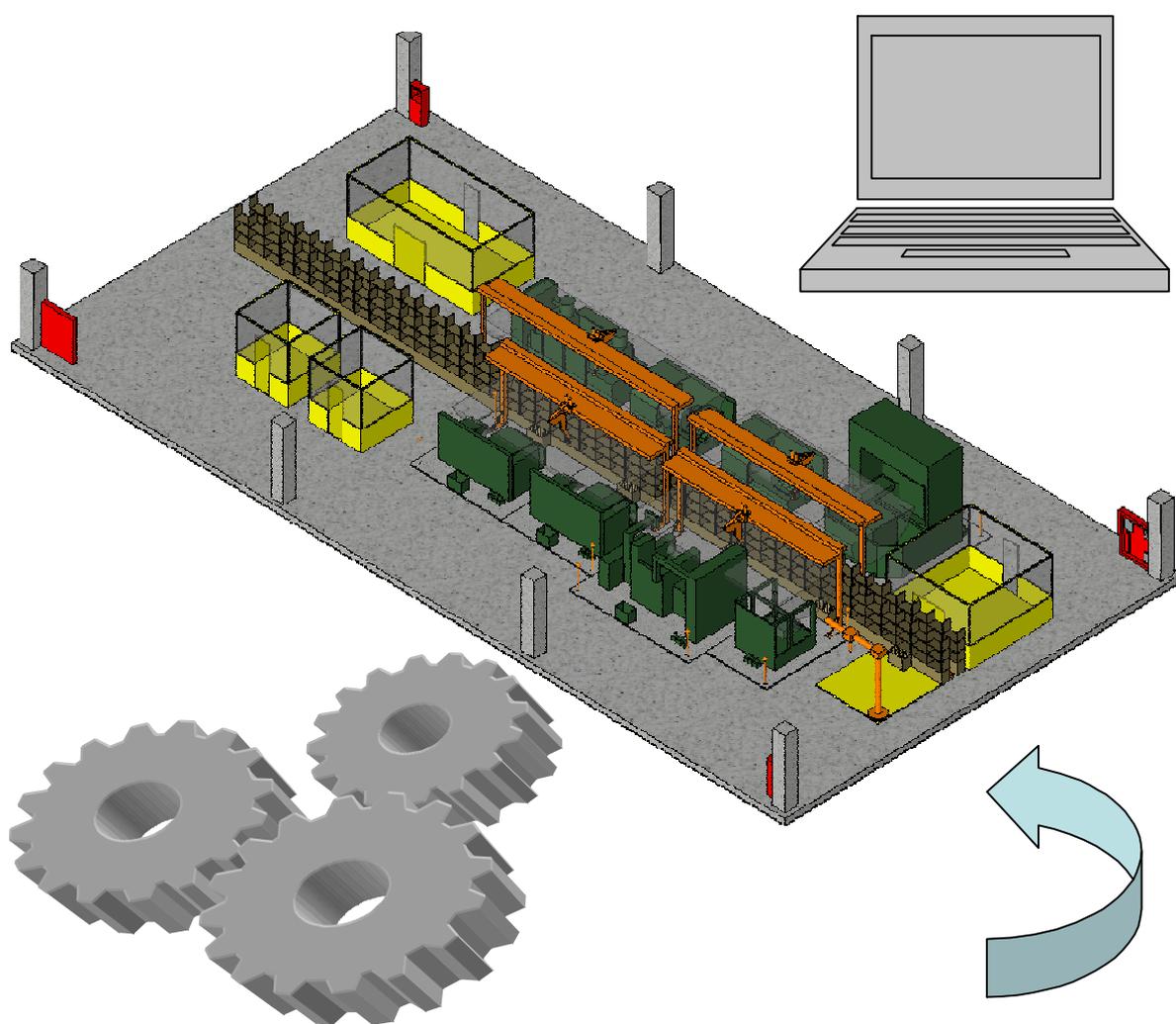


А. Н. Трусов

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

Учебное пособие



Кемерово 2010

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет»

А. Н. ТРУСОВ

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
И ПРОИЗВОДСТВ**

Учебное пособие

Кемерово 2010

УДК 621.002-52(075.8)

Рецензенты:

Кафедра прикладной механики Кемеровского государственного сельскохозяйственного института

Главный ученый секретарь Учреждения Российской академии наук Кемеровского научного центра Сибирского отделения РАН кандидат технических наук, доцент В. В. Зиновьев

Доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения Кузбасского государственного технического университета В. Ю. Блюменштейн

Трусов, А. Н. Автоматизация технологических процессов и производств : учеб. пособие / А. Н. Трусов ; Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2010. – 200 с.

ISBN 978-5-89070-765-9

Учебное пособие соответствует учебному плану подготовки специалистов по специальности 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств (в машиностроении)».

Рассмотрены вопросы применения теории производительности машин для проектирования автоматических систем машин для массового и серийного производств, проектирования и расчета целевых механизмов автоматизации, создания и эксплуатации автоматизированных транспортно-складских систем ГПС, автоматизации контроля как в массовом, так и в серийном производствах и т. д.

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

УДК 621.002-52(075.8)

© Трусов А. Н., 2010

© Кузбасский государственный
технический университет, 2010

ISBN 978-5-89070-765-9

ПРЕДИСЛОВИЕ

Задача настоящего учебного пособия состоит не только в том, чтобы дать студентам конкретные знания и умения в области, обозначенной названием книги, но и способствовать воспитанию у будущих специалистов аналитического мышления: умения постигать глубинную сущность предметов и явлений; осознавать причинно-следственные связи и закономерности, выходящие за рамки очевидности; видеть противоречия в любых конкретных задачах и ситуациях.

Такому подходу в вузовских курсах учат недостаточно. Преобладают систематизированные описания и рецептурные методы, способные, как максимум, дать конкретную эрудицию и воспитать логическое мышление. Умение оценивать всю вариантность решения конкретных задач, определять перечень критериев сравнительного анализа и оценки и в итоге осознавать закономерности значительно важнее.

Учить нужно не частностям, а закономерностям, из которых частности вытекают естественным образом. Любые приводимые студентам в лекционных курсах и учебниках конкретные процессы и конструкции должны трактоваться как взаимозаменяемые примеры, которые должны, с одной стороны, формировать знания предметной части, с другой – иллюстрировать подходы и закономерности, выходящие за пределы данной конкретики.

Автору представляется, что наиболее приемлемым для такой методологии инженерной подготовки является изучение автоматизации производственных процессов. Именно создание автоматизированных производств несет в себе наибольшую вариантность задач, не разрешаемых на основе только традиционных методов и критериев кинематики и прочности конструкций, качества продукции, экологичности процессов. Поэтому вопросы вариантности технических решений, их оценки выбора красной нитью проходят через все пособие.

Книга не содержит обширных систематизированных описаний технологических процессов и конструкций, обзоров и классификаций, которые бы просто значительно расширили объем.

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Место, значение и содержание курса

С середины XX века в развитых в промышленном отношении странах появились и постоянно продолжают нарастать две проблемы:

1. **Проблема дефицита трудовых ресурсов** из-за влияния демографических факторов, перераспределения трудовых ресурсов в сферу обслуживания и пр.

2. **Непопулярность ручного труда**, особенно среди молодежи.

Средство решения этих проблем также давно известно – комплексная механизация и автоматизация производственной сферы. В России также эти проблемы решались. Традиционно этими вопросами первоначально занимались в машиностроении в области *обработки резанием*. Успехи были весьма ощутимы. Достаточно сказать, что первый в мире завод-автомат был создан в СССР в 1951 году (выпускал автомобильные поршни), в 1956 году по проекту ЭНИМСа был запущен полностью автоматический цех по выпуску двух типоразмеров шарикоподшипников. Серийно производилось разнообразное автоматическое оборудование, станки-автоматы и даже автоматические линии (АЛ). Но в основном все работы проводились в рамках «жесткой» автоматизации, то есть для крупносерийного и массового производства.

С 60-х годов начинается автоматизация *заготовительных производств: литейного, сварочного, термического, обработки давлением*. Широко использовался опыт, полученный ранее.

Примерно с 70-х годов проводится большой комплекс работ по автоматизации *финишных операций: мойки, сушки, покрытия, окраски*. Сейчас уровни автоматизации здесь сопоставимы с механической обработкой. Значительно отстает в силу большого количества причин (о которых мы будем еще говорить дальше) по уровню автоматизации *сборка*.

При анализе актуальности автоматизации производства следует учесть, что все это происходит на фоне *переноса центра тяжести* на серийное гибкое производство. Вспомним, что доля крупносерийного и массового производства составляет около 15 % всего производства машиностроения, а чисто массовое производство около 3 %.

Таким образом, для развитых промышленных стран вопрос стоит так:

Комплексно-автоматизированное и механизированное производство должно стать основной формой производства не только в массовом, но и в серийном производстве.

Любые неавтоматизированные технологические процессы (ТП) следует рассматривать как частные вынужденные решения, когда в конкретных условиях производства еще не возникли технические и экономические условия для автоматизации.

Практически сейчас завершено становление научно-технических основ комплексной автоматизации (естественно, сильно замедленное в современных экономических условиях). Пока не хватает практических инженерных технико-экономических методик, кадров. Но уже есть достаточный теоретический фундамент:

- теория точности ТП;
- теория автоматического регулирования и управления;
- теория производительности и надежности машин и их систем;
- инженерная теория технико-экономической эффективности автоматизации.

Дадим определение понятию «автоматизация производственных процессов (АПП)»:

АПП – комплекс мероприятий по разработке новых прогрессивных ТП и проектированию на их основе высокопроизводительного технологического оборудования, осуществляющего рабочие и вспомогательные процессы без непосредственного участия человека, то есть это не просто автоматика, не просто замена функций человека машиной. Это комплексная задача по созданию принципиально новой техники, включающая

в себя разработку таких схем обработки, компоновок машин и систем машин, которые, как правило, были бы невозможны, если бы человек по-прежнему оставался непосредственным участником процесса.

Широкое развитие автоматизации всех отраслей машиностроения поставило перед машиностроительными вузами *актуальнейшую задачу* – готовить не просто технологов, а *технологов по разработке автоматизированных ТП*.

Современный технолог **должен знать**:

- материальную часть – типовые примеры конструкций и компоновок автоматических машин, систем управления, целевых механизмов;
- особенности разработки ТП для автоматизированного производства;
- теорию производительности и надежности рабочих машин;
- теорию автоматического регулирования как основу современных систем управления;
- инженерные методы обоснования выбора оптимальных технологических и конструкторско-компоновочных решений при проектировании.

В основном этот материал и составляет содержание данного курса.

1.2. Этапы развития автоматизации машиностроения

Логику развития автоматизации в машиностроении удобно проследить, рассматривая основное противоречие **гибкость – производительность**, то есть противоречие, заключающееся в требовании, с одной стороны, большего разнообразия продукции, а с другой стороны, большего количества этой продукции при обеспечении надлежащего качества. При этом нетрудно убедиться, что развитие технических идей шло по своеобразной спирали, каждый последующий виток которой в значительной степени повторил содержание предыдущего (рис. 1).

Начало первого витка, посвященного развитию «жесткой» автоматизации, можно вести от первых станков Нартова (1712 г.) и Модсли (1796 г.). С учетом времени появления первых автоматических цехов и заводов (см. п. 1.1), на первый виток ушло более 200 лет.

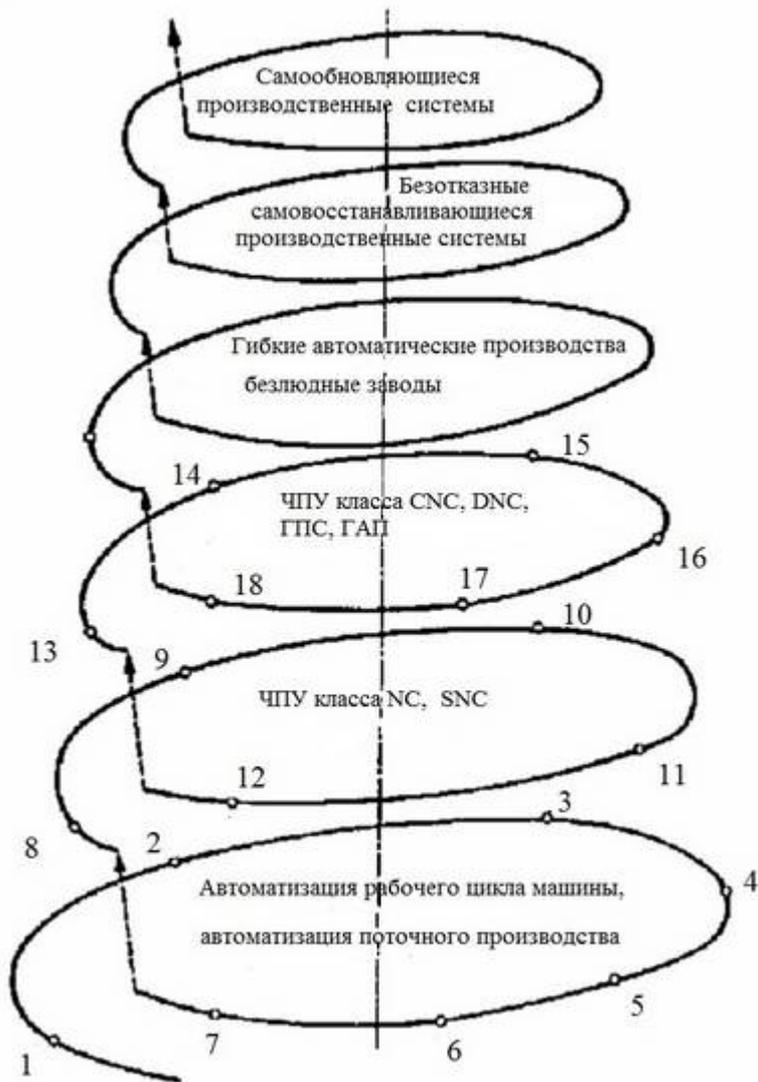


Рис. 1. Этапы развития автоматизации в машиностроении:

- 1 – универсальные станки; 2 – универсальные автоматы и полуавтоматы;
 3 – специальные и специализированные автоматы и полуавтоматы;
 4 – агрегатные станки; 5 – автоматические линии из агрегатных станков;
 6 – автоматические линии из универсальных станков; 7 – комплексные автоматические линии и автоматические заводы; 8 – станки с ЧПУ;
 9 – автоматы с ЧПУ; 10 – специальные станки с ЧПУ;
 11 – ОЦ с индивидуальными ЧПУ; 12 – автоматические линии с ЧПУ;
 13 – станки с ЧПУ CNC; 14 – ОЦ фрезерно-расточные с ЧПУ; 15 – ГПС;
 16 – ГПС со специализированным ОЦ массового производства;

17 – ГПС, ГАП = ГПС + САПР + АСТПП; 18 – автоматизированный завод

Вершина первого витка – *комплексная АЛ*, то есть линия, которой выполнялась не только мехобработка, но и контроль, сборка, консервация и упаковка изделия. Но эти успехи экономически оправданы только в условиях крупносерийного и массового производства, так как на разработку и внедрение такой линии требуется примерно 5 лет и на ее амортизацию еще не менее 8 лет. Нетрудно видеть по первому витку, что повышение производительности шло за счет почти полной потери гибкости производства.

Второй виток в своем развитии связан с переходом к новой форме управления – ЧПУ и практически полностью повторил первый виток. На второй виток понадобилось около 30 лет (табл. 1). Реализация второго витка не принесла ожидаемого эффекта в серийном производстве из-за сложной ТПП для станков с ЧПУ с аппаратной реализацией. Экономически оправданный размер партии исчислялся сотнями штук, и производительность по сравнению с обычным универсальным оборудованием выросла ненамного из-за неполного использования фонда рабочего времени станков.

