные кнопочные панели с различными символами и командами или через так называемые меню и контактный карандаш-щуп («джойстик»).

Располагая значительной мощностью манипуляций данными, ЭВМ не имеет каких-либо творческих способностей, поэтому машина и человек дополняют друг друга, и эта система должна взаимно совершенствоваться. Основным препятствием здесь являются устройства и языки общения. Человек общается значительно быстрее и с меньшим физическим и умственным напряжением (стрессом), если использует голос, слух или зрение (наглядные изображения), а не клавиатурные алфавитно-цифровые системы, поэтому общение человека с ЭВМ развивается в направлении использования челове-

ских языков, голоса, слуха и зрения для передачи команд и получения ответов в диалоге с машиной. Уже созданы ЭВМ и АСУ с вводом команд голосом и получением ответов на видеодисплее. Ведутся работы по созданию синтезатора машинного голоса для разговорного диалога человека с машиной.

На рис. 2 представлена система электронизации ГАП. Это комплекс центральной ЭВМ, промежуточных мини-компьютеров и связанных с ними микропроцессоров вместе с управляющими программами и математическим программным обеспечением.

Текущая информация о состоянии элементов ГПС поступает в ЭВМ от автоматизированных контрольно-измерительных приборов и датчиков. «Безбумажная» информатика, реализуемая в гибких производственных системах, требует, чтобы вся информация, необходимая для управления их элементами, поступала на машинных носителях (перфокарты, магнитные ленты, диски и т. п.) или непосредственно по каналам связи. При этом отпадает необходимость обработки печатной информации, а следовательно, экономится ручной труд и резко увеличивается оперативность управления.

В управлении ГПС применяются сложные многоуровневые системы, построенные на основе нескольких ЭВМ, т. к. помимо непосредственного управления станками необходимо управлять транспортно-накопительной системой, контрольно-измерительными машинами, роботами, другими модулями, проводить учет, планирование, диспетчирование производства, выдавать отчетность и др.

Комплексная электронизация ГПС стала возможной только с развитием вычислительной техники и числового программного управления. Одновременное слежение, передача и исполнение нескольких тысяч команд, возникающих ежеминутно во время управления ГПС, не под силу даже значительному числу обслуживающего персонала. АСУ ГПС сама по себе является, как правило, автономной системой управления какого-то технологического процесса и действует параллельно с АСУ другой ГПС. Они могут быть связаны и не связаны друг с другом, но, как правило, каждая из них должна быть связана с АСУ завода надлежащими информационными потоками данных о состоянии производства для принятия решения управленческим персоналом.



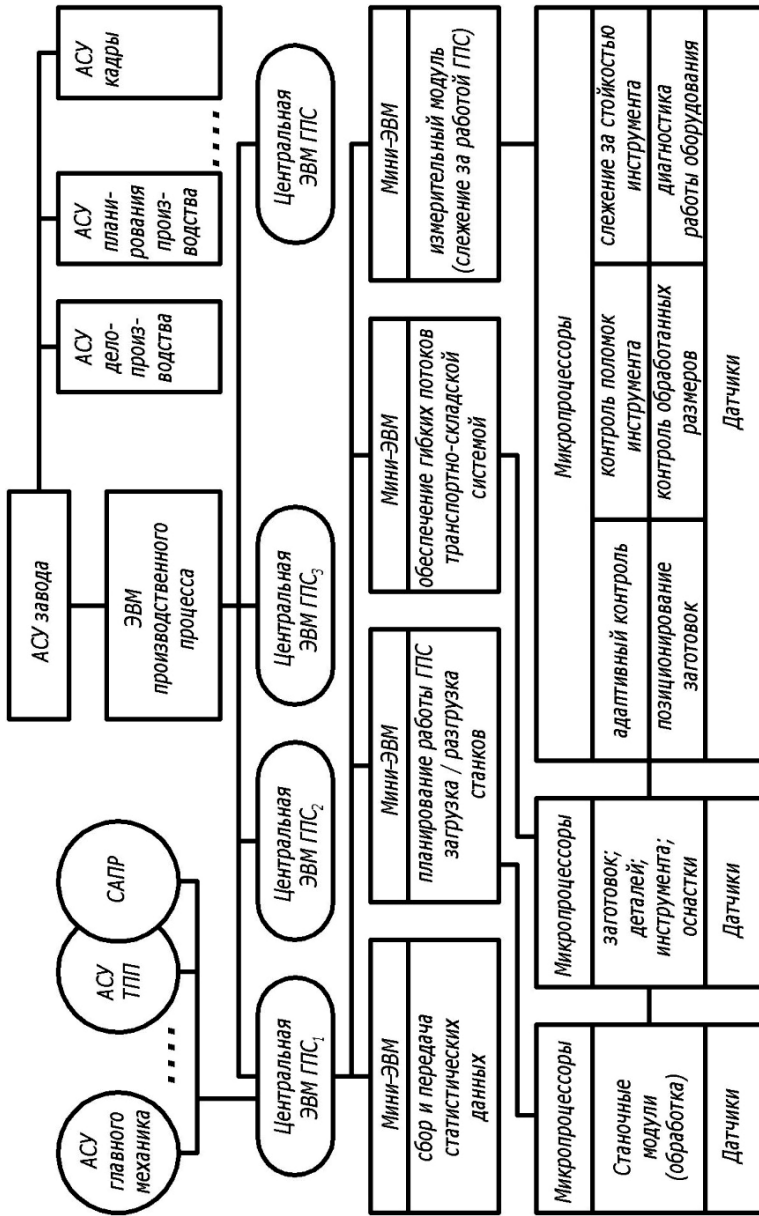


Рис. 2. Схема электризации ГАП

Возможность иметь до начала конструирования в распоряжении конструктора-технолога непосредственно на экране видеотерминала и практически мгновенно передавать информацию об имеющихся подходящих стандартных или ранее сконструированных деталях, о наличии покупных, комплектующих изделий, имеющихся сортовых материалах сокращает время и стоимость создания новых изделий. Отсюда ясна важность унификации и стандартизации широко распространенных в машиностроении деталей, узлов, режущего и измерительного инструмента, технологической оснастки и типизации технологических процессов, характеристик и параметров станков и другого оборудования, методов определения оптимальных режимов обработки, технологических переходов, порядка их выполнения, методов планирования загрузки оборудования и производства и других типовых решений. Накопление и сосредоточение такой информации в общепромышленных банках данных, объединенных информационными сетями коллективного пользования, повысит мощность каждой общей или специализированной САПР–АСТПП, будет содействовать их интеграции с другими автоматизированными производственными системами.

Гибкая автоматизация объединяет основные и вспомогательные процессы в единую систему и создает предпосылки электронизации таких обслуживающих процессов, как содержание и ремонт оборудования, энергообеспечение, содержание зданий и помещений, уборка и переработка отходов и др. Полный эффект автоматизации достигается только тогда, когда она внедряется повсеместно, т. е. не только в основной и вспомогательной, но и в обслуживающей сферах производства.

## **2.8. Промышленные системы искусственного интеллекта**

Создание высокоавтоматизированных трудосберегающих производств предполагает автоматизацию не только физического, но и интеллектуального труда человека. Автоматизация интеллектуальной деятельности потребовала решения ряда новых задач, не возникавших ранее в теории автоматического управления. К их числу относятся описание и представление в ЭВМ сложной внешней среды, автоматическое планирование и выполнение комплекса разнообразных действий технического устройства, направленных на достижение за-

данной цели, организация общения человека с ЭВМ на языке, близком к естественному, и ряд других. Решение этих задач невысказимо без широкого использования систем искусственного интеллекта.

**Системами искусственного интеллекта**, или **интеллектуальными** (интеллектуальными) называются системы, выполняющие функции, которые принято считать интеллектуальными. Интеллектуальная деятельность человека связана с поиском решений (действий) в новых, нестандартных ситуациях. Задача называется интеллектуальной, если алгоритмизированный метод ее решения не известен.

В сфере промышленного производства можно выделить две основные области использования идей и методов искусственного интеллекта: робототехнические системы и организационно-экономические и проектные системы. Первая связана с созданием промышленных роботов третьего поколения, т. е. роботов с элементами искусственного интеллекта. Вторая – с построением организационных производственных систем, основой которых являются интеллектуальные программно-аппаратные средства принятия решений при проектировании изделий, разработке технологий, планировании, оперативном управлении, контроле качества и т. д.

Развитие современного производства – это постоянный рост его сложности, который проявляется как в расширении разнообразных технологий, использующих новые физические принципы и технические решения, так и в ускорении сменяемости и усложнении выпускаемой продукции. Сумма знаний, необходимых для эффективного проектирования и эксплуатации производства, постоянно растет, что существенно увеличивает интеллектуальную нагрузку на проектировщика и производственника. Традиционно проблема такого характера решалась увеличением уровня специализации персонала, что неизбежно приводило к росту его численности.

Существуют два встречных направления решения указанной проблемы. Первое направление связано с повышением уровня образования инженерного, конструкторского и производственного персонала; второе – с увеличением степени интеллектуальности автоматизированных систем проектирования и управления.

При гибкой организации производства появляется необходимость в автоматизированном проектировании продукции, оптимальном планировании производства, автоматическом программировании технологических операций, а также в распознавании ситуаций, диагно-

стике оборудования и адаптации к производственным «возмущениям» на основании текущей информации, поступающей от большого числа (порядка  $10^2$ – $10^5$ ) датчиков.

До последнего времени решение перечисленных задач в условиях действующего производства считалось прерогативой человека. Однако по мере развития систем искусственного интеллекта появились предпосылки для конструирования автоматических систем, имитирующих соответствующие интеллектуальные функции человека. Техническая реализация таких систем оказалась возможной благодаря появлению быстродействующих микропроцессоров, мощных управляющих ЭВМ, а также необходимого информационного обеспечения.

Потребность в использовании систем искусственного интеллекта в ГПС связана с насущной необходимостью автоматизации многих производственных операций интеллектуального характера, которые не могут быть автоматизированы с помощью традиционных технических средств. Поэтому широкое применение систем искусственного интеллекта, ориентированных на решение возникающих на производстве интеллектуальных задач, может привести (и уже приводит) к значительной экономии людских и материальных ресурсов, обеспечить резкое повышение производительности труда, улучшение качества и снижение себестоимости продукции. На базе систем искусственного интеллекта и робототехники оказывается возможным создать принципиально новые высокоэффективные технологические процессы, свободные от обременительных психофизиологических ограничений, присущих человеку как звену производственных комплексов.

Что же представляют собой системы искусственного интеллекта, каковы их отличительные черты? Характерным признаком систем искусственного интеллекта является наличие баз данных и связанных с ними процедур (алгоритмов) формирования понятий, планирования операций, распознавания ситуаций и принятия решений. Решение проблемы представления данных и знаний в системах искусственного интеллекта открыло принципиальную возможность понимания ЭВМ языка и речи. Оно позволило создать интеллектуальные средства связи (терминал и интерфейс), обеспечившие непосредственное общение человека с ЭВМ на языке, ограниченном данной предметной областью.

В последние годы созданы и уже широко применяются в промышленности системы автоматизированного проектирования, си-

стемы искусственного интеллекта для распознавания зрительной информации и речи, системы автоматизации программирования, автоматизированные системы технологической подготовки производства, встроенные системы искусственного интеллекта для диагностики оборудования.

Таким образом, сегодня системы искусственного интеллекта фактически вышли на промышленный рынок. Их быстрое развитие стимулируют в значительной степени потребности создания ГПС. В долгосрочном плане задачи в области искусственного интеллекта заключаются в том, чтобы разработать системы искусственного интеллекта, превосходящие способности человека к анализу сенсорной информации, логическому рассуждению, распознаванию ситуаций и взаимодействию с окружающей средой.

Основные сферы использования интеллектуальных систем в производстве – проектирование и управление.

**Проектирование.** В традиционных системах интерактивного проектирования между проектировщиком и ЭВМ необходимы «посредники» – математики и программисты. В интеллектуальных системах непосредственное общение с ЭВМ обеспечивается интеллектуальным интерфейсом – комплексом программно-аппаратных средств, позволяющих организовать двусторонний диалог на языке, близком к профессиональному языку проектировщика.

**Управление производством.** Можно выделить, по крайней мере, три сферы использования интеллектуальных систем в управлении производством:

1. *Автоматизированное решение задач планирования и диспетчирования на основе расчетно-логических и экспертных систем.* Расчетно-логические системы выбирают метод решения задачи и формируют программу по описанию проблемной ситуации и количественным данным, вводимым в ЭВМ, на ограниченном языке пользователя. Экспертная система, построенная на основе формализованных моделей представления знаний и логических правил, в отличие от расчетно-логических не решает задачу, а «консультирует» планировщика или технолога, «подсказывает» им возможные варианты решения, диагностирует сложные состояния, т. е. выступает в роли системы-советчика.

2. *Автоматизированное программирование с использованием интеллектуального интерфейса.* Системы автоматизированного программирования с элементами искусственного интеллекта позволяют

непрограммирующему пользователю (например, рабочему-оператору) создавать программы выполнения технологических операций. При этом широко распространяются системы программирования, опирающиеся на машинную графику, т. к. язык графических образов (например, чертеж) хорошо знаком производственному персоналу. Программирование можно осуществлять также на основе речевого ввода команд. Для восприятия речи система оборудуется речевым синтезатором.

Имеется опыт оснащения синтезаторами речи технологического оборудования, что позволяет организовывать речевой диалог оператора с ЭВМ, управляющей технологическим оборудованием. Речевые синтезаторы могут использоваться для информирования оператора голосом об отказах или особых состояниях технологической установки.

*3. Автоматизация технологических процессов с использованием систем технического зрения.* В последние годы все шире и шире начинают применяться как компоненты ГПС системы технического зрения (СТЗ). Существует широкий класс технологических процессов, которые могут быть автоматизированы с использованием визуальной информации. Типичными представителями такого класса процессов являются сборочные технологические процессы.

Различают два типа автоматизированных систем, использующих техническое зрение. В системах первого типа визуальная информация используется при работе в неорганизованной среде для распознавания объектов и определения их положения в пространстве. В системах второго типа визуальная информация используется для контроля за ходом процесса. Система технического зрения при этом используется для обнаружения отклонений от нормального хода процесса. Типичным примером является визуальный контроль качества изделий.

Рассмотрим особенности промышленных СТЗ на примере задачи автоматического манипулирования деталями, произвольно расположенными в таре или на конвейере. Необходимость решения этой задачи возникает при загрузке деталей в станки с помощью роботов.

Традиционные способы решения этой типичной технологической задачи основываются либо на использовании труда рабочих, либо на разработке и применении специальных механических питателей – вибробункеров, кассет с предварительным ориентированием деталей и др. Однако эти способы имеют ряд недостатков.

Ручная загрузка деталей в станок представляет собой монотонную операцию, которую нередко приходится осуществлять в опасных для здоровья условиях. Применение же механических питателей сопряжено с техническими трудностями. Так, использование вибробункеров может приводить к повреждению деталей или заклиниванию. При переходе на новые типы деталей может потребоваться неприемлемо большое время на реконструкцию и отладку оборудования.

Альтернативным решением задачи, свободным от отмеченных недостатков, является применение роботов с СТЗ. Такие интеллектуальные роботы можно применять для манипулирования произвольно расположенными деталями. При изменении типа деталей, тары или условий освещения вся «реконструкция» сводится к замене захвата манипулятора или объектива СТЗ. Примером интеллектуального робота рассматриваемого типа может служить робот «PUMA-500». Этот робот разработан совместно фирмами «Юнимейт» (США) и «Кависаки» (Япония). Он оснащен встроенной системой самодиагностики, позволяющей контролировать работу системы управления и обнаруживать неисправности. В состав СТЗ входят: ПЗС-камера, дающая изображение на  $256 \times 256$  элементов, блок управления, графический дисплей со световым пером, пульт обучения и микроЭВМ с соответствующим программным обеспечением. СТЗ позволяет оперативно вычислять многие геометрические характеристики деталей (площадь, периметр, диаметр и др.). СТЗ позволяет также определить положение и ориентацию деталей в поле зрения телекамеры.

Для реализации принципов искусственного интеллекта требуются ЭВМ, обладающие высокой производительностью. Выполнение одной операции логического вывода требует от 100 до 1000 обычных операций. Вычислительная машина для обработки знаний должна осуществлять от 100 млн до 1 млрд таких операций логического вывода в секунду.

Пятое поколение ЭВМ представляет собой такой класс вычислительной техники, который позволяет реализовать принципы искусственного интеллекта, направленные на автоматизацию процессов обработки знаний. Главное отличие ЭВМ пятого поколения от ЭВМ предыдущих поколений заключается в качественно новом переходе от обработки информационных данных к обработке знаний. Знания – это значительно более широкая категория по сравнению с понятием «информационные данные». Знания связаны не только с накопле-

нием данных, но, что более важно, и с ассоциацией или обобщением опыта на основе выработанных человеком принципов осознания или понимания фактов и явлений действительности. Поэтому обработка знаний является интеллектуальным процессом, где наряду с обычными функциями хранения, поиска и процедурной обработки данных существует стержневая функция ассоциированного логического вывода обычно в форме доказательства.

Дальнейшее развитие ГАП связано с широким использованием систем искусственного интеллекта для автоматизации таких интеллектуальных функций, как планирование производства, проектирование продукции, оптимизация технологических процессов, программирование оборудования, распознавание производственных ситуаций, диагностика отказов и др. Это дает возможность создавать адаптивные «безлюдные» производства с интеллектуальным управлением от сети ЭВМ на принципах «безбумажной» информатики. На этом пути имеется еще много трудностей. Поэтому системы искусственного интеллекта, используемые в ГПС сегодня, работают в основном не в автоматическом, а в интерактивном (автоматизированном) режиме, т. е. с участием человека. Примерами таких автоматизированных систем искусственного интеллекта, реально используемых в современных ГАП, могут служить системы автоматизированного проектирования, автоматизированные системы технологической подготовки производства и системы автоматизированного контроля. В перспективе все эти системы, как и ГАП в целом, будут работать в автоматическом режиме.



### **3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ГАП**

До появления гибких систем автоматизация производственных процессов ограничивалась массовым производством. Однако с уменьшением жизненного цикла изделий в результате быстрого научно-технического прогресса и увеличением номенклатуры изготавливаемой продукции возникла необходимость создания таких производств, которые обеспечивают изготовление деталей небольшими партиями при сохранении производительности, качества и себестоимости, присущих крупносерийному производству.

При этом возникшую проблему нельзя было решить за счет более эффективного использования основного времени работы технологического оборудования, т. к. оно в любом производстве составляет минимальную долю. При производстве мелких партий деталей основное (машинное) время занимает всего 6 % от общего фонда времени. Поэтому в дальнейшем основной упор был сделан на автоматизацию вспомогательных операций, обеспечение автоматического функционирования оборудования в вечерние и ночные смены, резкое сокращение времени переналадок, переоснащения, смены инструмента, автоматизацию материальных и информационных потоков.

Концепция создания ГАП требует, чтобы технологическое оборудование обеспечивало возможность не только автоматической работы в течение длительного времени, но и автоматической переналадки на выпуск новой продукции. Этим требованиям соответствует оборудование с программным управлением.

#### **3.1. Программное управление технологическим оборудованием**

Появление микропроцессоров и микроЭВМ, создание электронных элементов с высокой степенью интеграции привело к качественным изменениям в технике управления.

Программное управление заключается в том, что требуемые режимы движения управляемых узлов технологического оборудования и значения регулируемых параметров хода технологического процесса заранее рассчитываются и фиксируются на соответствующих хранителях информации. Процесс управления сводится к воспроизведению тех действий, которые зафиксированы в данной программе.

Оборудование с программным управлением работает за счет считывания программы с программоносителя (перфокарты, перфолен-ты, магнитной ленты, магнитного диска и т. д.), что дает возможность производить быструю замену программы без значительных затрат времени, как это имеет место при традиционной переналадке оборудования.

Программное управление распространилось практически на все виды технологического оборудования, созданы контрольно-измери-тельные машины с числовым программным управлением. Область техники, относящаяся к построению механизмов и машин с элек-тронным управлением, получила название **мехатроники**.

Применение программного управления на прессах в условиях мел-косерийного производства имеет следующие преимущества:

- сокращаются сроки технологической подготовки производства;
- увеличивается точность штамповки и уменьшается число слу-чайных ошибок;
- устраняется зависимость качества деталей от квалификации штамповщика;
- программа, записанная на перфокарту, магнитную ленту или диск, не требует значительных затрат на размножение, корректиро-вание, замену;
- при конструктивных изменениях детали производится лишь за-мена соответствующего участка программы;
- увеличивается производительность работ.

Программное управление позволяет создавать гибкое автомати-зированное (автоматическое) технологическое оборудование с быстрой автоматической переналадкой на выпуск новой продукции.

Устройства ЧПУ для каждой группы оборудования имеют свои особенности, определяемые конструкцией станка и технологией об-работки. Кроме того, внутри групп можно провести дальнейшее де-ление по различным признакам: числу управляемых координат, виду программоносителя, приводу движений исполнительных органов, типу электронных элементов и т. д.

Все многообразие видов структур систем ЧПУ (основные из них приведены в табл. 1) можно подразделить на две большие группы. К первой относятся устройства с постоянной структурой (NC), имею-щие схемную реализацию алгоритмов работы (типовых циклов, ин-терполяции и т. д.). Ко второй группе (CNC) относятся устройства

с программной реализацией большинства алгоритмов работы. Эти алгоритмы записываются в постоянное запоминающее устройство при изготовлении устройства ЧПУ. Управление осуществляется от микропроцессора или встроенной микроЭВМ. В устройствах имеется возможность формировать типовые циклы обработки применительно к различным технологическим задачам. Таким образом, устройства ЧПУ типа CNC выполняют функции программируемого командоаппарата.

Таблица 1

### Виды устройств ЧПУ

Обозначение		Определение
Русское	Международное	
1	2	3
ЧПУ	NC	Числовое программное управление (Numerical Control). Управление обработкой на станке по программе, заданной в кодированном виде (алфавитно-цифровом или унитарном коде)
ОСУ	HNC	Оперативная система ЧПУ (Hand NC) с ручным заданием программы на пульте управления (на клавишах или другой аппаратуре)
Компьютерное ЧПУ	CNC	Система управления с микроЭВМ (Computer NC). Система содержит одну или несколько микроЭВМ (микропроцессоров) с программной реализацией алгоритмов
–	DNC	Система управления группой станков от общей ЭВМ (Direct numerical Control), осуществляющей хранение программ и распределение их по запросам от устройств управления станками (у станков могут быть установлены устройства различных типов, в том числе CNC)
ПК	PLC	Программируемый командоаппарат (Programmable Controller). Устройство выполнения логических функций, в том числе релейной автоматики, может входить в состав системы ЧПУ
АДУ	AC	Адаптивное управление обеспечивает выполнение самонастройки режимов обработки или автоматической компенсации погрешностей. Может входить в состав ЧПУ
ОЗУ	RAM	Оперативное запоминающее устройство с произвольной выборкой

1	2	3
ПЗУ	ROM	Постоянное запоминающее устройство (Read-only memory)
СИС	MSI	Интегральные схемы (ИС) средней степени интеграции (Medium scale integration)
БИС	–	ИС большой степени интеграции
МП	MP	Микропроцессор (Microprocessor)
ЦП	CPU	Центральный процессор (Central processing unit)

Применяются также простые позиционные устройства ЧПУ с заданием программы непосредственно у станка на штекерных панелях либо декадных переключателях. Это направление привело к созданию устройств с ручным вводом программы в электронную память с клавиатуры пульта (класса HNC). В последних микропроцессорных системах такая возможность имеется во всех устройствах.

Кроме автономных устройств управления станками все большее значение приобретают системы с управлением от центральной ЭВМ (DNC).

Основой микроэлектроники является интегральная микросхема, с использованием которой выполняются блоки и узлы устройств. В корпусе интегральной микросхемы все элементы соединены определенным образом. При поступлении сигнала на вход схемы на выходе выдаются сигналы, соответствующие выполняемой ею логической функции. Главной характеристикой микросхемы является степень интеграции, т. е. число элементов (вентилей) в корпусе. По степени интеграции микросхемы делятся на четыре класса: ИС – интегральные схемы, содержащие до 40 вентиляей; СИС – средние интегральные схемы, содержащие сотни вентиляей; БИС – большие интегральные схемы, содержащие тысячи вентиляей; СБИС – сверхбольшие интегральные схемы, содержащие десятки тысяч вентиляей.

Интегральные схемы выполняют элементарные логические функции, а также служат для приема и передачи сигналов между узлами устройства и для выхода на шину. На базе СИС формируют различного рода регистры, счетчики, дешифраторы, элементы памяти небольшого объема и др. На основе БИС и СБИС формируют, как правило, микропроцессоры и узлы памяти большого объема.

**Микропроцессором** называют функционально законченное устройство (БИС), выполняющее операции с исходными данными в соответствии с программой, поступающей на его вход.

**Микропроцессорный набор** представляет собой совокупность совместимых БИС, специально разработанных для построения различных микропроцессорных систем.

**МикроЭВМ** – это конструктивно завершенное вычислительное устройство, реализованное на базе микропроцессорного набора БИС и оформленное в виде автономного прибора со своим источником питания, блоком связи с периферийным устройством ввода-вывода (интерфейсом) и комплексом программного обеспечения.

**Микроконтроллером** называют устройство логического управления, выполненное на базе микропроцессора.

**Микропроцессорная система** – это любая вычислительная, контрольно-измерительная или управляющая система (в том числе и система ЧПУ), построенная на основе микропроцессора.

**Мультимикропроцессорная система** – это система, в которой используется более одного микропроцессора, обеспечены параллельная обработка информации и распределенное управление.

В последние годы появились однокристалльные микроЭВМ. В такой ЭВМ в одном кристалле размещены процессор, память и устройство ввода-вывода (порты).

Основная идея всех микроЭВМ описывается общей структурой, называемой **машиной Неймана** (по фамилии математика, впервые предложившего этот принцип). Модель такой машины включает четыре главных блока, которые присутствуют в любой ЭВМ (рис. 3): запоминающее устройство (ЗУ), устройство ввода-вывода (ВВ), арифметико-логическое устройство (АЛУ) и устройство управления (УУ). Последние два устройства совместно образуют центральный процессор. Связь с периферийным оборудованием осуществляется через устройство ВВ. Перечисленные устройства соединены между собой рядом проводников электричества, называемых шинами.

Под **алгоритмом** понимают последовательность выполнения логических операций, необходимых для совершения некоторых действий или решения задач. Алгоритм может иметь словесное описание или быть формализован в виде структурной схемы. Для работы устройства ЧПУ существенное значение имеет алгоритм интерполяции. Под интерполяцией понимают выдачу информации о траекто-

рии движения исполнительных звеньев управляемых устройств (например, звеньев манипулятора ПР) в интервале между координатами опорных точек, заданных в управляющей программе. Если траектория движения между опорными точками задана прямой, то выполняют линейную интерполяцию, если окружностью, то круговую интерполяцию. Интерpolator обрабатывает программу последовательно отдельными участками (кадрами); при линейной интерполяции это участки прямых линий, расположенных в пространстве.

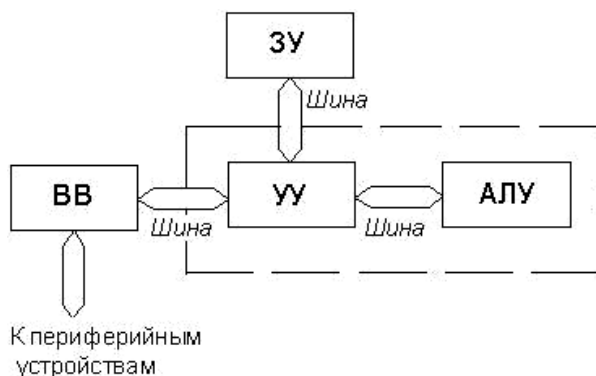


Рис. 3. Обобщенная структура ЭВМ

Надежность современных систем числового программного управления (СЧПУ), особенно систем, построенных на микросхемах, весьма высока. Среднее время между отказами в системах составляет не менее 5000 ч.

### 3.2. Технологическое оборудование ГПС

Основными видами технологического оборудования, используемыми в ГПС являются: станки с ЧПУ, гибкие производственные модули, обрабатывающие центры и автоматические линии, составленные из них, робототехнические комплексы и промышленные роботы.

Обычно станки с ЧПУ специализируются на выполнении одной группы операций: фрезерование, сверление и т. п. Вследствие этого значительная доля рабочего времени затрачивается на передачу детали с одного станка на другой, а доля времени работы системы

ЧПУ очень мала (менее 20 % полного цикла обработки). Для устранения этого недостатка были разработаны многооперационные станки с ЧПУ, получившие название обрабатывающих центров.

Основная цель, реализуемая в таких станках, заключается в том, чтобы осуществлять всю обработку изделия с одной установки в рабочей зоне – в центре обработки. С этой целью станок снабжается несколькими шпинделями, магазином инструментов и устройством автоматической смены инструмента при переходе с одних операций на другие. В результате получается универсальный комбинированный станок, объединяющий возможности нескольких различных специализированных станков с ЧПУ.

Обрабатывающие центры являются широкоуниверсальным многофункциональным оборудованием многоцелевого назначения с высокой концентрацией выполнения технологических операций с числовым программным управлением. Характерной особенностью этого типа оборудования является наличие автоматического магазина с комплектом сменного инструмента, необходимого для выполнения полного набора технологических операций. Обрабатывающие центры являются станками сверлильно-фрезерно-расточной группы и предназначены для комплексной пятикоординатной обработки корпусных и плоскостных деталей без их переустановки. На станке можно производить фрезерование плоскостей, пазов и криволинейных поверхностей концевыми, торцевыми и дисковыми фрезами, а также выполнять операции растачивания, сверления, зенкерования и нарезания резьбы метчиками. Это оборудование в высокой степени соответствует требованиям ГПС.

К обрабатывающим центрам относится и такой вид листоштамповочного оборудования, как револьверные координатно-пробивные и вырубные прессы с ЧПУ и автоматической загрузкой и выгрузкой листов. Они предназначены для последовательной пробивки с помощью быстросменных штампов разнообразных по форме и размерам отверстий; вырубки деталей различных сложных контуров; формовки элементов (жалюзи, пуклевки под резьбы, выдавки и т. д.); гравировки и маркировки; формовки и неглубокой вытяжки; нарезки внутренней резьбы; зачистки высеченного контура. Прессы такого типа выполняют с револьверной головкой, на которой закреплен комплект пробивных штампов. Заготовку крепят на подвижном столе, которому задают координатные перемещения в двух взаимопер-

пендикулярных направлениях в горизонтальной плоскости. Установка соответствующего инструмента револьверной головки (поворот ее в нужное положение) и перемещение координатного стола с листовой заготовкой по заданным координатам осуществляется автоматически системой ЧПУ в соответствии с заданной программой. Применение одного такого автомата повышает производительность труда, высвобождая от 5 до 20 единиц универсального оборудования.

В настоящее время во многих промышленно развитых странах мира выпускается самое разнообразное технологическое оборудование с числовым программным управлением, обладающее высокой гибкостью: токарные и фрезерные станки, токарно-револьверные обрабатывающие центры, вертикальные и горизонтальные сверлильно-фрезерные обрабатывающие центры, вертикально-фрезерные обрабатывающие центры для пресс-форм и штампов, электроэрозионные прошивные станки, механические и гидравлические координатно-револьверные вырубные прессы, установки сверхскоростной лазерной резки, комбинированные револьверные вырубные прессы с лазером и угловыми ножницами, гибкие автоматизированные линии, автоматические листогибочные центры, механические и гидравлические листогибочные прессы, гибкие автоматические линии по обработке листового материала, оборудование для ротационной вытяжки листового металла, гидравлические гильотинные ножницы с ЧПУ.

Наиболее универсальное оборудование, соответствующее характеру гибкого автоматизированного производства, – промышленные роботы, которые являются одним из основных средств достижения гибкости ГПС. ПР могут выполнять как основные, так и вспомогательные операции по обслуживанию технологического оборудования, транспортных и складских систем, что делает их незаменимыми при создании ГПС.

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

Промышленные роботы являются универсальным средством автоматизации производственных процессов в условиях обширной номенклатуры и частой смены предметов производства. От традицион-



ных средств автоматизации ПР отличаются прежде всего универсальностью движений и быстротой переналадки на новые операции.

На базе ПР создаются такие составные части гибких автоматизированных производств, как роботизированные технологические комплексы, представляющие собой совокупность технологического оборудования, ПР и средств оснащения, которая функционирует автономно и осуществляет многократные циклы. Средствами оснащения могут быть устройства накопления, ориентации, поштучной выдачи объектов производства и другие устройства, обеспечивающие функционирование РТК.

В РТК роботы могут выполнять основные и вспомогательные операции. При выполнении основных технологических операций (сварка, сборка, окраска, контроль, зачистка заусенцев и т. д.) они оснащаются специальными инструментами. При обслуживании основного технологического оборудования, входящего в состав ГПС, ПР обеспечивают автоматизацию таких вспомогательных операций, как загрузка заготовок, межоперационное транспортирование полуфабрикатов, разгрузка деталей, укладка их в тару, контроль, смена инструментов при их износе или при переходе к обработке новой детали, уборка отходов, установка и смена средств контроля. Широкое применение ПР получили для обслуживания складского оборудования. В транспортных системах ПР могут выполнять самостоятельные операции по перемещению грузов, а также по обслуживанию конвейерных линий.

Объединяя робототехнические комплексы общей автоматизированной транспортно-складской системой и системой управления можно компоновать различные ГПС.

#### 4. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В ГАП

Особое значение в ГАП имеет автоматизация всех уровней технического контроля продукции и диагностики оборудования внутри цеха, объединяющая большой комплекс контрольно-измерительной и диагностической аппаратуры и микропроцессорных средств обработки информации.

Под техническим контролем понимается проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям. В ГАП технический контроль охватывает все средства производства и осуществляется посредством системы автоматического контроля (САК). Целью контроля является, с одной стороны, поддержание требуемого уровня качества продукции с помощью контроля параметров материала, заготовок, инструмента, приспособлений; режимов обработки, измерения и испытания изделий; параметров технологических средств и изделия на всех стадиях изготовления, а с другой – поддержание в работоспособном состоянии всего автоматического оборудования, вычислительной техники и программного обеспечения путем контроля и диагностирования.

Система автоматического контроля является важнейшим звеном ГАП, т. к. именно она определяет возможности реализации «безлюдного» производственного процесса. При полной автоматизации, когда человек в этом звене отсутствует, такая система является довольно сложной, т. к. включает в себя новые элементы, которые были не нужны при наличии человека.

Система автоматического контроля решает следующие задачи:

- получение и представление информации о свойствах, техническом состоянии и пространственном расположении контролируемых объектов и состоянии технологической среды;
- сравнение фактических значений параметров с заданными;
- передача информации о рассогласованиях для принятия решений на различных уровнях управления ГПС;
- получение и представление информации об исполнении функций.

Система автоматического контроля обеспечивает:

- возможность автоматической перестройки средств контроля в пределах заданной номенклатуры контролируемых объектов;
- соответствие динамических характеристик САК динамическим свойствам контролируемых объектов;

– полноту и достоверность контроля, в том числе контроля преобразования и передачи информации;

– надежность средств контроля.

Система автоматического контроля пронизывает все элементы ГПС и их связи (материальные и информационные потоки), обеспечивая достоверность информации, используемой в системе управления. В условиях ГПС требуется измерять сотни и тысячи физических, химических и технико-экономических параметров. Таким образом, САК является связующим звеном между ГПС, системами, обеспечивающими его функционирование, и системой управления.

**Типовая структура САК** включает три уровня:

**1. Верхний уровень** обеспечивает общий контроль совокупности ГПМ и осуществляет координацию их взаимодействия (в рамках участка или цеха), перенастройки и ремонта, выдачи информации на пульт управления ГПС; получение, обработку и обобщение информации, поступающей со среднего уровня; контроль объема и качества продукции и инструмента; контроль за исполнением совокупности операций, выполняемых ГПМ.

**2. Средний уровень** обеспечивает контроль ГПМ и представление на верхний уровень обобщенной информации о свойствах, техническом состоянии и пространственном расположении контролируемых объектов и составных частей ГПМ. При этом решаются задачи: контроль качества изделий, изготавливаемых на ГПМ; самоконтроль и контроль функционирования нижестоящего уровня; обработка информации о параметрах технологической среды.

**3. Нижний уровень** обеспечивает контроль объектов обработки и сборки, технического состояния и пространственного расположения составных частей ГПМ (станков с ЧПУ, ПР). На этом уровне САК решает задачи: входной и выходной контроль объекта производства; получение и обработка информации о контролируемых параметрах объекта обработки или сборки; передача информации на средний уровень; контроль за выполнением переходов. Средствами контроля на нижнем уровне являются датчики позиционирования и контроля технологической среды (температуры, давления, влажности) и др.

Для организации «безлюдного» производства необходимо обеспечить в ГПС постоянный контроль технического состояния всех его элементов. Для этих целей предназначена подсистема техниче-

ского диагностирования ГПС, входящая в состав САК. Она определяет правильность функционирования, осуществляет поиск нарушений в исполнительной, управляющей и контрольной части ГПС.

Технические средства контроля ГАП включают в себя измерительные преобразователи (датчики), аналого-цифровые преобразователи, сенсорные подсистемы технического зрения, автоматические тестеры и координатные измерительные машины. Датчики являются первичными носителями информации и составляют важнейший класс устройств контроля в условиях ГАП. Поскольку в ГАП измерительная информация обычно обрабатывается с помощью ЭВМ, на выходе датчиков предпочтительно иметь электрический сигнал.

**Аналого-цифровые преобразователи** – это вид технических средств контроля, обеспечивающий преобразование аналоговых сигналов, поступающих с датчиков, в эквивалентные значения цифрового кода для последующей обработки.

**Автоматические тестеры** – это автоматические контрольно-измерительные комплексы, в которых основной метод контроля заключается в подаче с помощью ЭВМ тестирующих воздействий и сравнении ответных реакций контролируемого объекта с заранее заданными значениями.

**Координатные измерительные машины (КИМ)** – это автоматические средства высокоточных измерений, управляемые от ЭВМ. Они могут не только измерять типовые поверхности, но и определять систему координат положения различных специальных поверхностей относительно базовых. Универсальные КИМ позволяют контролировать параметры корпусных деталей, валов, рычагов, втулок и других изделий, поверхности которых образуют плоскости, цилиндры, конусы, сферы, а также линии пересечения различных поверхностей.

По сравнению с другими средствами контроля КИМ наряду с сокращением времени, трудоемкости, ошибок процесса измерения имеют такие преимущества, как возможность комплексного контроля качества, автоматическое получение результатов замеров, которые могут быть отражены на различных носителях информации и средствах индикации ЭВМ.

Конструктивно современная КИМ представляет собой агрегат, в состав которого входят механическая часть, система ощупывания, система измерения; система приводов и управления перемещением механических частей машины, система обработки результатов об-

меров. Исполнительным органом являются щуповые измерительные головки высокой чувствительности, которые могут быть механическими, оптическими, электронными точечными и электронными непрерывными.

Кроме контроля параметров готовой продукции или заготовок, системы контроля должны обеспечивать диагностику процессов и оборудования непосредственно при выполнении производственных операций. К диагностическим задачам относятся контроль типа инструмента, его геометрической формы, степени износа; контроль влияния параметров внешней среды на процессы обработки; проверка попадания заготовок в зону обработки и надежного их там закрепления. При этом появляется возможность оперативного вмешательства в производственный процесс и проведения корректировки отклонений. Подобные задачи решаются за счет совмещения функций обрабатывающего оборудования и контрольно-измерительной машины в одном агрегате. С этой целью разрабатываются специальные измерительные роботы, которые, не замедляя процесса производства, могут контролировать 100 % обрабатываемых деталей практически любой формы.

Измерительные машины с программным управлением выполняют как бы функции обратной связи, подавая результаты измерений на «выходе» технологического процесса на его «вход» для коррекции этого процесса в соответствии с заданными критериями качества. Такой замкнутый цикл при управлении процессами от ЭВМ с соответствующей микропроцессорной обработкой информации позволяет наилучшим образом регулировать ритм хода технологического процесса и наиболее точно удовлетворять требованиям стандартов качества продукции. Кроме того, такая система своевременно сигнализирует оператору или диспетчеру о возникающих неполадках. При этом становится возможным сплошной контроль всех обрабатываемых деталей в реальном масштабе времени хода технологического процесса, а не только выборочный.

Традиционные методы измерений, позволяющие контролировать лишь малую часть изделий, иногда задерживающие процесс изготовления и требующие подчас большего времени, чем сам производственный процесс, становятся в гибких производственных системах недопустимым тормозом. Особенно это относится к контролю сложных корпусных деталей с рядом плоскостей, отверстий,

приливов и других элементов. Автоматическая измерительная машина способна без изменения позиции такой детали (без перевертывания) проверить концентричность, параллельность, перпендикулярность отверстий или их расположение под любым углом и все пространственные (трехмерные) размеры. Результаты контрольных измерений выдаются оператору в цифровом виде и могут передаваться в систему управления технологическим оборудованием для автоматической коррекции.

Кроме целей контроля, специальные измерительные машины могут применяться для программной автоматической разметки сложных деталей и профилей и руководить их обработкой через ЭВМ. Таким образом, повышается точность и качество разметки и обработки по сравнению с традиционными методами.

Важную роль при разработке адаптивных систем ЧПУ играет активный контроль размеров обрабатываемой детали и инструмента. Наряду с выносным контролем (на базе координатно-измерительных машин и роботов) широко применяется и встроенный контроль. Для организации такого контроля используются различные промышленные сенсоры: ультразвуковые, тактильные, телевизионные, оптические (в том числе лазерные и голографические) и другие виды датчиков.

Таким образом, система контроля и диагностики заготовок, оборудования, процессов в ГАП осуществляется в реальном масштабе времени – до, после и во время выполнения операции обработки.

## **5. ТРАНСПОРТНО-НАКОПИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ГАП**

### **5.1. Цели, задачи и роль автоматизированной транспортно-накопительной системы**

В связи с тем, что при создании ГАП появились новые задачи по автоматизации внутрицеховых и межоперационных транспортно-складских работ с ограниченным участием человека, механизация и автоматизация погрузо-разгрузочных работ значительно усложнилась. Это потребовало создания новых и совершенствования имеющихся видов транспортных средств, выполняющих автоматическое адресное распределение грузов; автоматизированных складских и накопительных систем, основным назначением которых являются промежуточное складирование материалов, полуфабрикатов и изделий между технологическими операциями; промышленных роботов, осуществляющих автоматическую погрузку или съём грузов; совершенствования автоматизированных систем управления всех уровней с применением микропроцессоров и электронно-вычислительных машин; внедрения новых прогрессивных технологических процессов транспортирования и складирования.

На предприятиях машино- и приборостроения с серийным типом производства время, когда детали находятся непосредственно в обработке, составляет не более 10 % от времени изготовления изделия. Остальное время приходится на процессы перемещения и хранения изделий и их составных частей. Это приводит к увеличению объемов незавершенного производства и другим последствиям, влияющим на снижение эффективности производства в целом. В связи с этим актуальной является проблема повышения непрерывности производственных процессов. Пути ее решения связаны с концентрацией технологических операций, специализацией производственных подразделений, а также с рациональной организацией транспортных и складских операций на основе технических средств автоматизированной транспортно-накопительной системы (АТНС).

Цель создания АТНС состоит в обеспечении эффективной работы производства за счет рациональной организации грузопотоков. Исходя из общей цели АТНС предназначена для выполнения следующих задач:

- своевременного обеспечения рабочих мест и производственных подразделений предметами и средствами труда;
- обеспечения согласованности, равномерности и ритмичности производственных процессов;
- уменьшения влияния сбойных ситуаций и повышения надежности функционирования производственной системы;
- обеспечения заданных показателей производительности и гибкости производственной системы.

При этом в зависимости от характера производства значимость выполнения отдельных задач меняется: для массового важнее согласованность и ритмичность, для серийного – гибкость.

Автоматизированная транспортно-накопительная система, являясь функционально самостоятельным звеном, является также элементом сложной производственной системы. Выполнение вышеперечисленных задач невозможно без взаимодействия с другими элементами этой системы. В свою очередь АТНС представляет собой две практически самостоятельные части: автоматизированную складскую (АСС) и транспортную (АТС) подсистемы.

Автоматизированная транспортно-накопительная система является основным связующим звеном, объединяющим все технологическое оборудование в единое целое. Роль АТНС в формировании производственной системы следует рассматривать в трех аспектах: организационном, структурном и функциональном.

**Организационный аспект** характеризуется мощностью грузопотока, входящего на предприятие, и решением задач по его оптимальному распределению. Качественное решение этих задач обеспечивает сокращение объема грузооборота предприятия, количества транспортных средств, длительности производственного цикла и, как следствие этого, снижение капитальных вложений и суммы годовых приведенных затрат на выпуск продукции.

**Структурный аспект** характеризуется ролью транспортно-накопительных систем при реализации межцехового, внутрицехового, участкового, межоперационного и внутриоперационного перемещения предметов труда и тарно-штучных грузов. Грузопотоки промышленного предприятия имеют множество взаимно пересекающихся и разветвленных связей. Транспортные связи охватывают межцеховые, межузастковые и межоперационные грузопотоки, а также все эле-



менты перемещений, включая ориентацию и установку заготовки, съем изделий и их кассетирование. Автоматические склады, кладовые и операционные накопители выполняют функции буферных устройств, сглаживающих нарушение ритма работы технологического оборудования.

Структура АТНС может быть подразделена на межцеховые, цеховые и локальные уровни (рис. 4). Если задачи межцехового и межузасткового транспорта заключаются в перемещении из одной точки пространства в другую необходимого количества грузов в минимальное время, то задачи межоперационного транспорта намного шире. Так, межоперационные перемещения объектов производства являются составляющим элементом внутрицехового транспортного процесса, от которого в значительной степени зависит производительность труда.

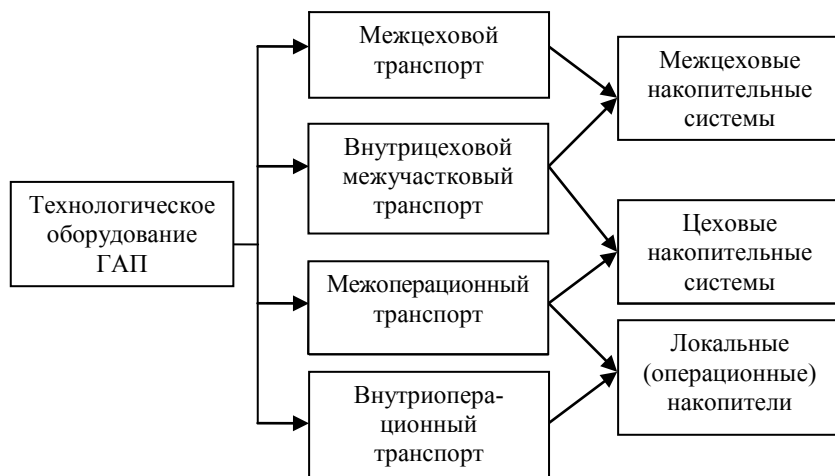


Рис. 4. Уровни АТНС

Организация перемещения деталей между оборудованием предусматривает их перемещение от одного рабочего места к другому; съем с транспортного средства и перемещение к загрузочному устройству (загрузочной позиции) станка; съем деталей с загрузочной (разгрузочной) позиции станка, их перемещение и установку на транспортное средство; накопление и хранение межоперационных заделов. При этом транспортные средства обслуживают определенное количество стан-

ков (адресов), имеющих различную производительность, определяемую выполнением технологических операций в заданном режиме. Поэтому актуальность проектирования межоперационного автоматизированного транспорта все более возрастает и выходит за рамки задач погрузо-разгрузочных и транспортно-складских работ.

При заданных программе выпуска, технологическом процессе, числе единиц оборудования тот или иной вариант транспортной системы участка в значительной мере определяет планировку оборудования, вспомогательное время, организацию обслуживания оборудования и соответственно трудоемкость процессов, а также размер и способ хранения межоперационных заделов. Таким образом, транспорт превращается из вспомогательного средства обслуживания производственного процесса в средство организационное, активно воздействующее на протекание технологического процесса и цикл производства в целом.

Одним из направлений, отражающих роль АТНС в производственном процессе, является увеличение доли основного машинного времени за счет сокращения продолжительности транспортно-нако-пительных и перегрузочных операций.

**Функциональный аспект** роли АТНС характеризуется уровнем гибкости, автоматизации, модульности и интеграции. Гибкость проявляется в способности производства приспособливаться к внешним воздействиям (изменению объемов выпуска, конструктивно-технологических параметров объектов производства, сроков и размеров партий заготовок, параметров инструмента и оснастки) и внутренним возмущениям, связанным с отказами оборудования и колебаниями различных показателей плана и нормативов.

Уровень автоматизации АТНС определяется соотношением функций, выполняемых автоматически, механизированным и ручным способами.

Принцип модульности заключается в построении оборудования АТНС и транспортно-складской тары из унифицированных модулей и агрегатов. Модульный принцип построения технических и организационных средств АТНС обеспечивает их адаптацию к изменяющимся условиям функционирования ГПС и сокращает расходы на проектирование и эксплуатацию производственных систем.

Уровень интеграции АТНС определяет четкость взаимодействия всего комплекса оборудования, входящего в ГПС.

Гибкая производственная система характеризуется:

- высокой степенью автоматизации технологических и обслуживающих производственных процессов;
- высокой степенью гибкости к изменению объемов и номенклатуры изготавливаемой продукции, а также к условиям функционирования;
- высокой степенью автоматизации и гибкости процессов управления;
- обеспечением ритмичности и непрерывности в условиях многономенклатурного единичного и мелкосерийного производства;
- минимальным временем и трудозатратами на переналадку оборудования и перестройку производственного процесса на изготовление других видов изделий;
- строгим контролем прохождения изделий на всех стадиях обработки;
- объединением технологического оборудования, транспортно-складских и загрузочных устройств в единую синхронизированную систему с многоуровневой системой управления;
- возможностью круглосуточной эксплуатации без участия человека.

При реализации в условиях производства рассмотренных особенностей АТНС возникает чрезвычайно тесная увязка основных и вспомогательных производственных процессов. Это связано с образованием единого комплексного технологического процесса при изменении роли транспортно-складских систем в общем производственном процессе. Склад становится центром планирования и регулирования производственного процесса на участках, а транспортная система – его организатором. Отпадают жесткие требования к принципам размещения оборудования по технологическому маршруту, т. к. организацию автоматизированного производственного процесса в основном определяют транспортно-накопительные системы и строгая регламентация вспомогательных процессов; особые требования к надежности работы всех систем и применение системы резервирования оборудования и страховых заделов для обеспечения надежности функционирования ГПС при аварийных ситуациях; четкость взаимодействия с вспомогательными участками и высокая степень автоматизации процессов управления.

Основная задача транспортно-складской системы цеха состоит в обеспечении его бесперебойной работы путем создания страховых

запасов материалов, заготовок, готовых деталей и инструмента, поддержания их на заданном уровне в местах хранения, транспортирования материалов, заготовок, готовых деталей, инструмента в соответствии с принятой организацией и технологией производства, регулярного удаления отходов производства за пределы цеха. Для выполнения данной задачи такая система должна иметь цеховую автоматизированную транспортную систему, цеховые склады заготовок, инструмента и готовых деталей, оперативные склады-накопители участков, транспортные системы участков, включая транспортную систему уборки отходов, а также комплексы транспортно-складского оборудования для обеспечения работы гибких производственных модулей, входящих в состав участков. При этом должны быть выполнены следующие операции:

- разгрузка внешнего транспорта;
- передача грузов на участок приема;
- проверка количества и качества прибывших грузов;
- сортировка грузов для их складирования по наименованиям и типоразмерам;
- укладка в складскую тару или в кассеты;
- ориентация деталей в таре;
- подача грузов к зоне хранения;
- укладка грузов на стеллажи в выделенные ячейки;
- отбор грузов с мест хранения;
- транспортирование грузов на участок выдачи или к накопителям робототехнологических комплексов;
- комплектация грузов для выдачи на производственный участок или внутризаводской транспорт;
- погрузка грузов на внутризаводской транспорт или передача их на следующую транспортную подсистему.

Таким образом, процесс функционирования АТНС следует рассматривать как совокупность операций, выполняемых с помощью различных технических средств. Операции совершаются над заготовками, инструментом, оснасткой, деталями и материалами, которые формируют транспортный поток:

- поток объектов изготовления, имеющий два состояния – заготовка и деталь;
- поток инструмента и оснастки;

- поток вспомогательных материалов и технологических средств;
- поток технологических отходов.

При этом предусматривается позиционирование указанных потоков в следующих зонах: обработки, промежуточного накопления, хранения.

Основными элементами АТНС, определяющими ее главные характеристики (вместимость и производительность), являются накопительные участки и транспортные устройства. При необходимости в АТНС совмещаются участки накопления и транспортирования, называемые транспортно-накопительными участками. Одни и те же типы транспортно-складского оборудования могут быть использованы в качестве как накопительных, так и транспортных устройств. Оборудованием, обеспечивающим накопление и транспортирование грузов в АТНС, может быть складской робот (автоматический стеллажный кран-штабелер), напольный транспортный рельсовый робот (тележка-оператор), напольный транспортный безрельсовый робот (робокар), подвесной транспортный робот и напольные конвейеры. Неотъемлемой частью накопительных участков, как правило, являются стеллажи различных типов. На перегрузочных участках происходит стыковка между накопительными участками и транспортными устройствами, на приемоотправочных участках – стыковка между транспортными устройствами (транспортно-накопительными участками) и технологическим оборудованием. Оборудование, осуществляющее эти функции, представляет собой специальные приемоотправочные устройства, созданные на базе различных подъемных и поворотных столов и роликовых конвейеров.

В составе ГПС транспортно-накопительные и складские комплексы формируются в автоматизированные транспортно-складские системы, управляемые ЭВМ.

К техническим средствам АТНС предъявляют следующие требования:

- возможность работы в автоматическом режиме, что может быть выполнено при наличии датчиков параметров и положения, приборов управления и исполнительных органов, рассчитанных на прием и исполнение команд в автоматическом режиме работы;
- обеспечение гибкости автоматизированного производства за счет эффективного реагирования транспортно-складской системы на изменение номенклатуры основного производства;

- универсальность транспортно-складского оборудования;
- надежность работы оборудования, обеспечивающая высокую степень отработки каждого элемента системы и возможность оперативной локализации неисправностей;
- совместимость по конструктивно-технологическим параметрам транспортно-складского и основного производственного оборудования;
- программная совместимость устройств управления транспортно-складскими средствами.

## 5.2. Автоматизированная складская система ГАП

Автоматизированная складская система ГАП предназначена для приема, хранения, учета и выдачи в производство исходного сырья, основных и вспомогательных материалов, заготовок, полуфабрикатов, комплектующих изделий, готовых изделий, порожней тары, инструмента и приспособлений, сменных захватных устройств и запасных частей для станков и ПР, используемых в ГАП; для накопления и временного хранения отходов производства с целью обеспечения ритмичного производственного процесса ГАП в режиме «безлюдной» технологии. Через склады в ГАП поступают и отправляются из него все материальные грузопотоки.

Автоматизированная складская система состоит из накопительного и вспомогательного оборудования и средств управления. *Накопительное оборудование* в зависимости от уровня АСС может быть выполнено в виде стеллажей, конвейеров различного конструктивного исполнения и локальных накопителей. *Вспомогательное оборудование* осуществляет функции автоматизации погрузочно-разгрузочных работ, ориентации грузовых единиц и контроля их параметров. По принципу организации АСС могут быть *централизованными* или *децентрализованными*. Централизация предусматривает размещение складского оборудования, предусмотренного для хранения различных грузов в едином блоке. При децентрализации складских систем ГПС накопительное оборудование размещается по производственно-функциональному принципу. АСС отдельных производственных подразделений объединяются автоматизированной транспортной системой и системой управления в соответствующую АТНС. При этом межцеховые и

заводские складские системы могут выделяться как самостоятельные автономные подразделения.

В состав АСС входят следующие составные элементы: стеллажные конструкции, автоматические штабелирующие машины, транспортно-складская тара, устройства для перегрузки тары со штабелирующей машины на накопитель, устройства для передачи тары с накопителя на транспортную систему ГПС, технические средства управления складами.

### 5.2.1. Автоматические склады

В зависимости от конструкции стеллажей и типа штабелирующих машин различают следующие **типы автоматических складов**:

- стеллажные с клеточными стеллажами и автоматическими стеллажными кранами-штабелерами;
- стеллажные с клеточными стеллажами и автоматическими мостовыми кранами-штабелерами;
- с напольными ориентирующими накопительными площадками для многоярусного штабелирования грузов в контейнерах и поддонах с подвесным автоматическим краном-штабелером;
- с мостовым автоматическим краном-штабелером для многоярусного штабелирования контейнерных грузов;
- с гравитационными стеллажами и автоматическими стеллажными кранами-штабелерами (каретками-операторами);
- с элеваторными стеллажами;
- подвесные;
- подвесные в сочетании с подвесным толкающим конвейером и автоматическим адресованием грузов;
- кассетного типа.

Наибольшее распространение в условиях многономенклатурных грузопотоков получили автоматические стеллажно-тарные склады со стеллажным вилочным автоматическим краном-штабелером (рис. 5). Стеллажи 2 обслуживаются одним автоматическим стеллажным краном-штабелером 1, который укладывает в ячейки стеллажа поданный с перегрузочного устройства 3 груз или забирает его из ячейки стеллажа и подает на перегрузочное устройство, откуда груз с помощью транспортного средства доставляется к станку.

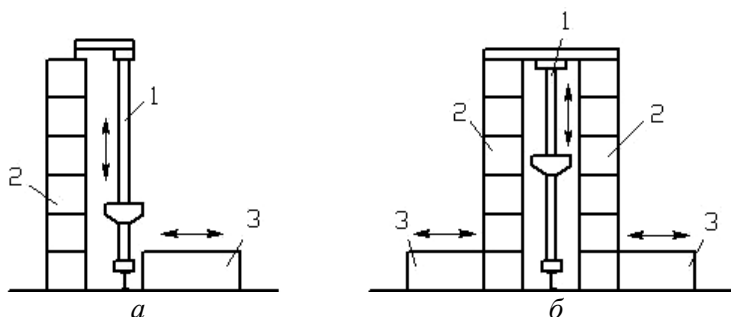


Рис. 5. Типовые схемы складов ГАП с автоматическим стеллажным краном-штабелером 1, одним (а) и двумя (б) стеллажами 2 и перегрузочными устройствами 3

Широкое распространение в ГАП складов с автоматическими стеллажными кранами-штабелерами объясняется их высокой производительностью, компактностью и легкостью автоматизации. К их недостаткам можно отнести малую грузоподъемность одной секции склада, особенно при небольшой высоте помещения. Для достижения достаточной вместимости требуется сооружение длинных стеллажей, что не всегда приемлемо по планировочным решениям и снижает производительность штабелеров из-за большой длины пробегов.

При количестве стеллажей более двух в каждом проходе между стеллажами должен быть установлен отдельный кран-штабелер. В особых случаях один кран-штабелер может обслуживать несколько стеллажей, но тогда он снабжается дополнительным устройством для перевода его из одного прохода в другой или вместо него используется мостовой кран-штабелер. В стеллажном складе, показанном на рис. 6, все стеллажи обслуживаются одним мостовым краном-штабелером 1. Стеллажные склады с автоматическими мостовыми кранами-штабелерами целесообразно применять в единичном и мелкосерийном производстве.

Автоматизированные склады с гравитационными стеллажами (рис. 7) используются в случаях, когда требуются сравнительно большие запасы грузов при их незначительной номенклатуре. В состав такого склада входит кран-штабелер для подачи грузов на гравитационные стеллажи и кран-штабелер для выдачи грузов со стеллажей. Гравитационные склады позволяют эффективно использовать



площадь и объем производственного помещения, т. к. между стеллажами отсутствуют проходы.

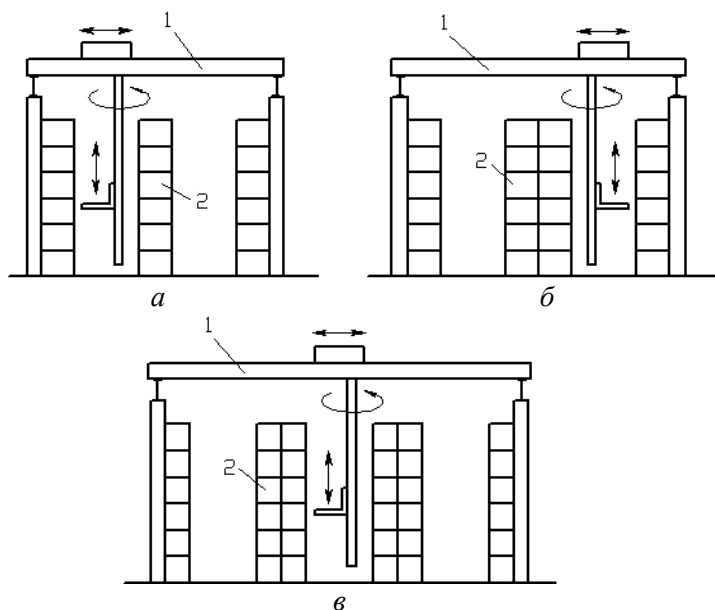


Рис. 6. Типовые схемы складов ГАП с автоматическим мостовым краном-штабелером 1 и тремя (а), четырьмя (б) и шестью (в) стеллажами 2

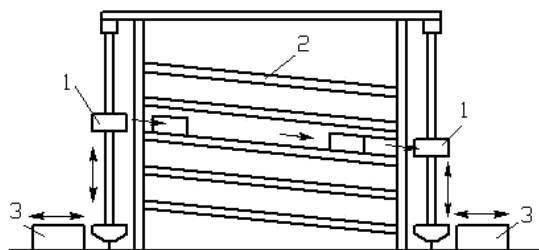


Рис. 7. Схема автоматизированного склада ГАП с гравитационными стеллажами 2, автоматическими каретками-операторами 1 и перегрузочными устройствами 3

Склады с автоматизированными элеваторными стеллажами (рис. 8) целесообразно применять при малых грузопотоках, небольших запасах и сроках хранения грузов небольших размеров.

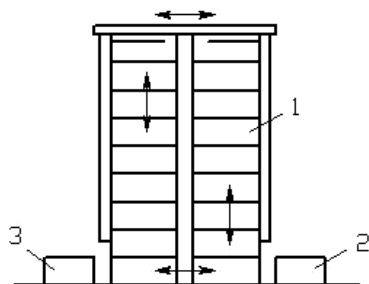


Рис. 8. Схема автоматизированного склада с элеваторными стеллажами 1 и перегрузочными устройствами 2 и 3

Автоматический склад может включать в себя:

- зоны хранения груза;
- участки приема и выдачи грузов на внутривозводской транспорт;
- участки укладки деталей или изделий в транспортно-складскую тару;
- участки приема и выдачи грузов из зоны хранения;
- участки приема и выдачи грузов на внутрисистемный транспорт ГПС.

Выбор типа склада, его размещение и планировка зависят от типа и вида производства, типа, размеров и количества складироваемых грузов, типа внутрицехового и внутрисистемного транспорта, строительных характеристик производственного здания (ширины пролета, полезной высоты, допустимых нагрузок на пол и др.). При этом необходимо принимать во внимание следующие факторы:

- материалы, занимающие наибольший объем, должны быть расположены так, чтобы максимально уменьшить путь прохождения при выдаче их со склада;
- количество типоразмеров тары должно быть минимальным;
- на автоматическом складе должно быть два грузопотока: на склад и со склада.

Наиболее рациональной является такая компоновка складов, когда они максимально приближены к технологическому оборудованию. При больших грузопотоках и объемах хранения грузов целесообразно предусматривать один склад для заготовок, другой – для готовых изделий, которые располагаются по торцам технологической линии ГПС.

### 5.2.2. Оборудование автоматических складов

Для автоматизации складских и погрузочно-разгрузочных работ современный автоматический склад оснащен разнообразным оборудованием: стеллажами для хранения грузов, транспортно-складской тарой, автоматическими штабелерами, устройствами перегрузки, различными накопителями, устройствами комплектации тары и автоматического распределения грузов, счетным оборудованием, грузозахватными приспособлениями, другим вспомогательным оборудованием, а также системой автоматического управления складом.

**Стеллажные конструкции.** Стеллажные конструкции относят к накопительному оборудованию ГПС. Они характеризуются следующими типами конструкций:

- стеллажи сборно-разборные бесполочные (с консольными опорами) и каркасные (с балочным настилом);
- стеллажи сварные бесполочные и каркасные;
- стеллажи гравитационные с дисковыми и трубчатыми роликами, с тормозными устройствами и без них;
- стеллажи элеваторные приводные с автоматическим управлением.

Выбор типа и параметров стеллажных конструкций обусловлен особенностями и спецификой создаваемых ГПС. Стеллажи должны быть выполнены в сборно-разборном варианте с возможностью образования различных вариантов конструкций.

Стеллажи-накопители применяются в нескольких вариантах компоновок. Двустороннее размещение стеллажей на полу пролета с нижним ярусом ячеек непосредственно над необслуживаемой транспортным роботом зоной (550–700 мм от уровня пола) представлено на рис. 9, а. Одностороннее размещение стеллажей на полу пролета показано на рис. 9, б. Двустороннее размещение стеллажей с нижним ярусом ячеек на высоте 2100–2900 мм над уровнем пола иллюстрирует рис. 9, в. Двустороннее комбинированное размещение стеллажей, при котором один ряд стеллажей устанавливается на полу пролета, а другой размещается на высоте 2100–2900 мм над уровнем пола, представлено на рис. 9, г. Комбинированное трехрядное размещение стеллажей для двух параллельно работающих роботыштабелеров, при котором два наружных ряда стеллажей размещаются на высоте 2100–2900 мм над уровнем пола, а средний ряд

стеллажей, обслуживаемый двумя роботами-штабелерами, размещается на полу цеха, представлено на рис. 9, д.

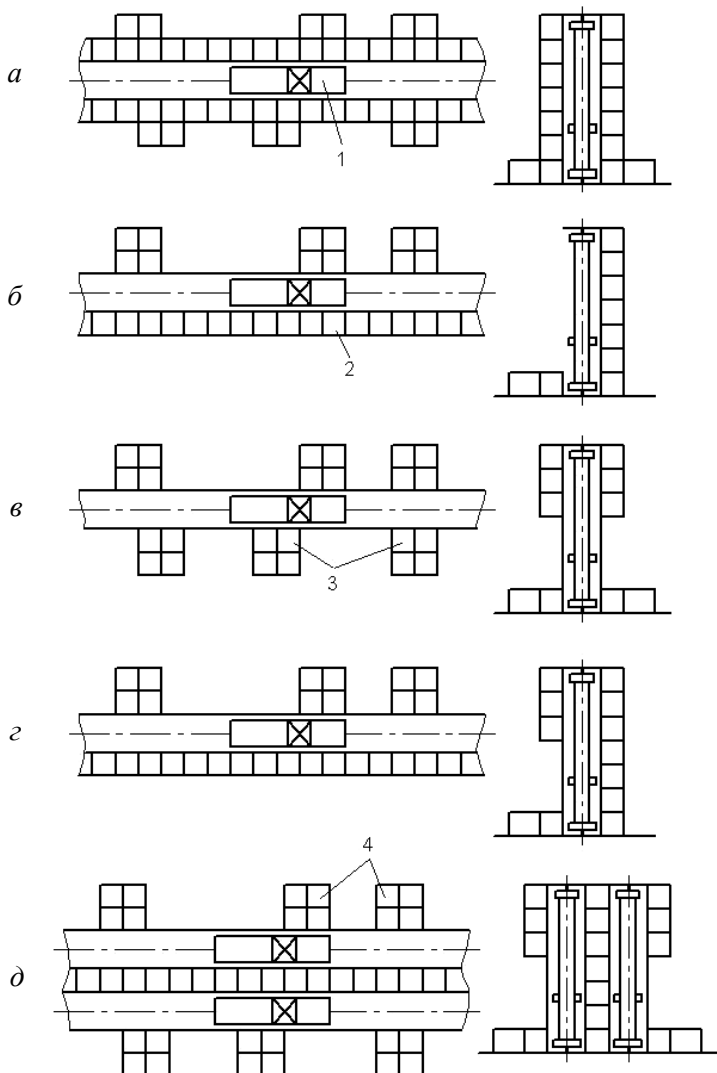


Рис. 9. Компонентные схемы расположения стеллажей в автоматизированных складах:

1 – робот-штабелер; 2 – стеллаж; 3 – приемо-отправочные механизмы; 4 – передаточные механизмы

**Транспортно-складская тара.** На автоматических складах заготовки, детали и изделия перегружаются и складываются на стеллажах в транспортно-складской таре, представляющей собой ящичные, сточные или плоские поддоны, или в специальной технологической таре в виде кассет или спутников. При обработке крупных деталей в ГПС на многоцелевых станках заготовки обычно устанавливаются и закрепляются на специальных приспособлениях-спутниках, на которых они транспортируются как к станкам, так и на склад.

В условиях серийного производства легких и средних изделий наиболее часто применяют обратную унифицированную тару. Такой тарой служат металлические и пластмассовые ящики (контейнеры), поддоны, в которые укладываются заготовки. Укладка может быть строго ориентированной с жесткой фиксацией в специальных кассетирующих устройствах (вкладышах), а также без фиксации. При едином типоразмере самой кассеты вкладыши могут быть нескольких модификаций.

Конструкция производственной тары, предназначенной для механизированного перемещения и погрузки, должна соответствовать требованиям многоярусного складирования, штабелирования и т. д. Для этого она должна иметь одинаковые установочные размеры с фиксирующими элементами, расположенными на основании тары, а также одинаковые места захвата, расположенные сверху и предназначенные для удержания и переноса тары манипулятором подвешенного, напольного или стационарного робота. Тара может быть мерной, что позволяет упростить учет и контроль грузооборота.

**Штабелирующее оборудование.** К штабелирующему оборудованию, применяемому в АСС, относятся стеллажные и мостовые краны-штабелеры, которые могут быть с ручным, полувтоматическим и автоматическим управлением. К штабелирующему оборудованию, эксплуатируемому в условиях ГПС, предъявляют следующие требования:

- штабелер должен быть оборудован кареткой с двусторонним захватом, с помощью которого тару устанавливают в ячейке стеллажа;
- подвод электропитания к штабелеру следует осуществлять гибким кабелем или с помощью троллеев;
- штабелер, каретка и захват должны иметь блокировочные устройства, предупреждающие наезд штабелера на упоры концевой защиты и препятствия;

– конструкция штабелера должна обладать достаточной жесткостью, обеспечивать точность позиционирования, необходимую для надежной работы склада;

– в конструкции штабелера должны быть установлены датчики, выдающие информацию в систему управления;

– тормозные устройства приводов должны обеспечивать безопасную эксплуатацию штабелера.

Технические требования к конструкции кранов-штабелеров можно разделить на две группы: требования к геометрическим характеристикам кранов-штабелеров и требования к их скоростным характеристикам. Геометрические характеристики должны обеспечивать наиболее полное использование объема зоны хранения, т. е. возможность обслуживания всех ячеек склада. Скорости передвижения штабелирующих машин в АСС по горизонтали и вертикали должны быть достаточно большими для достижения высокой производительности. Но при этом необходима также возможность их перемещения и с малыми скоростями до 2 м/мин для мостовых кранов и до 4 м/мин для стеллажных, т. к. это очень важно для их точного позиционирования относительно ячеек склада.

Штабелер представляет собой сборную конструкцию, состоящую из приводной тележки и установленной на ней рамы. По направляющим рамы перемещается каретка, на которой смонтирован сдвоенный телескопический захват грузов. Приводы горизонтального перемещения штабелера по рельсовому пути с верхней направляющей балкой и вертикального перемещения каретки с телескопическим захватом находятся на тележке штабелера. Привод механизма выдвижения телескопического захвата размещен на каретке. На концах направляющих расположены амортизационные упоры. На основании стеллажа и на направляющих штабелера установлены реперные флажки. Команды на перемещение и точную остановку всех механизмов штабелера и механизмов выдачи тары подаются от системы управления складом автоматически по программе или от оператора.

Штабелер в горизонтальном, а каретка в вертикальном направлении перемещают тару с грузом к свободной ячейке стеллажа. Привод, размещенный на каретке, перемещает захватное устройство в горизонтальном направлении поперек склада. При опускании каретки тара устанавливается в ячейку стеллажа. Съем тары из ячейки стеллажа происходит в обратном порядке. Привод выдвигает

ет захватное устройство поперек склада под тару. При подъеме каретки захватное устройство подхватывает тару со стеллажа, затем захватное устройство вытягивается в нейтральное положение. После этого штабелер перемещает тару к перегрузочному устройству.

Краны-штабелеры с программным управлением (роботы-штабелеры) нашли широкое применение в ГПС. Роботы-штабелеры имеют грузоподъемность до 1000 кг. В них программируется горизонтальное перемещение штабелера по рельсовым направляющим, вертикальное перемещение каретки по направляющим рамы и горизонтальное выдвижение телескопического захвата.