Таблица 1

Выпуск средств автоматизации

Оборудование	Выпуск в год шт.	
	Год начала выпуска	1985 год
Станки с ЧПУ	20 (1960)	17 800
ОЦ	2 (1970)	2 500
ПР	10 (1975)	13 200

Третий виток связан с развитием средств микропроцессорной техники, с появлением систем ЧПУ типа DNC и CNC (табл. 2). Происходит создание систем машин, управляемых по одним принципам (технологические модули, загрузочные, транспортные, складские системы, контроль и диагностика и пр.).

Сообщения о появлении первых «безлюдных» автоматических заводов серийного производства (четвертый виток) уже по-

являются, а переход к пятому и шестому виткам связан с решением проблем надежности и самодиагностики рабочих машин, созданием искусственного интеллекта.

Таблица 2

Развитие электронизации производства

Год	События
1940	Начало использования ЭВМ для решения производственных задач
1952	Появление станков с ЧПУ
1962	Использование ЭВМ для автоматического черчения
1963	Прямое управление станков с ЧПУ от ЭВМ
1967	Первая ГПС «Система 24» фирмы «Молинс» (Англия)
1978	Широкое применение ПР
1981	Применение лазера для автоматического измерения размеров
1983	Применение технического зрения в промышленных системах
1984	Расчет себестоимости продукции по чертежам до начала выпуска
1987	Автоматизированное конструирование штампов и пресс-форм, разработка УП для станков с ЧПУ; автоматические системы диагностики станка, адаптивные системы, оптимизация процесса обработки
1988	Автоматизированное проектирование маршрута обработки
1989	Появление распределенных структур управления от ЭВМ; первые автоматические системы сборки
1985– 1990	Бесконтактные, сверхточные встроенные устройства автоматического контроля, корректирующие процесс обработки на станке
1990– 1995	Широкое применение моделирования в производстве, автоматическое распознавание и подача деталей, начало применения видящих сенсоров для распознавания трехмерных контуров детали, распространение интеллектуальных роботов
1995– 2000	Интеграция обрабатывающих и сборочных ГПС, создание ГАП

Таким образом, видно, что первая половина нашего столетия характеризовалась углублением разделения на серийное и массовое производства, каждое из которых предъявляло свои требования к оборудованию.

Установилась своеобразная традиция использования оборудования:

- единичное производство – универсальные станки;
- серийное производство – универсальные станки со спецприспособлениями;
- массовое производство – специальные станки, автоматы и АЛ.

Затем эти направления стали сближаться по двум направлениям:

- а) групповая технология, позволяющая искусственно увеличивать серийность производства;
- б) переналаживаемое автоматическое оборудование.

Решающий момент – появление обрабатывающих центров (ОЦ) как широкоуниверсальных и, одновременно, полностью автоматизированных станков.

Комитет по использованию ЭВМ в производстве (США) предлагает следующий прогноз по составу оборудования в машиностроении промышленно развитых стран: 25...30 % – универсальные станки; 20...25 % – станки с ЧПУ; 30...35 % – ОЦ; 8...10 % – АЛ из станков-автоматов и агрегатных станков.

Примечание: 50 % станков с ЧПУ и ОЦ будут объединены в ГПС.

2. ЦЕЛЕВЫЕ МЕХАНИЗМЫ ЖЕСТКОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

2.1. Классификация целевых механизмов

При автоматизации производственных процессов функции изготовления, управления, контроля передаются специальным механизмам и устройствам – целевым механизмам (ЦМ).

Целевые механизмы (АЛ, автомата) – механизмы, служащие для выполнения отдельных элементов автоматизированного ТП и частных движений рабочего цикла машины.

Исполнительный механизм (АЛ, автомата) – комплекс взаимосвязанных целевых механизмов, обеспечивающий выполнение рабочей машиной (системой машин) своих функций.

Многообразие технологических функций, габаритов и форм деталей вызывает многообразие ЦМ. Однако классификация ЦМ по **функциональному** признаку позволяет выделять общие принципы расчета и конструирования, а значит, облегчить и ускорить конструирование АЛ или автомата.

Классификация ЦМ для АЛ приведена на рис. 2. Группа ЦМ рабочих ходов (ЦМРХ) предназначена для выполнения непосредственно операций по обработке (сборке, контролю) деталей. Им могут быть присущи и холостые хода, например, отвод силовой головки, но основная их функция – соответствующая технологическая операция. Примером ЦМРХ могут служить суппорты, шпиндели, силовые головки и др. Конструкция и расчет таких механизмов рассматриваются в курсе «Металлорежущие станки».

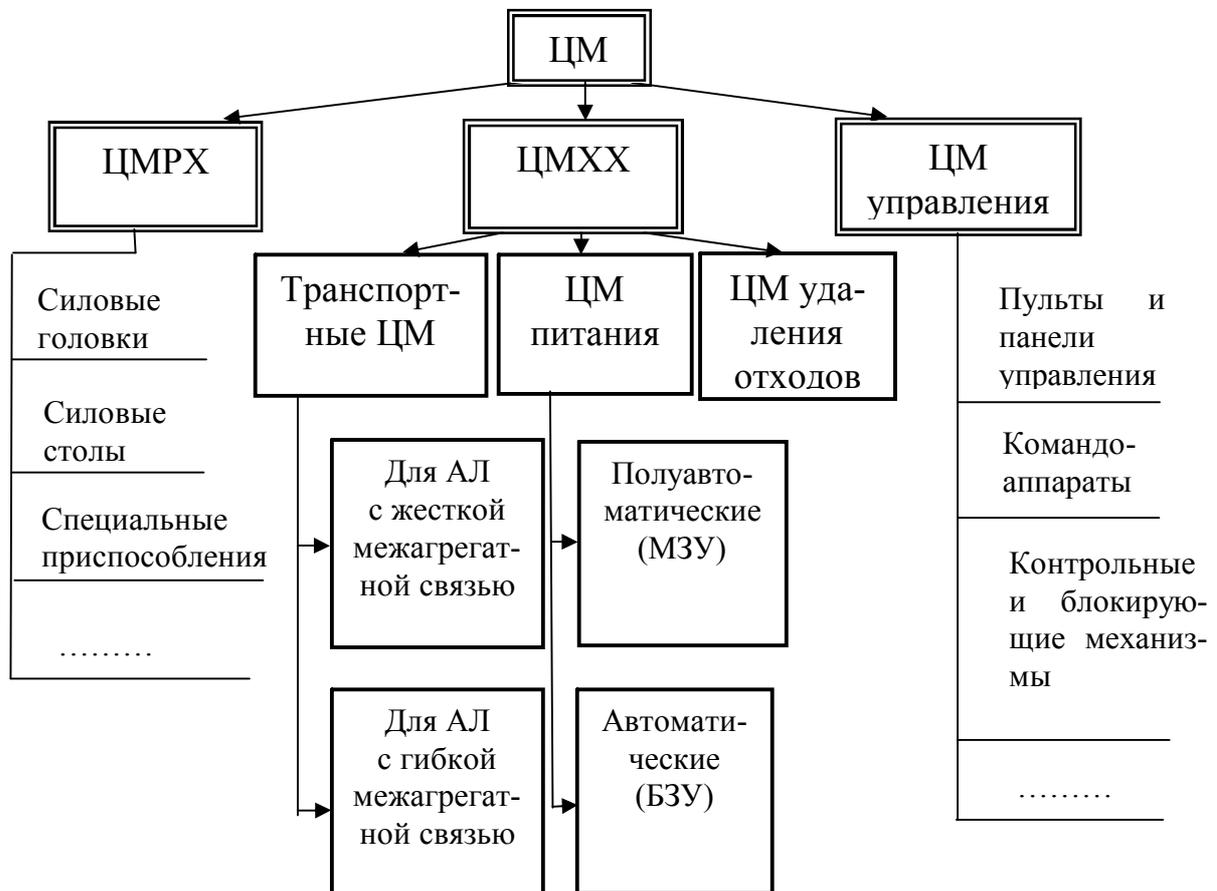


Рис. 2. Классификация целевых механизмов автоматизации

Обычно технологическое оборудование достаточно разработано и может быть выбрано по каталогам. Тогда при проектировании АЛ основное внимание должно быть уделено именно ЦМ холостых ходов (ЦМХХ).

В свою очередь, состав ЦМХХ зависит от типа АЛ. По типу можно выделить:

– **АЛ с жесткой межагрегатной связью** – линии, работающие с единым тактом. Все изделия одновременно заканчивают обрабатываться и, перемещаясь на один шаг, передаются на следующую обрабатывающую позицию. Промежуточные накопители отсутствуют;

– **АЛ с гибкой межагрегатной связью** – за счет использования межоперационных накопителей каждая рабочая позиция становится по такту независимой друг от друга и может работать со своим тактом выпуска.

Структура одной ячейки АЛ с гибкой межагрегатной связью показана на рис. 3. Детали подают в накопитель, из него – в транспортер-подъемник (для создания запаса потенциальной энергии и использования ее в дальнейшем для транспортировки деталей). При необходимости разделения потока деталей между станками-дублерами используют транспортер-распределитель. В обрабатывающие станки детали попадают по подводящим лоткам, объединение потоков в один на выходе из ячейки осуществляется отводящим транспортером. В частных случаях часть перечисленных устройств может отсутствовать. Такая структура ячейки имеет ряд преимуществ: легко компоновать АЛ для ТП любой сложности (число ячеек равно числу операций в ТП); можно предусмотреть резерв площади и добавлять станки в ячейки; есть возможность вводить станки из работы для планового или аварийного ремонта.

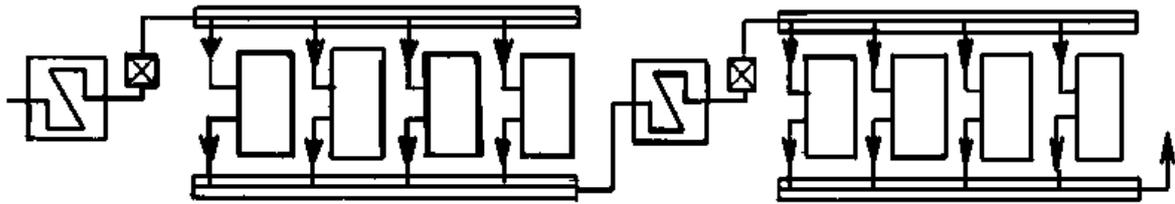


Рис. 3. Структура ячейки АЛ с гибкой межагрегатной связью

Следует отметить важную особенность, присущую ЦМХХ: в ЦМХХ **нет технологических усилий**, поэтому прочностные расчеты здесь либо не проводятся, либо имеют простейший характер.

Основная задача расчета ЦМХХ – обеспечение необходимого быстродействия, пропускной способности и надежности при наименьшей стоимости.

Поэтому при конструировании ЦМХХ важен сравнительный анализ вариантов, использование (а значит, и изучение) типовых конструкций. Оригинальные конструкции лучше применять только в крайнем случае.

2.2. Транспортные механизмы

2.2.1. Для АЛ с жесткой межагрегатной связью

1. **Шаговые транспортеры.** Составляют основу большинства транспортных систем АЛ. Как правило, просты по конструкции и управлению (рис. 4). Одновременно прекращается обработка всех заготовок на всех позициях и они передаются на следующую позицию. Рассмотрим некоторые типовые конструкции.

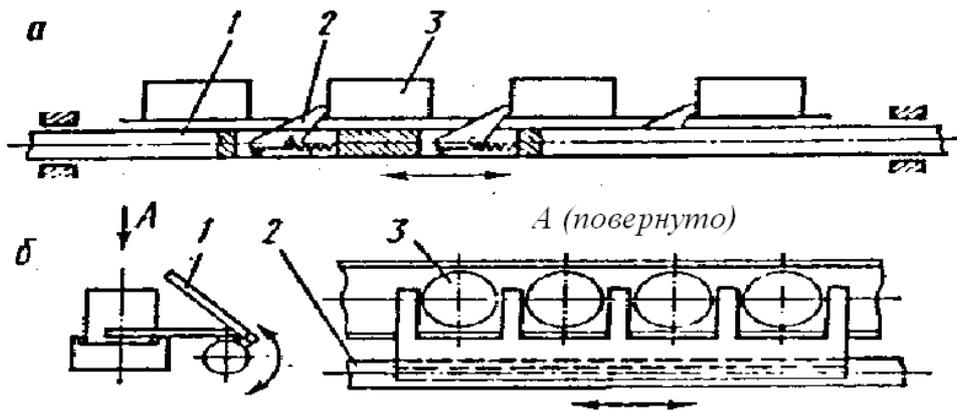


Рис. 4. Примеры шаговых транспортеров в АЛ

Шаговый штанговый транспортер с собачками (рис. 4, а). Штанга 1 совершает возвратно-поступательное движение. При этом при ходе вперед собачки 2 увлекают с собой детали 3. При обратном ходе собачки утапливаются. Привод обычно механический или гидравлический. Недостаток – неточность позиционирования.

Шаговый транспортер с флажками и круговой штангой (рис. 4, б). Флажки 1 имеют вырезы по форме деталей 3. Круговая штанга имеет два движения: возвратно-поступательное и поворот на некоторый угол. При обратном ходе штанга поворачивается, выходит из зацепления с деталями и только после этого отводится. Транспортер имеет несколько более сложную конструкцию и управление, но обладает высокой точностью позиционирования, зависящей только от зазора между флажком и деталью.

2. **Транспортные роторы.** Служат для передачи заготовок между обрабатывающими роторами в роторных АЛ (рис. 32).

3. **Цепные транспортеры с автооператорами.** Часто используются для загрузки АЛ из многопозиционных станков (рис. 5). Упор 9 останавливает деталь 8 в позиции перегрузки. Двуручий автооператор 3 за половину оборота передает заготовку на станок 2 и готовую деталь на транспортер 1. Схема работы автооператора ясна из разреза А-А.

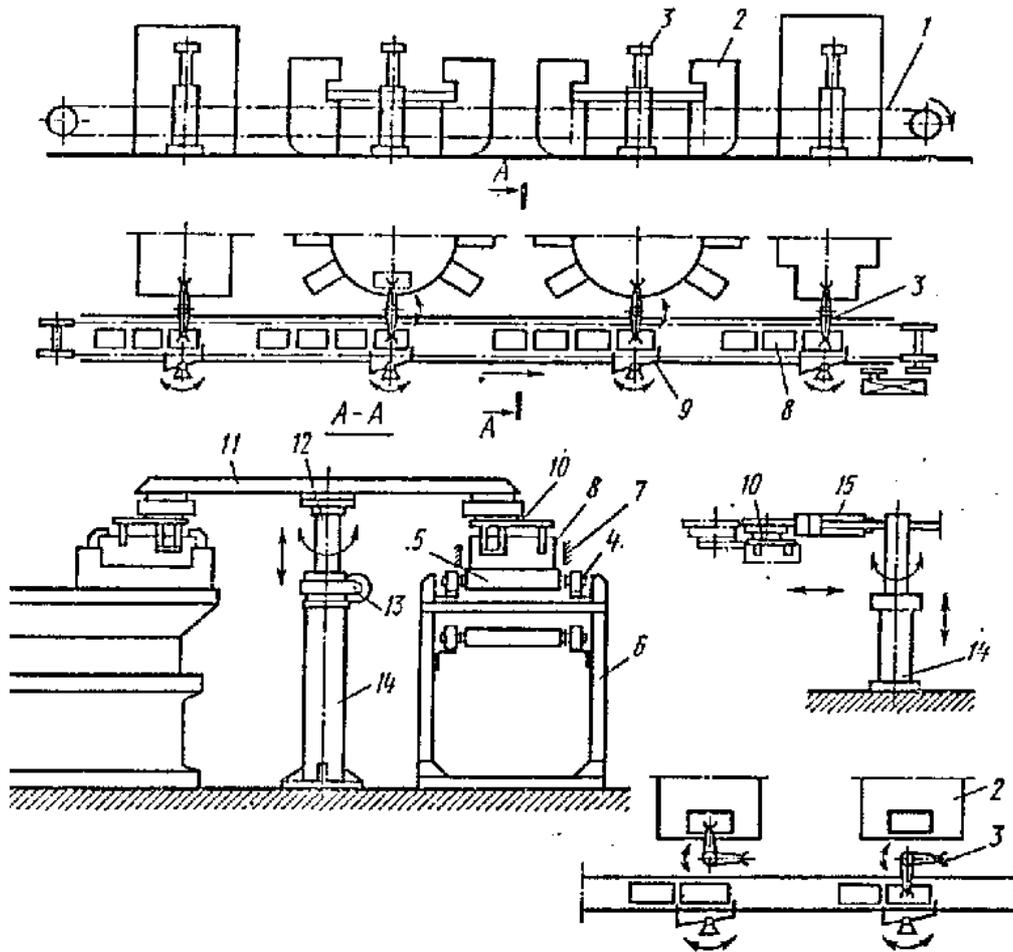


Рис. 5. Цепной транспортер с автооператорами
2.2.2. Для АЛ с гибкой межагрегатной связью

1. **Транспортеры-подъемники.** Служат для накопления потенциальной энергии у заготовок, иногда выполняют и функцию распределения заготовок по нескольким потокам. Основных типов конструкций две – толкающие и элеваторные (рис. 6).

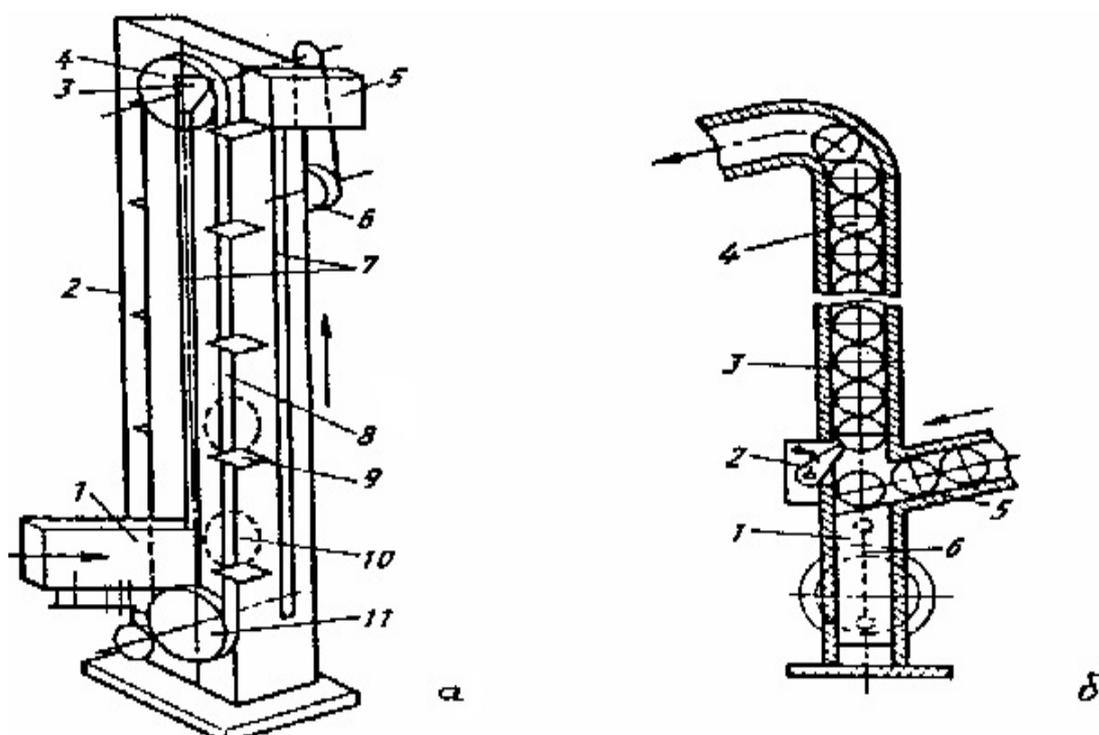


Рис. 6. Транспортеры-подъемники:
 а – элеваторный транспортер; б – транспортер толкающего типа

Толкающие транспортеры-подъемники (рис. 6, б) работают по принципу: каждая следующая заготовка толкает собой все предыдущие. Эксцентриковый привод 6 (можно использовать обычный гидроцилиндр) перемещает толкатель 1 вверх. Детали по подающему лотку 5 попадают на толкатель. За каждый ход толкателя вверх перемещается одна деталь, вытесняя остальные вверх. Защелка 2 удерживает поднятые детали 4. Производительность таких подъемников невелика, так как иначе будут возникать большие инерционные нагрузки. Работа происходит с ударами, возможно повреждение заготовки.

В элеваторных транспортерах-подъемниках (рис. 6, а) между приводной 4 и натяжной 11 звездочками натянута цепь 8 с грузонесущими захватами 9. Детали поступают по приемному лотку 1 и подаются наверх. Труба 2 удерживает детали от потери ориентации. Отводятся детали по лотку 5. Формы грузонесущих захватов и ориентирующих труб полностью определяются формой детали. Такая конструкция более распространена, обладает

большей производительностью и плавностью работы, более надежна.

2. **Транспортеры-распределители** служат для деления основного потока заготовок на несколько. По способу транспортирования они делятся на гравитационные, полупринудительные и принудительные (рис. 7). Детали могут транспортироваться по замкнутой траектории многократно, не попадая в отводящие лотки, так как уже имеющаяся там деталь 9 загоразивает лоток. Пока лоток какого-либо станка заполнен (позиция III), отсекаватель 8 не может быть отжат рычагом 7. Когда станок обрабатывает деталь и столбик уменьшается на одну деталь (позиция IV), отсекаватель оттягивается достаточно, чтобы провалилась очередная деталь.

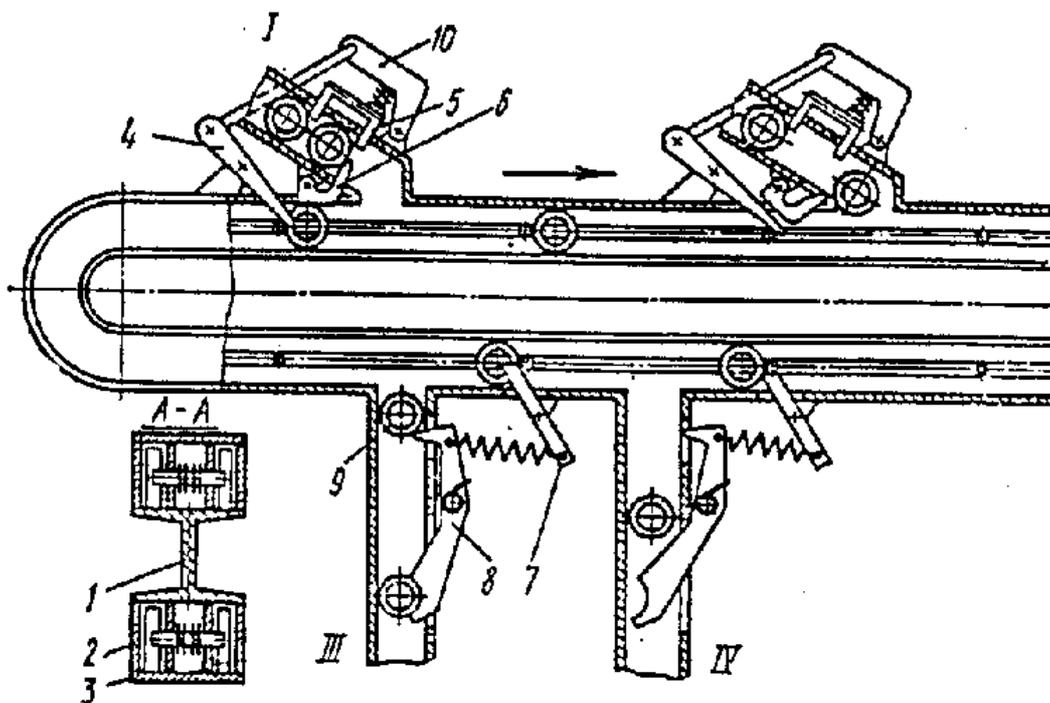


Рис. 7. Транспортер-распределитель цепного типа с принудительным перемещением изделий

3. **Отводящие транспортеры.** Служат для соединения потоков обработанных деталей и передачи их на следующую позицию.

4. **Лотковые транспортеры** служат для передачи ориентированных заготовок к станку и от станка. Конструкции лотков

определяются формой и размерами заготовок и очень многообразны (рис. 8).

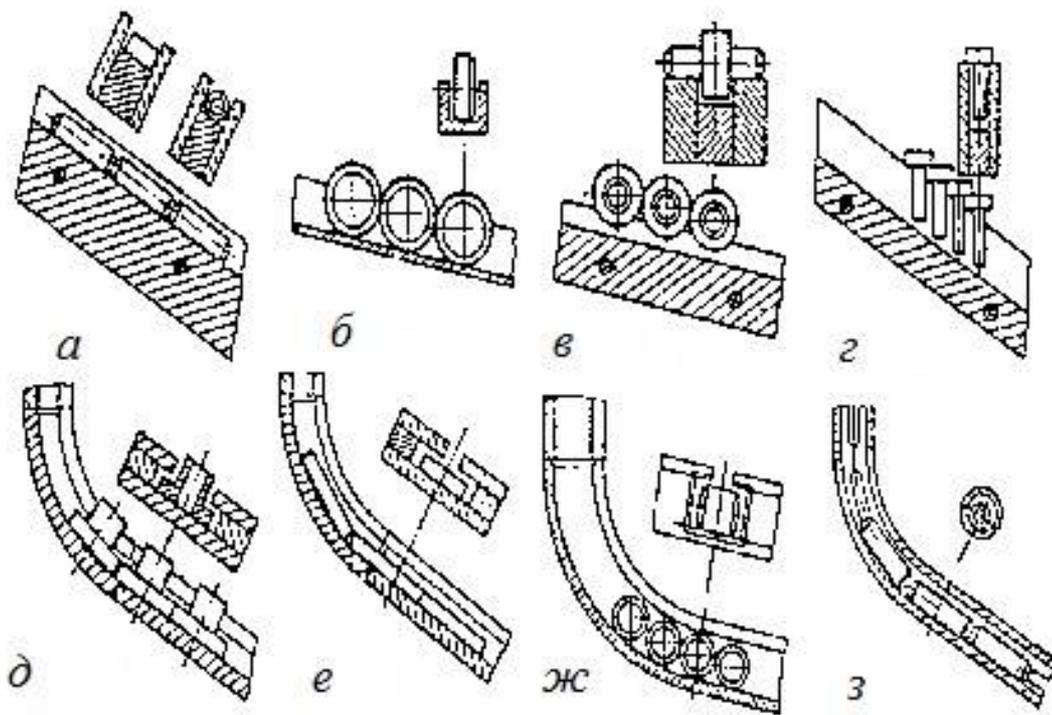


Рис. 8. Транспортирующие лотки

2.3. Механизмы питания

2.3.1. Общая характеристика механизмов питания

Механизмы питания служат для ориентации заготовок и подачи их в рабочую зону машины. Конструкция механизмов питания определяется загружаемыми в них заготовками. Рассмотрим основные виды заготовок:

- а) бунтовые заготовки (из проволоки, ленты);
- б) прутковые заготовки (прокат, прутки, полосы);
- в) порошковые;
- г) штучные (литье, штамповки и пр.).

Заготовки классов *а*, *б* довольно легко поддаются автоматизации загрузки. Часто, например, в прутковых автоматах для этой цели используют цанговые механизмы, состоящие из двух цанг:

подающей и зажимающей. Такие конструкции рассматривались в курсе «Металлорежущие станки».

Заготовки класса *в* характерны для химической, пищевой промышленности. В машиностроении применяется также *порошковая металлургия*, изучение которой не входит в рамки данного курса.

Наиболее сложны для автоматической ориентации и загрузки заготовки класса *г*. Механизмы питания для этой группы и будут рассмотрены в данных лекциях.

Сами штучные заготовки также подлежат классификации (рис. 9). Здесь заготовки по общности их формы разбиты на шесть групп [3]. Внутри групп, в зависимости от формы, соотношения размеров и конфигурации отдельных элементов, выделены типы. Для каждого из типов можно применять общие по конструкции загрузочные устройства (ЗУ).

К первой группе относятся шары, которые практически не требуют ориентации.

Ко второй группе относятся тела вращения, имеющие плоскость симметрии, перпендикулярную оси. В зависимости от отношения длины l к диаметру d и наличия центрального отверстия выделено пять типов. Заготовки второй группы сравнительно легко ориентируются.

К третьей группе относятся тела вращения, не имеющие плоскости симметрии. Также выделено четыре типа. Довольно легко ориентируются относительно оси и несимметричных сторон.

В четвертой группе собраны тела вращения с несимметричными элементами, вызывающими затруднения в ориентации. Имеется пять типов. Одиннадцатый тип имеет короткие уступы или канавки, после ориентации заготовки не теряют ее при перемещении по обычным лоткам. Двенадцатый тип требует дополнительных ориентирующих устройств.

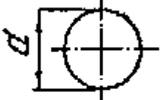
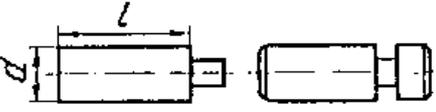
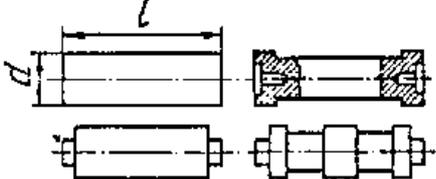
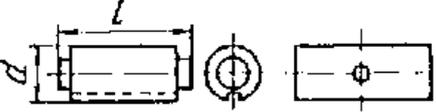
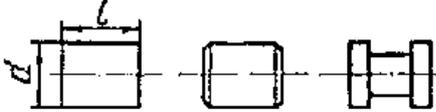
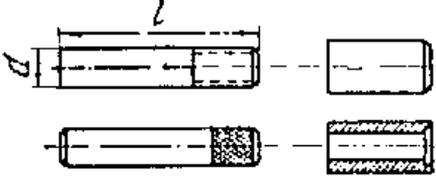
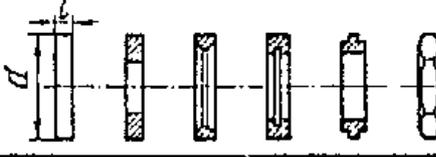
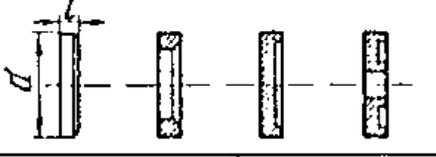
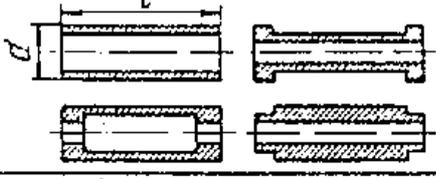
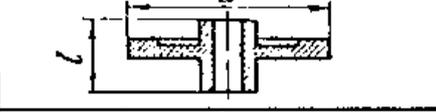
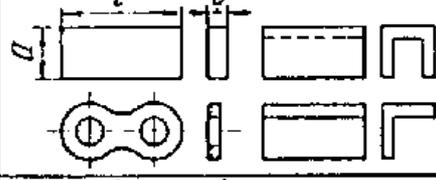
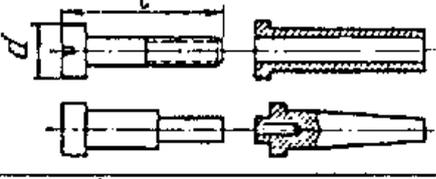
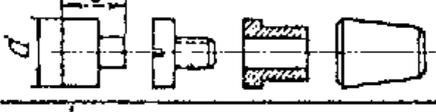
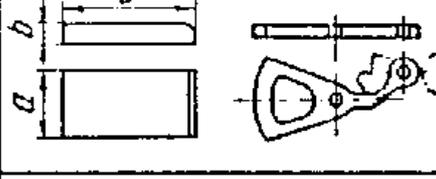
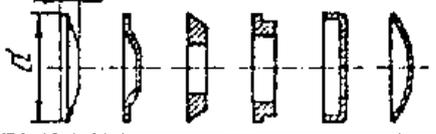
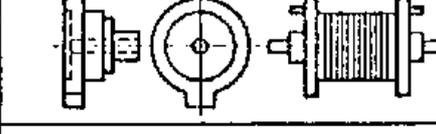
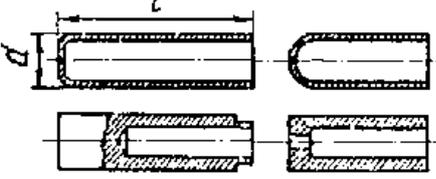
Группа	Тип	Чертеж	Группа	Тип	Чертеж
1	1			11	
2	2		4	12	
	3			13	
	4			14	
	5			15	
	6			16	
	3	7			5
8			18		
9			6	19	
10				20	

Рис. 9. Классификация штучных заготовок

После ориентации необходимо принимать меры против поворота заготовки вокруг оси, лоток должен быть снабжен шпонкой. Заготовки 13-го типа имеют небольшие фаски, резьбы, накатки, затрудняющие ориентирование. 14-й тип отличается от предыдущего соотношением размеров (толщина l менее половины d). Заготовки 15-го типа трудно ориентировать, но они легко направляются по стержню магазинов.