**Перегрузочные устройства.** Перегрузочные устройства используются для загрузки и разгрузки транспортирующего, складского и технологического оборудования, входящего в ГПС. Их устанавливают на стыках между оборудованием АТНС и основным технологическим оборудованием. Надежная работа технологических и транспортных комплексов ГПС зависит во многом от работы перегрузочных устройств.

Перегрузочные устройства АСС предназначены для:

- разгрузки грузов с внутривозовского транспорта;
- передачи прибывших грузов в таре или в кассетах в зону действия автоматических кранов-штабелеров;
- передачи выдаваемых грузов из зоны действия автоматических кранов-штабелеров на внутривозовской транспорт или в транспортную систему ГПС;
- укладки заготовок, деталей, изделий в транспортно-складскую тару или кассеты;
- накопления грузов после приема их с транспорта или перед погрузкой на него.

Для выполнения перегрузочных операций применяют различные устройства, начиная с простейших типа «гладкий спуск» и заканчивая такими сложными, как роботы и манипуляторы. Тип перегрузочных устройств обусловлен особенностями перегружаемой детали и технологического процесса.

К перегрузочным устройствам относятся:

- столы точного позиционирования (с фиксирующим устройством для точной установки тары или кассет);
- столы и тележки двухпозиционные одно- и двухъярусные (первая позиция – перегрузка с внутривозовского транспорта на перегру-

зочное устройство или в обратном направлении; вторая позиция – перегрузка на автоматический кран-штабелер и в обратном направлении; один ярус – для приема груза, второй – для выдачи груза);

- конвейеры одно- и двухъярусные – роликовые, цепные, пластинчатые, ленточные – с позицией точной установки грузов;

- специальные перегрузочные устройства и накопители (горизонтального, вертикального, карусельного типов и т. д.);

- роботы и манипуляторы;

- столы поворотные и подъемные;

- столы и конвейеры, встроенные в конструкции стеллажей;

- толкатели и подъемники;

- поворотные и многопозиционные столы и тележки.

Наиболее простую конструкцию имеют перегрузочные устройства гравитационного типа, у которых перемещение транспортируемых деталей происходит под действием составляющей сил тяжести. В ГПС чаще используют роликовые спуски, с помощью которых перегружаются самые разнообразные заготовки, детали, узлы машин, различная технологическая оснастка. В зависимости от технологических особенностей перегрузочных процессов применяют прямолинейные, криволинейные и спиральные роликовые спуски. Достоинство роликовых спусков – простота конструкции и обслуживания, надежность в эксплуатации, невысокая стоимость. Несколько реже применяются гладкие спуски, которые могут выполняться прямолинейными, спиральными и вертикальными.

Прямолинейные гладкие спуски могут выполнять функции перегрузочного устройства в различных транспортно-складских системах ГПС, осуществляя передачу груза с одного технологического устройства на другое, рабочий орган которого расположен ниже, чем у первого. Одновременно с перегрузкой прямолинейный спуск часто осуществляет операцию по накоплению обрабатываемых деталей и выдачи их в соответствии с заданным алгоритмом. Прямолинейные гладкие спуски применяют при перегрузке тарно-штучных грузов на различные устройства: напольные конвейеры, накопители, рабочие столы и т. д. При значительном перепаде высот перегрузки применяют гладкие спуски спирального типа. Они занимают меньшую площадь, могут иметь значительный угол наклона, обеспечивают подачу и выдачу грузов в различных направлениях.



Перегрузочные устройства сбрасывающего и толкающего типов используют в ГПС для разгрузки крупногабаритных штучных изделий и контейнеров. Перегрузочные устройства толкающего типа применяют в основном для обслуживания различного подъемно-транспортного оборудования: напольных и подвесных конвейеров, самоходных тележек, штабелеров, подъемных и поворотных столов, бункеров и т. д.

Широкое распространение получили горизонтальные толкающие перегружатели для двухпозиционной перегрузки, когда деталь переталкивается с одной позиции на другую. При этом опорные плоскости могут быть неподвижными или находиться в движении, например, находиться на полотне напольных конвейеров, подвеске грузонесущего конвейера, тележке. Встречаются случаи, когда перегрузка производится с неподвижной плоскости на подвижную, с подвижной – на неподвижную и с неподвижной – на неподвижную, а также, когда переталкивание осуществляется в пределах одной и той же поверхности.

Вертикальные толкатели применяют в системах АТНС для реализации различных схем перегрузки: с напольного конвейера на напольный, с напольного – на подвесной, с конвейера на транспортные устройства самоходного типа и т. д.

В толкающих перегружателях применяют пневматический, гидравлический или электрический привод. Электромеханические приводы применяют в тех случаях, когда необходима многопозиционная остановка рабочего органа толкателя. В других случаях чаще всего используют системы с гидравлическими и пневматическими приводами.

Применяют подъемные столы с гидро- и пневмоприводами, у которых установочная платформа соединена с рычажной системой, перемещаемой силовым цилиндром. Используют также вертикальные перегружатели с пневмо- и гидроприводами и цепной передачей. В электромеханических вертикальных перегружателях применяют винтовые, реечные и цепные передачи. Винтовые вертикальные перегружатели применяют при высоте подъема до 2 м. Точность позиционирования до  $\pm 0,2$  мм.

Тележечные перегружатели содержат тележку и механизм перегрузки, который может выполняться в виде захватов, переталкивателей, сбрасывателей и т. д. Кроме операции перегрузки в некото-

рых случаях эти устройства выполняют также операции транспортирования деталей. Тележечные перегружатели можно разделить на две основные группы: напольные и подвесные. Напольные перегружатели, в свою очередь, делят на рельсовые и безрельсовые, подвесные – на однорельсовые и мостовые. Тележечные перегружатели напольного типа имеют ходовую часть с двумя осями, несущими опорные колеса. Одна или две оси могут быть поворотными, причем обычно одна из колесных осей является ведущей, а другая ведомой. Если привод колес выносят за пределы тележки, то вращение их осуществляется через гибкий тяговый орган, выполненный в виде цепной передачи. Подвесные тележечные перегружатели монтируют обычно на базе узлов серийно выпускаемых электроталей, электротягачей, пневмоподъемников с использованием специализированных захватов.

Поворотные устройства в ГПС используют для межоперационного поворота деталей в процессе обработки. Их применяют также для изменения направления перемещения детали при ее транспортировании и складировании. По положению оси поворота в пространстве различают поворотные столы, барабаны и кантователи. В поворотных столах ось вращения располагается вертикально, в поворотных барабанах – параллельно направлению транспортирования деталей, а в кантователях она наклонна.

Если вследствие технологических причин деталь не может быть перемещена из одного положения в другое одним или двумя движениями, то применяют манипуляторы или роботы, обеспечивающие несколько движений.

Наряду с перегрузочным оборудованием используют комплексы вспомогательного оборудования, представляющие собой автоматизированные рабочие места для комплектации спутников и кассет.

**Накопители и приемопередающие механизмы.** В серийном производстве технологический процесс связан с частыми переналадками различного рода, что вызывает необходимость использования универсальных и в то же время простых накопителей деталей. Накопители служат для временного хранения упорядоченных или частично упорядоченных деталей, инструментов, захватов промышленных роботов, а также различных приспособлений. Разнообразием накопителей для инструментов являются инструментальные магазины. Для деталей и изделий в зависимости от массы,

формы и габаритных размеров в качестве накопителей применяют бункеры, кассеты, штабельные накопители и т. д. Для приспособлений обычно используют полочные накопители.

Различают следующие **виды накопителей**:

– *загрузочные* – служат преимущественно для автоматизации манипулирования предметами на отдельном оборудовании;

– *компенсирующие* – используются на поточных линиях для текущей компенсации интервалов по времени выполнения операции;

– *буферные* – применяются для свободного или комбинированного соединения оборудования в ГПС для исключения простоев, вызванных неисправностью оборудования;

– *промежуточные* – их использование обусловлено технологической или организационной необходимостью.

Объекты манипулирования могут быть расположены в накопителе в упорядоченном, частично упорядоченном или хаотическом состоянии. В соответствии с этим накопители называют *магазинными, штабельными* или *бункерными*.

Приемоотправочные механизмы на рабочих местах участка служат для перемещения специальной тары от робота-штабелера в зону рабочего места и обратно, а также для накопления оперативного задела деталей на рабочем месте. Приемоотправочные механизмы оснащаются устройствами считывания кода специальной тары или датчиками наличия тары на приемной, отправочной, рабочей и накопительной позициях.

Компоновка складских подсистем ГПС зависит от типа и характера производства, производственной программы, типа внутрицехового и внутрисистемного транспорта, характеристик строительной части производственного корпуса (ширины пролета, полезной высоты, допустимых нагрузок на пол и др.), в котором размещается ГПС, а также типа и оборудования самих складов, их основных параметров и прочих факторов.

Современные автоматизированные склады промышленных предприятий представляют собой сложные технические системы, которые характеризуются многообразием возможных технологических и объемно-планировочных решений. Так, по ширине пролетов и высоте от пола до низа ферм возможны 42 варианта зданий из стандартных строительных конструкций. По способам складирования и схемам автоматизации возможны 60 вариантов штабельного хране-

ния, по сочетаниям складской тары и стеллажного оборудования – 56 вариантов (не считая специальных стеллажных систем), по сочетаниям складской тары и штабелируемого оборудования – 34 варианта, по нормализованной складской таре – 72 варианта и т. д.

Наиболее рациональной является такая компоновка складов в ГПС, когда они максимально приближены к технологическому оборудованию. В этом случае автоматический кран-штабелер или транспортно-складской робот не только выполняет функции складирования, но и распределяет материалы, заготовки и готовые изделия по рабочим местам. При этом обеспечивается экономия производственных площадей, непосредственная стыковка склада с транспортом и роботизированными технологическими комплексами, повышение надежности всей транспортно-складской системы ГПС; происходит общий рост производительности труда и уменьшение затрат на выполнение операций перемещения в ГПС.

Рационально скомпоновать транспортно-складские системы в ГПС возможно при использовании в качестве транспортно-складских роботов автоматических стеллажных кранов-штабелеров и при расположении одного или нескольких стеллажей вдоль производственного участка, рядом с робототехнологическими комплексами.

Единый многофункциональный склад с клеточными стеллажами и автоматическим стеллажным краном-штабелером используют при небольших грузопотоках, незначительных сроках и объемах хранения заготовок и готовых изделий.

При линейных компоновках ГПС склады располагаются в торцах производственного участка и оснащаются стеллажными или мостовыми кранами-штабелерами. При сравнительно небольших грузопотоках автоматические краны-штабелеры можно применять в качестве транспортно-складских роботов, предназначенных не только для обслуживания стеллажного склада или транспортных операций в пределах длины стеллажей, но и для подачи заготовок и материалов непосредственно на перегрузочные устройства робототехнических комплексов, выходящих за пределы стеллажей.

Компоновочные схемы со стеллажными кранами-штабелерами применяют при больших грузопотоках и незначительных объемах хранения грузов, а с мостовыми кранами-штабелерами – при меньших грузопотоках и больших объемах хранения материалов, заготовок и готовых изделий. При больших грузопотоках и объемах

хранения грузов рекомендуется создавать отдельные склады для заготовок и готовых изделий. При этом транспортные операции внутри ГПС осуществляются или транспортно-складскими роботами, обслуживающими одновременно стеллажные склады, или самостоятельной транспортной подсистемой.

### **5.3. Автоматизированная транспортная система ГАП**

#### **5.3.1. Требования к автоматическому транспорту**

Транспортные средства являются связующими звеньями между различными видами оборудования ГПС. С их помощью обеспечивается получение и возврат размещаемых в накопителях заготовок, полуфабрикатов, материалов, комплектующих изделий и технологической оснастки и их перемещение в заданном направлении и с заданной скоростью; установка доставленных грузов на приемные устройства с заданной точностью; транспортирование готовой продукции на склад, производственных отходов в места их накопления или переработки, использованного ранее инструмента и технологической оснастки на пункты контроля и подготовки для дальнейшего применения и др.

В отличие от традиционного подъемно-транспортного оборудования транспортные средства, используемые в ГПС, должны создавать условия для возможности работы системы в автоматическом режиме. В связи с этим средства транспортирования ГПС должны обеспечивать:

- возможность стыковки по основным параметрам со складским и технологическим оборудованием;
- заданную ориентацию перевозимого груза;
- заданный ритм работы;
- точность позиционирования;
- программную совместимость устройства управления с верхним уровнем управления;
- требования техники безопасности;
- агрегатно-модульный принцип построения.

Следует также отметить высокие требования к надежности, т. к. транспортные средства, как правило, не дублируются никакими другими видами оборудования, в результате чего отказ транспортиру-

ющих средств ГПС приводит к остановке производственного процесса. Это положение обосновывается тем, что в ГПС используются не отдельные транспортные средства, а система взаимосвязанных между собой машин и механизмов. При этом неизмеримо возрастает роль так называемого вспомогательного оборудования (перегрузочных устройств, адресователей, кантователей и т. д.), без которых процесс передачи грузов к основному технологическому оборудованию и обратно автоматизировать невозможно.

**Автоматическое оборудование транспортной системы.** Оборудование АТС делится на *основное* и *вспомогательное*. К основному оборудованию АТС относятся конвейерные системы, монорельсовые подвесные дороги, транспортные роботы, устройства пневмо- и гидротранспорта, ПР, а также ЭВМ, микропроцессоры, датчики и пульта управления. К вспомогательному оборудованию АТС относятся ориентаторы, адресователи, толкатели, сбрасыватели, подъемные и поворотнo-координатные столы, подъемники, перегрузочные тележки и др.

### 5.3.2. Конвейерный транспорт

**Конвейерные системы** (конвейеры) предназначены для непрерывного транспортирования груза. В ГАП конвейеры используются как основной магистральный транспорт, а также для выполнения дополнительных операций, в частности автоматической загрузки и выгрузки.

Конвейерный транспорт может быть использован для:

- транспортирования заготовок, готовых деталей, тары, оснастки между цехами и автоматизированными складами, между участками внутри цехов и складов;
- транспортирования заготовок (деталей) на приемные позиции для пополнения их запаса на складах или в накопителях, установленных около каждого станка;
- транспортирования заготовок на приемные позиции станка из другого модуля или в другой модуль ГПС для продолжения обработки;
- транспортирования обработанных деталей на позиции разгрузки;
- транспортирования обработанных деталей на позиции контроля и возвращения их обратно после межоперационного контроля для дальнейшей обработки;

– приема заготовок или тары на склад (приемные конвейеры) или выдачи со склада (отводящие конвейеры);

– удаления отходов.

Кроме функций транспортирования нередко конвейеры выполняют функции накопителей.

Различают конвейеры, действующие с помощью привода, самоходные (гравитационные), в которых груз перемещается под действием силы тяжести, пневматические и гидравлические, в которых движущей силой является соответственно поток воздуха или жидкости, а также магнитные конвейеры для перемещения ферромагнитных грузов в магнитном поле. Классификация конвейеров приведена на рис. 10.

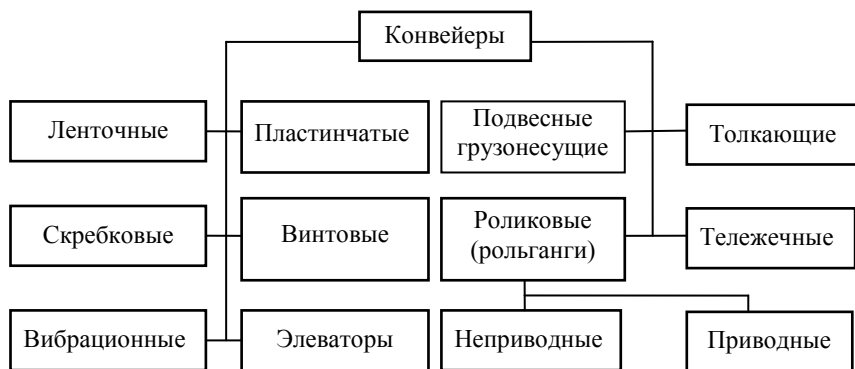


Рис. 10. Классификация основных типов конвейеров

По характеру движения рабочего органа различают конвейеры *непрерывного* и *дискретного действия*. Большинство приводных конвейеров являются непрерывно действующими, за исключением шаговых, которые работают периодически. По направлению к трассе перемещения грузов конвейеры бывают *вертикально замкнутыми* с трассой, расположенной в одной вертикальной плоскости; *горизонтально замкнутыми* с трассой, расположенной в одной горизонтальной плоскости; *пространственными*, в которых грузы перемещаются по сложной, пространственной трассе. Трасса конвейера может быть также *неветвящейся*, когда существует постоянно один

поток грузов, и *ветвящейся*, в которой один поток грузов разделяется на несколько грузопотоков или, наоборот, несколько потоков объединяются в один. По назначению конвейеры, применяемые в АТНС, можно разделить на *приемные* и *отводящие*, *приемно-передающие*, *межоперационные* и *конвейеры-накопители*. Скорость конвейеров – 0,006–0,75 м/с. Скорость конвейеров выбирают из условия обеспечения требуемой производительности.

Наиболее распространенными типами конвейеров являются ленточные, пластинчатые и подвесные толкающие с автоматическим адресованием грузов.

Ленточные конвейеры предназначены для транспортирования насыпных и штучных грузов в горизонтальном направлении. Конвейеры имеют только плоскую форму рабочей ветви, небольшую мощность и малые скорости привода. Основой конвейера является гибкая лента из прорезиненной ткани, служащая одновременно тяговым и грузонесущим органом. Верхняя и нижняя ветви ленты поддерживаются роликовыми парами. Постоянное натяжение ленты обеспечивается винтовыми натяжными устройствами.

Пластинчатые конвейеры предназначены для транспортировки насыпных и пластинчатых грузов. На конвейерах с усиленным настилом допускается транспортирование отливок и поковок с температурой до 400 °С. Пластинчатый конвейер состоит из приводной и натяжной станций, секции ходовой части, привода. Тяговым органом являются две цепи, к которым крепятся пластины с бортами, образующие настил. Конструкция конвейера предусматривает его установку под углом до 30°.

Ленточные, пластинчатые и роликовые конвейеры обеспечивают высокую надежность транспортных связей; они дешевы и просты в исполнении.

Толкающие конвейеры с автоматическим адресованием грузов являются комплексными автоматическими внутрицеховыми и междеховыми транспортными системами, предназначенными для бесперегрузочной доставки грузов и организации автоматизированных подвесных складов. Ходовая часть конвейера состоит из подвижных тележек, к которым крепится груз, тяговой цепи, грузового пути со стрелками-ловителями на спусках и пути цепи. Путь крепится к металлоконструкциям зданий или отдельным металлоконструкциям.



Подвесные элеваторы с автоматическим адресованием могут выполнять функции накопителей. Для транспортирования отходов используют скребковые, пластинчатые и винтовые конвейеры.

### **5.3.3. Монорельсовые подвесные дороги**

Монорельсовые подвесные дороги применяются для межцеховых и внутрицеховых грузопотоков. Их положительными качествами по сравнению с конвейерными системами являются:

- высокая экономичность;
- малое использование производственных площадей;
- автоматическое адресование с использованием программного управления;
- использование более простого устройства для разветвления монорельсовых путей;
- возможность сооружения трассы практически в любом месте;
- удобство обслуживания благодаря доступности подхода ко всем механизмам и электрооборудованию;
- более высокий диапазон скоростей;
- малые горизонтальные усилия на крепления;
- отсутствие необходимости в повышении мощности привода при увеличении числа ходовых тележек;
- бесшумность хода тележек;
- возможность движения тележек одной монорельсовой системы с различными скоростями;
- малая масса и незначительная строительная высота.

В транспортную систему входят:

- подвижной состав;
- грузоноситель, включающий грузоподъемный механизм и грузозахватные устройства;
- путевые устройства;
- эстакада;
- средства автоматизации и управления;
- система электроснабжения.

По сложности схемы дороги подразделяются на элементарные, простые и сложные. Элементарная схема не имеет ответвлений, простая схема имеет до пяти стрелочных переводов, а сложная схема может иметь множество стрелочных переводов, поворотных кругов

и межэтажных подъемников. Максимальная грузоподъемность монорельсовых дорог достигает 20 т.

Управление подвижным составом монорельса включает операции по переводу стрелок, изменению скорости движения; остановки и согласование с работой накопительных и передаточных устройств.

К недостаткам монорельсовых дорог так же, как и конвейеров, можно отнести сложность изменения длины и направления трассы, перехода на большую грузоподъемность и достижения высокой точности позиционирования.

Подвесной грузонесущий конвейер служит для непрерывного транспортирования штучных грузов по замкнутому контуру сложной, зачастую пространственной трассы. Применяется для межцехового, межэтажного и межкорпусного транспортирования. Подвесной грузонесущий конвейер обладает следующими особенностями:

- пространственной гибкостью;
- большой протяженностью;
- возможностью создания на конвейере подвижного запаса изделий;
- малым расходом энергии на транспортирование;
- возможностью автоматизации транспортных и погрузочно-разгрузочных операций.

Такой конвейер состоит из тяговых цепей, ходовых путей и кареток. Повороты конвейера в горизонтальной плоскости осуществляются с помощью звездочек, блоков или роликовых батарей. В качестве натяжных устройств обычно используют грузовые, пневматические, гидравлические, пружинно-винтовые и винтовые натяжные устройства.

Общая длина подвесного конвейера может достигать 500 м при одноподвижном и 2000 м при многоподвижном приводе. Скорость подвесных грузонесущих конвейеров может достигать 0,5–0,75 м/с. Скорость подвесных конвейеров при межцеховом транспортировании, как правило, составляет 0,08–0,2 м/с. Шаг подвесок зависит от заданной производительности, скорости конвейера и габаритных размеров грузов (из условия проходимости на вертикальных перегибах). Характерный шаг подвесок при межцеховом транспортировании – 2–4 м.

Подвесные толкающие конвейеры наряду с межцеховым транспортированием выполняют функции внутрицехового транспорта, межоперационных передач и накоплений. Отличие толкающих конвейер-

ров от обычных грузонесущих заключается в отсутствии постоянной жесткой связи между приводным органом – цепью – и тележкой, транспортирующей груз. Оно достигается путем расчленения трассы конвейера на два пути: тяговый и грузовой. По тяговому пути движутся каретки приводной цепи, а по грузовому – грузовая тележка. Подвесной толкающий конвейер состоит из следующих узлов и элементов:

- транспортного пути, по которому перемещаются грузовые тележки, и пути цепи, по которому перемещаются каретки с толкателями;
- грузовой тележки, предназначенной для перемещения грузов вдоль трассы;
- тягового устройства, включающего цепь, каретку, звено толкателя;
- угловых и прямых передач, предусмотренных для перевода подвижного состава с одного пути на другой;
- останова, служащего для расцепления головной тележки и толкателей цепи;
- приводных и натяжных устройств;
- устройств путевой автоматики.

#### 5.3.4. Транспортные роботы

**Транспортные роботы** являются универсальным гибким средством реализации межучастковых и межоперационных связей. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с другими транспортными средствами:

- малогабаритностью подвижного состава;
- большим диапазоном регулирования производительности;
- автоматическим перемещением;
- автономностью;
- возможностью освобождения проездов для других видов транспорта после окончания работы.

Все транспортные роботы делятся на *напольные* и *подвесные*. Напольные транспортные роботы могут быть рельсовыми и безрельсовыми, а подвесные – монорельсовыми, консольно-крановыми и порталными. Классификация транспортных роботов приведена на рис. 11.

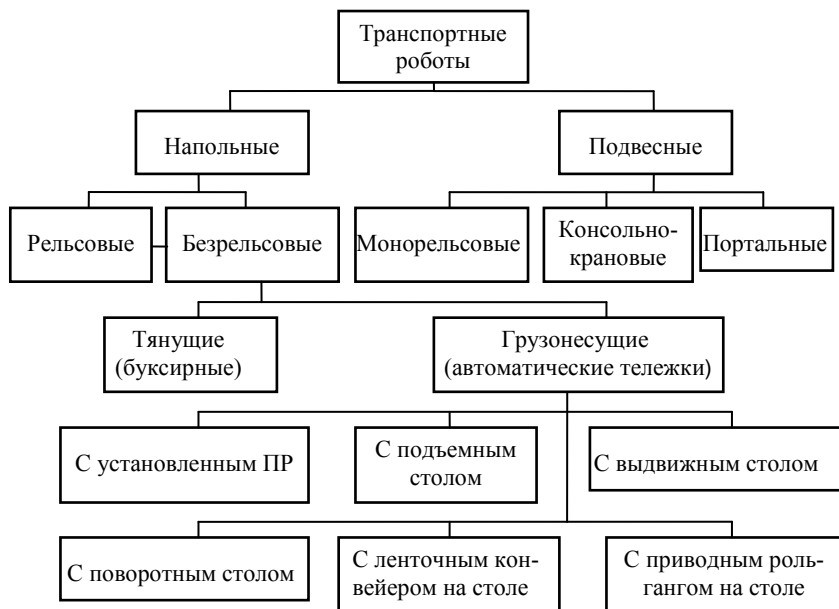


Рис. 11. Классификация транспортных роботов

Для организации АТС в ГПС наибольшее применение нашли напольные безрельсовые автоматические тележки (робокары), которые могут быть грузонесущими и тянущими. К последним относятся тя-гачи и буксиры с прицепными платформами и тележками.

Робокары представляют собой наиболее совершенные средства автоматизации транспортных операций. Основным элементом такой транспортной системы является самодвижущаяся тележка, снабженная локальной системой управления. Они приводятся в движение от электродвигателей, питаемых от аккумуляторных батарей, и перемещаются по транспортным путям цеха по командам управления АТНС.

Напольные тележки характеризуются большой грузоподъемностью, высокой скоростью движения и точностью позиционирования. По сравнению с другими транспортными средствами автоматические тележки обладают высокой гибкостью и мобильностью, что позволяет легко изменять и наращивать маршруты движения тележек, регулировать мощность потока грузов за счет изменения числа

действующих тележек, обеспечивать возможность выхода из тактового потока производства, использовать транспортные пути для прохода других транспортных средств и оборудования, увеличивать коэффициент использования производственных площадей вследствие высокой маневренности тележек. При этом не загрязняется производственная среда, т. к. тележки работают от аккумуляторных батарей и имеют низкий уровень шума и расход электроэнергии.

Для безаварийной работы в конструкции транспортных тележек предусмотрены локационные или индукционные датчики, предупреждающие случайные наезды или столкновения с другими тележками или неожиданно возникающими препятствиями.

Безрельсовые автоматические тележки могут быть оснащены устройствами автоматизации погрузочно-разгрузочных операций (промышленными роботами, подъемными и выдвижными платформами, секциями приводного рольганга, ленточного транспортера и т. п.), что существенно расширяет их возможности.

Безрельсовая самоходная тележка может состоять из следующих узлов:

- платформы с ходовым устройством;
- устройства управления, включающего бортовую ЭВМ, систему слежения за движением по предписанному маршруту, средства путевого контроля;
- устройства связи с ЭВМ;
- системы сигнализации и безопасности работы;
- пульта управления;
- технологической оснастки или устройства для манипулирования грузом;
- аккумуляторных батарей.

Безрельсовые самоходные тележки можно классифицировать по назначению; грузоподъемности; маневренности; способам наведения на маршрут следования (трассированию), распознавания адреса следования, подачи команд на выполнение тех или иных операций; типу оснастки, установленной на тележке, и типу средств манипулирования грузом.

Автоматическое отслеживание маршрута передвижения самоходных тележек по транспортным путям осуществляется с помощью специальных устройств наведения. Наибольшее распространение получили индукционные и фотоэлектрические системы наведения.

Оптический маршрутопровод представляет собой нанесенную на поверхность пола светоотражающую ленту или полосу флюоресцирующей краски. Светоотражающая полоса освещается источником света, размещенным на транспортной тележке. Свет, отраженный от полосы маршрутопровода, воспринимается расположенными на тележке чувствительными элементами, посылающими сигналы управления к сервоприводам ходовой части. Разновидностью оптического способа навигации тележек является использование белой полосы на фоне темного пола. В этом случае чувствительное устройство отслеживает контраст тонов полосы и темного пола.

При индукционном способе отслеживания маршрута маршрутопроводом служит электрический провод, который укладывается в желоб, прорезанный в полу. По проводу пропускается ток определенной частоты и амплитуды, который создает управляющее электромагнитное поле. Чувствительное устройство тележки содержит две электромагнитные катушки, установленные снизу тележки на одинаковом расстоянии от маршрутопровода. В случае если одна из катушек окажется ближе к проводнику, что происходит при отклонении его от прямолинейности (поворотах, закруглениях), возникает разница в напряжениях, индуцированных в каждой из катушек. Эту разницу в напряжениях, соответствующим образом усиленную, можно использовать для изменения направления движения тележки. Командное устройство (микропроцессор или мини-ЭВМ) обрабатывает сигналы, поступающие от чувствительного устройства, и подает команды исполнительному механизму для поворота тележки.

По сравнению с индукционным способом маршрутослежения оптический способ навигации обеспечивает большую гибкость при изменении конфигурации маршрута, поскольку белое или флюоресцирующее покрытие наносится очень легко. С другой стороны, эти полосы легко стираются, что снижает надежность работы транспортной системы. При оптическом маршрутослежении скорость ограничена до 0,55 м/с, при индуктивном – до 1,1 м/с. Оптические системы маршрутослежения используются преимущественно для управления автоматическими тележками небольшой грузоподъемности.

Тележки бывают трех- и четырехколесными. При трехколесном исполнении переднее колесо либо рулевое, либо рулевое и ведущее. При четырехколесном исполнении колеса передней пары – рулевые, задней пары – ведущие. Расположение колес при четырехколесном

исполнении тележки может быть ромбическое, средние колеса являются и ведущими, и рулевыми.

На рис. 12 изображена автоматическая тележка, в корпусе 1 которой смонтированы электроприводы движения и поворота, питающиеся от аккумулятора; механизм подъема грузовой платформы через выдвижные штыри 2; устройство управления движением и подъемом на основе микроЭВМ; устройство маршрутослежения оптоэлектронного типа и датчики контроля за состоянием ряда узлов. Для обеспечения безопасности эксплуатации применена механическая система отключения привода 3, срабатывающая в случае прикосновения к препятствию. Для повышения маневренности предусмотрено ромбовидное размещение колес шасси. Отсчет пройденного пути производится с помощью датчика, работающего от дополнительного пятого колеса тележки. Информацию о маршруте движения тележка получает на станциях останова, размещенных у склада и технологического оборудования, посредством оптоэлектронной системы обмена информацией без электрического контакта. Маршрутослежение осуществляется по светоотражающей полосе, проведенной вдоль трассы движения. После окончания работы тележка в автоматическом режиме подходит к станции подзарядки аккумуляторов.

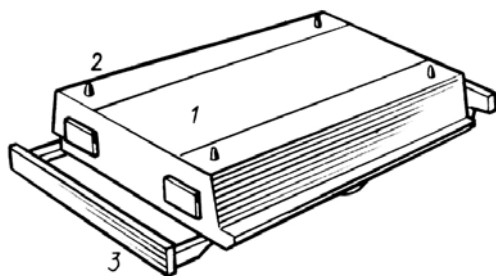


Рис. 12. Автоматическая тележка с грузовой платформой

На рис. 13 приведена напольная транспортная тележка **МОБИРОВ**, снабженная бортовой ЭВМ с дисплеем, автономным блоком питания, двигательной установкой, промышленным роботом и платформой для транспортировки грузов. Сочетание индуктивно управляемого транспортного средства с ПР в конструкции **МОБИРОВ** обеспечивает этой системе следующие преимущества:

- высокую гибкость и производительность;
- высокую точность позиционирования и маневренность;
- независимость от внешних источников электроснабжения;
- разнообразие функциональных возможностей транспортной системы за счет применения нескольких транспортных тележек с различными ПР;
- способность системы сохранять работоспособность при отказе некоторого числа транспортных тележек;
- суперпозицию движений транспортной тележки и ПР.

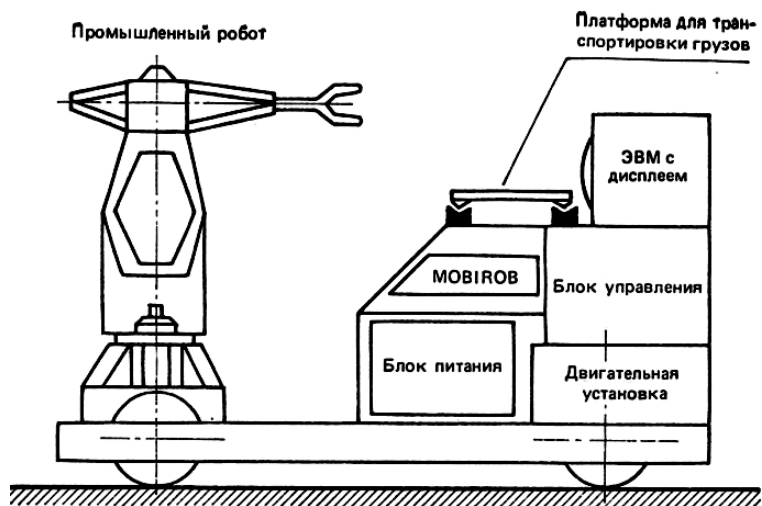


Рис. 13. Напольная автоматическая тележка МОБИРОВ

Напольные тележки МП-12Т (рис. 14), МП-14Т, МП-15Т, МП-18Т, НЦ-ТМ-15, НЦ-ТМ-25 предназначены в основном для транспортирования деталей мелкими партиями в таре. Для укладки тары на платформу и ее снятия тележки оснащены манипуляторами, а тележка НЦ-ТМ-25 выполнена с подъемной платформой и для завершения цикла грузообработки требует робота-перекладчика, непосредственно расположенного у рабочего места. Роботы имеют захватные устройства для установки грузов на приемные столы. Управление тележками производится от бортовой микроЭВМ. Общим для этих тележек является оптический способ маршрутослежения. Опти-



электронная система маршрутослежения может состоять из световых маяков, расположенных в требуемой последовательности на потолке производственного помещения, и датчиков, установленных на роботе. Тележка во время движения ориентируется на световые маяки или специальные метки на технологическом оборудовании, предназначенные для точного позиционирования тележки относительно него. Модульность конструкции позволяет компоновать различные модификации тележек.

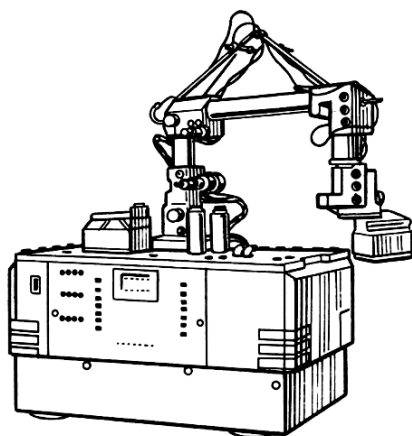


Рис. 14. Напольная автоматическая тележка МП-12Т

Ходовая часть тележек НЦ-ТМ-25 к НЦ-ТМ-15 выполнена с ромбическим расположением колес, где средние колеса – ведущие и рулевые; у тележки МП-12Т колеса расположены попарно: передние колеса – рулевые, задние – ведущие.

Тележка МП-12Т имеет следующие технические характеристики:

Грузоподъемность, кг.....	200
Габаритные размеры, мм .....	1900 × 1700 × 1000
Скорость движения с грузом, м/мин .....	30
Высота платформы от пола, мм .....	850
Преодолеваемый наклон, град .....	до 4
Точность позиционирования, мм.....	±10
Радиус поворота, м.....	1,5
Максимальное число адресных точек .....	62

Способ удержания на трассе .....	светоотражающая полоса
Источники питания .....	аккумуляторные батареи 12 В × 130 А/ч × 4
Время непрерывной работы, ч .....	3
Манипулятор:	
– грузоподъемность, кг .....	15
– число степеней подвижности .....	6
– система координат.....	цилиндрическая
– перемещение по осям, мм.....	0–700 / 0–200
– поворот, град.....	300
– скорость перемещения по осям, м/с .....	0,5
– скорость поворота, град/с .....	90
– точность позиционирования схвата, мм.....	±1

В условиях ГПС тележки применяют:

- для автоматического транспортирования заготовок со склада к технологическим модулям;
- для передачи обработанных деталей от одной ячейки к другой, на участки сборки, контроля, мойки, промежуточный склад и т. д.;
- для передачи заготовок от межоперационных накопителей к обрабатывающим станкам;
- в качестве подвижных платформ при выполнении ряда технологических операций (сварки, сборки, окраски, контроля, закалки и т. д.);
- для автоматического транспортирования инструментальных блоков (магазинов) и отдельных инструментов к станку;
- для транспортирования отдельных сменных узлов станка.

Тележки иногда используются в качестве подвижных платформ для роботов и штабелеров.

Основными требованиями, предъявляемыми к конструкции транспортных роботов, являются:

- большой диапазон параметров по грузоподъемности (от нескольких килограмм до сотен);
- полная автономность и большой запас энергопитания;
- большая маневренность (малые радиусы поворота), малые размеры проездных путей;

- возможность оснащения различными средствами автоматической обработки грузов (роботы, кантователи, выталкиватели грузов, подъемники и т. д.);
- большая скорость перемещения;
- возможность регулирования скорости перемещения груза;
- высокая точность причаливания к буферным устройствам станка и другим объектам ГПС ( $\pm 1$  мм);
- высокая надежность, обеспечиваемая автоматически действующими средствами безопасности и диагностики качества работы;
- возможность работы на различных режимах автоматического управления (от центральной ЭВМ и бортовой управляющей системы).

Существует несколько способов программирования движения и адресации автоматических напольных тележек: управление в режиме постоянной связи тележки с центральным пультом системы; управление по программе, заложенной в бортовом командном устройстве тележки; управление с использованием сигналов, получаемых тележкой в специальных контрольных точках, расположенных вдоль трассы, и др. Возможно использование управляющих систем, сочетающих перечисленные способы. Наиболее простые системы программирования предусматривают оснащение тележки пультом управления с кнопками, тумблерами и клавиатурой. С их помощью оператор вручную набирает адрес места назначения (технологической операции, пункта загрузки-разгрузки). Достигнув места назначения, тележка останавливается и ожидает следующего ручного ввода адреса.

Способ, основанный на дистанционной диспетчеризации, исключает непосредственную связь оператора и транспортного средства. В этом случае применяют электронное устройство – терминал дистанционной диспетчеризации. Оператор вводит данные в терминал, который передает сигналы управления движением, загрузкой и разгрузкой транспортным средствам. Этот метод управления позволяет полнее использовать возможность системы, но он не защищен от возможных ошибок оператора.

Наиболее совершенным является способ управления транспортной системой с помощью ЭВМ. Такой способ позволяет все входящие в систему транспортные средства и обслуживающие их погрузочно-разгрузочные механизмы объединить в сеть с прямым управлением от центральной ЭВМ. Связь между центральной ЭВМ (центральным пультом управления) и тележками, входящими в транспорт-

ную систему, поддерживается дистанционно, обычно с помощью того же кабеля, который служит маршрутопроводом. Управляющие сигналы чаще всего передаются в диапазоне ультракоротких волн.

В большинстве систем автоматического транспортирования предусмотрена периодическая связь между центральным пультом и транспортными средствами, осуществляемая при прохождении последними специальных контрольных точек. Управляющая ЭВМ направляет в адрес тележек команды относительно дальнейшего движения и выполнения необходимых операций. Информационные сигналы о нахождении тележек в контрольных точках вырабатываются датчиками положения, расположенными вдоль трассы маршрутной схемы. В качестве таких ориентиров служат электромагнитные и фотоэлектрические датчики, датчики характеристических частот и т. п. Аналогичные датчики, установленные на борту тележек, предназначены для остановки машин в заданных пунктах.

В наиболее усовершенствованных системах центральный пульт управления обменивается информацией с бортовыми микропроцессорами автоматических тележек по радиоканалам или с помощью инфракрасного излучения. При этом датчики, расположенные вдоль трассы движения транспортных средств, сообщают центральной ЭВМ, когда направлять командные инструкции каждой из тележек. В случае управления автоматической тележкой по программе, заложенной в ее бортовом командном устройстве, определение мест остановок и ответвлений осуществляется путем сравнения сигналов, поступающих от датчиков, с теми, которые заложены в командном устройстве тележки. Возможно применение методов счетно-импульсного и позиционного кодирования.

**Счетно-импульсный метод** предусматривает присвоение остановкам и ответвлениям трассы порядковых номеров в соответствии с порядком движения тележек по трассе. Машина получает импульс от датчика при прохождении места остановки или ответвления, сравнивает полученный сигнал с заданной программой, выполняет остановку (движение по ответвлению) или не выполняет. Счетно-импульсная система проста по исполнению, но при возникновении хотя бы одной ошибки в остановках при движении по трассе дальнейшая работа автоматических тележек в соответствии с заданной программой невозможна ввиду дальнейшего накопления ошибок. Применение этой системы оправдано либо в случае простых трасс

движения, либо при неизменном производственном цикле и постоянном направлении трассы.

**Позиционный метод** кодирования предусматривает присвоение остановкам и ответвлениям постоянных номеров, которые не могут меняться при изменении производственного цикла или порядка и трассы движения. На трассе в местах остановок или ответвлений установлены датчики положения, аналогичные датчики размещены на бортах тележек. При прохождении остановки или ответвления бортовые датчики получают определенное сочетание сигналов. В случае его совпадения с данными программного устройства тележка выполняет необходимую операцию. Позиционная система программирования остановок и ответвлений более сложна по исполнению, однако позволяет осуществлять простой набор программы при изменении производственного цикла или трассы. На трассе одновременно могут работать несколько самоходных тележек. Для предотвращения возможного их столкновения применяется зонное управление движением. Данная система управления делит маршрут на несколько зон, в одной из которых допускается нахождение только одной автоматизированной тележки. Следующая тележка находится в состоянии ожидания и получает команду на начало движения только после освобождения зоны.

Безрельсовый автоматический транспорт может использоваться в технологических поточных линиях сборки, когда заготовка на тележке по ходу движения оснащается узлами и деталями вплоть до выхода готового изделия.

В производстве легких изделий несколько автоматических тележек с автоматическим адресованием могут обслуживать подвесную транспортную систему. При этом пространственная компоновка трассы включает в себя горизонтальные и вертикальные участки, а также площадки стрелочных переходов. В пределах каждого этапа трасса образует замкнутую кольцевую линию, движение по которой осуществляется в одном направлении. На каждом этаже межэтажных участков трассы имеются поворотные устройства для замыкания внутриэтажного контура трассы и подвода тележек на вертикальные треки в зависимости от адреса.

Рельсовые тележки помимо возможности увеличения грузоподъемности и скорости перемещения позволяют упростить систему управления, но при этом необходимо учитывать отрицательные стороны их

применения: большие затраты на монтаж путей, отсутствие в полном объеме гибкости при изменении технологических схем производства.

**Подвесные транспортные роботы** составляют особую группу транспортных средств и в основном строятся на базе тельферных тележек, перемещающихся по монорельсу. Подвесные транспортные роботы отличаются от монорельсовых подвесных дорог с тележками автоматического адресования тем, что имеют устройство для манипулирования изделиями и тарой. Это позволяет выполнять ориентацию, укладку, перенос и перестановку изделий и тары с определенных позиций, находящихся под трассой, и ставить их на другие позиции согласно программе, а также осуществлять загрузку технологического оборудования. Электроэнергия подводится к роботу с помощью точного контакта с троллейного шинпровода.

Подвесной автоматический транспорт применяют в производственных помещениях с высотой перекрытий не ниже 4 м. Такой транспорт обладает меньшей гибкостью, чем напольные автоматические тележки, поскольку возможности его перемещения ограничены ориентацией жесткой подвесной трассы, демонтаж и перепланировка которой связаны со значительными трудностями.

При сравнении подвесного транспорта с напольным имеет смысл сопоставлять рассматриваемый вид транспорта с напольным рельсовым. Главное преимущество подвесных транспортных систем заключается в высвобождении производственных площадей за счет нахождения транспортной системы над технологическим оборудованием.

Подвесной транспорт почти не требует дополнительных производственных площадей; в производственных условиях может быть применим без перепланировки существующего оборудования; исключает возможность столкновения его с людьми и наземным транспортными средствами, что обеспечивает соблюдение требований техники безопасности без привлечения дополнительных затрат. Подвесные транспортные манипуляторы имеют также приоритет при их использовании в технологических процессах, связанных с окунанием изделий в рабочую жидкость.

В подвесной монорельсовой транспортной системе изменение направления движения производится на стрелках, устанавливаемых в местах разветвления монорельса. Гибкость монорельсовых транспортных систем выше, чем гибкость подвесных транспортных конвейеров.

Недостатки подвесного транспорта:

- относительно большие капитальные затраты на устройство подвесных путей;

- грузоподъемность подвесного транспорта ограничена грузонесущей способностью подвесных путей;

- затруднены техническое обслуживание и ремонт подвесного транспорта ввиду значительной высоты, на которой располагаются объекты обслуживания: ходовая и приводная части, электроаппаратура.

Сочетание конвейерной транспортной системы с подвесными транспортными или напольными ПР позволяет полностью автоматизировать перемещение заготовок, деталей и комплектующих изделий на протяжении всего маршрута их движения (от склада или накопителя до рабочей позиции обрабатывающего оборудования).

## 6. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГАП

### 6.1. Функции системы управления ГАП

Система управления (СУ) предназначена для организации работы отдельных единиц оборудования исполнительной системы ГАП, а также для согласования их совместного функционирования. Исполнительный комплекс ГАП состоит из:

- системы ячеек, объединяющей обрабатывающие, контрольно-измерительные и робототехнические модули для реализации заданной технологии;
- транспортной системы, включающей в себя автоматические транспортные средства, и программной системы управления транспортными средствами;
- автоматического склада, программно управляемого системой управления автоматическим складом.

Разработка системы управления является одной из основных задач при построении ГАП.

Скоординированное взаимодействие всех структурных звеньев ГАП может быть обеспечено средствами интегрированной АСУ ГАП, которая должна обеспечивать совместную реализацию функций технологической подготовки производства, организационно-экономического планирования и оперативного управления выпуском продукции, управления оборудованием в реальном масштабе времени, охватывая общим процессом управления все уровни ГАП. Таким образом, АСУ ГАП осуществляет организационно-экономическое управление ГАП и управление его модулями.

**Основными функциями организационно-экономического управления ГАП** являются задачи планирования, контроля, учета, регулирования процессов функционирования ГАП, направленных на обеспечение планов-графиков работы ГАП и сменно-суточных заданий при изменении номенклатуры, объемов и сроков запуска и выпуска продукции, технических отказах оборудования, сбоях вычислительной техники и нарушениях материально-технического обеспечения.

При этом АСУ ГАП осуществляет загрузку в ЭВМ программ, обеспечивающих функционирование компонентов исполнительной системы в соответствии с планом производства изделий, и синхронизацию работы компонентов исполнительной системы с темпом



работы оборудования согласно заданной технологии и плану производства изделий.

Переналадка производства, таким образом, заключается не в переналадке оборудования, а в загрузке управляющих программ из памяти ЭВМ СУ ГАП путем передачи информации в другие ЭВМ, управляющие оборудованием.

**Основными функциями АСУ модулями ГАП** являются задачи контроля, прогнозирования и управления (регулирования) параметров и режимов технологических процессов (операций), реализуемых модулями ГАП.

Таким образом, АСУ ГАП решает задачи календарного планирования и оперативного управления.

Система управления ГАП может быть информационно связана с автоматизированной системой технологической подготовки производства и автоматизированной системой управления производством (АСУП). С помощью АСТПП выполняется подготовка программ функционирования ГАП для каждого из изделий, входящих в номенклатуру ГАП. Подготовка программ заключается в разработке маршрутов движения заготовок в процессе их обработки между секциями автоматического склада и ячейками линии, участка или цеха; определении состава инструмента для каждого технического участка и составлении технологического маршрута изделия. На основе технологического маршрута разрабатываются программы управления станками, промышленными роботами, контрольно-измерительными устройствами, транспортной системой и автоматическим складом. Временная диаграмма производства изделия составляется путем определения времени операций, выполняемых ячейками ГАП, транспортными средствами и складом. Исходя из нее, формируется программа для центральной ЭВМ СУ ГАП.

С помощью АСУП осуществляется календарное и оперативное планирование производства, учет продукции и использования производственного оборудования, комплектация производства заготовками и инструментом, а также выдача информации о состоянии производства. Гибкое автоматизированное производство функционирует в соответствии с календарным планом, который составляется АСУП. Система управления ГАП передает в АСУП данные о ходе производства, необходимые для оперативного планирования и учета производства.

Кроме управления исполнительной системой ГАП, обеспечения взаимодействия с АСТПП и АСУП центральная ЭВМ СУ ГАП выполняет функции по обслуживанию диспетчера-оператора ГАП, который контролирует состояние ГАП и управляет им в ситуациях, выходящих за рамки возможностей программ управления. В этом случае центральная ЭВМ СУ ГАП принимает команды от человека и на их основе реализует управление оборудованием. Для выполнения функций, связанных с диспетчированием, центральная ЭВМ снабжается соответствующими программами и устройствами ввода-вывода данных, обеспечивающими, например, ввод данных в ЭВМ с клавиатуры диспетчера-оператора и вывод их на дисплей и печатающее устройство.

## **6.2. Организация системы управления ГАП**

Создание ГАП базируется на использовании модульного принципа управления. Основные модули ГАП представляют собой оборудование с программным управлением. Программное управление модулем обеспечивает, во-первых, его автоматическое функционирование в соответствии с заданной программой и, во-вторых, возможность изменения процесса функционирования путем загрузки в модуль другой программы, что характеризует гибкость его работы.

Исполнительный комплекс ГАП представляет собой распределенную в пространстве систему, состоящую из разнородных компонентов – ячеек обрабатывающей системы, транспортной и складской систем. Компоненты исполнительного комплекса в силу разнородности функционируют асинхронно; каждый из них имеет свой темп и соответствующий цикл работы. Такой системой целесообразно управлять распределенно, т. е. отдельные компоненты или их группы должны обеспечиваться средствами локального управления (ЭВМ, осуществляющими функции управления), а согласованное функционирование локальных систем – централизованным управлением, возлагаемым на одну или несколько ЭВМ. Этим достигаются высокая живучесть и ремонтпригодность системы.

Повышение живучести связано с тем, что распределение управления по компонентам делает возможным функционирование ГАП при отказе отдельных локальных систем управления. Рост степени ремонтпригодности обусловлен тем, что профилактические и ремонтно-восстановительные работы каждого из компонентов можно

проводить без остановки всей системы. Для обеспечения распределенного управления необходимо строить СУ ГАП на основе множества ЭВМ, объединяемых в одну систему с помощью средств комплексов (сопряжения) ЭВМ.

Поскольку система управления ГАП реализует разнообразные функции, отличающиеся свойствами, сложностью вычислений, типами данных и операций, наиболее экономичные решения достигаются за счет использования в системе управления ЭВМ разных классов. Вследствие этого СУ ГАП представляет собой функционально-распределенную неоднородную вычислительную систему, состоящую из комплекса ЭВМ, взаимосвязанных с вычислительными системами более высокого уровня иерархии.

В обычном производстве на крупном предприятии число иерархических уровней прямого подчинения может достигнуть девятидесяти: директор завода – заместитель директора по производству (главный инженер) – начальник производственного отделения (корпуса) – начальник цеха – начальник смены – начальник участка – старший мастер – мастер – бригадир – рабочий.

Гибкая автоматизация и интеграция производства сокращают практически полностью первый уровень управления (рабочий, управляющий технологическим оборудованием и непосредственно являющийся участником рабочего цикла, выполняющий операции по установке, снятию деталей, пуску станка, оборудования, смене инструмента, подналадке оборудования, смене управляющих программ и пр.).

Оператор ГПС только по названию остается оператором, а фактически с точки зрения уровней управления он совмещает функции бригадира, мастера участка, старшего мастера, а руководитель бригады «операторов» одной или нескольких ГПС фактически заменяет начальника цеха.

В гибком автоматизированном производстве количественный критерий образования иерархических уровней управления перестает играть решающую роль, и при определении количества уровней следует исходить из распределения объема ответственности и влияния принимаемых решений на ход производственного процесса и выполнения плановых показателей предприятия. Исходя из этого, можно выделить следующие иерархические **уровни управления**:

– **директивный уровень** (директор завода, заместители директора) – руководство различными подразделениями предприятия, пол-

ная ответственность за выполнение плана и плановых показателей. Решения, принимаемые на этом уровне, могут изменять сроки оперативного планирования, перераспределять производственные задания между подразделениями, определять плановые задания по месяцам и кварталам года, распределять дополнительные и резервные материальные ресурсы и средства и пр.;

– **старший руководящий уровень** (начальники гибких автоматизированных цехов, гибких автоматизированных участков, конструкторско-технологических отделов, отделов планирования производства и т. д.) – управление несколькими подразделениями руководящего уровня, но в рамках какой-либо одной производственной функции, производственного процесса (техническая подготовка производства, заготовительное, обрабатывающее, сборочное производство, экономическая служба, служба качества и т. д.). В подчинении находится несколько руководящих работников нижележащего уровня; принимаемые на этом уровне решения могут влиять на изменение производственных заданий и использование дополнительных ресурсов, но в пределах установленных заданий и объемов;

– **руководящий уровень** (мастера ГПС, старшие операторы ГПС, начальники конструкторско-технологических бюро, подразделений плановых и других отделов и т. д.). Решения этого уровня связаны в основном с обеспечением эффективности работы каждого исполнителя. В пределах своих обязанностей руководитель может принимать любые решения, обеспечивающие выполнение плановых заданий без привлечения дополнительных мощностей и людских ресурсов;

– **исполнительный уровень** (операторы ГПС, конструкторы-технологи на автоматизированных рабочих местах, операторы различных АСУ и т. д.) характеризуется исполнением объемов работ, предписанных отдельному оператору или бригаде операторов. Все они подчиняются вышестоящему уровню и не имеют подчиненных; принимаемые ими решения ограничиваются кругом установленных правил и инструкций и сказываются только на производительности, себестоимости и качестве продукции того оборудования, которое они обслуживают.

При малолюдном производстве, каким должно быть гибкое автоматизированное производство – автоматизированный завод, четырех-

уровневое вертикальное разделение управления и увеличение горизонтальных функциональных подразделений является наиболее рациональным.

Управление ГАП, включающим в свой состав совокупность гибких автоматизированных заготовительных, обрабатывающих, сборочных и других цехов, гибких автоматизированных участков и линий, ведется на основе многоуровневой системы программного управления, реализуемого комплексом ЭВМ различных классов.

В соответствии с организационной структурой ГАП в структуру интегрированной АСУ ГАП входят следующие иерархические звенья:

- автоматизированная система управления ГАП;
- автоматизированная система управления ГАЦ;
- автоматизированная система управления ГАУ и ГАЛ;
- автоматизированная система управления ГПМ.

Первый, нижний, уровень управления решает задачи управления отдельными компонентами исполнительной системы ГАП (станками, технологическими установками с ЧПУ, роботами, контрольно-измерительными устройствами, секциями автоматических складов и др.). На этом уровне используются командоаппараты, микропроцессоры, ЧПУ, микроЭВМ, которые могут взаимодействовать между собой для согласования работы соседних модулей.

Второй уровень – это управление функциональными подсистемами, находящимися в диалоге с первым уровнем и со следующим более высоким третьим уровнем. Второй уровень координирует работу локальных систем управления первого уровня и реализуется центральной ЭВМ системы управления ГАЛ, ГАУ или ГАЦ. Управление вторым уровнем обеспечивается одной или несколькими мини-ЭВМ. Поскольку линии, участки и цехи ГАП материально и организационно взаимосвязаны, они также должны быть взаимосвязаны информационно путем сопряжения своих центральных ЭВМ или через ЭВМ более высокого уровня иерархии.

Третий уровень управления представляет собой ЭВМ АСТП и ЭВМ АСУП, которые связаны с центральной ЭВМ третьего уровня. Через них можно оперативно вводить информацию в виде программ и данных по технологической подготовке производства и по его плановому управлению. ЭВМ третьего уровня в общем случае включают в себя также ЭВМ САПР. На этом уровне хранятся управляю-

шие программы, накапливается и анализируется вся информация, формируются данные для передачи информации следующему уровню. Центральная ЭВМ третьего уровня связывает АСУ ГПС с главной ЭВМ завода.

Объединение ЭВМ в единый управляющий комплекс достигается за счет их сопряжения между собой посредством линий передачи данных и обеспечения программами, организующими и осуществляющими обмен данными между ЭВМ различных уровней.

### **6.3. Технические средства АСУ ГАП**

Техническими (аппаратурными) средствами системы управления ГАП являются: ЭВМ, устройства сопряжения с объектом и устройства передачи данных, функционирующие под управлением средств программного обеспечения. Через интерфейс ввода-вывода к ЭВМ подключаются внешние запоминающие устройства для хранения больших объемов данных и периферийные устройства.

В качестве периферийных устройств используются терминалы, обеспечивающие взаимодействие оператора с ЭВМ, устройства сопряжения с управляемыми объектами (датчики линейных и угловых перемещений и других физических величин), устройства передачи по линиям связи.

Каждый уровень управления имеет свою специфичную форму представления данных и различную сложность выполняемых функций, поэтому типы и характеристики ЭВМ, используемых на разных уровнях управления, должны соответствовать классу задач и требованиям ко времени их решения. ЭВМ систем управления, с одной стороны, должны обеспечивать надежность функционирования, а с другой – иметь минимальную стоимость. Классификация ЭВМ, применяемых в СУ ГАП, показана на рис. 15.

В зависимости от функционального назначения ЭВМ делятся на классы общего назначения, проблемно-ориентированные и специализированные.

ЭВМ общего назначения используются для решения задач САПР, АСТПП, СУ и ряда инженерных задач.

Проблемно-ориентированные ЭВМ (мини- и микроЭВМ) предназначены для решения ограниченного круга задач, связанных, как правило, с управлением объектами, регистрацией их функциониро-

вания или проведением относительно несложных расчетов. Микро- и мини-ЭВМ наиболее хорошо приспособлены для выполнения функций управления оборудованием, модулями и ячейками ГПС.

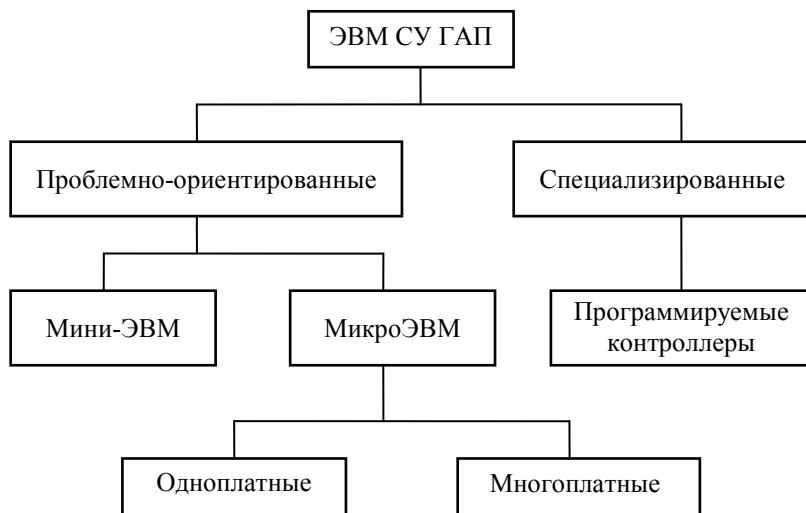


Рис. 15. Классификация ЭВМ СУ ГАП

Мини-ЭВМ характеризуются:

- разнообразием форм представления данных, обеспечивающим обработку целых и действительных значений в широком диапазоне и с высокой точностью;
- большим числом выполняемых операций, включающим все операции арифметики целых и действительных чисел, а также специальные операции;
- значительной емкостью оперативной памяти;
- возможностью подключения широкой номенклатуры внешних запоминающих устройств и устройств ввода-вывода данных.

Мини-ЭВМ целесообразно применять для управления системами, содержащими большое число источников и приемников данных, в том числе терминалы, которые обеспечивают взаимодействие человека с ЭВМ. Мини-ЭВМ используются также для первичной обработки данных и решения вычислительных задач относительно не-

высокой сложности, например, в составе автоматизированных рабочих мест проектировщиков, конструкторов и технологов. Для решения более сложных задач применяются ЭВМ общего назначения.

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

МикроЭВМ характеризуются:

- представлением данных обычно в виде целых чисел и логических значений;
- ограниченным составом реализуемых операций;
- небольшой емкостью памяти и использованием постоянных запоминающих устройств для хранения программ;
- ограниченным числом периферийных устройств, подключаемых к ЭВМ.

В зависимости от способа конструктивной реализации микроЭВМ делятся на одно- и многоплатные.

Одноплатные микроЭВМ имеют вид унифицированной платы, на которой размещены интегральные схемы процессора, оперативной и постоянной памяти, каналов ввода-вывода и в некоторых случаях устройства сопряжения с объектом (преобразователи).

Одноплатные микроЭВМ встраиваются в аппаратуру устройств в качестве функциональных блоков, реализующих локальные задачи управления и контроля. Они широко используются в системах ЧПУ, в контрольно-измерительных устройствах и системах управления электроприводом.

Многоплатные микроЭВМ состоят из совокупности плат, входящих в конструктивно завершенный блок. На отдельных платах размещаются схемы процессора, оперативной и постоянной памяти, каналов ввода-вывода и контроллеров внешних устройств, а также устройства сопряжения с объектом. Технические характеристики многоплатных микроЭВМ лучше, а функциональные возможности больше, чем одноплатных.

Специализированные ЭВМ (микропроцессоры и др.) предназначены для реализации строго определенного класса задач. В ГПС специализированные ЭВМ используются в виде программируемых контроллеров, служащих для реализации команд управления оборудованием, сопряжения ЭВМ с исполнительными устройствами



автоматического оборудования для задач обработки информации, формирования осведомительных сигналов и сигналов типа «включить-выключить».

По своим функциям программируемый контроллер близок к устройствам релейной автоматики, однако в отличие от релейных устройств, выполняющих жесткую логику управления, определяемую коммутацией контактов, функции, реализуемые контроллером, программируются и хранятся в его памяти. За счет этого программируемые контроллеры оказываются пригодными для различных областей применения, а также для замены устройств с жесткой логикой функционирования. Контроллеры позволяют выполнять арифметические и логические операции над данными, в результате чего их функции приближаются к функциям микроЭВМ. Программируемые контроллеры могут иметь специальную структуру, существенно отличающуюся от структуры ЭВМ, но чаще всего они строятся на базе одноплатной микроЭВМ, к которой подключают средства для ввода и вывода значений дискретных (включено-выключено) и непрерывных сигналов.

Если функции управления выходят за рамки возможностей программируемых контроллеров, то системы управления объектами строят на основе одноплатных микроЭВМ, встраиваемых в соответствующее оборудование, а при реализации достаточно сложных задач управления – на основе многоплатных микроЭВМ. Программируемые контроллеры и микроЭВМ, встроенные в объекты, являются элементами технологического, транспортного и прочего оборудования. Для управления несколькими совместно функционирующими объектами, например, ячейкой ГАП, объединяющей роботы, станок и контрольно-измерительные устройства, используют, как правило, многоплатные микроЭВМ, координирующие работу объектов с помощью передачи управляющей информации контроллерам и микроЭВМ низшего уровня управления, а также контроля за состоянием объектов. Такие микроЭВМ образуют первый уровень системы управления ГАП.

Координацию работы ячеек технологической линии, транспортных средств и других однотипных объектов можно рассматривать как функции управления второго уровня. Обычно на этом уровне приходится осуществлять контроль и диагностику средств управления нижнего уровня и соответствующего оборудования для прове-

дения профилактических, наладочных и ремонтных работ. С учетом этого управление на втором уровне должно обеспечивать выполнение не только рабочих, но и дополнительных функций, для реализации которых используют, как правило, микроЭВМ, оснащенную внешней памятью для размещения программ запуска оборудования в работу, управления в основном режиме функционирования, контроля и диагностики технических средств, а также средствами сопряжения с операторами-настройщиками оборудования, например, дисплеем.

Координация работы всех подсистем ГАП участка или цеха является функцией третьего уровня управления. На этом уровне обычно используется мини-ЭВМ с развитой внешней памятью, необходимой для хранения программ ЭВМ всех трех уровней управления и данных, характеризующих технические и производственные аспекты функционирования ГАП. Мини-ЭВМ на этом уровне управления обеспечивают работу операторов ГАП, взаимодействующих с ЭВМ и системой управления в целом посредством дисплеев, и дают возможность получать печатные отчеты о работе системы.

Для связи операторов с СУ ГАП служат пульты индикации информации, которые разрабатываются в зависимости от уровня управления: пульт оператора, пульт диспетчера цеха и др., на которые подается информация, соответствующая уровню управления. Обычно пульты оснащаются устройствами ручного ввода необходимой информации в АСУ ГАП и автоматического приема команд управления.

Для индикации информации о простоях оборудования, величине планового задания и фактического выполнения используются табло. Информация вводится на табло автоматически с ЭВМ или непосредственно с технологического оборудования.

Оповещение об аварийных ситуациях осуществляется с помощью световых и звуковых сигналов, подаваемых на пульты разных уровней и непосредственно на технологическое оборудование.

#### **6.4. Программное и информационное обеспечение ГАП**

Под **программным обеспечением** понимают совокупность программ, инструкций, языков и алгоритмов, позволяющих управлять производственными и технологическими процессами на основе использования современных средств вычислительной техники.

Программное обеспечение (ПО) АСУ ГАП включает в свой состав общее, общее специальное и специальное ПО.

**Общее ПО** – это стандартное математическое обеспечение, поставляемое с вычислительным оборудованием. К нему относятся операционная система, система управления базами данных (СУБД) и программное обеспечение локальной сети связи.

**Операционные системы** – это сложные программы, используемые в вычислительной технике для организации взаимодействия отдельных частей вычислительного оборудования ЭВМ, различных программ пользователей друг с другом и с общими данными через СУБД, а также для обеспечения сервисных возможностей, облегчающих труд программиста и обслуживающего персонала ЭВМ.

База данных предназначена для хранения множества данных (операций, инструмента, оснастки, режимов обработки и т. д.) и схем связи между ними.

Система управления БД включает языки описания и манипулирования данными, языки программирования и др.

Программное обеспечение локальной сети связи позволяет реализовать управление информационными потоками в соответствии с распределением работ между технологическим оборудованием.

**Общее специальное ПО** – это программное обеспечение уровней мини-ЭВМ и микроЭВМ, не зависящее от специфики конкретной производственной задачи. Оно осуществляет управление ячейками ГАП и контроль за их работой. Общее специальное ПО строится по иерархическому принципу и имеет, по крайней мере, уровни мини-ЭВМ и микроЭВМ. Каждая такая мини-ЭВМ в свою очередь может управлять несколькими микроЭВМ, а каждая микроЭВМ – ячейкой ГАП.

Одним из наиболее важных вопросов при разработке ПО является вопрос разделения задач управления между уровнями, от правильного решения которого зависят возможности ПО. Обеспечение максимальной автономии данного уровня позволяет использовать его независимо от высшего уровня, что является особенно удобным при отладке ПО.

Задачи, решаемые на уровне микроЭВМ, можно разделить на четыре основные группы: задачи управления оборудованием, информационные, обеспечения надежности функционирования ячейки ГАП и обеспечения безопасности.

*К задачам управления оборудованием относятся:*

– анализ и перевод командных операторов технологического языка управления ячейкой в последовательность микрокоманд управления конкретным оборудованием;

– формирование данных о нормальном или аварийном завершении операции;

– обращение к автоматической транспортной ячейке.

*Информационные задачи* осуществляют вызов оператора и отображение информации на пульте оператора ГАП.

*Задачи обеспечения надежности функционирования ячейки ГАП:*

– контроль выполнения оборудованием микрокоманд с помощью встроенной системы активного контроля;

– компенсация случайных сбоев оборудования;

– анализ работоспособности оборудования (учет случайных сбоев);

– тестирование оборудования;

– контроль изменения размеров инструмента и компенсация систематических погрешностей оборудования (автоматическая подналадка оборудования).

При обнаружении некомпенсируемых неисправностей оборудования информация об этом передается на уровень мини-ЭВМ.

*Задача обеспечения безопасности* заключается в осуществлении аварийного останова оборудования при нарушении границ рабочей зоны и включения звуковой и световой сигнализации.

Задачи, решаемые на уровне мини-ЭВМ, можно разделить на задачи: календарного планирования, учета и документирования, управления ГАП, обеспечения надежности функционирования ГАП, информационные.

*Задача календарного планирования*, как правило, должна решаться системой АСУП (на мощной ЭВМ). В ряде случаев она решается на уровне мини-ЭВМ, на которой может быть реализована АСУ цеха. Данная задача включает в себя:

– планирование квартальных, месячных, недельных и суточных заданий для ГАП;

– расчет и выдачу заявок на материалы, заготовки, инструмент, оснастку, тару в соответствии с квартальными, месячными, недельными или суточными планами работ ГАП;

– суточное календарное планирование работы элементов ГАП, в том числе с учетом аварийного состояния элементов или ячеек.

*К задачам учета и документирования* относятся:

- учет годовой продукции, брака, незавершенного производства, израсходованного инструмента за сутки, месяц, квартал и год;
- формирование и вывод отчетных документов.

*Задачами управления ГАП являются:*

- загрузка суточного задания в виде множества технологических процессов через локальную сеть связи;
- выполнение и учет распоряжений оператора ГАП;
- учет заполнения складов и обеспеченности технологических процессов материалами, заготовками, оснасткой и инструментом;
- распределение операций в технологических процессах в соответствии с календарным планом операций перемещения, реализуемых транспортной системой и роботами-манипуляторами;
- диспетчерское управление выполнением технологических процессов.

*Задачи обеспечения надежности функционирования ГАП включают:*

- тестирование сети микроЭВМ;
- учет состояний ячеек ГАП по информации, поступающей с уровня микроЭВМ;
- принятие решений по исключению аварийных ячеек из технологических процессов и перераспределение технологических операций по множеству исправных ячеек ГАП;
- обращение к оператору ГАП в случае невозможности автоматического принятия решения по ликвидации аварийных ситуаций.

*Информационные задачи* осуществляют отображение информации на пульте оператора ГАП.

**Специальное ПО** представляет собой конкретные прикладные программы, зависящие от специфики конкретной производственной задачи и обычно реализуемые в виде простых модулей, каждый из которых выполняет одну функцию. Модульное построение ПО позволяет упростить процесс внесения изменений, которые иногда необходимы.

**Информационная система** – совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих технических средств, обеспечивающих получение, преобразование, обработку и передачу информации об элементах производственной системы и производственных процессах. Информационная система служит для контроля текущего состояния ГАП, а также для хранения информации, необходимой для автоматизации.

ческого проектирования и производства продукции заданной номенклатуры. Она содержит датчики состояния всех элементов исполнительной системы, базы данных на машинных носителях информации. Это позволяет использовать информационную систему в качестве источника необходимых сведений и сигналов обратной связи для управляющей системы. Информация разделяется на *нормативную*, поступающую от подразделений, обеспечивающих техническую подготовку производства, и *оперативно-производственную*, поступающую из цехов, складов и других производственных служб.

### **6.5. Система управления транспортно-накопительной системой**

Система автоматического управления складами и транспортом составляет часть общей системы управления ГАП. Назначение системы управления АТНС состоит в оперативном планировании и регулировании грузопотоков ГПС, в том числе формировании программ перемещения и хранения грузов, управления транспортными и складскими системами, накопительными устройствами, транспортными средствами, манипуляторами, штабелерами и другим оборудованием, обеспечивающим работу автоматизированных транспортно-складских систем.

В общем случае СУ АТНС имеет иерархическую структуру обработки информационных потоков. Нижний уровень системы управления АТНС обеспечивает непосредственное программное управление техническими средствами АТНС и включает локальные устройства автоматизации и управления транспортным и складским оборудованием.

В комплекс технических средств системы управления нижнего уровня обычно входят контактные и бесконтактные датчики (емкостные, индукционные, тензометрические, фотоэлектрические и др.), предназначенные для определения наличия или отсутствия груза, а также датчики положения транспорта, уровней для накопительных систем, усилий, безопасности; измерительные приборы; микроЭВМ.

Использование микроЭВМ позволяет реализовать логические функции управления (адресование, блокировку, переключение режимов работы приводов, управление приводами) не аппаратным, а программным путем. МикроЭВМ обеспечивает связь с верхним уров-

нем управления и придает системе гибкость и модульность. Связь микроЭВМ с датчиками и исполнительными механизмами осуществляется с помощью устройства ввода-вывода.

На нижнем уровне локальными системами управления (микроЭВМ и автоматическими контроллерами, выполненными в виде автоматов с «жесткой логикой») обеспечивается:

- управление приводами транспортных систем, таких, как штабелеры, транспортные роботы, путевые механизмы, перегрузочные устройства;

- точное позиционирование транспорта у рабочего места;

- останов транспорта при аварийных ситуациях с подачей соответствующего сигнала;

- загрузка и разгрузка накопителей;

- выработка и передача сигнала для контроля и диагностики.