К пятой группе отнесены заготовки призматической и пластинчатой формы. В зависимости от симметрии, конфигурации контура и несимметричных элементов выделено три типа. 16-й тип имеет три плоскости симметрии, легко ориентируется. 17-й тип имеет две плоскости симметрии, можно использовать специальные лотки. 18-й тип имеет несимметричные элементы, затрудняющие ориентацию.

К шестой группе отнесены сложные, крупногабаритные заготовки, а также заготовки с нежесткими элементами. Чаще всего приходится использовать магазины с ориентацией вручную.

Следует отдавать предпочтение типам 1–6, 16 и избегать конструкций типов 13, 14, 18.

Механизмы питания можно разделить на две большие группы:

1) *полуавтоматические* – обеспечивающие ориентацию деталей только во времени (то есть выдача заготовок в строго определенные моменты времени по одной либо в требуемом количестве). Представителями являются **магазинные загрузочные устройства (МЗУ)**, загрузка в которые осуществляется вручную либо другим устройством;

2) *автоматические* – обеспечивающие ориентацию заготовок как во времени, так и в пространстве. Представителями являются **бункерные загрузочные устройства (БЗУ)**, заготовки в которые нагружаются навалом, а выдаются полностью или частично ориентированными с требуемой производительностью.

Состав механизма питания. Автоматическое загрузочное устройство (АЗУ) в общем случае представляет собой целый комплекс специализированных механизмов и устройств, каждый из которых выполняет свою функцию (рис. 10). Вибрационное

бункерное загрузочное устройство (ВБЗУ) обеспечивает ориентацию деталей в пространстве и во времени (выдача деталей с определенной производительностью).

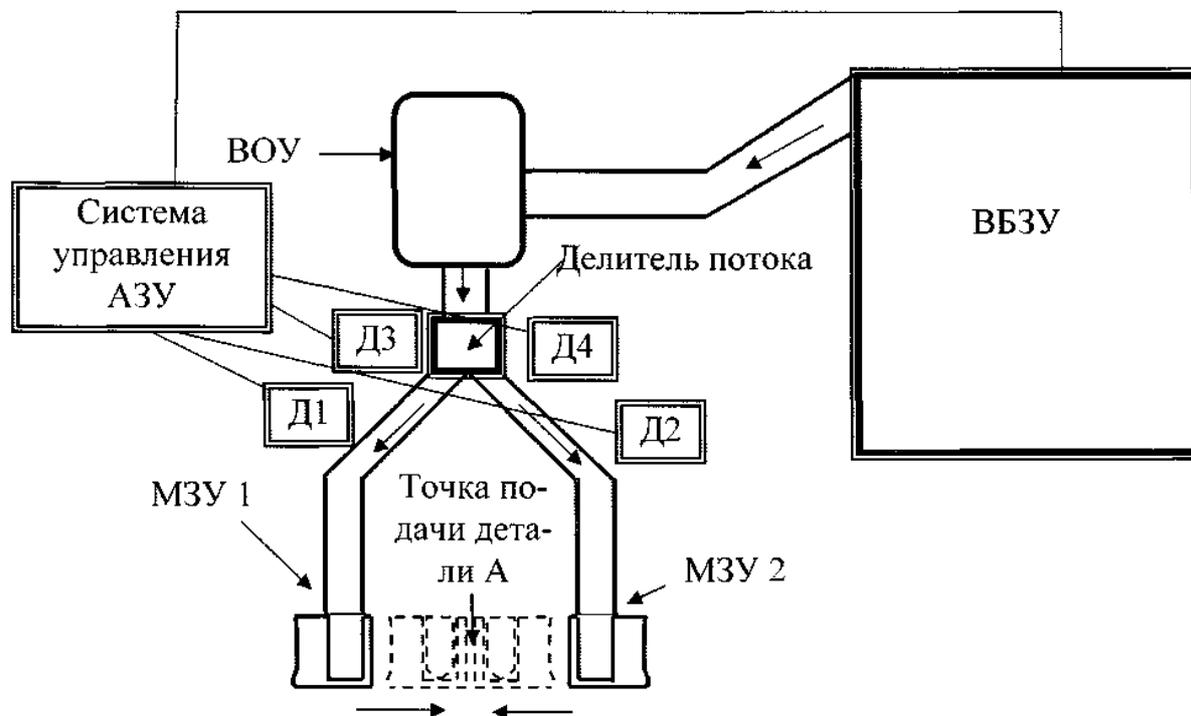


Рис. 10. Обобщенная схема АЗУ

ВБЗУ не всегда может обеспечить однозначную ориентацию деталей в пространстве, и на выходе детали могут занимать два неразличимых для ВБЗУ положения. В этом случае может понадобиться вторичное ориентирующее устройство (ВОУ), которое обеспечивает окончательное положение детали в пространстве.

ВБЗУ обеспечивает не точную, а статистическую производительность. Для выдачи деталей в строго определенные моменты времени используется магазинное загрузочное устройство (МЗУ1 и МЗУ2).

Если при расчете МЗУ на производительность выясняется, что один магазин не может обеспечить требуемую для рабочей машины (в точке А схемы) производительность, то приходится применять несколько МЗУ и, соответственно, делители потока.

Лотки определенной формы соединяют вышеперечисленные механизмы. Система управления АЗУ с помощью датчиков нали-

чия деталей Д1–Д4 следит за переполнением соответствующих участков схемы и при необходимости выдает команду на временное отключение ВБЗУ для предотвращения аварии.

2.3.2. Магазинные загрузочные устройства

Магазин – емкость для размещения однородных штучных заготовок и выдачи их с требуемой производительностью.

Состав магазина: накопитель, отсекающий, питатель.

Типы МЗУ: лотковые, трубчатые, штыревые, валковые, качающиеся и пр.

Принцип действия МЗУ ясен из примеров, приведенных на рис. 11.

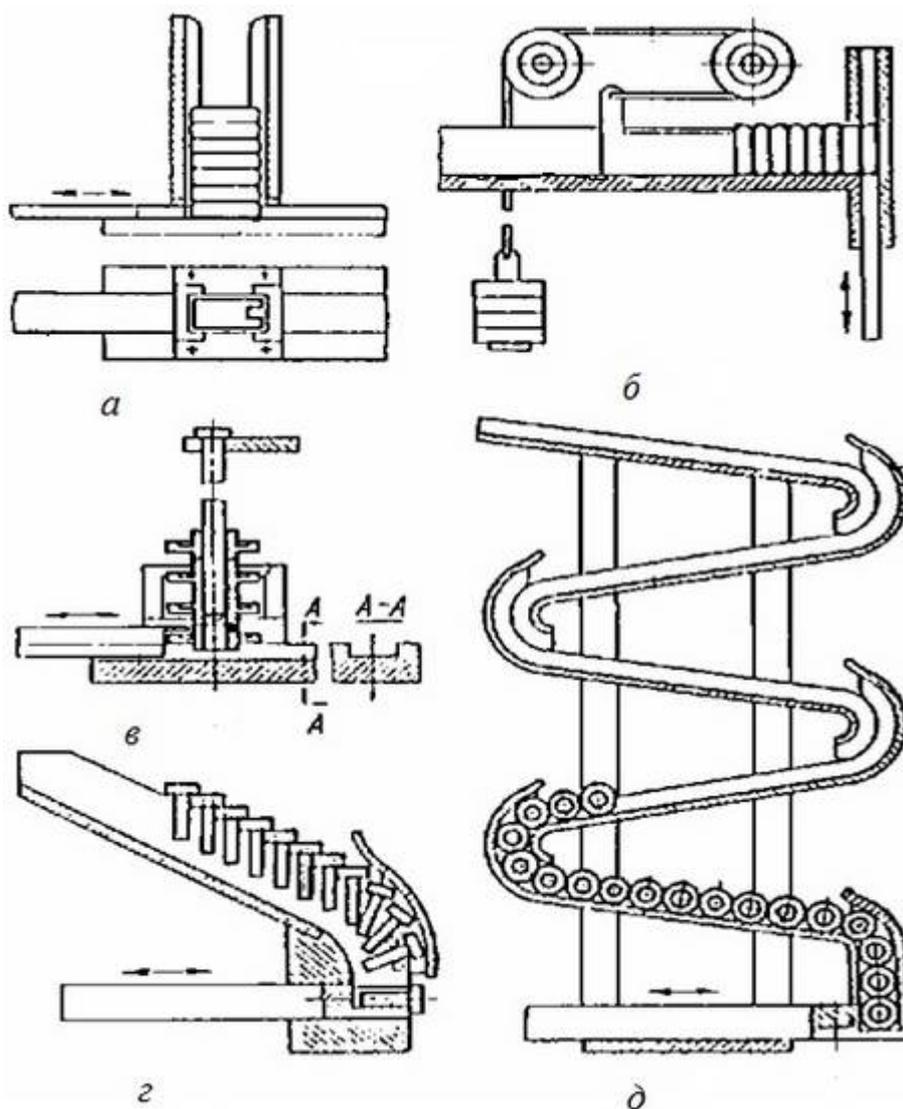


Рис. 11. Магазинные загрузочные устройства для заготовок, закладываемых штабелем в один ряд

Чаще всего для подачи деталей используют силу гравитации. Предварительно ориентированные детали по вертикальному (рис. 11, а) или наклонному (рис. 11, з, д) лоткам опускаются вниз в зону действия питателя. Питатель совершает возвратно-поступательное движение и подает детали на заданное расстояние в рабочую зону станка. Здесь детали забираются каким-либо устройством, например автооператором (на рисунке не показан). Верхний торец питателя выполняет функцию отсекателя. Если детали необходимо подавать не в горизонтальной, а в вертикальной плоскости, то для подачи их к питателю используют дополнительную силу (рис. 11, б), например вес груза. Емкость накопителя можно легко наращивать (рис. 11, д).

МЗУ рассчитываются на **производительность и отсутствие заклинивания**.

2.3.2.1. Расчет МЗУ на производительность

Производительность любого загрузочного устройства определяется производительностью обслуживаемого им станка:

$$Q_{ЗУ} = K_{\Pi} Q_{авт}, \quad (1)$$

где $Q_{ЗУ}$ – производительность загрузочного устройства; K_{Π} – коэффициент переполнения; $K_{\Pi} = 1,1 \dots 1,3$; $Q_{авт}$ – производительность станка-автомата.

Производительность МЗУ зависит от времени цикла, то есть времени между выдачей двух деталей (считаем, что МЗУ выдает детали по одной, иначе в числителе должно стоять число одновременно выдаваемых деталей):

$$Q_{МЗУ} = \frac{1}{T_{\Pi}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{ц}}$ – время цикла МЗУ.

Время цикла в общем случае содержит в себе ряд составляющих:

$$T_{\text{ц}} = T1 + T2 + T3 + T4, \quad (3)$$

где $T1$ – время на заполнение питателя очередной заготовкой; $T2$ – время на перемещение питателя в позицию разгрузки; $T3$ – время на разгрузку питателя; $T4$ – время на возвращение питателя в исходное положение.

Составляющие времена $T2$, $T4$ определяются средней скоростью питателя (рекомендуется не более 0,3...0,5 м/с) и путем, проходимым питателем (определяется конструктивно). Составляющая $T3$ зависит от способа разгрузки питателя. Составляющую $T1$ (с) для случая вертикального перемещения детали (рис. 12, а) определяют по формуле

$$T1 = K \sqrt{\frac{2H}{g}}, \quad (4)$$

где K – коэффициент запаса, учитывающий трение о стенки лотка, $K = 1,5...2$; H – высота перемещения (часто размер детали), м; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Для случая наклонного лотка (рис. 12, б) формула для расчета $T1$ меняется:

$$T1 = K \sqrt{\frac{2L}{g(\sin \alpha - f \cos \alpha)}}, \quad (5)$$

где L – длина перемещения детали вдоль лотка, м; α – угол наклона лотка, для скольжения $\alpha \geq 25...35^\circ$, для качения $\alpha \geq 7...10^\circ$; f – коэффициент трения, $f = 0,1...0,2$ – для скольжения, $f = 0,02...0,05$ – для качения.

В некоторых случаях значение f может меняться, например, для случая углового лотка (рис. 12, в) надо использовать значение $f = f / \sin \beta$.

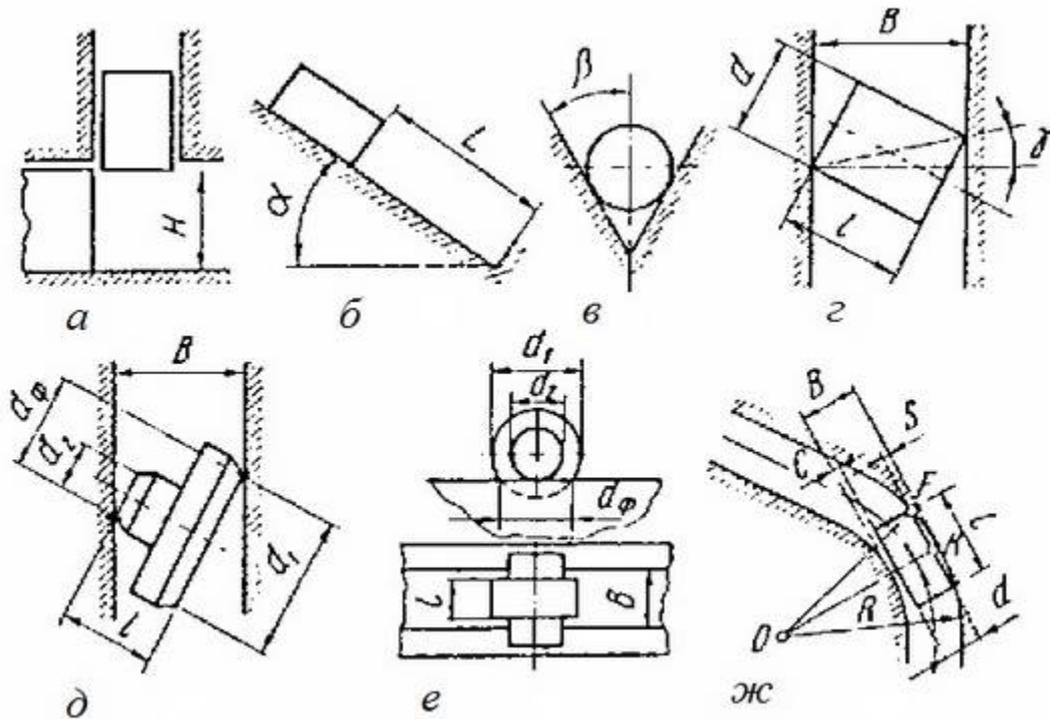


Рис. 12. Схема для расчетов загрузочных устройств с лотками

2.3.2.2. Расчет на заклинивание

При малой длине направляющей заготовка может заклиниваться в лотках. Необходима проверка на отсутствие заклинивания. Схема расчета ясна из рис. 12, г. Между деталью и стенками лотка существует зазор $C = B - l$. Деталь может повернуться и начнет касаться стенок двумя точками, через которые можно провести прямую. Эта прямая образует с прямой, перпендикулярной направлению движения, угол γ . Если угол γ становится меньше или равен углу трения ρ , то произойдет заклинивание. Тогда условие заклинивания:

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \rho = f. \quad (6)$$

Из расчетной схемы видно:

$$\cos \gamma = \frac{B}{\sqrt{d^2 + l^2}}. \quad (7)$$

Далее:

$$\cos \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma}} = \frac{1}{\sqrt{1 + f^2}} = \frac{B}{\sqrt{d^2 + l^2}}.$$

Отсюда условие незаклинивания:

$$L_{\max} + C_{\min} < B \left\langle \frac{\sqrt{d^2 + l^2}}{\sqrt{1 + f^2}}, \quad (8)$$

где L_{\max} – максимальная длина детали; C_{\min} – минимальный зазор, равный 0,5...1 мм; f – коэффициент трения между стенкой и заготовкой, $f = 0,1 \dots 0,4$.

При изменении формы детали может меняться смысл составляющих в формуле. Например, для детали (рис. 12, д) $d = (d_1 + d_2) / 2$.

Длинные детали могут заклиниваться на поворотах лотка, поэтому на поворотах следует увеличивать ширину лотка. Расчетная схема представлена на рис. 12, ж. Ширина лотка рассчитывается по формуле

$$B = R - \sqrt{R^2 - \frac{l^2}{4}} + d + C. \quad (9)$$

Радиус закругления принимают $R \geq 3l$.

2.3.3. Бункерные загрузочные устройства

Бункер – саморазгружающаяся емкость для бестарного хранения сыпучих и кусковых материалов.

Используются очень широко. Конструктивные формы бункеров самые разнообразные: сферы, цилиндры, конуса и пр. При-

меняемые материалы также различны: сталь, сплавы, пластмасса и пр.

Состав бункера: собственно бункер, механизм ориентации, механизм захвата.

Типы БЗУ: дисковые, трубчатые, секторные, ножевые, стержневые, карманчиковые, вибрационные и пр.

Обычно бункеры служат для заготовок, имеющих простую форму, небольшие габариты и вес. Заготовки насыпаются навалом, ориентируются в бункере и затем поступают либо непосредственно на рабочую машину, либо в МЗУ. Рассмотрим конструкцию, принцип действия и расчет некоторых типов бункеров.

2.3.3.1. Бункер с возвратно-поступательным движением стержня

Применяется для деталей типа колпачок, втулка. Конструкция показана на рис. 13. Заготовки насыпаются в чашу до линии максимальной загрузки $N-N$. Стержень совершает возвратно-поступательное движение, проходя через толщу заготовок, одевает на себя одну заготовку (ориентирует) и поднимает ее вверх. Заготовка попадает в отводящий лоток и удерживается там подпружиненными захватами. Следующая заготовка проталкивает дальше предыдущую и т. д. Конструкция проста, но вероятность правильного захвата небольшая. Расчет сводится к расчету производительности:

$$Q_{\text{б}} = n\eta, \quad (10)$$

где n – число двойных ходов в мин; η – коэффициент вероятности захвата, $\eta = 0,2 \dots 0,4$.

Число двойных ходов

$$n = \frac{1000V_{\text{T}} \cdot 60}{2S}, \quad (11)$$

где V_T – средняя скорость толкателя, $V_T = 0,3...0,5$ м/с; S – ход толкателя.

Для повышения вероятности захвата требуется правильная конструкция чаши. Рекомендуется принимать $\alpha_k = 110...130^\circ$, $\alpha_b = 80...100^\circ$.

Обычная производительность таких бункеров 30...60 шт./мин.

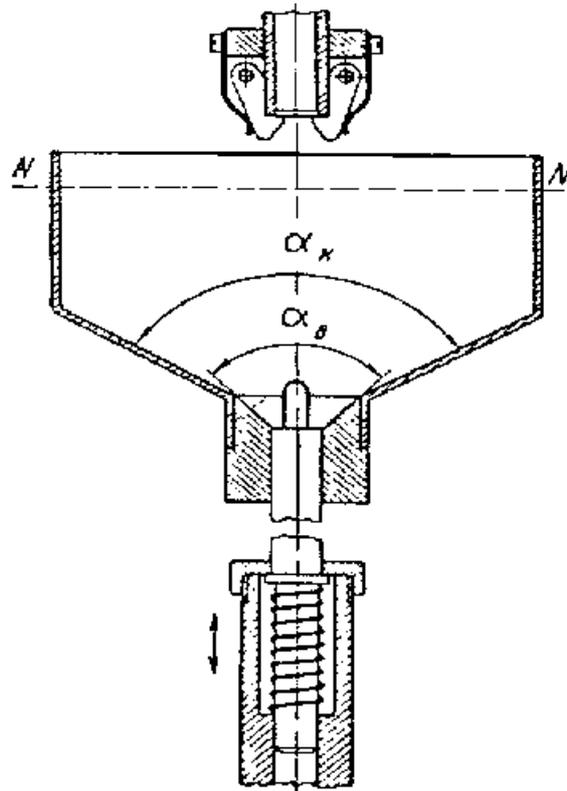


Рис. 13. Бункерное загрузочное устройство с возвратно-поступательно движущимся стержнем

2.3.3.2. Карманчиковый бункер

Конструкция приведена на рис. 14. Чаша бункера наклонена под углом α , чтобы заготовки не могли, удерживаясь силой трения, попасть в верхнюю точку, находясь на наружной поверхности диска 2. Диск 2 вращается, ворошители 3 служат для перемешивания заготовок. При этом детали заполняют карманы, форма которых должна учитывать форму и наиболее вероятное расположение заготовок по периферии (рис. 14, б, в). То есть кар-

ман является здесь ориентирующим и захватным органом. В верхней точке, проходя мимо выпускного лотка, заготовка выпадает из кармана в лоток. Скорость поворота диска, а следовательно, и производительность бункера определяются зазором S и временем t , необходимым чтобы заготовка покинула лоток. Тогда максимальная окружная скорость диска V_{\max} (м/с) определяется

$$V_{\max} = \frac{S}{t} = \frac{C-l}{1000K \sqrt{\frac{2d}{g(\sin \alpha - f \cos \alpha)}}}, \quad (12)$$

где C – размер окна, мм; l – длина заготовки, мм; d – диаметр заготовки, мм.

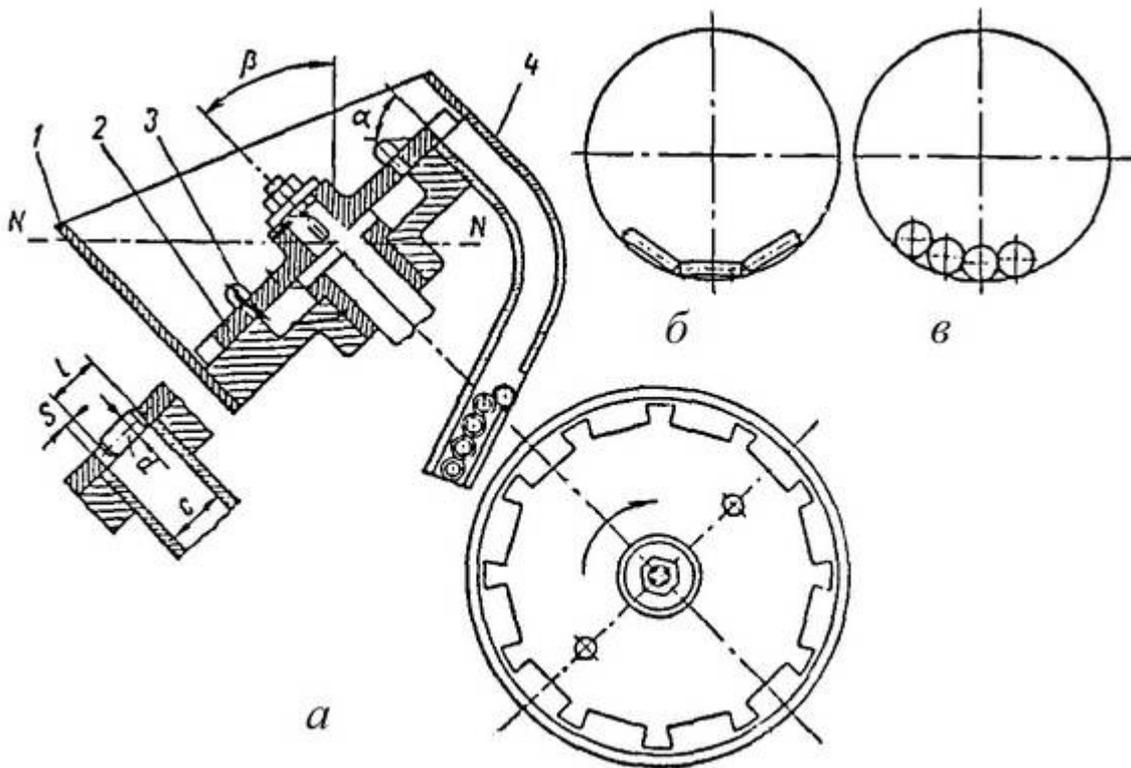


Рис. 14. Схема дискового карманчикового БЗУ

Тогда производительность бункера Q_6 (шт./мин) составит:

$$Q_6 = \frac{60000V_{\max}}{m} \eta, \quad (13)$$

где m – шаг расположения карманов, мм, выбирается минимально возможным из соображения прочности и размеров детали; η – коэффициент вероятности правильного захвата, $\eta = 0,2 \dots 0,6$.

Максимальная производительность карманчиковых бункеров колеблется в пределах $Q_6 = 50 \dots 300$ шт./мин.

2.3.3.3. Вибрационный бункер

Находит самое широкое применение для деталей достаточно разнообразной формы [5]. Конструкция вибрационного бункера, представленная на рис. 15, предназначена для мелких деталей (шайб колпачков и др.), состоит из чаши 8, подвешенной с помощью верхних 2 и нижних 14 башмаков на трех наклонных стержнях 1 к плите 12. Между стержнями на плите смонтирован вибратор 4, состоящий из катушки электромагнита 11 с сердечником 10 и якорем 9, связанный через алюминиевую прокладку 3 с дном чаши.

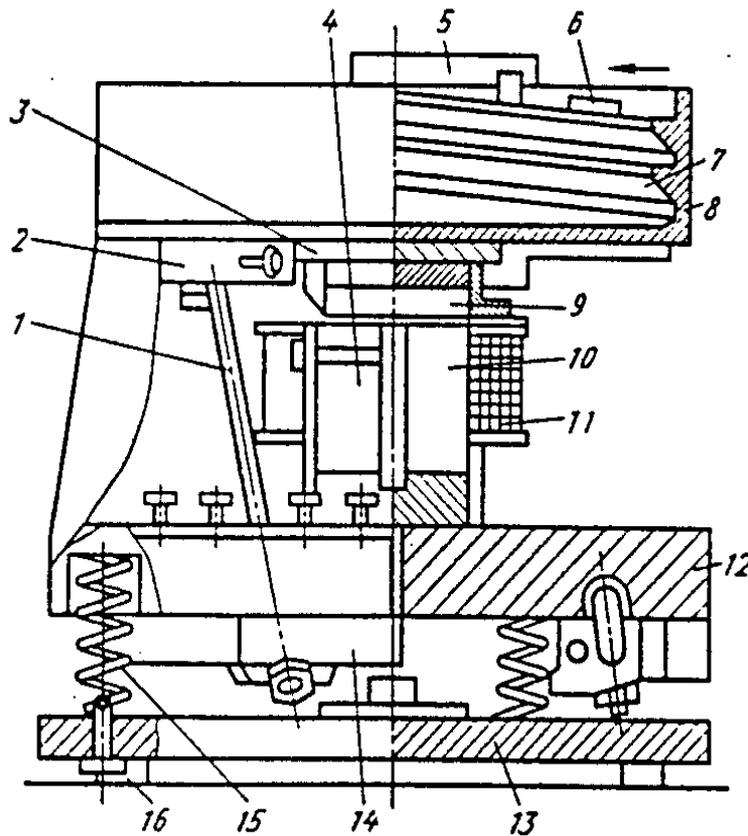


Рис. 15. Вибрационный бункер

Внутри чаши имеется спиральный лоток 7 (в виде полки), а наверху – приемник 5 выдачи деталей. Бункер на трех пружинах 15 установлен на основании 13, которое опирается на три резиновых амортизатора 16. При включении бункера чаша под воздействием вибратора совершает вибрационное (круговое) движение, в результате чего засыпанные в чашу детали 6 начинают перемещаться по спиральному лотку 7 вверх к приемнику выдачи.

Конструкции ВБЗУ весьма многообразны. Они различаются по типу привода, по количеству вибраторов, по конструкции чаши и т. д. На рис. 16 показаны примеры многопоточных чаш, лотки могут иметь одинаковые ориентаторы и работать как дублиеры, повышая производительность бункера. Но можно и получить три потока различных деталей, например винт, шайбу, гайку. ВБЗУ может ориентировать детали при их движении по лотку, а следовательно, отделять детали различной формы.

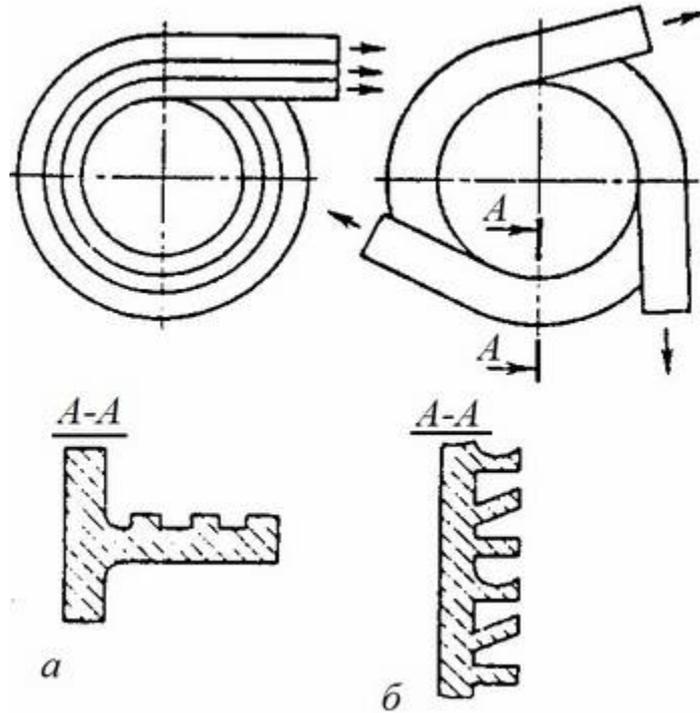


Рис. 16. Многопоточные чаши

Рассмотрим схему действия сил (рис. 17) на заготовку, находящуюся на вибродорожке. Угол β – угол направления плоскости колебания чаши (определяется углом присоединения пружин подвески). Вес детали G всегда направлен вниз, а сила инерции зависит от направления движения лотка: при движении назад-вниз сила J_1 направлена против силы тяжести, поэтому сила трения $F_{тр}$ будет значительно меньше, чем при движении лотка вперед-вверх (проекция силы J_2 складывается с G).