Локальные управляющие устройства (ЛСУ) должны быть ориентированы на управление конкретными производственными процессами и устанавливаться непосредственно в управляемом оборудовании или вблизи от него. При использовании ЛСУ как элемента СУ АТСС необходимо, чтобы каждая локальная система имела средства связи с ЭВМ верхнего уровня управления (участка).

**Локальная система управления техническими средствами АТСС** – это совокупность микропроцессорных средств вычислительной техники и автоматизации, объединенных в единую систему посредством специального программного обеспечения для управления единицей оборудования в рамках реализуемого технологического процесса.

Основными принципами построения ЛСУ являются:

- интеграция на уровне СУ ГПС;

- управление в реальном масштабе времени;

- модульный принцип построения (возможность расширения выполняемых функций без существенных доработок);

- автоматическая перестройка программно-алгоритмических и технических средств в соответствии с заданием СУ верхнего уровня (СУ ГПС);

- совместимость элементной базы и программного обеспечения с СУ ГПС;

- наличие средств диагностики и контроля работоспособности технических средств.

Верхний уровень управления представлен вычислительным комплексом с центральной ЭВМ и разветвленной сетью средств интерфейсного оборудования, дисплеями, печатающими устройствами и устройствами памяти. Этот комплекс должен обеспечивать управление всем технологическим процессом, в том числе загрузкой и ретрансляцией программ для основного технологического оборудования. Таким образом, верхний уровень предназначен для выработки общих решений стратегического порядка.

Верхний уровень осуществляет:

- задание маршрутов движения транспорта (адресование);
- контроль и диагностику неисправностей;
- учет движения груза.

Средний (промежуточный) уровень предусмотрен для управления одним законченным комплексом (модулем), например, автоматическим складом в составе ГПС участка или цеха. Этот уровень выполняет следующие функции:

- планирование складских и транспортных операций, диспетчеризацию грузопотоков деталей, материалов и инструмента;
- обработку данных, поступающих к терминалам;
- объединение в «линию» и координирование работ автоматических устройств, перегрузочного оборудования;
- стыковку и синхронизацию работы оборудования, связанных технологически смежных модулей;
- контроль состояния и функционирования составляющих частей комплекса.

Таким образом, средний уровень обеспечивает оперативно-диспетчерское управление и координацию взаимодействия технических средств АТСС и ГПС.

Системы управления указанных уровней решают комплекс задач и строятся с учетом следующих принципов:

- иерархии управления;
- распределения функций управления между отдельными микропроцессорными техническими средствами, гибкого изменения этих функций;
- организации совместного функционирования технических средств управления с использованием соответствующей системы передачи данных;
- единства интерфейсов;



- стандартизации входных и выходных сигналов устройств связи с объектом;
- обеспечения диагностики технических средств системы управления и объекта.

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

Система контроля и диагностики осуществляет сбор информации о состоянии наиболее ответственных узлов АТНС и элементов системы управления, обрабатывает эту информацию по заданному алгоритму, принимает решение о возможности дальнейшего функционирования составляющих элементов АТНС и выводит информацию о неисправностях на пульт управления и индикации.

**Системы управления автоматизированным складом.** Система управления автоматизированным складом имеет двухуровневую модульную структуру.

Функциями верхнего уровня являются:

- прием информации от ЭВМ вышестоящего уровня или от оператора;
- автоматическое перемещение грузов на складе;
- распределение полученной тары по ячейкам склада;
- определение номера свободной ячейки;
- учет наличия, прибытия и отправления грузов;
- контроль нормативного времени хранения изделий;
- контроль заполнения ячеек;
- выдача командной информации устройствам управления штабелерами;
- контроль операций, выполняемых штабелерами;
- выдача справочной информации по объектам хранения по запросу от ЭВМ высшего уровня или терминального устройства оператора.

Нижний уровень составляют:

- устройства управления приводами исполнительных механизмов;
- пускорегулирующая аппаратура;
- устройства автоматического позиционирования, связи с объектами управления и логического управления;

– устройства ввода-вывода информации.

В качестве технических средств автоматизации на этом уровне применяют программируемые микроконтроллеры и микроЭВМ.

**Системы управления автоматическим транспортом.** Автоматизированные системы управления внутри- и межцеховым транспортом выполняют следующие функции:

- адресование грузов;
- управление транспортными механизмами;
- учет неисправностей и отработка аварийных ситуаций;
- сбор данных о работе транспортной системы с индикацией на средствах отображения информации;
- передача на верхний уровень сообщений об исполнении заданий по транспортированию грузов и о состоянии оборудования.

Систему управления автоматизированной транспортной системой рассматривают как многоуровневую систему. Нижний уровень состоит из устройств управления транспортными средствами (ТС) и подвижными элементами разветвления трассы (стрелками, поворотными кругами и т. д.). Автоматизированные СУ верхнего уровня предназначены для решения вопросов по координации работы всего транспортного комплекса и осуществляют связь с подчиненными подсистемами. Верхний уровень СУ АТС решает задачи планирования движения ТС на трассе, отслеживания текущего состояния компонентов АТС и синхронизации их работы. Особенностью является то, что эти задачи должны решаться в реальном масштабе времени. Кроме того, на верхний уровень возлагается контроль за процессами формирования и отправки задания, а также оптимальной загрузки транспортных средств.

Основными задачами СУ этого уровня являются:

- диспетчеризация потоков грузов в соответствии с технологическим процессом и программой выпуска через подсистему управления среднего уровня;
- учет и протоколирование движения грузов, составление планов реализации транспортных процессов;
- выдача справочной информации в виде печатных справок или на экранах дисплеев;
- связь с уровнем АСУ производства, подсистемами среднего уровня и центральным пультом диспетчерского управления;

– самодиагностика и диагностика подсистем в целях обнаружения и локализации неисправностей в соответствующих контурах управления.

Системы управления среднего уровня предназначены для непосредственного управления межцеховым транспортом в соответствии с принятой технологией переработки грузов. Эта система осуществляет адресование груза, сбор и обработку информации о состоянии оборудования, передачу информации о работе оборудования на верхний уровень, обработку аварийных ситуаций.

**Системы адресования при управлении транспортом.** В зависимости от способа задания, фиксации и считывания адресного кода грузов системы адресования могут быть с сопровождающей или с дистанционной памятью.

**Системы адресования с сопровождающей памятью** отличаются относительной простотой. Они получили наибольшее распространение в АТС. Фиксация адреса в системах этого типа осуществляется намагничиванием адресоносителя, который может закрепляться на грузовой тележке, тяговом элементе или грузовой таре. Адрес задается в виде кода, набранного магнитными дорожками, а в качестве адресоносителя используются ферритовые пластины. Считывание адреса осуществляется магниточувствительными датчиками.

**В системах адресования с дистанционной памятью** запоминающее устройство расположено вне трассы транспортной установки. За каждым подвижным объектом закреплена ячейка памяти в центральном запоминающем устройстве. Все подвижные объекты оснащены индивидуальным адресным признаком. При подходе подвижного объекта к разветвленному узловому пункту по запросу номеросчитывателя проверяется адрес, содержащийся в ячейке с данным кодом. После дешифрации адрес сравнивается с адресом узлового пункта.

## 7. РОЛЬ И МЕСТО ГАП В ОБЩЕЙ СТРУКТУРЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

### 7.1. Особенности организации ГАП

Отличительными чертами организации гибкого автоматизированного производства являются следующие:

– *интеграция технической подготовки и производства в единую производственную систему*, что позволяет обеспечить непрерывность процесса от момента возникновения идеи до выхода готовой продукции. Конструкторская и технологическая подготовка, организация и нормирование труда, внутризаводское планирование, технический контроль и система управления перестают быть дискретными, разорванными процессами. В условиях ГПС происходит параллельное, одновременное выполнение различных частей этих процессов, а во многих случаях и органичное их слияние в единый комплекс;

– *стирание границ между массовым, серийным и единичным производствами*. **Массовое** производство характеризуется узкой специализацией отдельных рабочих мест при выполнении одной постоянно повторяющейся операции, высокой степенью автоматизации и предназначено для выпуска продукции узкой номенклатуры. **Серийное** производство характеризуется закреплением за каждым рабочим местом нескольких операций, между выполнением которых требуется переналадка или переустройство рабочего места. Оно предназначено для выпуска ограниченной продукции с заданной регулярностью чередования номенклатуры. Продукция выпускается партиями, размер которой определяется не немедленной потребностью на сборке, а экономичностью производства. **Единичное** производство характеризуется отсутствием какого-либо закрепления операций за отдельным рабочим местом, высокой долей ручного труда, выполнением различных операций при отсутствии какой-либо регулярности чередования операций и широкой номенклатуры выпускаемой продукции. **Гибкое** производство характеризуется, прежде всего, высокой степенью автоматизации, равной массовому производству, выполнением разных операций на одном рабочем месте, достаточно широкой номенклатурой деталей, одинаково экономично обрабатываемых любыми партиями при отсутствии требований к какой-либо регулярности чередования операций;

– *сокращение длительности производственного цикла* обеспечивается непрерывной обработкой детали. Интеграция производства ведет к значительному снижению времени нахождения деталей в производстве. Производственный процесс является непрерывным, детали проходят полный цикл обработки от запуска до выпуска без ожидания. Рабочий период сокращается за счет автоматической смены инструмента и заготовок, полной автоматизации технологического, внутрицехового и заводского транспорта и складов, совмещения контрольных и транспортных операций, сокращения межоперационных и междусменных перерывов. При этом до минимума сокращаются величины заделов, запасов и незавершенного производства по всей производственной цепочке. Автоматическая подача материалов на обработку и сборку только тогда, когда они требуются, позволяет сократить движение материалов до минимума. Гибкое производство может работать определенное время в безлюдном или малолюдном режимах, что позволяет не останавливать его для обедненных перерывов, перерывов между сменами на ночь;

– *сокращение продолжительности технической подготовки производства*, представляющей собой совокупность работ по разработке новых и совершенствованию существующих технологических процессов, оборудования, оснастки, инструмента и др. Широкое применение систем автоматизированного проектирования обеспечивает существенное сокращение длительности, трудоемкости и стоимости конструкторских, технологических, научно-исследовательских, экспериментальных и других работ. Расчет и конструирование машин, узлов и деталей, проектирование новых и совершенствование действующих технологических процессов, подготовка управляющих программ для станков, разработка технических норм определения трудоемкости для расчета материальных и людских ресурсов, проектирование технологической оснастки, специальных инструментов и приспособлений, штампов, пресс-форм производятся как единые, последовательно вытекающие один из другого элементы одного процесса, многие из которых генерируются ЭВМ. Не требуется изготовление копий технической документации (чертежей, спецификаций, технологических карт, инструкций, планировок оборудования, схем организации рабочих мест), т. к. вся необходимая документация остается в электронных базах данных и может быть вызвана при необходимости на видеотерминал любого рабочего места в любое время;

– *изменение структуры производства* представляет собой изменение состава и размещения основных, вспомогательных и обслуживающих производств и формы их взаимодействия. Технологическая форма специализации цехов уступает место предметной форме как более прогрессивной, современной тенденции совершенствования производственной структуры. Всесторонняя комплексная автоматизация способствует территориальному сближению разнородных процессов и постепенно ликвидирует технологическую специализацию цехов. ГПС тяготеют к бесцеховой форме организации производства.

Гибкие производственные системы работают практически с максимальным коэффициентом загрузки оборудования (в три смены), быстро изнашиваются и не оставляют свободного времени для предупредительного ремонта, который должен выполняться «на ходу» или в момент вынужденных остановок. Одновременно сложность технологического оборудования, насыщенность его электронными устройствами требуют высокой степени координации работы служб главного механика, главного электрика-электроника, главного энергетика.

## 7.2. Преимущества ГПС

Комплексная автоматизация в ГПС на стадиях технологической подготовки производства и его управления дает значительную экономию времени, затрачиваемого на разработку технологии, проектирование технологического оснащения, разработку управляющих программ, а также сокращает управленческий персонал, срок освоения технологии и затраты на освоение продукции.

Все это делает технико-экономические показатели работы ГПС при мелко- и среднесерийном выпуске изделий близкими к характеристикам массового производства. Численность промышленного персонала при этом сокращается в 6 и более раз, количество станков – в 6–7 раз, производственных площадей – в 4–6 раз, значительно снижается себестоимость.

И все-таки главное состоит в том, что гибкие производственные системы, повышая производительность труда, в корне меняют его характер. Основными фигурами на предприятии становятся операторы, специалисты по электронике, точной механике и прецизионному приводу, наладчики высокой квалификации.

Внедрение ГАП приводит к вытеснению из сферы производства людей с присущими им психофизиологическими ограничениями. По существу, речь идет о «безлюдном» производстве. Тем самым подчеркивается возможность работы ГАП практически без участия человека в течение достаточно длительного времени (обычно одной или двух смен).

Опыт эксплуатации ГПС в различных странах дает возможность провести сравнительный анализ преимуществ гибкого производства по сравнению с традиционной организацией производства. В зависимости от уровня интеграции и степени гибкости по-разному проявляются особенности гибкого производства. В тех случаях, когда проведена интеграция основных, вспомогательных и обслуживающих процессов, ГПС предпочтительнее традиционного производства при мелкосерийном типе производства. Производительность ряда ГПС приближается к производительности «жестких» автоматических линий, обладая при этом значительными возможностями для переналаживания.

Отчетливо прослеживаются следующие преимущества ГПС:

\* *повышение мобильности производства*, проявляющееся в:

- сокращении сроков освоения новой продукции, что особенно важно в связи с требованием быстрой сменяемости продукции;
- возможности обеспечения быстрой приспособляемости производства к изменению объекта изготовления;
- сокращении времени подготовки производства в среднем на 50 %, а в отдельных случаях до 75 %;
- уменьшении наименований и количества необходимого инструмента;
- упрощении конструкции приспособлений и сокращении времени установки заготовки на станке;
- сокращении количества необходимых станков;
- снижении требуемого количества производственных площадей;
- увеличении производственных мощностей;
- возможности модернизации, обновления заводов на базе новейших достижений науки и техники без остановки производства и при меньших капитальных затратах;

\* *повышение производительности труда* обеспечивается:

- ростом производительности труда на всех стадиях производства, в том числе при проектировании, технологической подготовке,

обработке, сборке, контроле, а также во всех процессах вспомогательных производств;

- сокращением времени цикла обработки каждой детали за счет автоматизации установки и снятия заготовок;

- длительным временем работы без присутствия человека или при ограниченном количестве операторов-наблюдателей;

- высоким коэффициентом использования оборудования (0,85–0,9 и выше);

- повышением коэффициента сменности;

- \* *повышение качества продукции*, сопровождающееся:

- увеличением надежности управления станками;

- обеспечением стабильности качества продукции;

- сокращением времени сборки изделий;

- снижением брака и затрат на его ликвидацию;

- автоматизацией контроля размеров обрабатываемых деталей непосредственно на станке;

- \* *сокращение производственного цикла* означает, что:

- интеграция производства ведет к значительному снижению времени нахождения деталей в производстве;

- производственный процесс является непрерывным, детали проходят полный цикл обработки без ожидания;

- сокращаются величины заделов, запасов и незавершенного производства по всей производственной цепочке;

- \* *снижение затрат на производство* в результате:

- снижения себестоимости продукции за счет роста производительности труда;

- сокращения сроков технологической подготовки;

- сокращения вспомогательных работ (складирования, межоперационного транспортирования, контрольных операций и др.);

- сокращения расходов на содержание производственных и вспомогательных площадей, экономии на отоплении и освещении;

- сокращения оборотных средств, снижения объема капитальных вложений и срока их окупаемости.

Большинство существующих в мире ГПС ориентировано на механическую обработку. В основном это ГПС для обработки корпусных деталей и тел вращения широкой номенклатуры.

Эффективность ГПС по сравнению с обработкой корпусных деталей на универсальных или автономно работающих станках с ЧПУ



можно проиллюстрировать на примере автоматизированного комплекса АЛП-3-2, который эксплуатируется с 1985 г. (табл. 2). ГПС содержит четыре многооперационных пятикоординатных станка с ЧПУ и три многооперационных шестикоординатных станка с ЧПУ, а также один станок глубокого сверления с ЧПУ. Имеются автоматизированная транспортно-складская система, автоматизированная система инструментального обеспечения и контроля.

Таблица 2

Основные технико-экономические показатели  
для различных типов производств

Показатель	Универсальные станки	Станки с ЧПУ	ГПС АЛП-3-2
Число используемых станков	70	16	8
Коэффициент сменности	1,3	1,6	2 (3)
Коэффициент загрузки	0,4	0,6	0,85–0,95
Число рабочих-станочников	90	13	4
Средний цикл обработки (дней)	75	45	6

Как видно из табл. 2, внедрение ГАП обеспечивает:

- повышение производительности труда и высвобождение большего числа работающих;
- увеличение пропускной способности оборудования и выпуска продукции (вследствие роста коэффициента сменности и загрузки оборудования);
- улучшение использования основных фондов за счет резкого сокращения требуемого оборудования;
- сокращение длительности производственных циклов и объема незавершенного производства.

Таким образом, применение ГПС эффективно, когда в производстве имеются значительные переналадки оборудования, сопровождающиеся большими межоперационными заделами. ГПС целесообразны, если объем производства изделий недостаточен для принятия решения о «жесткой» автоматизации и использовании автоматических линий и если за ожидаемый срок жизни изделия расходы на создание автоматических линий не могут быть оправданы. Автомати-

ческие линии не могут соперничать с ГПС и тогда, когда выпуск новой продукции должен быть освоен в сжатые сроки. В этих случаях, как и при быстрой сменяемости продукции, серийность выпуска перестает играть решающую роль в выборе основного оборудования.

### 7.3. Трудности при создании ГАП

Проблемы и трудности всегда имеют место при внедрении новой техники, однако для ГПС они могут быть более значительными, т. к. это новая концепция производства, затрагивающая все производственные службы – от конструирования изделия до его сбыта, поставки потребителю. Знание возможных трудностей при эксплуатации ГПС, их учет в решениях еще на этапе создания – залог достижения более высокой эффективности всего производства.

Недостатки ГПС определяются главным образом значительной величиной первоначальных затрат. При этом те, кто использует системы, зачастую не могут при принятии решения дать четкое экономическое обоснование целесообразности применения ГПС, т. к. существует много взаимосвязанных факторов, трудно поддающихся количественному выражению. Поэтому возникает необходимость создания имитационной системы для моделирования и оптимизации ГПС.

Основные проблемы, определяющие сложность создания гибкого производства, следующие:

– *большие первоначальные капитальные вложения.* К первоначальным капитальным вложениям относятся затраты, связанные с приобретением и пуском ГПС по достижении проектной мощности;

– *сложности при проектировании и внедрении системы управления.* В первую очередь, это проблема создания надежного программного управления. Опыт показывает, что продолжительность простоев из-за сбоя программ несколько больше, чем планируется при создании ГПС. Это требует более тщательного подбора и совершенствования вычислительной техники, программного обеспечения и методов стыковки электронного оборудования;

– *проблемы подготовки кадров.* Для решения проблем гибкого производства требуется соответствующая подготовка и переподготовка кадров, организация обучения участников производственного процесса по специальным программам. Концепция гибкого производства изменяет роль каждого специалиста. Рабочий перестает быть

оператором, знающим одну специальность, он становится техником, владеющим рядом профессий. Инженер-конструктор и инженер-технолог объединяются в одного специалиста, хорошо знающего проблемы обоих направлений, управленческий персонал должен владеть навыками программирования для формулирования задач, анализа и оценки произведенной работы;

– сложность проектирования ГПС и выполнения технико-экономического анализа. Наибольшим препятствием на пути широкого использования ГПС являются не чисто технические нерешенные на сегодня проблемы, а отсутствие четкого методического анализа проблем организации ГПС и методов технико-экономического обоснования эффективности. Не решены проблемы количественной и качественной оценки требующейся степени гибкости, необходимого уровня электронизации и интеграции.

Основной показатель «степень гибкости» можно охарактеризовать количеством затрачиваемого времени и необходимых дополнительных затрат при переходе на выпуск новой продукции. Основным качеством гибкой технологии, в отличие от «жесткой», является возможность производить детали в таких количествах и тогда, когда они нужны на сборке, т. е. иметь минимальные запасы и заделы.

Анализ взаимосвязи между производственными показателями и факторами, определяющими уровень гибкости, дает возможность определить три важных показателя, характеризующих гибкость системы:

– **универсальность** – способность системы обрабатывать детали различной формы и в разных количествах во время нормальной работы системы без какой-либо ее перестройки;

– **приспособляемость** – способность системы после ее отладки быть измененной таким образом, чтобы обрабатывать другие детали и в других объемах посредством введения необходимых команд в систему извне или путем самонастраивания;

– **устойчивость** – способность системы адаптироваться к отклонениям параметров заготовок, условий работы при гарантии выполнения всех предписанных ей технических требований без возникновения собственных нарушений и потери качества продукции.

Абсолютная гибкость является теоретическим понятием, степень приближения к ней зависит от реальных задач и развития средств производства в будущем. Большинство созданных в мире ГПС име-

ет весьма ограниченную гибкость, и только наиболее передовые в научно-техническом отношении ГПС имеют возможность изменения технологического процесса, близкую к непрерывной.

Понятие «абсолютная гибкость» можно определить как возможность ГПС обрабатывать любые однородные детали, в любой случайной последовательности, в любом требуемом количестве, как способность переходить на выпуск новой продукции без дополнительных затрат, увеличения оборотных средств и дополнительного времени. Однако такой уровень гибкости не всегда может быть экономически оправдан. Поэтому в каждую систему при ее создании необходимо вкладывать в зависимости от возможных изменений конкретных условий в будущем и достижения максимальной производительности при минимальной себестоимости только экономически оправданное количество гибкости.

Понятие гибкости производственной системы является многокритериальным и неоднозначным. В зависимости от конкретно решаемых задач на первый план могут быть выдвинуты различные аспекты гибкости, например, такие, как:

- **машинная гибкость** – простота перестройки технологического оборудования ГАП для производства заданного множества деталей;

- **технологическая гибкость** – способность на имеющемся оборудовании выполнять несколько технологических задач, что обеспечивается использованием многоцелевых и многоинструментальных станков;

- **структурная гибкость** охватывает несколько возможностей: свободу в выборе последовательности обработки, возможность при выходе из строя любой единицы оборудования выполнять обработку на аналогичном оборудовании, возможность наращивания системы за счет введения новых технологических модулей;

- **производственная гибкость** – способность продолжать обработку заданного множества деталей при отказах отдельных технологических элементов ГАП;

- **маршрутная гибкость** – возможность изменения порядка выполнения операций;

- **гибкость по продукту** – способность быстрого переключения на выпуск новых деталей;

– **гибкость по объему** – способность ГАП эффективно функционировать при различных объемах производства;

– **гибкость по номенклатуре** – способность производить разнообразные изделия.

Многообразие решаемых задач не дает возможности сформулировать единые методы комплексной численной оценки гибкости, позволяющие сравнивать различные системы. Поэтому целесообразно оценивать три формы гибкости: *структурную, технологическую и организационную*.

#### **7.4. Опыт создания и эксплуатации ГПС в машиностроении**

В конце 60-х годов прошлого века прогресс вычислительной техники и средств автоматизации технологических процессов достиг такого уровня, что в промышленно развитых странах был поставлен вопрос о крупномасштабной автоматизации на основе ЭВМ. Однако в то время нельзя было точно ответить, где именно проявится наибольший эффект от внедрения новых технических средств – в технологии или в областях, связанных с организацией технологии и производства (исследования, проектирование, конструирование, организационное управление). Поэтому в 70-х годах двадцатого столетия практически автономно стали развиваться главным образом две сферы: автоматизация обработки информации – автоматизированные системы управления, системы автоматизированного проектирования; автоматизация технологии производства – технологическое оборудование с числовым программным управлением от ЭВМ, автоматизированные системы управления технологическими процессами, промышленные роботы.

Полученный опыт показал, что автоматизация обработки информации в отрыве от автоматизации технологии не приводит к желаемым результатам. По этой причине в 80-х годах был взят курс на интеграцию указанных сфер автоматизации. Наиболее интенсивно такая интеграция осуществляется в направлении, получившем название гибкие автоматизированные производства и гибкие производственные системы.

Появление ГПС в машиностроении обязано таким достижениям

научно-технической революции, как станки с ЧПУ, промышленные роботы и вычислительные машины третьего поколения с хорошо развитым интерфейсом.

За время своей короткой истории ГАП претерпели ряд качественных изменений, касающихся, прежде всего, принципов управления, а также связанных с ними особенностей информационного, про-граммного и технического обеспечения. Поэтому ГАП можно условно разбить на ряд поколений, знаменующих собой важнейшие этапы автоматизации.

*Первый этап гибкой автоматизации* связан с появлением в 1955 г. станков с ЧПУ. Однако они долгое время не находили широкого применения. Это было связано с тем, что первые образцы таких станков были дороги и ненадежны. Ситуация радикально изменилась в начале 70-х годов, когда появились дешевые и надежные микропроцессоры и микроЭВМ. После этого устройства с ЧПУ стали строить на микропроцессорной основе, что привело к резкому снижению стоимости и повышению гибкости и надежности программно-управляемого оборудования. Высокая мобильность систем числового программного управления уже могла обеспечить экономическую эффективность применения их как в мелкосерийном, так и в массовом производстве при частых сменах объекта производства.

В 1962 г. в промышленности появился другой важный компонент ГПС – роботы. В результате возникла принципиальная возможность автоматизировать не только вспомогательные операции, связанные с обслуживанием станков с ЧПУ, но и многие основные технологические операции (сварка, окраска, сборка и др.). Промышленное использование и совершенствование роботов знаменует второй этап становления гибкой автоматизации. На этом этапе появились также и первые системы искусственного интеллекта, такие, как системы технического зрения, системы автоматизированного проектирования и др.

Третий этап связан с созданием гибких робототехнических комплексов, включающих станки с ЧПУ и обслуживающие их роботы. Управляемые от ЭВМ РТК позволили в несколько раз повысить производительность труда и значительно снизить численность обслуживающего персонала, доведя ее до одного человека-оператора на несколько РТК.

На четвертом этапе гибкой автоматизации, начавшемся в начале 70-х годов, появились ГПС первого поколения, функциональные возможности которых ограничивались малым ассортиментом датчиков информационной и несовершенством управляющей системы. Из-за несовершенства информационной и управляющей систем наладка и эксплуатация ГПС первого поколения производилась с помощью людей. Поэтому такие системы правильнее назвать не автоматическими, а автоматизированными. В основе их действия лежат принципы программного управления оборудованием и последовательной технологии обработки изделий. Согласно этим принципам весь технологический процесс изготовления требуемой продукции расчленяется на элементарные операции, а их реализация возлагается на технологическое оборудование с ЧПУ и роботы, расположенные в соответствии с порядком выполнения операций и связанные между собой и складами транспортными средствами. Алгоритмы управления и функционирования такой ГПС (очередность запуска заготовок, порядок перехода деталей от станка к станку, время замены инструмента и т. п.) являются по существу жестко заданными. Они изменяются только при переходе на новые типоразмеры или виды продукции.

Успешная эксплуатация ГПС с программным управлением возможна лишь при строго определенных и неизменных производственных условиях. Однако организация требуемых условий сопряжена с большими затратами на изготовление специальной оснастки и приспособлений для каждого типа изделий. Тем не менее область возможных применений ГПС первого поколения достаточно широка. Использование этих систем наиболее эффективно в тех условиях, когда число различных типов изделий незначительно, а годовой объем изделий в серии велик.

Пятый этап гибкой автоматизации связан с быстрым совершенствованием ГПС и созданием на их основе экспериментальных заводо-автоматов.

Основной тенденцией последних лет является создание оборудования с высокой концентрацией выполнения технологических операций – многоцелевых станков с числовым программным управлением типа «обрабатывающий центр» и автоматических линий, составленных из таких станков. Характерная особенность этого оборудования – наличие автоматического магазина с комплектом сменного

инструмента, необходимого для выполнения полного набора технологических операций.

В 1980 г. японская фирма «Фанук» ввела в эксплуатацию весьма совершенный гибкий автоматизированный завод, состоящий из двух производств, на одном из которых изготовлялись роботы (1000 штук в год). В состав завода-автомата входили следующие компоненты: технологическое оборудование с ЧПУ, роботы, автоматические склады, транспорт, сборочная линия, системы диагностики оборудования, уборки отходов производства и контроля качества продукции, центральный пульт управления на основе ЭВМ. Здесь трудились 100 рабочих и 40 роботов. Выработка одного рабочего в 5–6 раз превышала аналогичный показатель рабочего обычного предприятия такого же назначения. Уровень автоматизации в цехе сборки достигал 65 %, в механообрабатывающем цехе – 90 %. Завод работал круглые сутки, при этом за механической обработкой в ночную смену наблюдал один рабочий. В дневную смену один рабочий наблюдал за работой от 5 до 10 обрабатывающих центров.

Процесс производства роботов был организован следующим образом. Материалы, получаемые заводом, складировались на автоматическом складе, имеющем 477 ячеек. По командам центральной ЭВМ материалы со склада по мере необходимости подавались для обработки в ГАП двух типов.

Гибкое автоматизированное производство первого типа включало семь обрабатывающих центров с ЧПУ и промышленные роботы. В состав ГАП второго типа входили 22 обрабатывающих центра с ЧПУ и автоматизированные устройства смены «спутников» (специальной тары для деталей и инструментов).

Роботы и устройства смены «спутников» (палет) производили автоматическую загрузку и разгрузку деталей и инструмента. Готовые детали автоматически транспортировались на склад, имеющий 350 ячеек. По командам центральной ЭВМ детали изымались со склада, автоматически адресовались и транспортировались на сборочную линию. Завод мог работать в автоматическом режиме непрерывно в течение 16 часов.

История создания данного завода такова. В 1973 г. в Японии была начата комплексная программа научно-технических исследований, направленных на создание завода-автомата с гибкой технологией. Программа финансировалась государством при участии 15 част-



ных корпораций. К 1976 г. были разработаны общие принципы построения гибкого завода-автомата. В последующие годы завод был спроектирован и построен фирмой «Фанук».

Другой роботизированный механосборочный гибкий завод фирмы «Фанук» производил сервоэлектродвигатели постоянного тока для роботов и станков с ЧПУ. В производственных отделениях, расположенных на двух этажах, было установлено 60 обрабатывающих центров. На заводе использовалось более ста роботов для загрузки станков и сборки электродвигателей. Завод также работал круглосуточно, при этом в дневную смену трудилось 60 рабочих, а в ночное время – 1. Завод выпускал в месяц 10 тысяч электродвигателей сорока типоразмеров. Была автоматизирована обработка более 900 различных деталей партиями от 20 до 1000 шт. Уровень автоматизации достигал 95 %. Особенностью данной производственной системы являлась обработка и сборка мелких деталей с небольшим временем обработки, что для гибкой автоматизации является более трудной задачей, чем автоматизация и организация «безлюдного» производства крупных деталей с длительным временем обработки.

Полностью интегрированные производства еще не созданы. Однако начало этому положено внедрением во многих странах мира ГПС различной степени гибкости и интеграции. Отдельные ГПС интегрируют системы обработки, САПР, АСУТП, транспортировку, автоматические склады-распределители, другие – объединяют только часть перечисленного. На многих промышленных предприятиях типичным является раздельное существование автоматизированных систем управления, систем автоматизированного проектирования, автоматизированных систем управления технологическими процессами, роботизированных технологических комплексов, различных станков с числовым программным управлением и обрабатывающих центров.

В промышленности эксплуатируется большое количество гибких производственных модулей, гибких автоматизированных линий, участков и цехов с автоматизированными транспортом и складами. Если в начале 80-х годов прошлого века в мире насчитывалось немногим более ста ГПС, то сейчас их количество уже не поддается учету. Гибкие производственные системы в разных масштабах (от линии до цеха) созданы в основном в машиностроительных отраслях, включая приборостроение, радио- и электронную промышленность. Многие ГПС ориентированы на механическую обработку.

Большинство гибких производственных систем в машиностроительной промышленности ряда стран представляют собой сугубо индивидуальные решения. Интересны такие ГПС, которые по своему назначению, организации и выбору оборудования могут рассматриваться как типовые представители нескольких направлений развития, особенно с точки зрения их возможного тиражирования в дальнейшем.

В Японии (фирма «Ямазаки») функционирует «Система 21» («Система XXI столетия»), являющаяся частью завода, в состав которого входят еще четыре цеха: автоматизированный (малолюдный) цех для производства штамповарных деталей (крышек, кожухов и т. п.), включая их окраску; большой высокоточный цех с постоянным климатом (отклонения температуры  $\pm 1^\circ\text{C}$ ) по изготовлению шариковых винтов, гаек и сборке шариковых пар и два сборочных цеха, в которых, кроме того, проводится отладка и инспекция станков. Все пять цехов связаны проездом десятиметровой ширины, по которому перемещаются автоматически управляемые тележки «робокары». Всего здесь 60 станков с ЧПУ, 28 универсальных станков, 12 автоматических индуктивных тележек «робокаров» и шесть ЭВМ. Завод рассчитан на выпуск 120 токарных станков с ЧПУ и обрабатывающих центров в месяц при трехсменной работе. В этом типично серийном производстве автоматизированы все основные и вспомогательные операции. Степень автоматизации составляет 96 %. Автоматические комплексы и автоматические механизмы не только производят разнообразные изделия машиностроения, но и автоматически монтируют, контролируют и испытывают готовую продукцию – механизмы с ЧПУ. Сложная автоматическая производственная техника обслуживается минимальным числом работников, занятых преимущественно в первую смену. В ночную (третью) смену автоматические комплексы, включающие в себя значительное количество промышленных роботов и средств автоматизации, работают без обслуживания, по автоматическому циклу, лишь два имеющихся на заводе оператора наблюдают за ними с помощью мониторов. Непосредственное управление станками с ЧПУ, системами станков с промышленными роботами, как и управление автоматическим производством в целом, осуществляется электронно-вычислительными машинами.

Гибкая производственная система, работающая по принципу «все только тогда, когда нужно», фирмы «Рено» (Франция) состоит из семи станков: четыре четырехкоординатных обрабатывающих цен-

тра с магазинами на 60 инструментов (два для черновой и два для чистовой обработки); два обрабатывающих центра со сменой многошпиндельных головок с конвейерной системой на 45 головок на каждый станок; для каждой детали в конвейерной системе наготове имеется набор головок, подаваемых в соответствии с порядком переходов; трехкоординатный обрабатывающий центр для расточки и торцовки с магазином на 12 тяжелых инструментов. Имеется также автоматическая моющая машина для очистки от стружки деталей вместе с палетами (вне системы есть еще одна моющая машина для деталей после их снятия с палет). Система обслуживается двумя загрузочно-разгрузочными позициями в начале цеха, на которых два оператора дают команды на установку и снятие заготовок и деталей. Каждый станок имеет позицию ожидания на одну деталь.

Гибкая производственная система для опытного производства фирмы «Ситроен» (Франция) состоит из двух пятикоординатных обрабатывающих центров и представляет собой полную интеграцию с АСТПП. Через терминал в систему вводятся данные чертежа детали. На основе этой информации на экране конструируется приспособление, для чего используется библиотека стандартных элементов, а также генерируются управляющие программы для обработки, мойки и измерения размеров на координатно-измерительной машине с ЧПУ. Управляющие программы хранятся в ЭВМ. Индуктивные тележки связывают позиции загрузки и разгрузки заготовок и деталей со станками, моющей станцией, измерительной машиной, доставляют режущий инструмент с участка их предварительной настройки и склада к станкам. Два пятикоординатных центра каждый с цепным магазином на 50 инструментов могут обрабатывать любую деталь в пределах куба со стороной 500 мм. Система предназначена для обработки деталей опытных партий автомобилей (блоков цилиндров, корпусов коробок передач, корпусов дифференциалов, корпусов муфт и других корпусных деталей) из чугуна, стали и различных легких сплавов весом вместе с палетой до 1000 кг.

Гибкий производственный участок фирмы «Ямадзаки Тэкоссио» состоит из двух линий. В первой имеется восемь горизонтальных обрабатывающих центров, во второй – три горизонтальных и семь вертикальных. В каждой линии предусмотрены загрузочные манипуляторы для поддонов-спутников; в первой линии применены за-

грузочные манипуляторы для барабанных инструментальных магазинов. Внедрение участка позволило уменьшить количество станков с 68 до 18. Число рабочих уменьшилось с 215 до 6 человек в первой и во второй сменах, в третьей смене рабочих нет. Длительность производственного цикла сократилась в 20–30 раз.

Фирма «Гаррис» внедрила ГАП для обработки 700 типоразмеров деталей типографского оборудования (детали цилиндрической формы диаметром от 40 до 400 мм и длиной от 450 до 3000 мм). Обработка ведется партиями от 5 до 500 штук. Управляющая ЭВМ составляет график производства деталей на срок до 30 дней по критерию минимизации потерь времени. Система состоит из 11 участков. Каждая заготовка, чтобы превратиться в готовую деталь, проходит в среднем пять участков. Путь движения заготовки определяет ЭВМ. Производственная площадь, занимаемая системой, – 90 × 12 м. Внедрение ГАП позволило в четыре раза сократить количество рабочих, при этом оставшийся персонал в основном занят контролем качества, диагностикой неисправностей и наблюдением за работой оборудования.

Характерным примером того, как усложняющиеся требования производства диктуют необходимость развития гибкой автоматизации, является область микроэлектроники. Изделия микроэлектроники в виде больших интегральных микросхем достигли такого уровня сложности и миниатюрности, что стало невозможным применять ручной труд в их производстве. Потому именно в данной области наблюдается быстрый прогресс в широком использовании роботов и ГПС при автоматизации сборки изделий.

Наиболее трудоемкими, монотонными и зрительно напряженными операциями в производстве интегральных микросхем являются монтаж кристаллов в корпус и разварка внутренних проволочных выводов приборов. В электронной промышленности созданы цеховые структуры ГПС с минимальным участием людей в самых ответственных технологических операциях микросборки и микросварки. В результате производительность сборки в расчете на одного оператора увеличилась в 20 раз. При этом решена важная социальная проблема – человек освобожден от выполнения вредной для зрения и здоровья работы, связанной с необходимостью совмещения под микроскопом прецизионных элементов с точностью до нескольких микрон и частотой повторения операций до 25 тысяч раз в смену.

Сложные ГПС строятся по модульному принципу, т. е. komponуются из типовых (унифицированных) РТС и технологических ячеек. В роли таких ячеек могут выступать РТК, автоматические склады и транспортные системы, автоматические контрольно-измерительные комплексы. Технологические ячейки также строятся из унифицированных узлов. Это позволяет при выходе из строя какого-либо узла быстро заменить его и тем самым обеспечить работоспособность соответствующей ячейки. Для своевременного устранения неисправностей многие ячейки и узлы снабжаются автоматическими устройствами диагностики отказов. Модульная структура технологических ячеек и ГПС в целом позволяет мобильно их видоизменять в соответствии с конкретными запросами потребителя.

Основным технологическим принципом, реализуемым в ГПС, является принцип групповой организации производства. Согласно этому принципу сначала выпускаемые изделия разбиваются на группы (классы) по конструктивно-технологическим признакам (по типам обработки, оборудования, инструмента и т. п.), а затем для каждой группы разрабатывается свой унифицированный технологический процесс, который позволяет на базе определенной совокупности технологических ячеек обработать любое изделие из данной группы.

Важно отметить, что очередность прохождения каждой заготовки через технологические ячейки заранее не фиксируется, а определяется в зависимости от степени их загрузки. Благодаря этому обеспечивается оптимальная загрузка оборудования и повышается его производительность.

Управление ГПС с групповой технологией уже не может быть «жестким», а требует адаптации к изменяющимся производственным условиям. Это предъявляет повышенные требования к информационной системе, которая помимо широкого ассортимента датчиков информации о состоянии производства должна содержать его имитационную модель. Использование такой модели и сигналов обратной связи от датчиков позволяет организовать адаптивное управление производством, реализуемое на основе многопроцессорной вычислительной сети.

Гибкие производства с адаптивным управлением от ЭВМ представляют собой второе поколение ГПС. Они принципиально отличаются от ГПС первого поколения мощным информационным и программным обеспечением, позволяющим существенно расширить адап-

тационные возможности управляющей системы. Такие ГПС за счет самонастройки управляющей системы могут автоматически приспособляться к заранее неизвестным и изменяющимся условиям эксплуатации.

Следующее, третье, поколение ГПС – это ГПС с интеллектуальным управлением. Характерной чертой таких ГПС является высокий уровень интеллектуальности, обеспечиваемый введением в управляющую систему элементов искусственного интеллекта. Благодаря этому удастся автоматизировать такие интеллектуальные функции, как планирование производства, проектирование продукции, оптимизация технологических процессов, программирование оборудования, распознавание производственных ситуаций и диагностика отказов.

Реальные потребности в ГПС третьего поколения появились лишь на современном, шестом этапе гибкой автоматизации. Они связаны с дальнейшим развитием ГПС в направлении создания «безлюдных» адаптивных производств с интеллектуальным управлением от сети ЭВМ на принципах «бесбумажной» информатики. Однако на этом пути имеется еще много трудностей и препятствий. Поэтому системы искусственного интеллекта, используемые в таких ГПС, зачастую работают не в автоматическом, а в интерактивном (автоматизированном) режиме, т. е. с участием человека. Примерами таких автоматизированных систем искусственного интеллекта, реально используемых в современных ГПС, могут служить системы автоматизированного проектирования, автоматизированные системы технологической подготовки производства и системы автоматизированного контроля. В перспективе все эти системы, как и ГПС в целом, будут работать в автоматическом режиме.

Описанная эволюция гибких производственных систем вовсе не означает, что последующее поколение ГПС обязательно вытесняет и заменяет предыдущее. На самом деле каждое поколение ГПС служит для эффективного решения тех производственных задач, которые ему наиболее адекватны.

## **7.5. Полный цикл гибкого автоматизированного производства**

Полный сквозной цикл гибкого автоматизированного производства включает в себя несколько основных этапов и соответствующих им подсистем: исследования, проектирования, конструирования,

технической и технологической подготовки производства, изготовления, контроля, складирования.

**Подсистема исследования** выполняет функции центра моделирования производственной системы и в отличие от традиционного производства органически встраивает моделирование в общий производственный процесс.

**Подсистема проектирования** производит уточнение характеристик изделия по грубым моделям, осуществляет необходимый структурный анализ элементов изделия, разрабатывает программы систем ЧПУ для изготовления макетных образцов, проектирует детали и узлы конструкции, выпускает все необходимые чертежи и документацию.

**Подсистема планирования** обеспечивает разработку и оптимизацию режимов производственной деятельности.

**Подсистема технологической подготовки производства** осуществляет разработку необходимого технологического оборудования, инструмента (штампов, пресс-форм, специального инструмента) и оснастки, обеспечивает запас необходимого инструмента, выпускает чертежи и документацию на оборудование и оснастку, разрабатывает программы систем ЧПУ для изготовления оснастки, генерирует исходные данные для контроля и измерений в процессе производства.

**Подсистема изготовления, контроля, складирования** продукции управляет оборудованием с ЧПУ по изготовлению оснастки, деталей и узлов изделий, автоматическим складированием деталей, узлов и заготовок, транспортной сетью, технологическими, сборочными и транспортными роботами; осуществляет контроль и диагностику продукции, технологического оборудования и процессов; обеспечивает надежность функционирования производственной системы.

Наибольшие трудности для формирования ГАП сквозного цикла создают следующие факторы:

- отсутствие промышленно изготавливаемых и поставляемых «под ключ» систем (большинство имеющихся систем являются экспериментальными разработками либо серийно выпускаются ограниченные фрагменты систем);

- отсутствие стандартизации изготавливаемого продукта по классам и семействам однородных операций;

- большое разнообразие в аппаратурном исполнении элементной гибкой технологии, что затрудняет физическую интеграцию системы;

- отсутствие эффективного интерфейса в составе программного и

математического обеспечения сквозного цикла гибкого производства;  
– несовершенство технических характеристик оборудования и аппаратуры управления.

Построение сквозного цикла гибкого производства является настолько сложной технической и организационной проблемой, что во многих странах вынуждены были организовать национальные программы по исследованиям в данной области.

Рассмотрим задачу гибкой автоматизации производства в масштабе всего завода. Все цеха связаны друг с другом общей цепочкой производственных процессов. Все они должны иметь одинаково гибко переналаживаемую систему по всей переменной номенклатуре изделий, выпускаемой заводом. Отсюда возникает задача гибкой автоматизации строго согласованных межцеховых взаимосвязей всех сторон деятельности каждого цеха. Но, кроме цехов, осуществляющих производство продукции, завод имеет другие подразделения. К ним относятся общезаводские склады сырья, материалов, комплектующих изделий, готовой продукции. Имеется межцеховой транспорт, заготовительные и инструментальные цеха, контрольно-испытательные станции. Важными подразделениями завода являются проектно-конструкторские бюро, отделы технологической подготовки производства, планово-финансовые и многие другие. Достаточно высокая степень автоматизации работы должна затронуть деятельность всех подразделений завода в едином комплексе управления посредством сети ЭВМ с оптимизацией всех взаимосвязей между подразделениями. Сложные задачи возникают при автоматизации работы складов, заводского транспорта, погрузочно-разгрузочных работ. Большие трудности вызывает автоматизация процессов в заготовительных и инструментальных цехах, связанные с их специфическими особенностями.

Особое внимание необходимо обратить на проектно-конструкторские работы и технологическую подготовку производства. В этом комплексе работ чрезвычайно много рутинного человеческого труда, масса чертежных и вычислительных операций, необходимость кропотливого перебора очень большого числа государственных стандартов для получения наилучшего конструкторского или технологического решения.

Анализируя деятельность завода с целью ее автоматизации, необходимо учитывать тесную органическую взаимосвязь не только производственных цехов, но также проектно-конструкторских ра-



бот и технологической подготовки в совокупности с самим процессом производства. При этом важно, чтобы конструктор и технолог глубоко вникали в те новые требования к конструкции изделия и технологии его изготовления, которые возникают в связи с исключением человека из непосредственного хода технологических процессов, т. е. при гибкой автоматизации производства.

Переоборудование производственных цехов имеет обратное влияние на существенную модернизацию конструкторской работы и технологической подготовки, на модернизацию конструкторских нормалей, технологических приемов и требований. Вместе с тем необходимо и в этой области человеческой деятельности путем автоматизации с применением ЭВМ исключить рутинную часть труда, значительно ускорить процессы создания конструкторской и технологической подготовки, а также сократить персонал, занятый в конструкторских и технологических бюро завода. Решить эти проблемы призваны системы автоматизированного проектирования изделий и автоматизированные системы технологической подготовки производства. Человек выполняет здесь работу в диалоговом режиме с ЭВМ. В этих системах имеются банки данных по всем необходимым ГОСТ, нормалам, материалам, полуфабрикатам и комплектующим изделиям, по имеющимся готовым конструкциям, схемам, технологическим решениям и т. д.

Чтобы убедиться в том, что технические характеристики будущей машины по данному проекту получились в соответствии с заданными требованиями, целесообразно на этом этапе проводить с помощью ЭВМ математическое моделирование. Это важно для ускорения и удешевления последующих натуральных испытаний и доработок. Результаты проектирования могут быть выведены на графопостроители, машинные распечатки, а также в виде алгоритмов и программ, в том числе и на машинных носителях. Это завершающая стадия процесса проектирования, после которой вступает в работу автоматизированная система технологической подготовки производства. Она, используя проектную документацию, вырабатывает на машинных носителях все программы, необходимые для изготовления деталей, сборки узлов и спроектированной машины в целом, а также подбора и, при необходимости, изготовления инструментов и оснастки (штампов и пр.).

Итак, в общем случае гибкой производственной системы полу-

чается единая цепь крупных комплексов, содержащих локальные сети ЭВМ, начиная от САПР изделий и технологии, гибких цеховых производственных систем вплоть до выпуска продукции. Все звенья этой цепи тесно взаимосвязаны в единый слаженный организм.

В такой системе человек исключается из непосредственного участия в цепочке технологического процесса, освобождается он и от рутинной «писанины», черчения, расчетов, поиска в справочниках, ГОСТ и т. п., но производство не становится совершенно безлюдным. В цехах остаются операторы, вводящие производственные задания на изготовление той или иной продукции при помощи гибкой переналадки в основном с помощью программного обеспечения, наладчики, диспетчеры, ремонтные рабочие и некоторые другие специалисты. Но важно, что в исправном налаженном состоянии цех целиком может работать при полном отсутствии людей, общее их количество на заводе сильно сокращается, а эффективность его деятельности многократно увеличивается.

В наиболее совершенном виде ГПС будут представлять системы технологического оборудования и оснастки, автоматически выполняющие комплекс операций по созданию гаммы изделий от разработки для них конструкторской и технологической документации до подготовки производства и изготовления этих изделий в требуемых количествах при обеспечении производительности оборудования и себестоимости продукции на уровне современного массового производства аналогичного изделия одного наименования.

### **7.6. Роль и место ГАП в общей структуре промышленного производства**

Первоначальный мировой опыт разработки и эксплуатации ГАП наглядно продемонстрировал жизнеспособность концепции ГАП как высокоинтенсивной и вместе с тем трудосберегающей формы производства. ГАП позволяют увеличить в среднем коэффициент использования оборудования на 30 %, уменьшить его простой на 40 %, снизить стоимость единицы продукции на 10 %, уменьшить потребность в персонале на 30 %, обеспечить поточное изготовление единичных партий изделий, поступающих в случайном порядке при номенклатуре до нескольких десятков единиц. Причем такие результаты получаются в условиях, когда новое гибкое производство

сочетается с традиционным производством и обеспечивает от 3 до 10 % от общего выпуска продукции данным предприятием.

Гибкие производственные системы могут быть применены в условиях производства с различной серийностью. Однако следует отметить, что ГАП не могут заменить все традиционные типы производств, их области применения широки, но вместе с тем не беспредельны.

Роль и место ГПС в комплексной автоматизации производства можно наглядно охарактеризовать с помощью рис. 16, на котором приведены области наиболее эффективного применения различного оборудования и средств автоматизации в зависимости от размеров партий однотипных деталей и разнообразия номенклатуры производимой продукции.

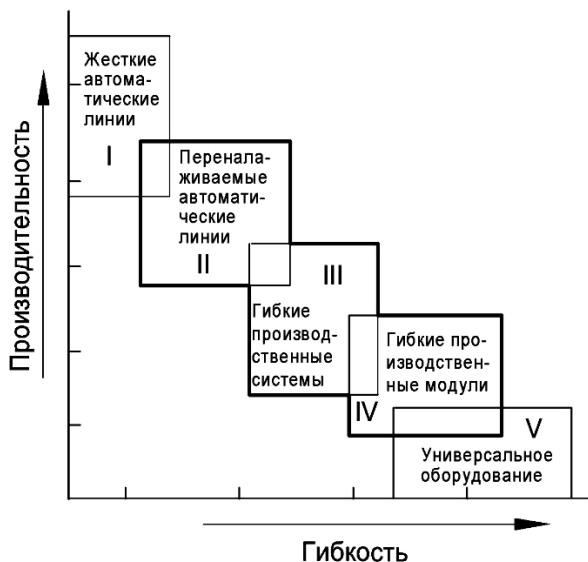


Рис. 16. Области эффективного применения разных видов автоматизации производства

Область I соответствует автоматическим поточным линиям и специализированным станкам-автоматам, применяемым в массовом производстве. Эти средства рассчитаны на выпуск больших объемов одной и той же продукции (различающейся, может быть, лишь типоразмером), поэтому их гибкость чрезвычайно мала. Однако про-

изводительность этих традиционных средств автоматизации обычно очень высока.

Крупносерийное производство предполагает применение высокопроизводительного специализированного технологического оборудования, объединенного автоматическими транспортно-загрузочными механизмами, что в комплексе представляет собой автоматические линии. Возрастающие темпы технического прогресса требуют в крупносерийном производстве сравнительно частого изменения конструкций и свойств выпускаемых изделий, что вызывает необходимость в переналадке или изменении структуры автоматической линии. Таким образом, от технологического оборудования требуется гибкость, которая в данном случае заключается в обеспечении возможности нетрудоемкого перехода от обработки одной детали к обработке другой подобной детали (область II).

В условиях индивидуального производства единичных изделий целесообразно использование универсального или уникального оборудования, обслуживаемого высококвалифицированным персоналом. При единичном и экспериментальном производстве могут использоваться отдельные виды различного программно-управляемого оборудования (станки с ЧПУ, обрабатывающие центры и т. п.). Такое оборудование в условиях единичного производства характеризуется высокой гибкостью и низкой производительностью. На рисунке этому виду производства соответствует область V.

Среднесерийное многономенклатурное производство характеризуется частой сменой и повторяемостью выпускаемых изделий, а также небольшой длительностью выпуска деталей одного типа. Комплексная автоматизация такого производства наиболее эффективно может быть осуществлена на основе создания гибких производственных комплексов, базирующихся на методах групповой технологии. В мелкосерийном производстве для обработки большой номенклатуры часто сменяемых деталей целесообразно использовать автономные производственные ячейки – гибкие производственные модули, позволяющие повысить рентабельность этого производства. Для такого автоматизированного производства характерна высокая гибкость и невысокая производительность (область IV).

Промежуточное положение (область III) между высокопроизводительными, но не гибкими автоматическими линиями массового производства и относительно малопродуктивными станками с

ЧПУ, обладающими высокой гибкостью технологии обработки, занимают ГПС. Этот факт можно интерпретировать так: ГПС стремятся соединить преимущества массового (высокая производительность) и единичного производства (большая гибкость) в условиях мелко-, средне- и крупносерийного производства. Их выгодно использовать при размерах партий в несколько сотен штук и разнообразии номенклатуры от единиц до сотен разных деталей. В этих условиях достигается разумный компромисс между гибкостью и производительностью автоматических производственных систем. Совокупность областей II–IV характеризует условия, при которых использование ГПС оказывается наиболее эффективным. На рис. 16 крупно-серийному производству соответствует область II, среднесерийному – область III, а мелкосерийному – область IV.

Таким образом, в зависимости от номенклатуры и объема выпуска изделий степень рационального использования определенного технологического оборудования различна.

Если сравнивать по себестоимости единицы продукции в зависимости от объема годового выпуска, то гибкая автоматизация целесообразна в диапазоне годового объема выпуска от десятков и сотен тысяч деталей до нескольких миллионов. Выше нескольких миллионов выгодно применять жесткую автоматизацию, а при нескольких сотнях деталей в месяц целесообразен ручной труд.

По производительности ГПС приближаются к жестким специализированным автоматическим линиям, применяемым в массовом производстве. Однако ГПС обладают гибкостью, необходимой в серийном и крупносерийном производстве, уступая по этому параметру только ГПМ и универсальным станкам с ЧПУ.

На рис. 16 все соседние области пересекаются. Это говорит о том, что невозможно провести четкие границы между областями применений ГПС и традиционных средств автоматизации. Тем не менее общая граница областей II, III и IV, обведенная на рисунке жирной линией, определяет наиболее целесообразное место ГПС в общей структуре промышленного производства.

Наибольшее распространение ГПС получили в механообработке. Здесь сформировались типичные структуры – модули, объединяемые в линии или участки с помощью транспортно-складских систем. В состав модуля обычно входят обрабатывающий центр, накопитель палет или кассет и средства числового программного управле-

ния. Наиболее широкое распространение ГПС получили в обработке резанием (50 %), штамповке (21 %), сварке (12 %), сборке (5 %), в остальных технологиях – 12 %.

В ГПС механообработки преимущественное развитие получила обработка корпусных деталей. Это определяется главным образом большим временем технологического цикла их обработки. В модулях для обработки тел вращения из-за уменьшенных периодов обработки повышаются требования к создаваемым на входе запасам заготовок и увеличиваются затраты на загрузку и разгрузку станков. Из-за высокой стоимости затрат модули для тел вращения гораздо реже объединяются в линии и участки. Обычно это делается при однообразных деталях типа валов.

Гораздо труднее с помощью ГПС осваиваются сборочные технологии. Это обусловлено следующими особенностями сборочных процессов:

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

Если в ГПС механообработки центральным компонентом является обрабатывающий центр, то для ГПС сборки наиболее важным компонентом являются промышленные роботы, обеспечивающие универсальность и гибкость сборочного оборудования. Однако в сборке требуются роботы с развитой сенсорной системой и достаточно высоким уровнем машинного интеллекта, что влияет на повышение уровня затрат при создании ГПС сборки. Поскольку роботы с интеллектуальными средствами управления еще не получили широкого распространения, то приходится резко повышать затраты на периферийное оборудование и оснастку, создавая условия для применения более простых роботов.

Гибкие производственные системы дают большой эффект только при их максимальной загрузке и надлежащем обслуживании.

### **7.7. Экономическая эффективность применения ГПС**

В современных условиях высокая эффективность использования новой техники обеспечивается решением целого комплекса конструкторских, технологических, экономических и организационных

за-дач. В связи с этим уровень совершенства ГПС нельзя объективно оценить одним или даже несколькими техническими параметрами – необходима совокупность технических и экономических показателей, которые в итоге должны быть синтезированы в достигаемом экономическом эффекте.

При технико-экономической оценке ГПС необходимо учитывать следующие показатели:

- приведенные затраты в расчете на годовой выпуск продукции;
- себестоимость годового объема выпуска продукции;
- производительность обработки изделий за определенный период;
- численность обслуживающего персонала;
- длительность производственного цикла;
- объем незавершенного производства;
- фондоотдачу;
- занимаемую производственную площадь;
- коэффициент использования различных ресурсов;
- коэффициент загрузки оборудования.

Существенную экономию при использовании ГПС получают благодаря уменьшению оборотных средств, включающих цеховые фонды, фонды промежуточных складов и складов страхующего фонда (задел на случай непредвиденных обстоятельств). Цеховые фонды уменьшаются, т. к. при использовании ГПС уменьшается время производственного цикла и вследствие этого объем незавершенного производства. Промежуточный склад при обычном производстве выполняет функцию буфера, выравнивающего несогласованное друг с другом время обработки на различных участках производства. В ГПС осуществляется сквозное производство, т. к. выполняется либо полная обработка, либо ее технологически завершенная часть, поэтому промежуточные склады могут отсутствовать. Склад страхующего фонда также может быть уменьшен за счет уменьшения производственного цикла и точного планирования с помощью ЭВМ.

Более высокий уровень техники, технологии и организации производства позволяет увеличить сменность работы и загрузку оборудования. Экономический эффект от использования ГПС достигается, как правило, только при эксплуатации их в три смены. При невозможности полной загрузки автоматизированного оборудования, возможно создание региональных центров, которые могли бы об-

служивать несколько различных предприятий, быстро переходя с выполнения одного заказа на другой.

При определении экономической эффективности ГПС должны быть учтены и социальные факторы: экономия части затрат в виде зарплаты, социальных выплат и льгот высвобожденных рабочих и др.

Использование ГПС обеспечивает снижение себестоимости производства изделий за счет автоматизации технологической подготовки производства, технологических процессов, сокращения численности работающих и повышения производительности труда, однако большая величина капиталовложений сдерживает широкое внедрение ГПС в промышленности.

Что касается общего случая гибкого автоматизированного производства, объединяющего в единую систему цеховые ГПС, САПР изделий, технологических процессов, а также автоматизацию управления многогранной деятельностью завода в целом, то это является для большинства машиностроительных отраслей промышленности еще перспективной задачей.

В настоящее время уже нет принципиальных трудностей создания ГАП в общем виде с полной интеграцией всех подсистем, указанных выше. Все эти подсистемы в отдельных исполнениях на ряде предприятий имеются. Но, чтобы получить наивысший эффект гибкости, ускорение темпа производства, высокие производительность и качество продукции, а также социально-экономическую эффективность, нужна обобщенная система организации взаимосвязанной деятельности всех подсистем ГАП на базе сети ЭВМ.

Для современных способов автоматизации промышленного производства характерны высокие уровни начальных капиталовложений. Гибкие автоматизированные производства не являются в этом смысле исключением. Создание локальных ГПС всего из нескольких единиц оборудования не способно существенно повлиять на показатели производства даже в масштабах отдельных цехов. А вот ГПС с охватом 30–50 единиц оборудования требуют огромных капиталовложений. Проектирование и изготовление ГПС занимает примерно 5 лет, а стоимость системы средней сложности составляет от 5 до 50 млн долларов.

Показателен пример японской фирмы «Ямазаки», создавшей ГПС механообработки. В результате ее внедрения число станков уменьшилось с 68 до 18, занимаемая оборудованием площадь сократилась в 3 раза, число работников уменьшилось с 215 до 12 человек, техно-



логическое время обработки сократилось в среднем с 35 до 1,5 дней. Несмотря на столь резкое улучшение показателей, через два года из 18 млн долларов затрат окупилось только 6,9 млн долларов.

Реальность требует сосредоточить научные и конструкторские силы на решении проблемы уменьшения стоимости ГПС и особенно на повышении их производительности. Таким образом, сегодня гибкие производственные системы следует рассматривать не как средства быстрого решения всех социальных и экономических проблем, а пока что как головные образцы для последующего тиражирования. Для дальнейшего совершенствования головных образцов необходимо решить немало сложных технических задач, в первую очередь по обеспечению автоматического перемещения изделий на всех этапах производственного маршрута. Для расширения времени работы до круглосуточного необходимо значительно повысить надежность работы всех компонентов ГПС – прежде всего технологического оборудования.

Гибкие производственные системы стоят недешево, поэтому они нужны далеко не всегда и далеко не везде. Все зависит от характера производства, масштабов выпуска продукции, частоты ее сменяемости. Создавать ГПС надо там, где это целесообразно и приносит максимальный экономический эффект. Поэтому анализ экономической эффективности ГПС является одной из центральных проблем, решаемых при создании гибкого производства.

Объем работ по проектированию и внедрению ГАП и ГПС настолько велик, что неразумно и недопустимо их индивидуальное проектирование. Необходима унификация ГПС на основе типовых проектов робототехнических систем, создаваемых по модульному принципу. Важную роль играет комплексная поставка, монтаж и наладка унифицированного оборудования и робототехнических систем для ГПС, а также организация технического обслуживания, включая вопросы сопровождения и совершенствования программного обеспечения ГПС.

Для широкомасштабного внедрения гибких производственных систем необходимо предварительно организовать централизованное производство их компонентов. Сейчас же каждая ГПС проектируется по существу индивидуально, а компоненты для нее, как правило, изготавливаются в полукустарных условиях, со сверхзатратами. Именно там, где будут эффективно решены данные и множество других проблем, откроются перспективы для широкого тиражирования ГПС.

Но и тогда от каждого предприятия потребуется огромная подготовительная работа. При создании автоматизированных участков необходимо учитывать перспективы их постепенного развития в ГПС.

## **8. ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

### **8.1. Кузнечно-штамповочное оборудование общего назначения**

Выпускаемые серийно прессы общего назначения универсальны по технологическим возможностям. Их с успехом применяют в условиях как массового, так и серийного производства. В последнее время в общем объеме выпуска кузнечно-штамповочного оборудования все больше увеличивается удельный вес универсальных машин, оснащенных средствами автоматизации. Создание автоматизированного оборудования осуществляется по двум основным направлениям:

- 1) создание высокопроизводительных специальных машин в основном для крупносерийного и массового производства;
- 2) создание универсальных высокопроизводительных машин (в том числе и с ЧПУ) для изготовления широкой номенклатуры деталей в средне- и мелкосерийном производстве.

Универсальные прессы, снабженные средствами автоматизации, могут применяться как в крупно-, так и в мелкосерийном многономенклатурном производстве. Такое оборудование используют в виде технологических комплексов.

Наиболее распространенными являются комплексы на базе однокривошипных открытых штамповочных прессов простого действия. Для штамповки деталей из ленты эти прессы в составе комплекса оснащаются разматывающими и правильными устройствами, валковыми, клещевыми и роликоклиновыми подачами, ножницами для резки отштампованной ленты на мерные части.

Комплексы обеспечивают размотку рулона, контроль размеров компенсационной петли ленты, правку, очистку ленты от консервационного покрытия, нанесение смазки, шаговую подачу материала в рабочее пространство пресса, а также резку отштампованной ленты на мерные части и сбор деталей в тару.

Для штамповки деталей из полосы на базе однокривошипных открытых прессов простого действия выпускаются комплексы, в состав которых входят стол, устройство для подачи полос и транспортер. Комплекс обеспечивает подачу пакета полос на позицию загрузки роликового конвейера полосоподавателя с автоматически регулируемым уровнем съема полосы, перемещение ее к подающему устройству, смазывание, подачу полосы с заданным шагом в рабочую зону пресса, резку отштампованной полосы на мерные части, сбор отходов и готовых деталей, автоматическое позиционирование полосы при подаче по координатам  $X$  и  $Z$ .

Технические возможности этих комплексов позволяют производить вырубку, обрезку, гибку, неглубокую вытяжку из листа и полосы с управлением от ЧПУ с достаточно высокими точностью и производительностью.

Наряду с рулонным материалом и полосами в листоштамповочном производстве для штамповки деталей часто используются штучные листовые заготовки. Особенности процессов штамповки из штучных заготовок состоят в необходимости осуществления непрерывного процесса ориентации заготовок и поштучной подачи их в рабочую зону пресса. С этой целью комплексы на базе универсальных прессов оснащают накопителями заготовок (вибробункеры, магазинные накопители), автоматическими подающими, передающими и удаляющими устройствами.

Для раскроя листового материала на полосы и штучные заготовки прямоугольной и косоугольной формы в условиях мелко- и среднесерийного производства предназначены комплексы на базе кривошипных листовых ножниц. Такие комплексы обеспечивают подъем и удержание пачки листов на заданном уровне, ручную или механизированную подачу листов по роликовому конвейеру к ножницам, удаление заготовок из зоны резания, сбор заготовок и отходов в разные тары, возврат заготовок для повторной резки.

Автоматизация кузнечно-штамповочного производства с помощью промышленных роботов осуществляется путем создания роботизированных технологических комплексов, в которых на «плечи» роботов возложено выполнение всех видов вспомогательных работ. Одним из главных направлений применения ПР в кузнечно-штамповочном производстве является создание гибких многономенклатурных переналаживаемых модулей, линий, комплексов.

Роботизированные технологические комплексы, предназначенные для выполнения различных операций холодной и горячей штамповки из штучных заготовок, обладают широкими технологическими возможностями и высокой гибкостью. Применение таких комплексов наиболее целесообразно в условиях мелко- и среднесерийного производства.

Роботизированные технологические комплексы холодной листовой штамповки могут создаваться на базе открытых и закрытых прессов. В состав РТК, помимо прессов и ПР, входят накопительные, загрузочные, транспортирующие, ориентирующие, контролирующие и удаляющие устройства.

Структура РТК для горячей штамповки весьма разнообразна. РТК могут создаваться на базе кривошипных горячештамповочных прессов (КГШП), винтовых прессов и другого штамповочного оборудования. В состав РТК обычно входят устройство для накопления заготовок, загрузочное устройство, нагревательное устройство (обычно индукционный нагреватель), КГШП, обрезной пресс, промышленные роботы, ориентирующие и транспортирующие устройства (транспортеры), устройства для смазки штампа и другое оборудование.

Рассмотренные виды оборудования не обладают свойством автоматизированной переналадки при переходе на выпуск новой продукции и поэтому не соответствуют концепции ГАП.

## **8.2. Листоштамповочное оборудование и комплексы с программным управлением**

К современному высокопроизводительному гибкому оборудованию с ЧПУ относятся автоматические листогибочные центры на базе листогибочных гидравлических прессов с программным управлением и автоматической загрузкой для изготовления различных деталей из полосового и листового проката по заданной программе с одной установки заготовки на пресс, установки сверхскоростной лазерной резки, гибкие автоматические линии по обработке листового материала. В состав последних входит:

– автоматический склад для листов с максимальными размерами 3000 × 1500 мм;

- комбинированный гидравлический координатно-револьверный вырубной пресс с угловыми ножницами, автоматической загрузкой листов, автоматической сортировкой и складированием деталей;
- автоматический буферный накопитель для промежуточного хранения деталей и синхронизации времени обработки всей линии;
- сортировочный робот-манипулятор со столом для предварительного позиционирования деталей и системой перемещения и укладки деталей в стандартные кассеты;
- поворотное устройство для деталей;
- автоматический листогибочный центр с автоматической загрузкой, гибкой, поворотом и разгрузкой готовых изделий.

К обрабатывающим центрам относится и такой вид оборудования, как револьверные координатно-пробивные и вырубные прессы с ЧПУ и автоматической загрузкой и выгрузкой листов. Они предназначены для:

- последовательной пробивки с помощью быстросменных штампов разнообразных по форме и размерам отверстий, вырубки деталей различных сложных контуров;
- формовки элементов (жалюзи, пуклевок под резьбы, выдавки и т. д.);
- гравировки и маркировки;
- формовки и неглубокой вытяжки;
- нарезки внутренней резьбы;
- зачистки высеченного контура.

Прессы такого типа выполняют с револьверной головкой, на которой закреплен комплект пробивных штампов. Заготовку крепят на подвижном столе, которому задают координатные перемещения в двух взаимоперпендикулярных направлениях в горизонтальной плоскости. Установка соответствующего инструмента револьверной головки (поворот ее в нужное положение) и перемещение координатного стола с листовой заготовкой по заданным координатам осуществляется автоматически системой ЧПУ в соответствии с заданной программой.

Для эффективного использования оборудования в условиях мелкосерийного производства необходимо иметь возможность быстрой замены оснастки без частых переналадок системы. Полная автоматизация средне- и мелкосерийного производства возможна при использовании оборудования с программным управлением, что поз-

воляет производить смену программы работы с минимальными затратами времени.

Для автоматизации мелкосерийного листоштамповочного производства значительной является доступность в автоматических системах большого числа различных видов оснастки. Это объясняется, во-первых, тем, что время обработки, а следовательно, и использование отдельного вида оснастки относительно мало, значительно меньше, чем, например, при механообработке. Это означает, что при частых сменах заказов оборудование с ограниченным запасом оснастки может работать без переналадки лишь небольшой период времени. Во-вторых, при штамповке деталей различной толщины необходимо иметь различную оснастку; даже при одинаковой геометрии зазор между пуансоном и матрицей должен быть различным при различной толщине листа. Уже только поэтому оказывается необходимым большое число инструментальных наладок, если частые остановки оборудования нежелательны.

Требования автоматизации могут быть удовлетворены как за счет увеличения количества оснастки, так и за счет увеличения ее гибкости. Первым заметным шагом в этой области стало использование модулей типа «вращающийся пуансон». При этом стало возможным разворачивать пуансон в соответствии с управляющей программой и различным образом использовать один и тот же инструмент, а следовательно, либо уменьшить необходимый запас инструментов, либо при том же его количестве расширить разнообразие форм штампуемых элементов.

Другим путем увеличения инструментальных возможностей при листовой металлообработке является использование модулей типа MULTI-TOOL (многоинструментальных), которые могут использоваться для изготовления деталей малой толщины. В каждом из таких инструментальных модулей имеется несколько отдельных пуансонов небольшого размера, которые могут приводиться в действие независимо друг от друга по программе. Таким образом, в каждом гнезде револьвера может располагаться инструментальный блок, имеющий большое количество пуансонов, что увеличивает общее количество инструментов в магазине. Все это позволяет центрам обработки листовых материалов работать длительное время без остановки для замены инструмента.

Использование ПР обуславливает доступность большого числа

инструментов. В этом случае робот снабжает центр обработки листового металла инструментами из емкого инструментального магазина. Магазин компактной конструкции представляет собой поворотный стол, в котором имеется 100 гнезд. Емкость инструментального склада может быть увеличена до 400 единиц при установке магазинов друг на друга. Система смены инструмента устраивается таким образом, что замена одного инструмента осуществляется во время работы другого. По команде отдельный инструмент отправляется в соответствующее гнездо магазина. Положение каждого инструмента фиксируется, в том числе и его положение по высоте.

Оборудование с числовым программным управлением для обработки листового металла штамповкой выпускается многими известными фирмами: FINN-POWER, CoMaL, EUROMAC, MACRI, SALVAGNINI, VIMERCATI, ZANI и другими.

Рассмотрим устройство и технологические возможности гидравлического координатно-револьверного вырубного пресса с ЧПУ фирмы FINN-POWER (Финляндия), имеющей мировую известность.

**Координатно-револьверный вырубной пресс модели FINN-POWER C5** (рис. 17) оснащен сверхскоростной силовой гидросистемой с максимальным усилием штамповки 300 кН и частотой ударов до 1100 ударов в минуту при толщине листа до 1,5 мм и шаге

1 мм (420 уд/мин при шаге 25 мм и 150 уд/мин при шаге 250 мм). Высокоточная каретка под управлением системы ЧПУ перемещает лист по всей площади стола в направлении осей  $X$  и  $Y$ , что позволяет обрабатывать листы размерами до 1270 × 2530 мм без перехвата и «мертвых зон».



Рис. 17. Общий вид координатно-револьверного пресса

Конструкция прессы позволяет производить не только пробивку отверстий, вырубку деталей, но также и формовку высотой до 16 мм. Пресс оснащен программно-управляемым разгрузочным лотком для удаления габаритных деталей и отходов, разгрузочным окном 500×500 мм для удаления мелких деталей из зоны обработки и системой вакуумного отсоса отходов. Основные узлы прессы показаны на рис. 18.