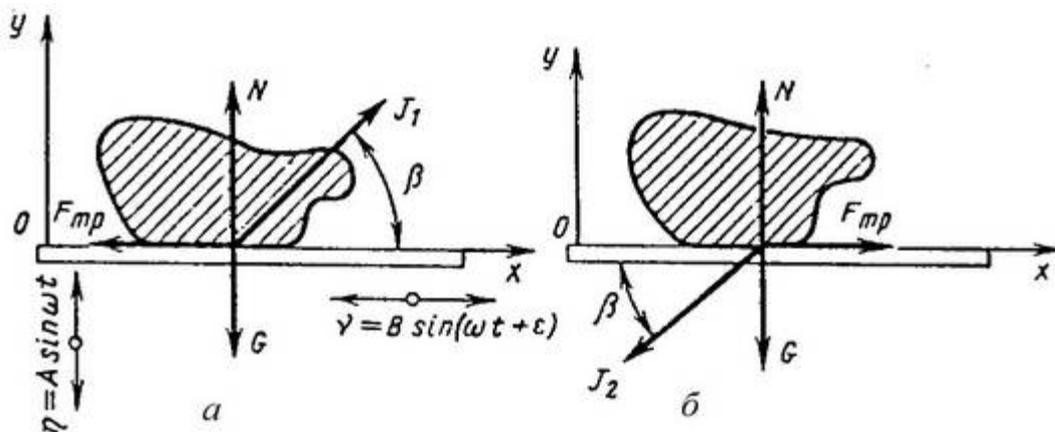


Рис. 17. Схемы действия сил в ВБУ:

a – движение лотка влево-вниз; b – движение лотка вправо-вверх

Таким образом, при движении вперед-вверх

$$F_{\text{тр}} = fN = f(mg + mA\omega^2 \sin \omega t), \quad (14)$$

где f – коэффициент трения; N – реакция опоры; m – масса заготовки; A – амплитуда колебаний лотка; ω – угловая частота колебаний лотка, $\omega = 2\pi F$; F – частота колебаний лотка, может быть равной 100 Гц (без выпрямителя и при питающей частоте 50 Гц) или 50 Гц (с выпрямителем).

При движении лотка назад-вниз

$$F_{\text{тр}} = fN = f(mg - mA\omega^2 \sin \omega t). \quad (15)$$

В зависимости от скорости движения заготовки по лотку могут возникнуть различные режимы работы ВБЗУ:

- при V до 0,05 м/с $\frac{A\omega^2}{g} < 1$, $N > 0$ – без отрыва заготовки;
- при V до 0,3 м/с $\frac{A\omega^2}{g} > 1$, $N < 0$ – с отрывом заготовки.

Чтобы использовать резонанс, желательно, чтобы частота вынужденных колебаний лотка была близка к частоте собственных колебаний лотка, поэтому рекомендуется для ВБЗУ с диаметром чаши до 250 мм частота $F = 100$ Гц, для чаш диаметром до 500 мм частота $F = 50$ Гц. Диаметр чаш принимают в пределах 90...500 мм.

Угол наклона лотка принимают $\alpha = 1...3^\circ$, угол наклона плоскости колебаний $\beta = 8...30^\circ$ (рассчитывается по требуемой производительности).

Регулировка производительности, то есть скорости движения заготовки по лотку, осуществляется изменением амплитуды колебаний лотка $A = 0,5...1,5$ мм (регулировка обеспечивается обычным латром). Скорость лотка (м/с)

$$V_{\text{л}} = \frac{A\omega \sin \omega t}{2 \ 000}. \quad (16)$$

Тогда скорость движения заготовки (м/с)

$$V = V_{\text{лmax}} K_c = \frac{\pi f A \cdot K_c}{1 \ 000}, \quad (17)$$

где K_c – коэффициент скорости, зависящий от правильности выбора углов α и β , $K_c = 0,6 \dots 0,7$.

Отсюда производительность ВБЗУ Q_6 (шт./мин)

$$Q_6 = \frac{60\pi f A}{l} \eta K_c, \quad (18)$$

где l – размер детали в направлении движения, мм; η – коэффициент вероятности правильного заполнения лотка, учитывает разрывы в потоке деталей, зависит от геометрической формы деталей и равен $\eta = 0,4 \dots 0,9$.

Преимущества ВБЗУ:

- 1) обладает большей универсальностью в отношении формы заготовок;
- 2) имеет самостоятельный привод, легко встраивается в линии;
- 3) из-за наличия вибрации нет заклинивания;
- 4) заготовки не перемещиваются и не деформируются;
- 5) может использоваться для заготовок с малым весом.

2.3.4. Ориентирование заготовок в ВБЗУ

В общем случае устройство ориентации (УО) должно в себя включать:

- устройство подготовки к ориентации (систематизация потока);

- ориентаторы ($i = 1 \dots k$);
- переориентатор, если нецелесообразно на выходе УО получать сразу требуемое положение.

То есть УО из несистематизированного входного потока должно создать однорядный, одноярусный поток деталей в устойчивом различимом положении.

Отсюда следуют функции каждого ориентатора:

- опознание положения детали (с помощью датчиков);
- преобразование сигнала от датчика и сравнение с эталоном;
- силовое воздействие на деталь при необходимости.

В качестве датчиков могут использоваться:

- фотодатчики Ф;
- механические Мх;
- электрические Э;
- гравитационные Гр и др.
- пневмодатчики П;
- электромагнитные Эм;
- гидравлические Гд;

В свою очередь, принцип устройства *силового воздействия* может быть:

- гравитационный Гр;
- трением Т;
- механический Мх и др.
- инерционный И;
- пневматический П;

Сочетания используемых принципов дают *способ ориентации*, представленный в табл. 3. В таблице есть прочерки, но по мере выявления и использования новых способов она может неограниченно расти.

Таблица 3

Способы ориентации деталей в ВБЗУ

Силовое воздействие	Способ опознания							
	Мх	Э	П	Гд	Эм	Ф	Гр	Т(тел)
Гр	МхГр	ЭГр	ПГр	–	ЭмГр	ФГр	ГрГр	–
И	МхИ	ЭИ	ПИ	–	ЭмИ	ФИ	ГрИ	–
Т	МхТ	ЭТ	ПТ	–	–	–	ГрТ	–
П	МхП	ЭП	ПП	–	ЭмП	ФП	ГрП	ТП
Мх	МхМх	ЭМх	ПМх	ГдМх	ЭмМх	ФМх	–	ТМх

Ориентирование деталей связано с их различными положениями на вибродорожке. Каждый объект имеет в пространстве шесть степеней свободы, но здесь важен и знак (направление) движения, например, вращение вокруг оси X по часовой стрелке или против. Поэтому число свободных движений у детали – 12.

Обычно ориентация идет на базовых плоскостях. В ВБЗУ *вибродорожка – основная ориентирующая плоскость, а обечайка – направляющая ориентирующая плоскость*.

Отсюда два возможных положения детали на вибродорожке:

- различимое положение;
- неразличимое положение.

Различимое положение – положение, при котором проекции детали на ориентирующие плоскости неповторимы при других положениях детали, то есть различимость связана с *симметрией*.

Чем выше симметрия детали, тем больше неразличимых положений, тем проще ориентировать деталь. Число различимых положений обычно очень велико и может быть точно определено методами теории графов.

В общем случае число различимых положений и определяет число ориентаторов k : $k = N_p - N_t$ ($N_t \subset N_p$), где N_p – число различимых положений; N_t – число выдаваемых из загрузочного устройства различных положений.

Практически каждый ориентатор определяет деталь (ориентирует) только по одному признаку, то есть выбирает из двух различимых положений. Но ориентаторы могут быть объединены.

Все множество ориентаторов может быть разделено на два класса:

- активного типа;
- пассивного типа.

Каждый из них по направлению движения детали в ориентаторе подразделяется на $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z, x, y, z$.

По способу ориентирования каждый из полученных типов в свою очередь может быть разделен на МхГр, МхП, ГрГр ... и так далее согласно табл. 3.

Если на нижнем уровне классификации учесть еще *конструктивное исполнение*, то полученная «древнообразная» структура имеет очень большое число вариантов.

Однако в результате такого разбиения можно создать *алфавит технических решений*, то есть для каждого случая найти готовое техническое решение, прототип.

При отсутствии прототипа приходится разрабатывать конкретный вариант конструкции ориентатора. Тогда за основу решения принимают наиболее ярко выраженный *ключ ориентации*.

Ключ ориентации – характерный признак или свойство детали.

В ВБЗУ используют пять ключей ориентации:

- $\Theta_{\text{нк}}$ – наружного контура;
- $\Theta_{\text{вн}}$ – внутреннего контура;
- $\Theta_{\text{цм}}$ – центра масс;
- $\Theta_{\text{фс}}$ – физических свойств;
- $\Theta_{\text{сп}}$ – свойств поверхности.

Введем формулы для количественного определения значения ключей:

$$\Theta_{\text{цм}} = 1 - \frac{L_{\text{min}}}{L_{\text{max}}} \neq 0; \Theta_{\text{нк}} = 1 - \frac{B_{\text{min}}}{B_{\text{max}}} \neq 0; \Theta_{\text{фс}} = \frac{\sum m_i^j - 1}{n} \neq 0,$$

где L_{min} , L_{max} – минимальная и максимальная длина опрокидывающего плеча, определенное как кратчайшее расстояние от центра масс до стороны детали; B_{min} , B_{max} – минимальная и максимальная ширина детали из множества различных положений; $\sum m_i^j$ – число сторон детали, различимых по j -му физическому свойству (свойству поверхности при определении $\Theta_{\text{сп}}$); n – общее число сторон детали.

Под физическими свойствами понимаются электропроводность, магнитная проводимость, твердость и пр. Под свойствами поверхности – шероховатость, светоотражение, коэффициент трения и пр.

Чем ближе ключи ориентации к единице, тем эффективнее и проще будет конструкция ориентатора.

Эффективность работы ориентатора оценивается **коэффициентом выдачи φ** :

$$\varphi^i = \frac{N_{\text{ВЫХ}}^i}{N_{\text{ВХ}}^i} - \text{для } i\text{-го ориентатора.} \quad (19)$$

Если $\varphi = 1$, то это активный ориентатор.

Общий коэффициент выдачи

$$\varphi = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \dots \cdot \varphi_k. \quad (20)$$

Для активного УО $\varphi = 1$, для пассивного $\varphi = P_m$, где P_m – вероятность нахождения детали в требуемом положении. Выбор класса УО зависит от требуемой производительности. Если нет достаточного запаса производительности, то требуется активное ориентирование.

Перед началом ориентирования требуется систематизировать поток деталей. На рис. 18 показаны различные способы получения однорядного потока, а на рис. 19 – способы получения одноярусного потока.

При необходимости переориентирования деталей используют переориентаторы, некоторые схемы которых показаны на рис. 20.

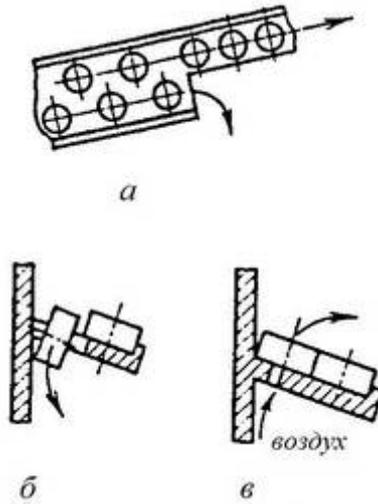


Рис. 18. Схемы сбрасывателей рядов деталей

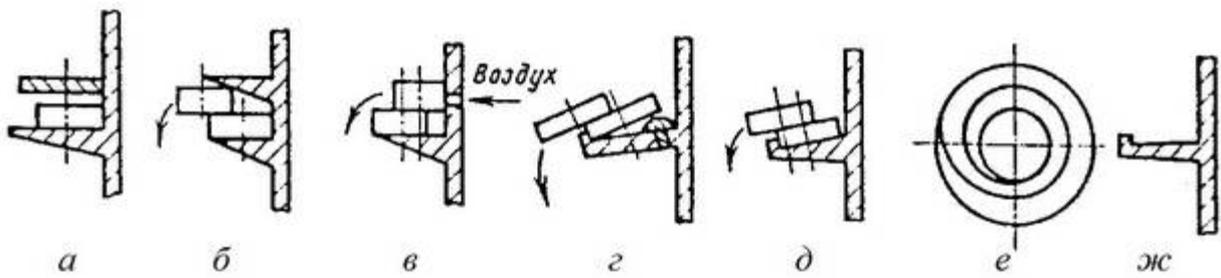


Рис. 19. Схемы сбрасывателей ярусов деталей

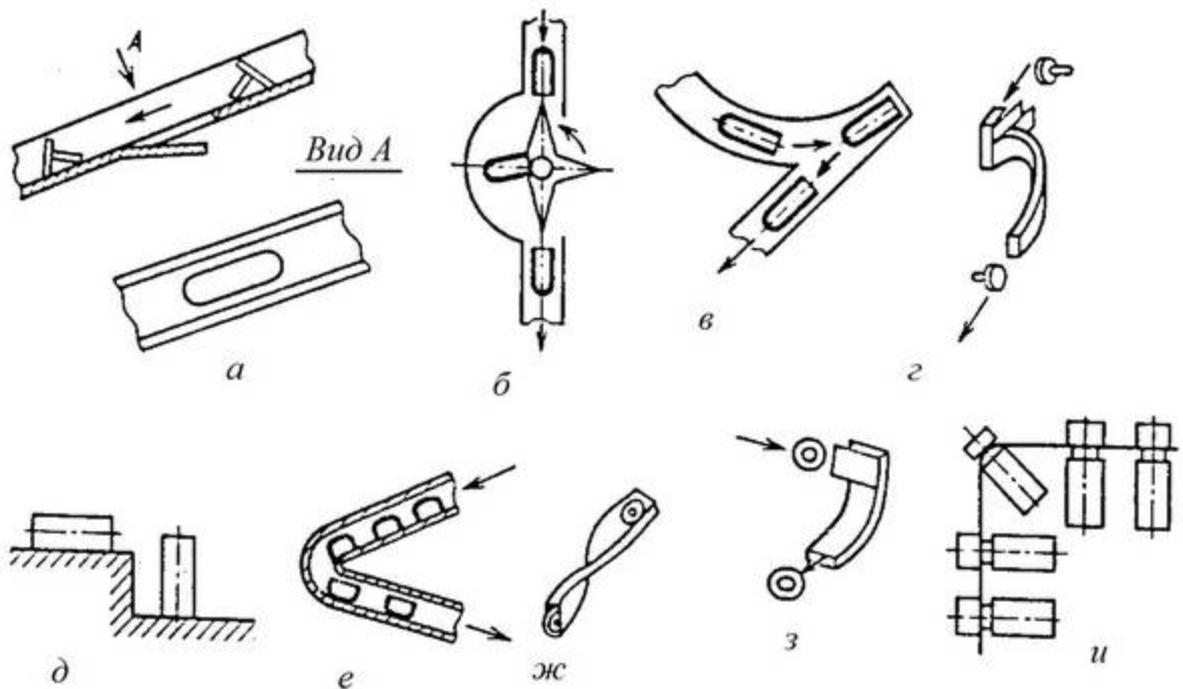
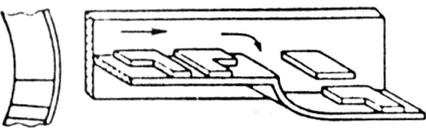
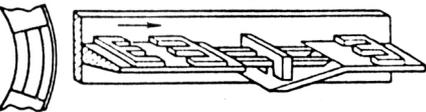
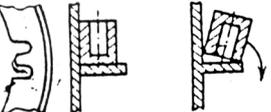
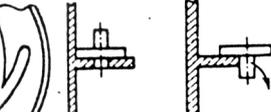
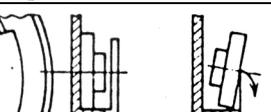
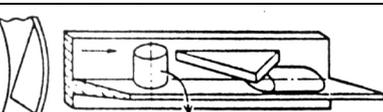
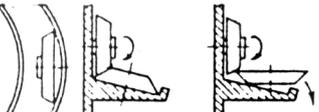
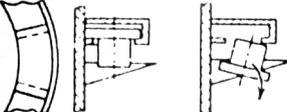


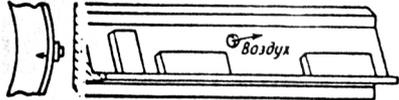
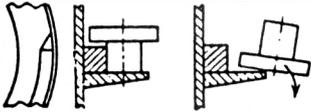
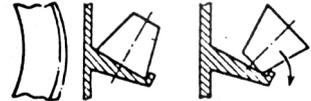
Рис. 20. Схемы переориентаторов

Собственно ориентаторы располагают последовательно вдоль вибродорожки, сначала ориентируют по большим габаритам детали, затем в порядке уменьшения размеров. В [4, 7] приведены примеры ориентирования различных деталей активным и пассивным способом с использованием различных ключей и способов ориентирования (см. также табл. 4).

Таблица 4

Схемы ориентирования деталей на вибродорожке

Схемы ориентирования	Способ ориентирования	Ключ ориентирования	Принцип работы ориентатора
	МГр	$\Theta_{\text{цм}}$	Тяжелый край детали проваливается сразу, легкий – после того, как ляжет на упор
	МГр	$\Theta_{\text{нк}}$	Пластина падает на направляющие, разворачивается и ориентируется
	ММх	$\Theta_{\text{вк}}$	Сброс детали вследствие трафарета в дне дорожки
	ММх	$\Theta_{\text{нк}}$	Паз в дне дорожки выводит деталь, движущуюся фланцем вниз
	МГр	$\Theta_{\text{нк}}$	Деталь выпадает из дорожки под действием силы тяжести
	МИ	$\Theta_{\text{нк}}$	Сброс детали по высоте от упора
	ММ	$\Theta_{\text{нк}}$	Вращающийся диск сбрасывает детали, идущие широким дном вверх
	МГр	$\Theta_{\text{нк}}$	Тоннельный мост захватывает деталь, движущуюся фланцем вверх

Схемы ориентирования	Способ ориентирования	Ключ ориентирования	Принцип работы ориентатора
	ММх	$\Theta_{\text{нк}}$	Воздушная струя сбрасывает деталь, идущую вертикально
	МИ	$\Theta_{\text{нк}}$	Деталь выталкивается упором
	МГр	$\Theta_{\text{цм}}$	Деталь выпадает за счет силы тяжести и наклонного дна
	МГр	$\Theta_{\text{цм}}$	Детали ориентируются за счет прореза на дорожке

2.3.5. Вторичные ориентирующие устройства

В некоторых случаях заготовки полностью не удастся ориентировать в ВБЗУ, требуются дополнительные **вторичные** ориентирующие устройства, также использующие активное и пассивное ориентирование. Схемы некоторых таких устройств приведены на рис. 21.

На рис. 21, *а* показано УО, сбрасывающее неправильно расположенные заготовки. Отсекатель 4 удерживает поток деталей 1, толкатель 3 периодически проходит вперед и отжимает отсекающий элемент. Правильно расположенная деталь (вырезом вверх) падает вниз. Если перед толкателем оказывается деталь с вырезом вниз, то она сталкивается в отводящий канал.

На рис. 21, *б* показано УО для ступенчатых валиков. В корпусе 4 периодически поворачивается диск 3. В диске имеется восемь пазов, в которые поступают заготовки. В цилиндрическую расточку диска 3 входит цилиндрический выступ крышки 2, в котором на части окружности выполнена кольцевая канавка и по направлению вдоль оси приемного лотка 7 с торца прорезан паз. Ширина кольцевой канавки сделана немного больше меньшего

диаметра валика, а паз по ширине соответствует лотку. Поступающие заготовки упираются в цилиндрический выступ, в позиции II заготовки, идущие тонким концом вперед, опускаются в канавку и в позиции III беспрепятственно попадают в приемный лоток. Валики, идущие толстым концом вперед, не попадают на позиции II в канавку и в позиции III удерживаются прижимом 5. Они покидают диск только в позиции VII.

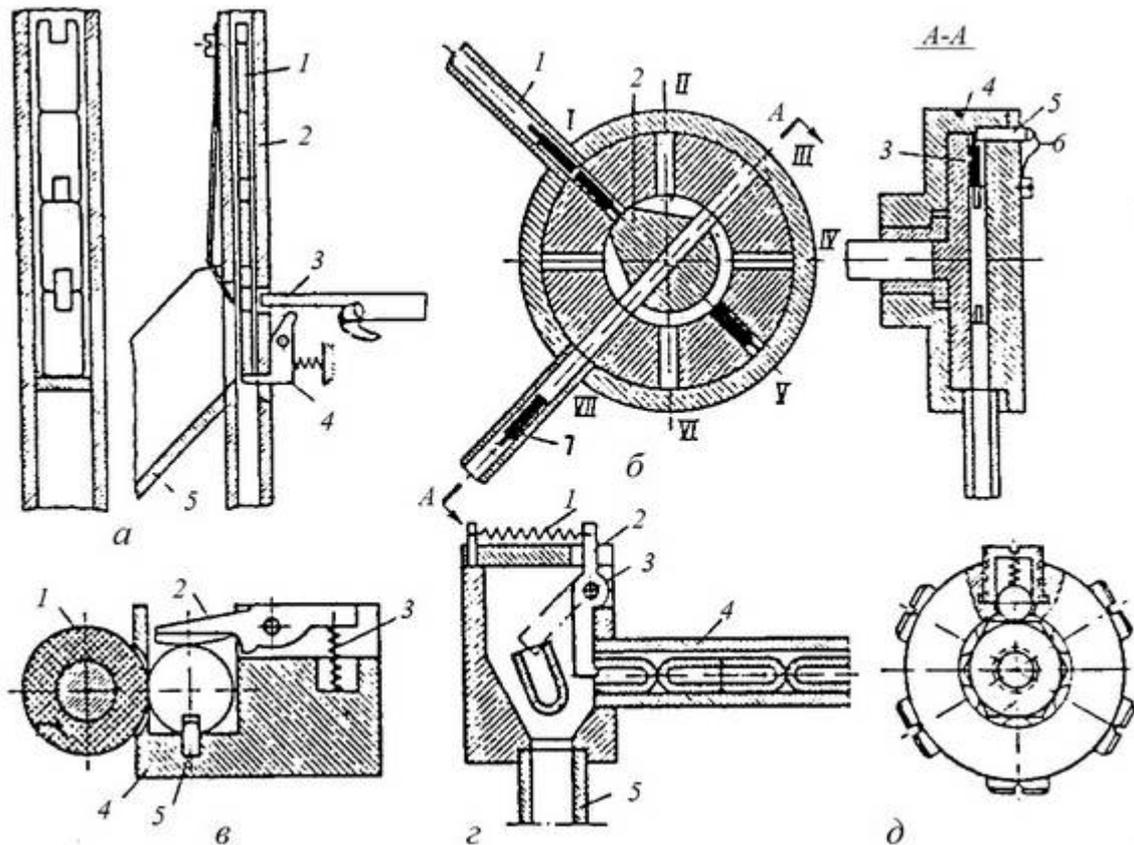


Рис. 21. Схемы вторичных ориентирующих механизмов

На рис. 21, в показано УО для ориентирования детали по шпоночной канавке. Фрикционный диск 1 поворачивает деталь до тех пор, пока она не попадет пазом на шпонку. Прижим 2 опустит деталь на шпонку, и далее она перемещается вдоль лотка по шпонке.

На рис. 21, г показано устройство для ориентирования деталей типа колпачок. Колпачки, идущие доньшком назад, удерживаются рычагом 2 до тех пор, пока не переворачиваются в пра-

вильное положение. Правильно идущие детали, отжимая рычаг, сразу проходят в отводящий канал 5.

На рис. 21, д показана схема для дополнительного ориентирования заготовок типа шестигранных гаек по шестигранной поверхности. Заготовки проталкиваются через круглое отверстие, переходящее в шестигранное. В месте перехода профиля смонтированы шесть шариков, поджатых пружинами. Шарик поворачивают заготовку, совмещая ее с шестигранным сечением лотка.

3. ТЕОРИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАШИН

3.1. Значение и общая характеристика теории производительности и надежности машин

Теория автоматического регулирования служит научной основой для проектирования современных систем управления автоматическим оборудованием. А что служит **научной основой** для проектирования собственно **автоматического оборудования** (станков-автоматов, АЛ, ГПМ и т. д.)? Очевидно, что кинематические или прочностные расчеты не могут быть критерием при выборе, например, числа рабочих позиций автомата, степени автоматизации ГПС и пр.

Рассмотрим основные **отличия** станков-автоматов от универсальных:

1. Универсальное оборудование «привязано» к человеку. Поэтому конструктивно современный токарный станок не изменялся более 200 лет. Изменения коснулись только мощности, быстротходности, точности и других характеристик станка. Для решения этих задач действительно хватит теории кинематического анализа, сопротивления материалов, механики. Автоматическое оборудование компоновочно не зависит от человека и поэтому более многообразно даже для решения одних задач. Например, можно предложить десятки компоновок АЛ для выпуска одной и той же продукции. Значит, вышеперечисленные дисциплины не могут применяться для проектирования автоматических машин и систем машин.

2. Любую продукцию можно выпустить и на универсальном оборудовании. Поэтому **цель автоматизации** – сокращение числа рабочих и, в конечном итоге, получение **экономического эффекта**. Значит, при проектировании надо прежде всего обеспечить высшую производительность и эффективность машин.

Следовательно, необходима специальная научная основа для проектирования автоматических машин и их систем. Такой научной дисциплиной и является **теория производительности машин (ТПМ)**, основные положения которой разработал советский ученый Г. А. Шаумян еще в 1932–1933 годах.

Суть его теории можно пояснить схемой, представленной на рис. 22. Разрабатывается **математическая модель** объекта по производительности и эффективности, в которой связаны технические и экономические показатели.

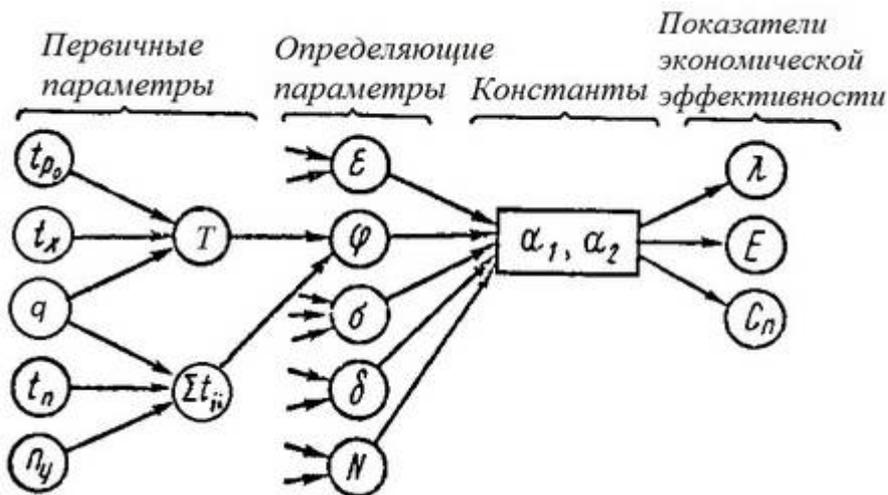


Рис. 22. Структурная схема математической модели взаимосвязи показателей производительности и эффективности автоматов и автоматических линий

Первичные параметры характеризуют технологию, конструкцию, компоновку оборудования. На схеме обозначены: t_{po} – режимы и общая длительность обработки; t_x – время холостых ходов цикла; t_n – внецикловые потери; q – число рабочих позиций; n_y – число участков для АЛ; T – длительность рабочего цикла; Σt_n – суммарные внецикловые потери.

Г. А. Шаумян ввел для удобства сравнения различных вариантов *определяющие или вариационные параметры*: φ – коэффициент сравнения по производительности; σ – по стоимости; ε – по экономии живого труда; δ – по удельным эксплуатационным затратам; N – срок службы машины.

В модель вводятся константы: α_1 – нормативный коэффициент амортизационных отчислений; α_2 – нормативный коэффициент ремонтных затрат.

В качестве показателей экономической эффективности могут быть использованы: λ – рост производительности труда; E – коэффициент эффективности капитальных вложений; C_{Π} – приведенные затраты и пр.

Модель «реверсивна», то есть можно решать прямую (выбор лучшего варианта из технически возможных вариантов) и обратную (по заданным экономическим показателям определить значения первичных параметров) задачи. Обратная задача очень важна. Имеется принципиальная возможность определить, каким сочетанием технических характеристик должен обладать проектируемый автомат, чтобы иметь заданный экономический эффект, то есть количественно оценивать граничные условия автоматизации. Можно решать и стратегические задачи, например, оценить перспективность различных направлений автоматизации.

3.2. Основные постулаты теории производительности

1. Производительным считается только то время, которое затрачено **на основные процессы** (формообразование, сборку, контроль), все остальное – **потери** ($t_{всп}$, $t_{пер}$, ...).

Идеальная машина – машина, работающая при высоком потенциале производительности и качестве продукции, без потерь времени на холостые хода, непрерывного действия, абсолютно надежная и долговечная.

2. Для производства любых изделий необходимы затраты прошлого (овеществленного) труда на создание средств производства (T_{Π}) и поддержание его работоспособности (T_v) и живого

труда на непосредственное обслуживание технологического оборудования ($T_{ж}$):

$$T = T_{п} + N(T_{v} + T_{ж}). \quad (21)$$

3. Общая закономерность развития техники: удельный вес затрат прошлого труда непрерывно повышается, затраты живого труда снижаются при общем снижении затрат на единицу продукции.

4. Производительность машин предела не имеет.

5. Автоматы и автоматические линии различного технологического назначения имеют единую основу автоматизации, которая выражается в общности целевых механизмов и систем управления, в общих закономерностях производительности, надежности, экономической эффективности, в единых методах агрегатирования, определения режимов обработки, оценки прогрессивности и т. д.

6. При окончательной оценке прогрессивности новой техники учитывается фактор времени – темпы роста производительности труда за срок ее службы.

3.3. Производительность труда как критерий оценки новой техники

Анализ и оценка технологических процессов и средств труда в любой отрасли производства невозможны без критерия производительности общественного труда, при определении которого необходимо учитывать не только затраты живого труда, но и затраты прошлого труда на создание средств производства. Причем для повышения производительности необходимо, чтобы сокращение живого труда было больше, чем увеличение прошлого труда.

Производительность труда оценивается:

$$A_T = \frac{W}{T}, \quad (22)$$

где W – количество выпущенной продукции за срок службы машины.

При постоянной производительности

$$W = Q_{\Gamma} N, \quad (23)$$

где Q_{Γ} – годовой фактический выпуск продукции.

Основным показателем в теории производительности машин принят рост производительности общественного труда как относительно безразмерный показатель, а не абсолютная величина производительности труда.

Производительные силы общества независимо от его общественной формы представляют собой единство средств производства и рабочей силы, проявляющееся в процессе труда. Средства производства во всяком процессе труда независимо от способа производства разделяются на средства труда и предметы труда

и представляют собой овеществленный труд. Средства труда включают в себя овеществленный труд – единовременные затраты прошлого труда T_{Π} – машины, оборудование, сооружения и т. п. Предметы труда включают в себя ту часть T_{ν} овеществленного труда, который затрачивается на основные и вспомогательные материалы, электроэнергию, топливо, инструменты и т. п., необходимые для производства изделия, и называются текущими затратами прошлого труда. Основной частью производительных сил является рабочая сила (живой труд $T_{\text{ж}}$), которая используя средства производства, создает новые материальные ценности. По характеру затрат живой труд так же, как предметы труда, относится к текущим затратам.

Тогда

$$A_{\Gamma} = \frac{Q_{\Gamma} N}{T_{\Pi} + N (T_{\nu} + T_{\text{ж}})}. \quad (24)$$

Рассмотрим графическую интерпретацию этой формулы (рис. 23). Здесь следует рассматривать N не как текущее время, а как возможный срок службы машины. Видно, что производительность машины стремится в пределу. Уровень A_T при малых N невелик, но рост A_T значительный, потом снижается. Если $N > N_2$, то рост практически прекращается. Важен вопрос об оптимальности срока службы машины. Очевидно, что с течением времени Q_T уменьшается, а T_v увеличивается, то есть фактически значение A_T начинает уменьшаться, а значит, на графике есть максимальное значение A_T при каком-то значении N ; это значение и есть оптимальное — $N_{\text{опт}}$ (например, для токарно-револьверных автоматов $N_{\text{опт}} = 11...13$ лет).

Принимая живой труд мерой (масштабом) оценки прошлого труда, можно все затраты выразить в единицах живого труда, для чего введем коэффициенты

$$k = \frac{T_{\Pi}}{T_{\text{ж}}}; \quad n = \frac{T_v}{T_{\text{ж}}},$$

где k — коэффициент технической вооруженности живого труда; n — коэффициент энергоматериалоемкости живого труда.