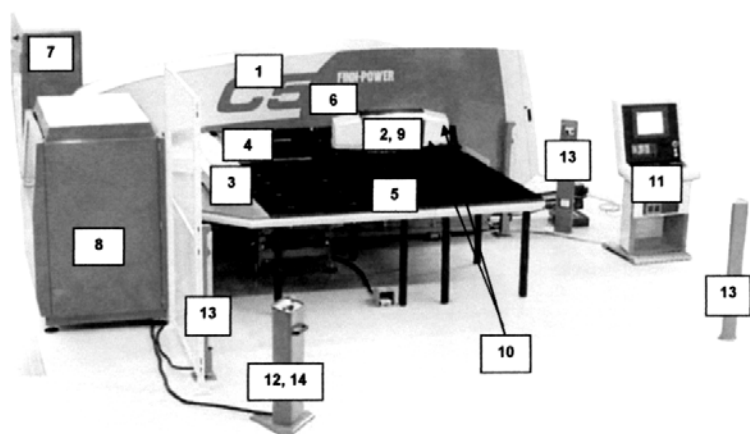


Рис. 18. Основные узлы координатно-револьверного прессы:

1 – станина; 2 – револьвер; 3 – каретка; 4 – зажимы листа; 5 – щеточные столы; 6 – главный цилиндр; 7 – шкаф управления; 8 – гидравлический блок; 9 – дверь револьвера для замены инструмента; 10 – кнопки ручного вращения револьвера; 11 – пульт управления; 12 – дистанционный пульт управления; 13 – система фотоэлектрической защиты; 14 – кнопки сброса системы фотоэлектрической защиты

Замкнутая О-образная конструкция станины обеспечивает оптимальную устойчивость. При такой конструкции приложенная при пробивке сила не влечет за собой угловое отклонение между пуансоном и матрицей.

Инструменты устанавливаются в револьвер. Автоматическая замена инструмента выполняется за несколько секунд поворотом револьвера на запрограммированную позицию. Револьвер полностью защищен крышками. На него установлены отдельные держатели инструмента. Во время пробивки как верхний, так и нижний револьверы



зафиксированы в точном положении коническими упорами, приводимыми в действие пневматически.

Координатный стол перемещает заготовку по координатам  $X$  и  $Y$  посредством команд ЧПУ. Скорость перемещения – свободно программируемая. Заготовка крепится на направляющей  $X$  координатного стола посредством двух пневматических зажимов. Заготовка перемещается по щеточному столу и опирается на пучки щетинок из нейлона. Щеточный стол амортизирует вибрацию листа, уменьшает уровень шума, не повреждая нижнюю часть листа. Для облегчения загрузки листа и ввода его в зажимы стол оборудован опорными роликами. При загрузке листа ролики поднимаются и автоматически отводятся до начала выполнения пробивки.

Гидравлический цилиндр обеспечивает автоматическую защиту от перегрузки и дает возможность программировать скорость пробивки. Верхнее и нижнее положение гидравлического цилиндра регулируются программно. Это позволяет использовать оптимальный ход в зависимости от толщины листа и компенсировать изменение длины пуансона.

Отдельный гидравлический блок включает в себя гидравлический насос, устройство охлаждения, две системы фильтрации и гидравлический бак.

В шкафу управления расположены центральный процессор ЧПУ, серводвигатели и другое электрооборудование. Дисплей ЧПУ и главный пульт управления станка расположены на отдельном столе управления. Пульт управления может быть оснащен компьютером для управления ГПМ и сенсорным экраном, а компьютер ЧПУ может быть подсоединен к локальной вычислительной сети.

Инструмент закрепляется в револьвере с помощью отдельных, взаимозаменяемых держателей, что позволяет устанавливать требуемый набор инструмента и легко заменять неисправные держатели. Плиты револьвера имеют отверстия для держателей инструмента двух размеров – диаметром 110 мм и 135 мм, по 10 штук каждого. На рис. 19 показаны положения отверстий револьверной головки (отверстия диаметром 135 мм отмечены звездочкой).

В отверстиях диаметром 110 мм устанавливаются держатели для фиксированных инструментов следующих типов:

- А (максимальный  $\varnothing$  пуансона – 12,7 мм);

- В (максимальный  $\varnothing$  пуансона – 31,75 мм);
- С (максимальный  $\varnothing$  пуансона – 50,8 мм).

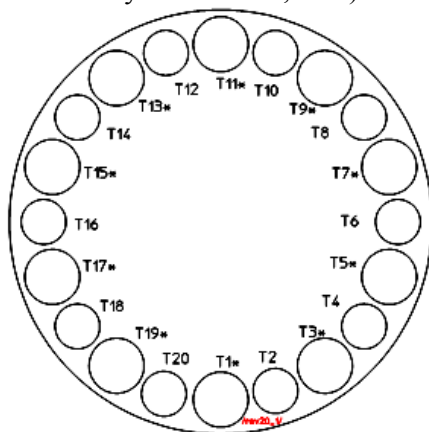


Рис. 19. Схема расположения отверстий в плитах револьвера

Держатели инструмента для отверстий диаметром 135 мм позволяют устанавливать различные типы инструментов диаметром до 88,9 мм (табл. 3).

Таблица 3

Типы инструмента, устанавливаемые в отверстия плит револьвера диаметром 135 мм

Фиксированный	Индексный	Формовочный	Максимальный диаметр пуансона, мм
В/135	$B_i$	$B_{if}$	31,75
С/135	$C_i$	$C_{if}$	50,8
Д	$D_i$	$D_{if}$	88,9

Пресс оснащен системой автоматической индексации инструмента (индексный инструмент), которая позволяет осуществлять программное управление вращением инструмента в рабочем положении. Это дает возможность выполнять операцию пробивки и высечки инструментом, повернутым на запрограммированный угол, одновременно перемещая заготовку по координатам  $X$  и  $Y$ . Система автоматической индексации инструмента поворачивает пуансон и матрицу в их держателях на любой угол с очень высокой точностью (0,001 град).

Индексный механизм монтируется на станине прессы. Благодаря данному механизму станции индексного инструмента просты в работе и являются взаимозаменяемыми.

Револьверный пресс может быть оборудован дополнительным формовочным гидроцилиндром, установленным на нижней раме прессы. Формовка выполняется посредством подъема матрицы. Данная система дает возможность изготовления деталей с высотой профиля до 16 мм. С помощью системы вращения формовочный инструмент можно повернуть на требуемый угол. Формовочные станции устанавливаются в отверстия  $\varnothing 135$  мм.

Для увеличения инструментальных возможностей в каждом гнезде револьвера может устанавливаться инструментальный блок (много-инструментальная станция – MULTI-TOOL), имеющий большое количество отдельных пуансонов небольшого размера, которые могут приводиться в действие независимо друг от друга по программе. Количество пуансонов в станции MULTI-TOOL зависит от их диаметров (табл. 4).

Таблица 4

#### Характеристика станций MULTI-TOOL

Тип станции	Количество пуансонов	Максимальный диаметр пуансона, мм
MT24-8	24	8
MT8-24	8	24
MT10-16	10	16
MT6-A/135	6	12,7
MT6-AU		
MT8i-16	8	16
MT20i-8	20	8

Все MULTI-TOOL станции устанавливаются в гнездах револьвера  $\varnothing$  135 мм. За счет увеличения общего количества инструментов в магазине обеспечивается длительная работа револьверного пресса без остановки для замены инструмента. Максимально в револьверной головке пресса может быть установлено до 10 индексных, формовочных и многоинструментальных станций MULTI-TOOL различного типа с 6, 8, 10, 16 или 24 инструментами. Таким образом, возможна установка до 135 инструментов с максимальным диаметром пуансона 89 мм.

На рис. 20 приведен пример размещения инструментов в револьвере. В позиции 1 установлена многоинструментальная станция MT24-8, содержащая 24 пуансона. На остальных 19 позициях установлены одноинструментальные фиксированные, индексные и формовочные станции. Всего в револьвере размещается 43 инструмента.

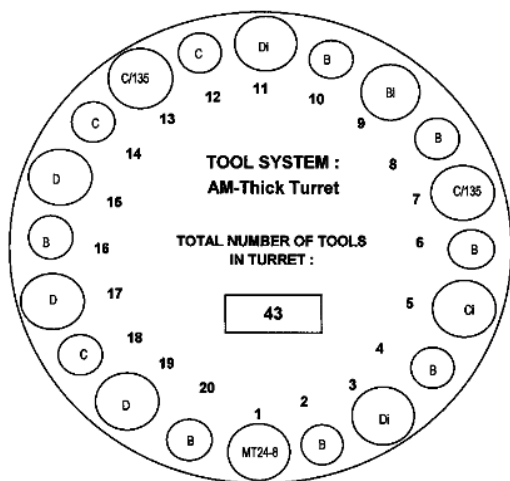


Рис. 20. Пример размещения инструментов в револьверной головке

Инструментальная система пресса позволяет производить:

- пробивку отверстий и различных сложных контуров;
- формовку элементов (жалюзи, пуклевки под резьбы, выдавки);
- гравировку и маркировку;
- нарезку внутренних резьб;

– вытяжку и формовку (до 16 мм) при наличии дополнительного нижнего формовочного цилиндра.

Высокая точность позиционирования ( $\pm 0,05$  мм) позволяет применять метод не окончательной вырубki готовых деталей, а с закреплением их к основному листу посредством «микроперемычек». Во время вырубki-пробивки детали удерживаются в листе перемычками и легко отделяются от него после удаления со станка вместе с листом и последующим их встряхиванием.

Обработанные детали могут сбрасываться по дополнительно устанавливаемому желобу, расположенному под револьвером, на транс-портер, который затем передает детали на поддон.

Общий вид револьверной головки пресса показан на рис. 21.

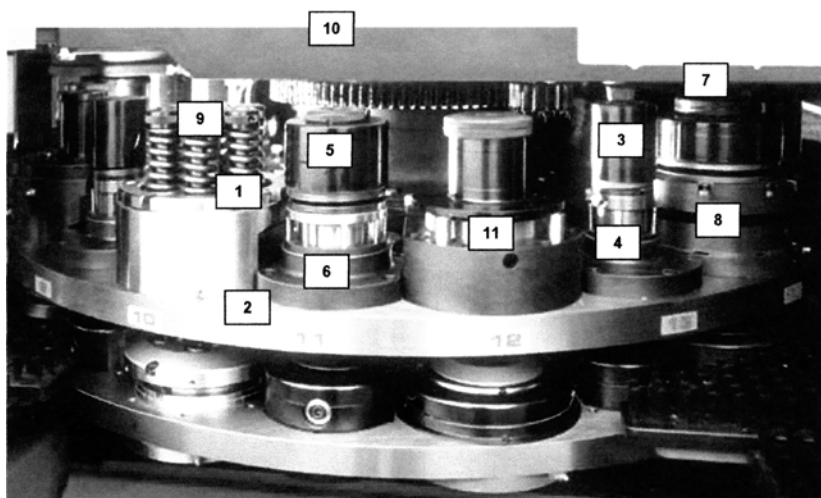


Рис. 21. Револьверная головка пресса:

1 – плита верхнего револьвера; 2 – плита нижнего револьвера; 3 – верхний держатель инструмента (В); 4 – нижний держатель инструмента (В); 5 – верхний держатель инструмента (С); 6 – нижний держатель инструмента (С); 7 – верхний держатель индексного инструмента (D<sub>i</sub>); 8 – нижний держатель индексного инструмента (D<sub>i</sub>); 9 – многоинструментальная станция МТ6-А/135; 10 – инструмент в сборе; 11 – матрица

Основные технические характеристики револьверного координатно-пробивного пресса модели FINN-POWER C5:

Полное усилие пробивки .....	300 кН	
Привод .....	гидравлический	
Глубина и скорость хода .....	программируемая	
Максимальная толщина листа .....	8 мм	
Максимальные размеры листа .....	1270 × 2530 мм	
Максимальная масса листа .....	200 кг	
Тип стола .....	щеточный	
Зажимы листа .....	2, пневматические	
Количество станций в револьвере .....	20	
Управляемые индексные станции:		
– количество .....	максимум 10	
– макс. диаметр пробивки .....	89 мм	
– макс. скорость вращения .....	166 об/мин	
Высота формовки .....	до 6 мм	
	до 16 мм при наличии дополнительного фор- мовочного цилиндра	
Перемещение по оси X .....	2584 мм	
Перемещение по оси Y .....	1317 мм	
Максимальная скорость перемещения:		
– по оси X .....	90 м/мин	
– по оси Y .....	60 м/мин	
Максимальная диагональная скорость .....	108 м/мин	
Максимальная скорость пробивки при межцентровом расстоянии:		
– маркировка .....	3000 уд/мин	
– 1 мм (нибблинг) .....	1100 уд/мин	
– 25 мм .....	420 уд/мин	
– 250 мм .....	150 уд/мин	
Точность при пробивке отверстий:		
– макс. отклонение между центрами отверстий .....	±0,05 мм	
– макс. угловое отклонение индексной станции .....	±0,1 град.	
Максимальное количество инструмента в револьвере с MULTI-TOOL станциями .....		135

Скорость вращения револьвера..... 23,8 об/мин  
Время смены инструмента..... 1–3 с

Примеры деталей, штампуемых на револьверном прессе, приведены на рис. 22.

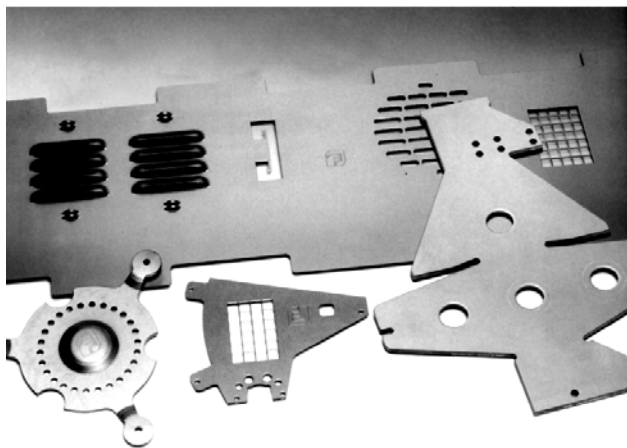


Рис. 22. Образцы деталей, штампуемых на револьверных координатно-пробивных прессах

Гидравлические координатно-револьверные вырубные прессы с ЧПУ моделей FINN-POWER C6 и C8 позволяют производить обработку листов размерами 1565×3074 мм и 1565×4000 мм соответственно. Они имеют также более высокую скорость перемещения: до 120 мм по оси  $X$  и до 90 мм по оси  $Y$ .

Автоматическая переналадка прессы существенно повышает производительность труда в мелкосерийном производстве. Применение одного такого координатно-револьверного вырубного прессы с ЧПУ высвобождает от 5 до 20 единиц универсального оборудования.

**Комбинированный револьверный вырубной пресс FINN-POWER с гильотинными угловыми ножницами серии SG (рис. 23).**

Интегрированные гильотинные угловые ножницы с автоматической (по программе) установкой зазора ножей позволяют производить вырезку детали по контуру, не прибегая к применению пооперационной технологии (без операции просечки), что обеспечивает макси-

мально быстрое и экономичное изготовление детали. Отсутствие про-  
сечного отхода экономит до 10 % металла. Максимальная толщина  
листа при пробивке – 8 мм, при отрезке ножницами: алюминий – 5  
мм; низкоуглеродистая сталь – 4 мм; нержавеющая сталь – 3 мм.

Максимальный размер листа 3048×1524 мм для модели SG6 и  
4300×1524 мм для модели SG8.



Рис. 23. Револьверный пресс с гильотинными ножницами

**Установка сверхскоростной лазерной резки FINN-POWER L6**  
(рис. 24).



Рис. 24. Установка сверхскоростной лазерной резки FINN-POWER L6

Лазер позволяет изготавливать детали более быстро, более гибко  
и более экономично, чем при использовании специального инстру-



мента и оснастки. Особенно это актуально при обработке деталей со сложным контуром и деталей из листов в широком диапазоне толщин от 0,5 до 25 мм.

На рис. 25 приведен пример детали, изготовленной лазерной резкой.

Рис. 25. Образец детали, изготовленной на установке лазерной резки

На установке лазерной резки могут обрабатываться листы с максимальными размерами  $3074 \times 1565$  мм.

Максимальная толщина листа:

- конструкционная сталь – 25 мм;
- нержавеющая сталь – 12 мм;
- алюминий – 8 мм.

Максимальная скорость резания – до 60 м/мин.

**Совмещенный (комбинированный) листообработывающий комплекс лазер-пресс Lazer Punch Press LP-6** (рис. 26) на базе высокопроизводительного револьверного прессы FINN-POWER F6-25 и CO<sub>2</sub> – лазера модели TRIAGON фирмы Rofin Sinar мощностью 2500 Вт, оснащенный сверхскоростной гидравликой (до 1000 уд/мин) и ударным усилием 300 кН, позволяет применять универсальную комплексную технологию последовательной механической пробивки и лазерной вырезки на одной детали. При этом обеспечивается как высокая скорость изготовления детали, так и возможность использования формовочного инструмента, инструмента большого диаметра, а также возможность сложной контурной резки лазером. Максимальные размеры листа  $3074 \times 1565$  мм. Максимальная толщина обрабатываемого листа – 8 мм.

Широкое применение программное управление находит в листогибочных машинах. Детали из полосового и листового проката изго-

товляются по заданной программе с одной установки заготовки на пресс. Фирмой FINN-POWER выпускается широкая гамма высокотехнологичных гидравлических и электромеханических листогибочных прессов с ЧПУ как с ручной подачей заготовок, так и с комплексной автоматизацией всех операций, включая загрузку, позиционирование, ориентацию и удаление готовой детали из рабочей зоны.

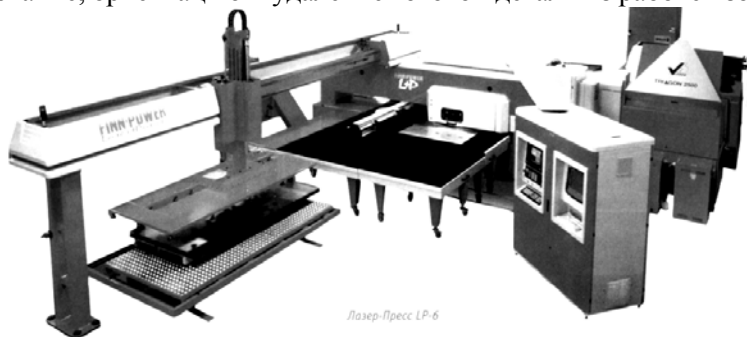


Рис. 26. Комбинированный револьверный вырубной пресс с лазером

**Электромеханические листогибочные прессы FINN-POWER** (рис. 27) с рабочим усилием от 250 до 2000 кН и длиной линиигиба от 1250 до 4100 мм, оснащенные высокоточными инструментальными системами и системами ЧПУ с управлением от Windows, обладают очень высокой скоростью цикла гибки за счет применения ременной полиспастной системы. Полное отсутствие гидравлического контура обеспечивает простоту в обслуживании, бесшумность в работе, компактность при размещении и планировке. Высочайшие точностные параметры прессов расширяют технологические возможности как по гибкости при переходе на новые изделия, так и по минимизации времени их освоения, что очень важно в условиях динамичного рынка сбыта. Прессы данного типа отличаются значительным энергосбережением (до 40 %) по сравнению с гидравлическими. Применение высокоточной полиспастной системы с сервоприводом верхней рамы позволяет позиционировать данный пресс как пресс серии High End.

Инструментальная система прессы позволяет решать задачи всего спектра гибочных операций как параллельной, так и непараллельной гибки с минимальным временем переналадки инструментальной ос-

настки. Широкие технологические возможности системы ЧПУ и программного обеспечения позволяют производить подготовку производства, подбор инструмента и расчет управляющих программ в кратчайшие сроки.



Рис. 27. Электромеханический листогибочный пресс FINN-POWER

**Гидравлические листогибочные прессы с ЧПУ** (рис. 28) имеют широкий диапазон номинальных усилий от 500 до 4800 кН и позволяют производить гибку листа в пределах от 2550 до 7500 мм в широком диапазоне толщин листа. Высокая точность позиционирования верхней рамы ( $\pm 0,01$  мм) обеспечивается двумя силовыми гидроцилиндрами при помощи оптико-электронных линеек HAIDENHAIN. Движение верхней рамы контролируют оптико-электронные линейки, они отслеживают положение рамы в соответствии с программным заданием, которое определяет скорость и величину перемещения, точку изменения скорости и ограничения возвратного движения.



Рис. 28. Гидравлический листогибочный пресс FINN-POWER

Система ЧПУ обеспечивает графическое трехмерное моделирование изделия, моделирование последовательности шагов гибки, визуализацию последовательности гибки, независимое вертикальное и горизонтальное перемещение задних упоров. Рабочая программа может содержать до 25 шагов гибки для одного изделия. Оперативная память рассчитана на 2500 вариантов гибки.

На рис. 29 представлен листогибочный пресс с обслуживающим его промышленным роботом.

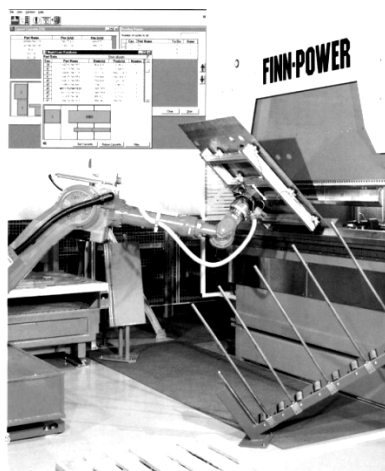


Рис. 29. Листогибочный пресс с промышленным роботом

**Автоматический гибочный центр Express Bender** (рис. 30) работает с тонким металлическим листом и выполняет автоматически все гибочные операции, включая загрузку, позиционирование, ориентацию и удаление готовой детали из рабочей зоны. Гибочный автомат может интегрироваться с комбинированными пресс-ножницами FINN-POWER Shear Genius или с гибкой автоматизированной системой FMS, оснащенной центральной автоматизированной складской системой. Такая интеграция позволяет разрабатывать автоматическое оборудование для гибки деталей различного уровня сложности.



Рис. 30. Автоматический гибочный центр Express Bender

Гибочный автомат гнет кромку заготовки, начиная с наружного периметра по направлению к внутренней части заготовки, последовательно выполняя гибы на каждой стороне. Заготовка загружается на рабочий стол манипулятора, который прижимает ее к базировочным программно-управляемым штырям, позволяющим позиционировать даже асимметричные заготовки. Манипулятор жестко удерживает заготовку на всех этапах ее перемещения.

В процессе гибки верхний инструмент удерживает требуемый вылет заготовки. Два рабочих инструмента (ножа), зафиксированных на С-образной раме, отгибают выступающий вперед вылет заготовки. С-образная рама перемещается вертикально и горизонтально, движение рамы программируется в соответствии с толщиной материала и требуемым углом гибки. Гибы могут быть сделаны в обоих направлениях: либо вверх, либо вниз – в зависимости от того в каком направлении требуется выполнить гибку, операция осуществляется без поворота заготовки. Короткие полки отгибаются в первую очередь, после чего отгибаются длинные, в соответствии с длиной которых определяется длина верхнего инструмента.

Гибочный автомат имеет два инструмента (ножа). Верхний нож производит гибы вниз, а нижний нож – вверх. ЧПУ рассчитывает угол гибки с учетом толщины листа и настраивает положение ножей.

Верхний инструмент состоит из одной направляющей и набора сегментов, обеспечивающих требуемую длину линиигиба заготовки.

Сегменты верхнего инструмента фиксируются на направляющей посредством гидравлических зажимов и очень легко заменяются. Нижний инструмент состоит из единого элемента, закрепленного на основной раме при помощи устройства быстрого позиционирования. Программно-управляемые базовые штыри закреплены на нижнем инструменте и индивидуально программируются с помощью ЧПУ.

Составление программ гибки основано на параметрическом программировании. Базовая параметрическая программа состоит из различных размеров гибки. Программы основываются на форме деталей и механических свойствах материала. Частично программирование осуществляется путем введения следующих данных:

- длина заготовки;
- ширина заготовки;
- толщина и тип материала обрабатываемой заготовки;
- высота и угол гибки для каждой отгибаемой полки.

Система загрузки заготовок включает:

- плавающий загрузочный стол для позиционирования заготовок относительно двух магнитных распушителей с датчиком сдвоенного листа для проверки загрузки только одной заготовки;
- загрузочный манипулятор с вакуумными захватами для подачи заготовок в рабочую зону гибочного автомата;
- рабочий манипулятор с поворотной головкой для обеспечения всех необходимых перемещений заготовки в процессе гибки;
- разгрузочный конвейер для готовых деталей;
- разгрузочный стол.

В зависимости от модели гибочного центра максимальная длина линиигиба составляет от 1650 до 3250 мм; максимальная толщина заготовки – до 4 мм; максимальная масса листа – до 101 кг; максимальная высота стопы заготовок – 220 мм; максимальная масса стопы заготовок – 3000 кг.

Образцы деталей, обрабатываемых на листогибочном оборудовании, представлены на рис. 31.

Существенно расширить функциональные возможности ГПС листовой штамповки позволило создание оборудования, объединяющего листовую штамповку с перспективными методами лазерной и плазменной обработки.

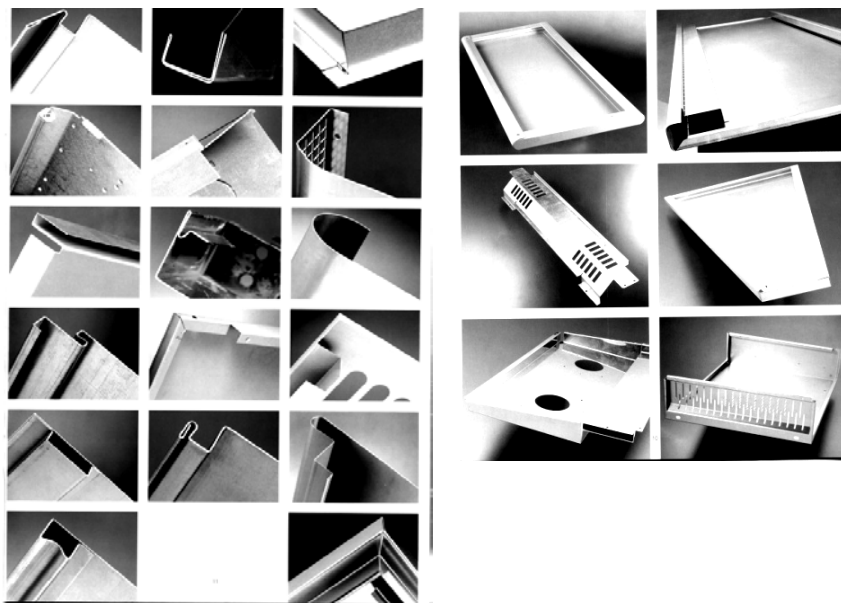


Рис. 31. Образцы деталей, обрабатываемых на листогибочном оборудовании FINN-POWER

### 8.3. Гибкая автоматическая линия по обработке листового материала FINN-POWER

Общий вид автоматической линии приведен на рис. 32.

В состав линии входит следующее оборудование:

**1. Автоматический склад** для листов максимального размера  $3000 \times 1500$  мм, включающий от 5 до 12 полок грузоподъемностью 3000 кг каждая, детектор наличия двойных листов, защитные решетки и программное обеспечение.

**2. Комбинированный гидравлический координатно-револьверный вырубной пресс с угловыми ножницами** усилием 300 кН с автоматической загрузкой листов (включая измерение толщины, отделение двойных листов и выравнивание на загрузочном устройстве) и автоматической сортировкой и складированием деталей, предназначенный для пробивки, вырубки, формовки глубиной до 16 мм, нарезания резьбы, маркировки и отрезки готовых компонентов угловыми ножницами с числом ходов 1100 в минуту.

**3. Автоматическое буферное устройство** для промежуточного хранения деталей и синхронизации времени обработки всей линии.

**4. Сортировочный робот-манипулятор** со столом для предварительного позиционирования деталей и системой перемещения и укладки деталей в кассеты.

**5. Поворотное устройство** для деталей с размерами от  $300 \times 100$  до  $3000 \times 1500$  мм.

**6. Автоматический листогибочный центр с ЧПУ** с автоматической загрузкой, гибкой, поворотом и разгрузкой готовых изделий с максимальной высотой отгибаемых полок 250 мм и максимальной длинойгиба 3250 мм.

**7. Программное обеспечение** для планирования производства, раскладки деталей и управления линией.



Рис. 32. Гибкая автоматическая линия по обработке листового материала  
FINN-POWER PSBB



#### 8.4. Оборудование для ротационной вытяжки листового металла

Фирма LEIFELD (Германия) изготавливает оборудование для ротационной вытяжки листового металла с ЧПУ. Десять типоразмеров станков позволяют изготавливать детали в диапазоне от «мини» до «макси» (рис. 33).



Рис. 33. Примеры деталей, изготавливаемых на станках для ротационной вытяжки с программным управлением

В автоматическом режиме активируется управление траекторией инструмента, обеспечивая гладкость и отсутствие волн на обрабатываемой поверхности. Процесс программирования очень прост, а короткое время выставления настроек обеспечивает гибкость и эффективность при изготовлении даже малых серий изделий.

Оборудование обеспечивает легкий запуск новых изделий, высокую производительность, точность и экономичность обработки в автоматическом режиме.

#### 8.5. Автоматизированные ковочные комплексы с числовым программным управлением

Основным направлением развития автоматизации процессовковки в настоящее время является создание автоматизированных ковочных комплексов (АКК) «ковочный гидравлический пресс – манипулятор». В современных ковочных комплексах используют главным образом гидравлические ковочные прессы с нижним маслонасосным приводом.

В состав типового комплекса входят:

- ковочный пресс;
- один или два ковочных манипулятора;
- устройства нагрева заготовок;
- средства контроля температуры нагрева заготовок;
- вспомогательные механизмы (подъемно-поворотный стол для разворота и перехвата поковки в процессековки, инструментальный манипулятор, устройства для уборки отходов и др.);
- система управления АКК,
- устройства, обеспечивающие безопасные условия работы.

Пресс оснащается магазином с комплектом бойков, дополнительным поперечным передвижным столом и устройством для смены комплекта бойков. В комплект входят плоские, вырезные, комбинированные бойки и отрезной нож.

Автоматизированные ковочные комплексы созданы на базе гидравлических прессов усилием от 5 до 150 МН. Схема типового ковочного комплекса приведена на рис. 34.

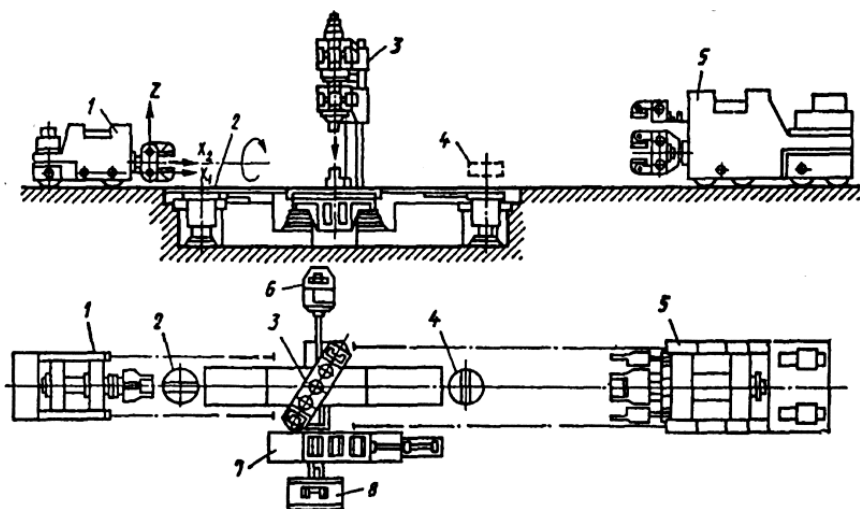


Рис. 34. Схема расположения оборудования ковочного комплекса:  
1, 5 – ковочные манипуляторы; 2, 4 – поворотные столы; 3 – ковочный пресс;  
6 – инструментальный манипулятор; 7 – стол передвигной для бойков; 8 – пульт  
управления;  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $Z$  – оси действия манипулятора

*Ковочный манипулятор*, работающий в составе комплекса, имеет следующие механизмы:

- гидроцилиндр зажима, находящийся в клещевой головке захватного узла;
- гидроцилиндр подъема-опускания передней части хобота, размещенный в передней подвеске;
- гидроцилиндр подъема-опускания задней части хобота, находящийся в задней подвеске;
- механизм вращения хобота, имеющий электродвигатель и планетарный редуктор;
- два плунжерных гидроцилиндра, поворачивающие хобот в горизонтальной плоскости;
- два механизма привода колес от гидроцилиндров через реечно-шестеренные передачи, закрепленные на подвижной раме;
- два гидродократа, размещенные в задней части передвижной рамы и приподнимающие над рельсами приводные колеса для их холостого проворачивания.

Для автоматизацииковки применяют манипуляторы с интерактивным управлением, попеременно управляемые оператором и действующие автоматически. Такие манипуляторы оснащены системами программного управления с устройствами памяти для автоматического выполнения отдельных действий (подпрограмм). Переход от одной подпрограммы к другой осуществляется оператором, который также берет на себя управление манипулятором (вручную) при необходимости выполнения сложных действий.

Если АКК предназначен для изготовленияпоковок обширной номенклатуры, сильно различающихся по массе, то он может быть оснащен двумя манипуляторами различной (большей и меньшей) грузоподъемности. Применение манипулятора меньшей грузоподъемности позволяет увеличить скорости перемещенияпоковок малой массы, уменьшить теплотери, расходы на нагрев и число выносов из нагревательных устройств. По грузоподъемности манипулятор рекомендуется выбирать, исходя из его загрузки (%) при работе с изделиями данной номенклатуры на основании формулы

$$z = \frac{\sum P_i \cdot t_i}{P_{\max} \cdot T} \cdot 100,$$

где  $z$  – загрузка манипулятора;  $P_i$  – масса слитка или поковки;  $t_i$  – длительность работы манипулятора с заготовкой определенной массы;  $P_{\max}$  – грузоподъемность манипулятора;  $T$  – общее время работы манипулятора. Манипулятор выбирают из условия  $z \geq 60\%$ .

Максимальной производительности АКК соответствуют определенные соотношения скоростных характеристик прессы и манипулятора. Для увеличения производительности в ряде случаев в одну производственную систему объединяют пресс, манипулятор и кран с кантователем, имеющим дистанционное управление. В этих же целях применяют вспомогательные подъемные, поворотные столы, расположенные на тележках, отдельные приводные тележки и прочие устройства, служащие для поддержания и перемещения заготовок. Подобные меры вызваны тем, что производительность АКК ограничивается скоростными и динамическими параметрами манипуляторов, что является причиной неполного использования прессов.

Поскольку приводы манипуляторов при программной ковке работают в переходных режимах, на их работу большее влияние оказывает ускорение, чем скорость. В зависимости от грузоподъемности манипуляторов рекомендуется иметь следующие значения ускорения при подаче поковки: при грузоподъемности до 5 т –  $3\text{--}4 \text{ м/с}^2$ ; 5–15 т –  $2\text{--}3 \text{ м/с}^2$ ; 15–80 т –  $1\text{--}2 \text{ м/с}^2$ ; свыше 80 т –  $1 \text{ м/с}^2$ . Приемлемые динамические характеристики при глубоком регулировании скорости получают за счет применения электрогидравлических приводов для манипуляторов любой грузоподъемности и малоинерционных электрических приводов для манипуляторов с грузоподъемностью меньше 5 т.

*Подъемно-поворотный стол*, размещенный по оси рельсового пути ковочного манипулятора, служит для подъема заготовки на уровень оси клещей последнего и разворота ее в горизонтальной плоскости на  $180^\circ$  для захвата этими клещами. Подъемно-поворотный стол имеет поворотную платформу с механизмом ее подъема.

*Устройство для смены комплекта бойков* состоит из подвижного инструментального стола, расположенного параллельно столу прессы, механизма поперечного перемещения и механизма быстрого дистанционного крепления верхнего бойка, размещенного в корпусе, который закреплен на траверсе прессы. На инструментальном столе расположено до пяти комплектов бойков, в соответствии с чем стол имеет пять фиксированных положений.

Любой из размещенных на инструментальном столе комплектов бойков может быть установлен по оси пресса, при этом корпус нижнего бойка входит в зацепление с выступом подвижной плиты механизма поперечного перемещения, ходом которой комплект бойков подается на ось пресса. Затем траверсу пресса опускают, и верхний боек с помощью механизма крепления соединяют с корпусом. При смене бойков ходом подвижной траверсы верхний боек опускают на нижний и отсоединяют от корпуса. Затем траверсу поднимают, и комплект бойков ходом плиты механизма поперечного перемещения передвигают со стола пресса на свободную позицию инструментального стола, совмещенную с осью пресса.

*Инструментальный манипулятор*, предназначенный для подачи в рабочую зону пресса накладного инструмента (топоров, просечек, уголков и др.), имеет основание с размещенной на нем подвижной плитой, на которой смонтирована поворотная обойма с шестью инструментальными штангами. Основание манипулятора соединено с плитой поперечной подачи бойков и перемещается к прессу при подаче в рабочую зону очередного бойка. На основании установлена плита, которая движется относительно него с помощью гидроцилиндров.

Инструментальные штанги шарнирно соединены с подъемно-поворотной обоймой и в исходной позиции занимают вертикальное нижнее положение. С помощью механизма поворота обоймы со штангами поворачивают до положения, в котором необходимый инструмент устанавливается по оси пресса. Включением механизма подъема установленная по оси пресса штанга с инструментом поднимается и одновременно переводится из вертикального положения в горизонтальное, после чего ходом плиты инструмент подается в рабочую зону.

Управление всеми агрегатами осуществляется от единой системы управления, с помощью которой комплекс может работать в режимах ручного, полуавтоматического, автоматического и программного управления. При ручном режиме работы комплексом управляет оператор. Полуавтоматическая и автоматическая работа осуществляется так же, как и на автоматизированном прессе. Программное управление организуется либо с помощью системы ЧПУ, либо от управляющей ЭВМ.

В функции системы управления АКК входит управление отдельными агрегатами и комплексом в целом. В современных АКК предусмотрены следующие режимы работы:

- ручное управление с представлением информации о фактических значениях перемещений рабочих органов на пульте управления;
- ручное управление с автоматическим позиционированием отдельных приводов комплекса в соответствии с предварительным набором на пульте управления;
- автоматическая работа одного из агрегатов при ручном управлении другими;
- чередование ручного управления отдельными агрегатами с их автоматической работой в соответствии с отдельными блоками программы;
- автоматическая работа комплекса в соответствии с составленной программой, в том числе работа по режиму, записанному ранее в памяти ЭВМ при ковке с ручным управлением.

Ковочные комплексы с программным управлением имеют узкое технологическое назначение. В режиме автоматического и программного управления работа АКК наиболее эффективна при изготовлении поковок простых форм, получаемых в результате повторяющихся технологических циклов, состоящих из обработки, кантовки и подачи. К таким деталям относятся тела вращения: валы прямоосные, гладкие, ступенчатые, коленчатые, эксцентриковые; длинные брусы квадратного и прямоугольного сечений. Такие поковки составляют обычно 40–70 % общего объема (по массе) изготовления поковок в кузнечном цехе. Примеры поковок, изготавливаемых на АКК, приведены на рис. 35.

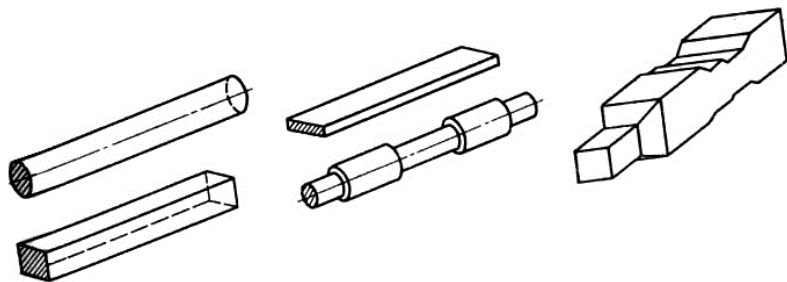


Рис. 35. Примеры поковок, изготавливаемых на АКК

В режиме ручного и полуавтоматического управления ковочные комплексы могут быть использованы для изготовления поковок всех типов (колец гладких, колец с шейками, шайб, фланцев, плит гладких, плит ступенчатых, рычагов, стоек и т. п.).

Программа работы ковочного комплекса составляется, как правило, для основных ковочных операций. Все вспомогательные операции из-за сложности их программирования исключаются из программы и выполняются при ручном управлении. По окончании выполнения вспомогательных операций, например по окончании замены кузнечных бойков и их закреплении на прессе, оператор переводит комплекс в программный режим работы.

Обычно работе ковочного комплекса всегда предшествует настройка кузнечных машин, т. е. установка нулевых или начальных точек отсчета измерительных систем комплекса. За начальную точку отсчета подвижной поперечины принимают точку крайнего верхнего положения, т. к. на положение этой точки не влияет высота бойков, для механизмов продольного перемещения манипуляторов – точку соприкосновения боковой плоскости бойков с торцом клещевого захвата. Для механизма вращения хобота за начальное положение принимается вертикальное положение клещей.

Все механизмы манипуляторов оснащены соответствующими датчиками положения (угловыми и линейными) и датчиками скорости. Датчик положения поперечины прессы имеет дискретность 1 мм, датчик положения моста манипулятора – 5 мм. Датчик углового перемещения (поворота) хобота манипулятора имеет дискретность 1°. Датчики механизмов подъема и выравнивания хобота также имеют дискретность 1 мм.

Комплексы с одним манипулятором имеют пять управляемых координат, с двумя манипуляторами – девять. Управление механизмами комплекса осуществляется дистанционно с пульта управления. Точность остановки деформирующего инструмента (бойков и др.) под нагрузкой изменяется от  $\pm 1$  до  $\pm 2$  мм в зависимости от номинального усилия прессы.

На рис. 36 показана схема АКК модели АКП500/2,5 для массового и крупносерийного производства.

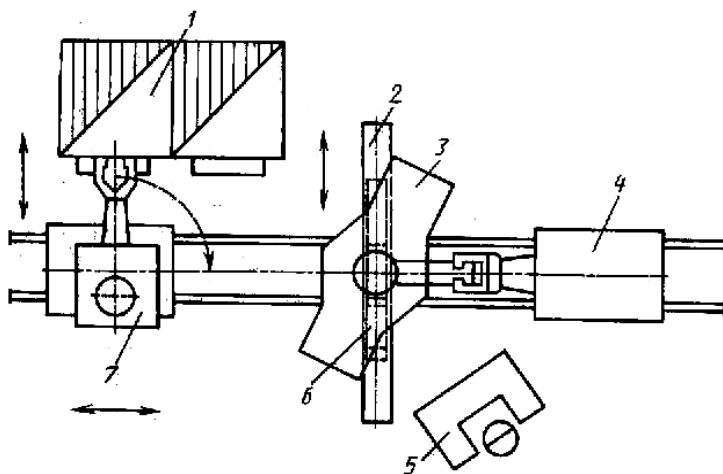


Рис. 36. Схема автоматизированного ковочного комплекса АКП500/2,5:

1 – нагревательные печи; 2 – направляющие бойков; 3 – гидравлический пресс; 4 – ковочный манипулятор; 5 – пульт управления; 6 – бойки передвигаемые; 7 – посадочная машина

Автоматизированный комплекс включает:

- гидравлический ковочный пресс П1827 усилием 500 МН с нижним расположением рабочих цилиндров;
- нагревательное устройство;
- рельсовый ковочный манипулятор МКП-2,5 с интерактивным управлением грузоподъемностью 2,5 т;
- тележку с поворотным столом;
- магазин инструментов (бойков пресса);
- устройство для смены инструмента;
- механизм для быстрого крепления инструмента;
- устройство числового программного управления КП44-2.

Общий вид комплекса приведен на рис. 37.

Станина пресса – литая. Главный цилиндр плунжерного типа передает рабочее усилие на подвижную раму через сферическую пяту, предотвращающую передачу бокового усилия при эксцентрической нагрузке. На средней части станины установлены возвратные цилиндры, плунжеры которых соединены с кронштейнами подвижной рамы. К верхней части подвижной рамы быстродействующим прижимным устройством крепится верхний боек. Привод пресса – от индивидуального гидроагрегата.



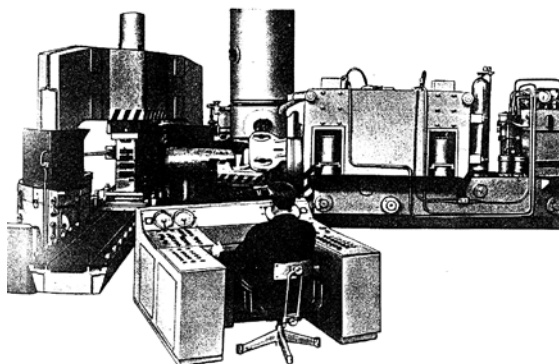


Рис. 37. Общий вид автоматизированного ковочного комплекса с программным управлением АКП500/2,5

Рельсовый ковочный манипулятор с тиристорным электроприводом постоянного тока обеспечивает все необходимые скорости перемещения и вращения поковки, а также быстрый останов ее осевого перемещения посредством гидравлического механизма. Кинематическая схема манипулятора МКП-2,5 приведена на рис. 38.

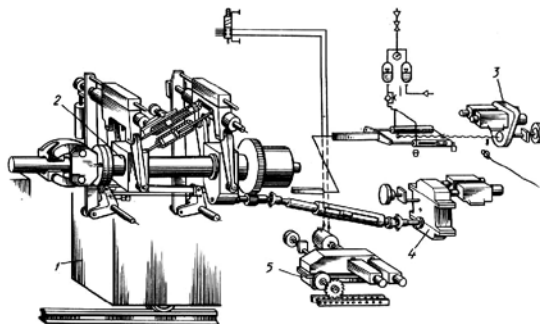


Рис. 38. Кинематическая схема манипулятора МКП-2,5:

1 – тележка манипулятора; 2 – хобот с клещевым захватом и гидравлическим механизмом зажима; 3 – редуктор подъема хобота с электродвигателями; 4 – редуктор вращения хобота с электродвигателями; 5 – редуктор осевого перемещения тележки с электродвигателями и гидравлическим насосом

Тележка 1 манипулятора перемещается по двухрельсовому пути на четырех колесах. Наибольшее перемещение составляет 10 м, скорость – до 0,6 м/с. Длина участка полного торможения тележки не

превышает 5 см. Тормозной путь останова руки при движущейся тележке 1–1,5 см. При ковке под воздействием бойка прессы поковка и рука 2 манипулятора могут упруго опускаться. Демпфирование усилий обеспечивается гидропневматическим аккумулятором. Наибольший радиус зоны обслуживания руки – 1180 мм, вертикальное перемещение руки – 455 мм со скоростью 0,07 м/с. В горизонтальной плоскости предусмотрено программируемое смещение руки относительно тележки на  $\pm 150$  мм. Угол поворота клещей – 360°. Масса манипулятора – 20 т. Привод продольного движения тележки осуществляется от двух электродвигателей через редуктор и звездочку, сцепленную с неподвижными цевками.

Тележка с поворотным столом используется для разворота поковки на 180° и перехвата ее манипулятором.

Устройство числового программного управления обеспечивает синхронизированную работу исполнительных механизмов прессы, манипулятора и тележки в ручном, полуавтоматическом и автоматическом режимах. В ручном и полуавтоматическом режимах необходимая последовательность и величина подач и обжатый заготовки задается оператором с пульта управления, установленного отдельно от прессы. В автоматическом режиме вмешательство оператора требуется лишь при смене инструмента.

Устройство ЧПУ обеспечивает управление перемещением подвижной рамы прессы, перемещением тележки, вращением и подъемом хобота манипулятора, причем управление по всем четырем координатам можно осуществлять одновременно. Задание перемещений может производиться как в абсолютных значениях, так и в приращениях. Средняя продолжительность автоматическойковки со-ставляет 10–20 мин.

Оператор, вручную управляя манипулятором, обеспечивает взятие заготовки из нагревательного устройства, перенос в рабочую зону прессы, съем и укладку готовой поковки. Процессковки осуществляется автоматически по сигналу оператора. При необходимости оператор может управлять вручную работой всего комплекса, для чего предусмотрена одна комбинированная рукоятка управления.

Подобный автоматизированный ковочный комплекс модели АКП1250/2,5 на базе гидравлического ковочного прессы усилием 12 500 МН приведен на рис. 39.

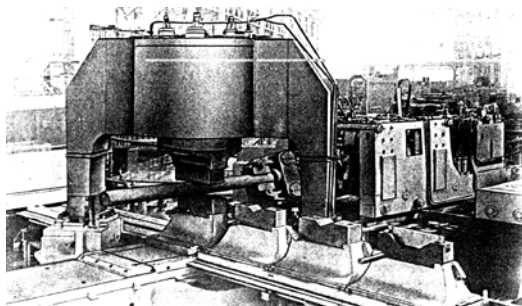


Рис. 39. Общий вид автоматизированного ковочного комплекса с программным управлением АКП1250/2,5

Технические характеристики ковочных комплексов АКП500/2,5 и АКП1250/2,5 приведены в табл. 5.

Таблица 5

Основные технические характеристики автоматизированных ковочных комплексов АКП500/2,5 и АКП1250/2,5

Основные данные	АКП500/2,5	АКП1250/2,5
1	2	3
<b><i>Гидравлический ковочный пресс с нижним расположением рабочих цилиндров</i></b>		
Номинальное усилие прессы, МН	500	12 500
Наибольший ход подвижной рамы с бойком, мм	710	1250
Расстояние между столом и подвижной рамой в ее верхнем положении, мм	1800	2650
Наибольшее число двойных ходов в минуту на отделочных операциях (при ходе бойка 25 мм и усилении до 25 % от номинального)	120	100
Наибольший ход продольного стола, мм	1000	1400
<b><i>Рельсовый ковочный манипулятор</i></b>		
Грузоподъемность, кг	2500	2500
Наибольшее раскрытие захвата, мм	500	500
Наибольший параллельный подъем хобота, мм	455	455
<b><i>Тележка с поворотным столом</i></b>		
Грузоподъемность, кг	2500	2500
Скорость перемещения, м/мин	34	34
Частота вращения стола, мин <sup>-1</sup>	10	10

1	2	3
<b>Автоматизированный ковочный комплекс</b>		
Точность задания размера поковки с пульта управления при автоматической ковке, мм:		
– по высоте	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$
– по длине	$\pm 5,0$	$\pm 8,0$
Установленная мощность электродвигателей, кВт		
	487	1200
Габаритные размеры комплекса, мм:		
– слева направо	23 500	30 000
– спереди назад	19 000	16 600
– высота над уровнем пола	3520	4960
Масса комплекса, т, около		
	124	427

На рис. 40 показана схема АКК модели АКП1235/1 для единичного и мелкосерийного производства.

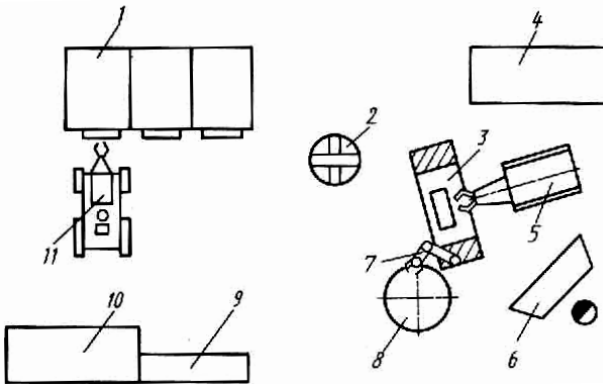


Рис. 40. Схема автоматизированного ковочного комплекса АКП1235/1:  
 1 – трехкамерная нагревательная печь; 2 – кантователь; 3 – гидравлический пресс усилием 3150 МН; 4 – склад инструмента; 5 – манипулятор ковочный; 6 – пульт управления; 7 – механическая рука для установки инструмента на бойки; 8 – поворотный стол с инструментом; 9 – склад инструмента; 10 – склад металла; 11 – посадочная машина

Днепропетровское производственное объединение тяжелых прессов (Украина) серийно выпускает АКК с программным управлени-

ем на базе гидравлических прессов с нижним расположением цилиндров усилием 5000, 8000, 12 500, 20 000 и 31 500 МН, оснащаемых одним или двумя рельсовыми манипуляторами грузоподъемностью 2,5, 5, 10, 20 и 40 т.

ПО «Уралмаш» (Россия) выпускают АКК на базе гидропрессов с усилиями 40 000, 60 000 и 150 000 МН с техническими данными, приведенными в табл. 6. В состав каждого из комплексов входят ковочный пресс, ковочный манипулятор, подъемно-поворотный стол, устройство для смены комплекта бойков, инструментальный манипулятор, система ковки на заданный размер. Ковочные прессы имеют четырехколонную трехцилиндровую конструкцию с верхним расположением рабочих цилиндров и тремя ступенями усилий. Привод прессов – насосно-аккумуляторный.

Таблица 6

Основные технические характеристики ковочных прессов, входящих в состав АКК производства ПО «Уралмаш»

Наименование	Значение		
	40 000	60 000	150 000
Номинальное усилие прессы, МН	40 000	60 000	150 000
Ход подвижной траверсы, м	2,5	2,6	4
Расстояние между столом и траверсой (открытая высота), м	4,25	6	8,5
Расстояние между колоннами, м	1,22 × 3,25	1,65 × 4,05	2,3 × 5,5
Размеры рабочей поверхности стола, м	2,9 × 6	3,2 × 8	4,7 × 12
Ход стола в обе стороны, м	2,25; 4	3; 4	4; 6
Скорость подвижной траверсы, м/с:			
– рабочего хода	0,15	0,08	0,08
– холостого хода	0,3	0,3	0,3
Габаритные размеры прессовой установки в плане, м	6,83 × 28,5	28,7 × 47,76	37,46 × 52,82
Высота над уровнем пола, м	12,3	13,67	19,86
Заглубление, мм	5,245	5,68	8
Допускаемый эксцентриситет при ковке, м	0,2	0,2	0,3
Масса установки (без насосно-аккумуляторной станции), т	1520	2300	5360

В состав ковочного комплекса на базе прессы усилием 60 000 МН входят:

- ковочный пресс;
- два ковочных манипулятора грузоподъемностью 80 и 30 т;
- устройство для смены ковочного инструмента (бойков);
- инструментальный манипулятор;
- устройство поворота слитков и заготовок;
- устройство для удаления окалины.

Для укладки слитков и заготовок и их разворота на 180° перед захватом манипуляторами применены два устройства поворота, аналогичные по конструкции (стационарные с выдвигаемым поворотным столом), но имеющие различную грузоподъемность – 80 и 30 т (соответственно ковочным манипуляторам). Основные отличительные особенности данных устройств состоят в том, что они расположены в стороне от зоны действия ковочного манипулятора и имеют небольшое заглубление, вследствие чего каретка поворотного стола при выдвигении его на ось прессы проходит с зазором над головками рельсов манипулятора. Такое конструктивное решение позволяет приблизить к рабочей зоне прессы позицию разворота слитков и заготовок, в связи с чем сокращается продолжительность перемещений манипулятора и, как следствие, увеличивается производительностьковки и улучшаются условия труда обслуживающего персонала.

В комплексе предусмотрено устройство для удаления окалины без использования ручного труда не только из рабочей зоны прессы, но и с поверхности его выдвигаемого стола.

Применение автоматических ковочных комплексов позволяет:

- увеличить производительностьковки по сравнению с установками на базе ковочных прессов с ручным управлением и крановыми кантователями в 1,6–2,2 раза;
- сократить численность бригады с 6–8 до 3 человек;
- существенно повысить точность поковок (до  $\pm 2$ –5 мм);
- создать более благоприятные условия труда обслуживающего персонала;
- улучшить культуру производства в кузнечных цехах.

Рабочие выводятся из опасной зоны, нет необходимости подходить к нагретой поковке для измерения ее размеров, оператор работает в комфортных условиях в кабине с кондиционированным воздухом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современный этап научно-технической революции характеризуется коренным пересмотром традиционных форм производственной деятельности, созданием более гибких технологий и всемерной интенсификацией промышленного производства. Возникающие при этом проблемы впервые в истории решаются по новому принципу, заключающемуся в замене человека с присущими ему психофизиологическими ограничениями роботами и системами искусственного интеллекта, позволяющими во много раз повысить производительность труда и качество продукции.

Опыт показывает, что развитие машиностроения идет по пути ускорения обновления выпускаемой продукции: три четверти изделий в общем объеме машиностроительного производства выпускаются мелкими и средними сериями, и доля такой продукции будет возрастать. В связи с этим главным направлением развития машиностроения является интенсивное техническое перевооружение на основе ресурсосберегающих технологий и быстропереналаживаемых производств. Оно должно позволить предприятиям за короткое время переходить на выпуск новой или существенно модернизированной продукции. Это определяет роль, которую должны сыграть РТК и ГПС в комплексной автоматизации машиностроения.

Конечно, нельзя утверждать, что ГПС необходимы на всех предприятиях. Но на большинстве промышленных предприятий с многономенклатурной и меняющейся продукцией только таким путем можно достичь наибольшей эффективности и мобильности в условиях современных темпов научно-технического прогресса. Применение ГПС эффективно, когда в производстве имеются значительные переналадки оборудования, сопровождающиеся большими межоперационными заделами. ГПС целесообразны, если объем производства изделий недостаточен для принятия решения о «жесткой» автоматизации с использованием автоматических линий и если за ожидаемый срок жизни изделия расходы на создание автоматических линий не могут быть оправданы.

Следует помнить, что создание ГАП целесообразно в основном на предприятиях среднесерийного, мелкосерийного и единичного типов производства и требует предварительного экономического обоснования. Однако необходимость автоматизации определяется

не только экономическим аспектом, но также аспектом гуманизации труда, под которым понимается улучшение условий труда, исключение тяжелых, монотонных и вредных для здоровья операций, а также творческая привлекательность труда.

Стратегическая линия последующего развития комплексной автоматизации промышленности сводится к объединению отдельных автоматизированных систем – систем автоматизированного проектирования, автоматизированной системы технологической подготовки производства и автоматизированной системы управления предприятием – в единую комплексную систему проектирования и производства. Каждая из указанных систем является человеко-машинной, в которой наиболее трудоемкие функции реализуются ЭВМ, входящими в состав систем, а творческие функции возложены на конструкторов, технологов и организаторов производства, работающих на автоматизированных рабочих местах.

Создание ГАП базируется на следующих основных положениях:

- перевооружение производства и пересмотр существующих технологий;
- создание новых технологий на основе последних научных достижений;
- экономическая эффективность и устойчивость к моральному старению научно-технических решений;
- пересмотр организационно-экономических принципов;
- комплексная автоматизация;
- внедрение готовых технологических систем, способных к автономному функционированию;
- высокий уровень надежности систем и их гибкость, под которой понимается способность системы перестраиваться на выпуск новой продукции в пределах общих конструктивно-технологических свойств и продолжать выпуск продукции при выходе из строя отдельных элементов системы;
- минимальный цикл создания новых изделий;
- минимальные затраты на технологическое переоснащение производства;
- возможность взаимодействия с автоматизированными системами управления и технологической подготовкой производства.



Производство и его автоматизация непрерывно развиваются. Поэтому каждая ГПС в малом и большом масштабе должна строиться таким образом, чтобы предусматривались возможности ее развития, подключения к другим системам. ГПС, как правило, имеют модульную конструкцию и могут перестраиваться. Несмотря на то что капиталовложения на такие ГПС могут быть выше, чем на автоматическую линию, она будет более рентабельной вследствие увеличения срока ее жизни.

В экономическом отношении создание ГПС обходится довольно дорого. Однако впоследствии это не только окупается, но и становится чрезвычайно выгодным именно за счет возможностей гибкой (т. е. с минимумом затрат времени, труда и средств) перенастройки производства на новую продукцию и технологию, а также за счет высокой производительности труда и улучшения качества продукции.

Трудно дается лишь самое начало создания первых ГПС. Оно требует серьезной проработки многих вопросов. Одной из важнейших проблем является проблема подготовки, переподготовки и повышения квалификации инженеров, техников, рабочих и руководящего состава предприятий. Нужны совершенно новые категории работников как в цехах, так и в конструкторских и технологических подразделениях. Нужно новое техническое мышление и психологическая подготовка инженеров и руководителей всех рангов. Все работники промышленности и выпускники технических заведений должны быть знакомы с принципами построения ГПС и иметь необходимые знания в области вычислительной техники и робототехники с точки зрения их возможностей и использования на производстве.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логашев, В. Г. Технологические основы гибких автоматизированных производств / В. Г. Логашев. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1985. – 176 с.
2. Робототехника и гибкие автоматизированные производства: учеб. пособие для вузов : в 9 кн. – М. : Высш. шк., 1986. – Кн. 1 : Макаров, И. М. Системные принципы создания гибких автоматизированных производств / И. М. Макаров. – 175 с.
3. Основы создания гибких автоматизированных производств / И. Н. Тимофеев [и др.] ; под. ред. И. Н. Тимофеева. – Киев : Техніка, 1986. – 144 с.
4. Организационно-технологическое проектирование ГПС / С. П. Митрофанов [и др.] ; под общ. ред. С. П. Митрофанова. – Л. : Машиностроение, 1986. – 294 с.
5. Технологическая подготовка гибких производственных систем / С. П. Митрофанов [и др.]. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 351 с.
6. Васильев, В. Н. Организационно-экономические основы гибкого производства / В. Н. Васильев, Т. Г. Садовская. – М. : Высш. шк., 1988. – 272 с.
7. Пуховский, Е. С. Технологические основы гибкого автоматизированного производства : учеб. пособие для машиностроит. специальностей вузов / Е. С. Пуховский. – Киев : Вища шк., 1989. – 238 с.
8. Пуховский, Е. С. Технология гибкого автоматизированного производства / Е. С. Пуховский, Н. Н. Мясников. – Киев : Техніка, 1989. – 207 с.
9. Технологические основы ГПС : учеб. для машиностроит. специальностей вузов / В. А. Медведев [и др.] ; под ред. Ю. М. Соломенцева. – М. : Машиностроение, 1991. – 239 с.
10. Колосов, А. Н. Организация и экономика гибкого автоматизированного производства : учеб. пособие для техн. и экон. специальностей вузов / А. Н. Колосов. – Киев : Вища шк., 1991. – 167 с.
11. Меламед, Г. И. Гибкое автоматизированное производство : станки с ЧПУ и роботы / Г. И. Меламед, Б. М. Турсунов. – Минск : Беларусь, 1986. – 159 с.
12. Гибкие производственные системы Японии / пер. с яп. А. Л. Семенова ; под ред. Л. Ю. Лищинского. – М. : Машиностроение, 1987. – 232 с.

13. Ратмиров, В. А. Управление станками ГПС / В. А. Ратмиров. – М. : Машиностроение, 1987. – 240 с.
14. Программное управление станками и промышленными роботами / В. Л. Косовский [и др.]. – М. : Высш. шк., 1989. – 272 с.
15. Робототехника и гибкие автоматизированные производства : учеб. пособие для вузов : в 9 кн. / под ред. И. М. Макарова. – М. : Высш. шк., 1986. – Кн. 6 : Назаретов, В. М. Техническая имитация интеллекта / В. М. Назаретов, Д. П. Ким. – 142 с.
16. Робототехника и гибкие автоматизированные производства: учеб. пособие для вузов : в 9 кн. / под ред. И. М. Макарова. – М. : Высш. шк., 1986. – Кн. 4 : Вычислительная техника в робототехнических системах и гибких автоматизированных производствах / В. З. Рахманкулов [и др.]. – 144 с.
17. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы : в 14 кн. / под ред. Б. И. Черпакова. – М. : Высш. шк., 1989. – Кн. 9 : Ильинский, Д. Я. САПР в ГПС / Д. Я. Ильинский. – 96 с.
18. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы : в 14 кн. / под ред. Б. И. Черпакова. – М. : Высш. шк., 1989. – Кн. 7 : Городецкий, М. С. Контроль и диагностика в ГПС / М. С. Городецкий, Д. Л. Веденский. – 94 с.
19. Вальков, В. М. Контроль в ГАП / В. М. Вальков. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986. – 232 с.
20. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы : в 14 кн. / под ред. Б. И. Черпакова. – М. : Высш. шк., 1989. – Кн. 8 : Берман, А. М. Управление ГПС и РТК / А. М. Берман, В. М. Олевский, Е. В. Судов. – 94 с.
21. Горнев, В. Ф. Оперативное управление в ГПС / В. Ф. Горнев, В. В. Емельянов, М. В. Овсяников. – М. : Машиностроение, 1990. – 256 с.
22. Робототехника и гибкие автоматизированные производства : учеб. пособие для вузов : в 9 кн. / под ред. И. М. Макарова. – М. : Высш. шк., 1986. – Кн. 3 : Макаров, И. М. Управление робототехническими системами и гибкими автоматизированными производствами / И. М. Макаров [и др.]. – 156 с.
23. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы : в 14 кн. / под ред. Б. И. Черпакова. – М. : Высш. шк., 1989. – Кн. 12 : Блехерман, М. Х. Оперативно-производственное планирование ГПС / М. Х. Блехерман. – 91 с.

24. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы : в 14 кн. / под ред. Б. И. Черпакова. – М. : Высш. шк., 1989. – Кн. 4 : Волчкевич, Л. И. Транспортно-накопительные системы ГПС / Л. И. Волчкевич, Б. А. Усов. – 109 с.
25. Егоров, В. А. Транспортно-накопительные системы для ГПС / В. А. Егоров, В. Д. Лузанов, С. М. Щербаков. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 293 с.
26. Маликов, О. Б. Проектирование автоматизированных складов штучных грузов / О. Б. Маликов. – Л. : Машиностроение, 1981. – 240 с.
27. Маликов, О. Б. Склады гибких автоматических производств / О. Б. Маликов. – Л. : Машиностроение, 1986. – 187 с.
28. Смехов, А. А. Автоматизированные склады / А. А. Смехов. – М. : Машиностроение, 1987. – 296 с.
29. Технологическое оборудование ГПС / О. И. Аверьянов [и др.]. – Л. : Политехника, 1991. – 319 с.
30. Белянин, П. Н. Гибкие производственные системы : учеб. пособие для техникумов / П. Н. Белянин, М. Ф. Идзон, А. С. Жогин. – М. : Машиностроение, 1988. – 256 с.
31. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, роботизированные комплексы : в 14 кн. / под ред. Б. И. Черпакова. – М. : Высш. шк., 1989. – Кн. 10 : Гибкие автоматические линии массового и крупносерийного производства / Б. И. Черпаков [и др.]. – 111 с.
32. Робототехника и гибкие автоматизированные производства : в 9 кн. / под ред. И. М. Макарова. – М. : Высш. шк., 1986. – Кн. 7 : Гибкие автоматизированные производства в отраслях промышленности / И. М. Макаров [и др.]. – 176 с.
33. Роботизированные производственные комплексы / Ю. Г. Козырев [и др.] ; под. ред. Ю. Г. Козырева, А. А. Кудинова. – М. : Машиностроение, 1987. – 272 с.
34. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы : в 14 кн. / под ред. Б. И. Черпакова. – М. : Высш. шк., 1989. – Кн. 3 : Кордыш, Л. М. Гибкие производственные модули / Л. М. Кордыш, В. Л. Косовский. – 108 с.
35. Гибкие производственные комплексы / В. А. Лещенко [и др.] ; под. ред. П. Н. Белянина, В. А. Лещенко. – М. : Машиностроение, 1984. – 384 с.
36. Белянин, П. Н. Робототехнические системы для машиностроения / П. Н. Белянин. – М. : Машиностроение, 1986. – 256 с.

37. Кисилев, Г. А. Гибкие производственные системы в машиностроении / Г. А. Кисилев. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 288 с.

38. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы : в 14 кн. / под ред. Б. И. Черпакова. – М. : Высш. шк., 1990. – Кн. 5 : Царенко, В. И. Промышленные роботы / В. И. Царенко. – 93 с.

39. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы : в 14 кн. / под ред. Б. И. Черпакова. – М. : Высшая школа, 1989. – Кн. 6 : Черпаков, Б. И. Робототехнические комплексы / Б. И. Черпаков, В. Б. Великович. – 91 с.

40. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы : в 14 кн. / под ред. Б. И. Черпакова. – М. : Высш. шк., 1989. – Кн. 1 : Черпаков, Б. И. Гибкие механообрабатывающие производственные системы / Б. И. Черпаков, И. В. Брук. – 127 с.

41. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы : в 14 кн. / под ред. Б. И. Черпакова. – М. : Высш. шк., 1989. – Кн. 2 : Горнев, В. Ф. Комплексные технологические процессы ГПС / В. Ф. Горнев, А. М. Савинов, В. И. Валиков. – 108 с.

42. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, роботизированные комплексы : в 14 кн. / под ред. Б. И. Черпакова. – М. : Высш. школа, 1989. – Кн. 13 : Давыгора, В. Н. ГПС для сборочных работ / В. Н. Давыгора. – 108 с.

43. Гибкие технологические системы холодной штамповки / С. П. Митрофанов [и др.] ; под общ. ред. С. П. Митрофанова. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 287 с.

44. Семенов, Е. И. Робототехнологические комплексы для листовой штамповки мелких деталей / Е. И. Семенов, Н. Ф. Кравченко. – М. : Машиностроение, 1989. – 288 с.

45. Катков, В. Ф. Гибкие автоматизированные системы в штамповочном производстве / В. Ф. Катков. – М. : Высш. шк., 1989. – 72 с.

46. ГПС в действии : пер. с англ. / под. ред. В. А. Кудинова. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.

47. Занин, В. П. Гибкая производственная система: от проекта до эксплуатации / В. П. Занин, Г. И. Кабанов, В. Г. Логашев. – Л. : Лениздат, 1989. – 110 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	6
1. ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ЕГО РАЗВИТИЯ.....	8
1.1. Типы производства.....	8
1.2. Формы организации технологических процессов.....	9
1.3. Характеристика современного машиностроительного производства и основные тенденции его развития.....	11
2. ГИБКАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ – НОВЫЙ ЭТАП НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА.....	22
2.1. Понятие о гибких автоматизированных производствах и гибких производственных системах.....	22
2.2. Автоматизация в условиях гибкого производства.....	24
2.3. Цели создания и основные признаки ГАП.....	26
2.4. Производственно-техническая структура гибких автоматизированных производств.....	28
2.5. Основные элементы гибких автоматизированных производств и уровни гибких производственных систем.....	29
2.6. Системы обеспечения функционирования ГПСЗЗ	
2.7. Электронизация производства.....	38
2.8. Промышленные системы искусственного интеллекта.....	42
3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ГАП.....	49
3.1. Программное управление технологическим оборудованием.....	49
3.2. Технологическое оборудование ГПС.....	54
4. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В ГАП.....	58
5. ТРАНСПОРТНО-НАКОПИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ГАП.....	63
5.1. Цели, задачи и роль автоматизированной транспортно-накопительной системы.....	63
5.2. Автоматизированная складская система ГАП.....	70
5.2.1. Автоматические склады.....	71
5.2.2. Оборудование автоматических складов.....	75

5.3. Автоматизированная транспортная система ГАП.....	85
5.3.1. Требования к автоматическому транспорту.....	85
5.3.2. Конвейерный транспорт.....	86
5.3.3. Монорельсовые подвесные дороги.....	89
5.3.4. Транспортные роботы.....	91
6. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГАП.....	104
6.1. Функции системы управления ГАП.....	104
6.2. Организация системы управления ГАП.....	106
6.3. Технические средства АСУ ГАП.....	110
6.4. Программное и информационное обеспечение ГАП.....	114
6.5. Система управления транспортно-накопительной системой.....	118
7. РОЛЬ И МЕСТО ГАП В ОБЩЕЙ СТРУКТУРЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	124
7.1. Особенности организации ГАП.....	124
7.2. Преимущества ГПС.....	126
7.3. Трудности при создании ГАП.....	130
7.4. Опыт создания и эксплуатации ГПС в машиностроении.....	133
7.5. Полный цикл гибкого автоматизированного производства.....	142
7.6. Роль и место ГАП в общей структуре промышленного производства.....	146
7.7. Экономическая эффективность применения ГПС.....	150
8. ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	154
8.1. Кузнечно-штамповочное оборудование общего назначения.....	154
8.2. Листоштамповочное оборудование и комплексы с программным управлением.....	156
8.3. Гибкая автоматическая линия по обработке листового материала FINN-POWER.....	175
8.4. Оборудование для ротационной вытяжки листового металла.....	177
8.5. Автоматизированные ковочные комплексы с числовым программным управлением.....	177
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	191
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	194

Учебное издание

**ЛЮБИМОВ** Виктор Иванович  
**БЕЛЯВИН** Климентий Евгеньевич

**Организационно-технические основы  
гибкого автоматизированного  
производства**

Методическое пособие  
для студентов специальности 1-36 01 05  
«Машины и технология обработки материалов давлением»

Редактор В. О. Кутас  
Компьютерная верстка Н. А. Школьниковой

Подписано в печать 03.05.2012. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 11,63. Уч.-изд. л. 9,09. Тираж 130. Заказ 351.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.