Тогда

$$A_T = \frac{Q_T}{T_{\text{ж}}} \cdot \frac{N}{k + N(n+1)}. \quad (25)$$

То есть если предположить, что один рабочий обслуживает машину или систему машин ($T_{\text{ж}} = 1$), то в действительности он работает не один. Чтобы выпускать в течение года Q_T , использу-

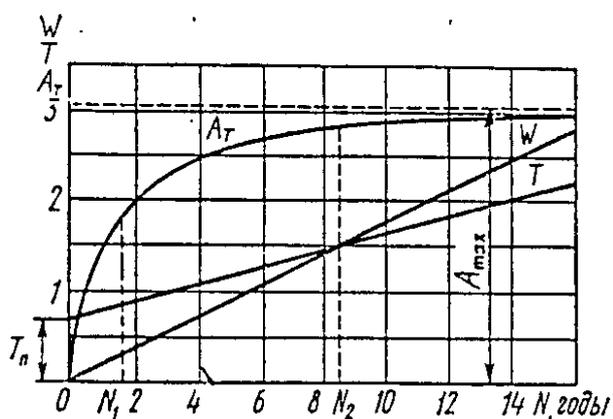


Рис. 23. Зависимость выпущенной продукции, эксплуатационных затрат и производительности труда от сроков службы при неизменных эксплуатационных характеристиках

ется концентрированный овеществленный труд k/N человек. При этом еще n человек обеспечивают этого одного рабочего всем необходимым. Таким образом, суммарные затраты общественного труда в $k + N(n + 1)$ раз больше затрат живого труда. В этом и заключается историческая тенденция развития техники в любой отрасли производства, обеспечивающая рост производительности общественного труда.

Прогрессивность и эффективность новой техники определяются сравнением уровня производительности общественного труда при различных взаимозаменяемых вариантах производства. Следовательно, экономическая эффективность и прогрессивность – понятия сравнительные.

Темпы роста производительности труда λ позволяют сравнить два варианта: 1 – исходный вариант и 2 – предлагаемый:

$$\lambda = \frac{A_{T2}}{A_{T1}} = \frac{Q_2}{Q_1} \cdot \frac{T_{ж1}}{T_{ж2}} \cdot \frac{k_1 + N(n_1 + 1)}{k_2 + N(n_2 + 1)}. \quad (26)$$

Введем сравнительные коэффициенты (вариационные параметры):

- $\varphi = Q_2/Q_1$ – коэффициент роста производительности средств производства (по сравнению с исходным вариантом);

- $\varepsilon = T_{ж1}/T_{ж2}$ – коэффициент сокращения затрат живого труда;

- $\sigma = T_{п2}/T_{п1}$ – коэффициент изменения стоимости средств труда;

- δ – коэффициент изменения эксплуатационных затрат на единицу продукции, $\delta\varphi = T_{v2}/T_{v1}$.

Введение безразмерных коэффициентов φ , ε , σ , δ , характеризующих сравнительные технико-экономические показатели различных вариантов производства, позволяет при анализе экономической эффективности и прогрессивности новой техники перейти от денежных показателей непосредственно к техническим характеристикам машин, в первую очередь, их производительности

и надежности в работе. Тем самым возможно решать задачи оп-

тимального выбора технологических, конструктивных, структурных характеристик машин, обеспечивающих высокую экономическую эффективность проектируемой техники.

Можно выразить коэффициенты технической вооруженности k_2 и коэффициент энергоматериалоемкости n_2 второго варианта через аналогичные показатели базового варианта:

$$k_2 = k\sigma\varepsilon, \quad n_2 = n\delta\varphi\varepsilon.$$

Подставляя значения k_2 , n_2 , φ , ε в формулу (26), получим:

$$\lambda = \varphi\varepsilon \frac{k + N(n + 1)}{k\sigma\varepsilon + N(n\delta\varphi\varepsilon + 1)}.$$

Нетрудно видеть, что произведение $\varphi\varepsilon$ представляет собой рост производительности живого труда:

$$\lambda = \lambda_{\text{ж}} \frac{k + N(n + 1)}{k\sigma\varepsilon + N(n\delta\varphi\varepsilon + 1)}.$$

Следовательно, рост производительности труда равен произведению роста производительности живого труда, то есть зримого достигнутого результата, на коэффициент, показывающий, какими затратами прошлого труда достигнуто это увеличение.

Теория производительности позволяет при сравнительном анализе различных вариантов новой техники выявлять наиболее выгодный и перспективный из них на основе комплексного учета всех технико-экономических показателей по наибольшей производительности. Выбор наиболее выгодного варианта новой техники зависит не только от сравнительных технико-экономических показателей (производительность, стоимость, количество обслуживающих рабочих и т. д.), но и от сроков эксплуатации новой техники (изменение N), а также сроков ее проектирования и освоения.

Часто сравниваемые варианты начинают эксплуатироваться не одновременно. Если по второму варианту внедрение задерживается на L лет (например, АЛ проектировать и внедрять дольше, чем поточную), то в формуле λ следует предусмотреть задержку на $(N - L)$ лет:

$$\lambda = \varphi \frac{N-L}{N} \cdot \frac{k + N(n+1)}{k\sigma + (N-L) \left(n\delta\varphi + \frac{1}{\varepsilon} \right)}. \quad (27)$$

На рис. 24 приведена ситуация, когда новый вариант прогрессивен и обеспечивает больший рост производительности, чем средний, необходимый для развития общества (наклонная прямая, выходящая из точки 1). Но это обеспечится, только если этот вариант будет внедрен сравнительно быстро (кривая с $L = 2$ года). Если это же оборудование внедрить только через 5 лет ($L = 5$), то по прогрессивности даже не достигнет среднего, требуемого уровня (не пересечет наклонную кривую).

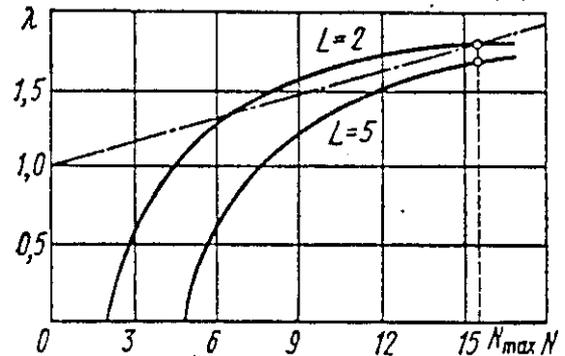


Рис. 24. Прогрессивность новой техники при различных сроках освоения и службы

3.4. Пути повышения производительности труда

Теория производительности машин позволяет анализировать влияние различных факторов на производительность, а следовательно, оценивать наиболее эффективные пути повышения производительности, то есть наиболее эффективные направления технического прогресса. Показатели автоматизации неодинаково влияют на эффективность.

3.4.1. ε -путь

Этот путь предполагает получение эффекта за счет сокращения затрат живого труда, внедрения многостаночного обслуживания. Это довольно распространенный путь, так как позволяет использовать существующий парк станков, быстро расширить фронт автоматизации, высвободить рабочих. Отличительная чер-

та – технология практически не меняется, оборудование тоже, просто функции рабочих автоматизируются.

Рассмотрим эффективность этого пути на примере. Пусть существовала поточная линия (рис. 25) с ручной транспортировкой деталей. Принято решение на ее базе создать АЛ, дооснастив автоматическим транспортным устройством и системой управления.

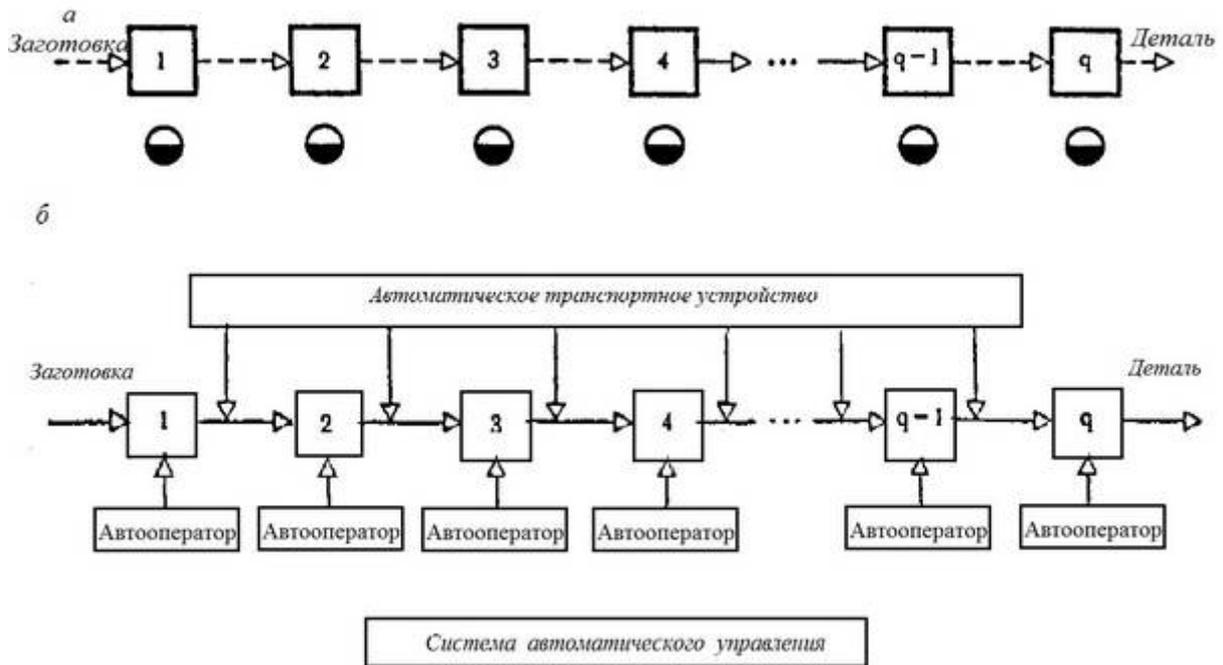


Рис. 25. Технологические системы машин:

а – поточная линия с выполнением вспомогательных операций вручную; *б* – автоматическая линия

При этом значительно сократили число рабочих. Пусть в линии было 100 станков, тогда в первом варианте было 100 рабочих. Если принять, что один рабочий обслуживает Z станков, то для первого варианта $Z = 1$, а общие затраты живого труда примем $T_{ж}$.

Если один рабочий будет обслуживать $Z > 1$ станков, то общие затраты будут $T_{ж} / Z$. Отсюда экономия

$$\mathcal{E} = T_{ж} - \frac{T_{ж}}{Z} = T_{ж} \left(1 - \frac{1}{Z} \right).$$

Если отнести эту экономию к первоначальному фонду заработной платы, то

$$\Delta = \frac{\mathcal{E}}{T_{\text{ж}}} = 1 - \frac{1}{Z}.$$

На рис. 26 построен график по последней формуле и видно, что уже при $Z = 2 \dots 5$ получается весь эффект. Но такой многостаночности легко достичь и на поточной линии. При переходе от $Z = 50$ к $Z = 100$ экономится всего 1 % (99 % – 98 %). А ведь для этого понадобятся сложные технические решения и большие затраты. Если учесть, что при втором варианте возрастет число наладчиков, то сокращение только рабочих малоэффективно. Область использования ε -пути – когда можно быстро без дополнительных средств автоматизировать за счет унифицированных решений.

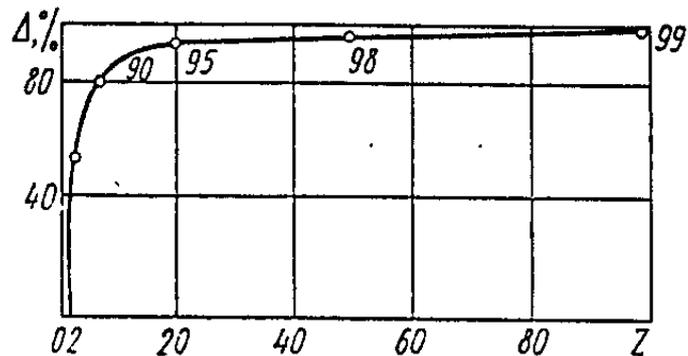


Рис. 26. Зависимость экономии живого труда от количества станков, обслуживаемых одним рабочим

3.4.2. σ -путь

Повышение производительности достигается за счет сокращения затрат прошлого труда путем снижения стоимости средств производства ($\sigma < 1$) за счет совершенствования технологии, стандартизации и унификации узлов и механизмов самих машин. Если раньше элементами унификации были детали, позже узлы, то сейчас – модули (технологические, транспортные, загрузочные и пр.).

Унификация позволяет сократить сроки проектирования и внедрения, что очень важно (рис. 27). Но следует учесть, что σ сокращать очень трудно. Если внедрение автоматической линии позволяет резко сократить число рабочих ($\varepsilon = 5 \dots 10$), то сократить стоимость новой техники во столько же раз практически невозможно. Например, по данным станкостроительного завода им. Орджоникидзе, повышение уровня унификации выпускаемых им агрегатных станков с 80 до 100 % позволило бы снизить стоимость станков не более чем на 30 %, то есть получить $\sigma = 0,7$.

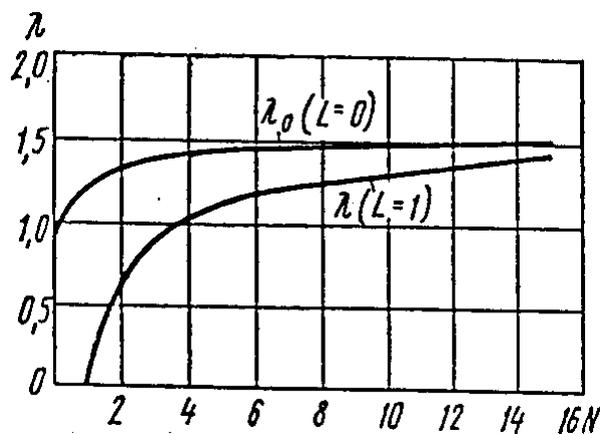


Рис. 27. Рост производительности труда во времени при автоматизации путем создания специального λ ($L = 1$) и унифицированного оборудования λ ($L = 0$)

3.4.3. φ -путь

Эффективность обеспечивается сокращением затрат живого труда и прошлого труда за счет повышения производительности средств производства, а следовательно, сокращением затрат на единицу продукции (прогрессивная технология, высокопроизводительные средства производства). На рис. 28 показаны: кривая I – рост производительности только за счет роста ε , кривая I' – неизбежное ухудшение реальных показателей за счет снижения надежности, кривая 2 и $2'$ – тоже при $\varphi > 1$ и $\varepsilon > 1$.

Нетрудно убедиться, что λ_{\max} зависит только от ТЭП машины, то есть от φ , ε , δ , и не зависит от первоначальной стоимости

машины, срока ее внедрения (следует рассмотреть предел формулы (26) при $N \rightarrow \infty$).

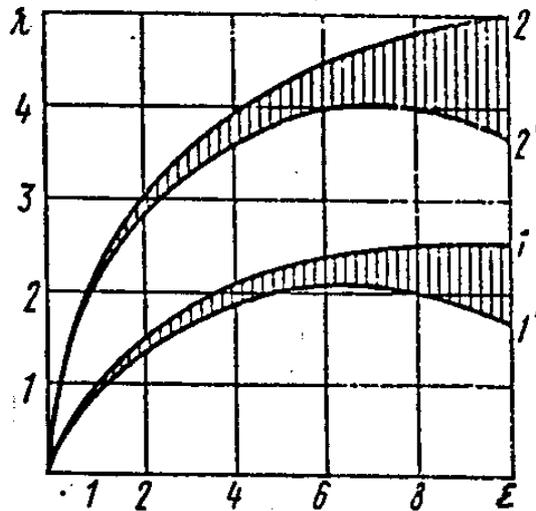


Рис. 28. Рост производительности труда при автоматизации благодаря сокращению количества рабочих и повышению производительности оборудования

Вывод: высокий рост λ можно обеспечить только в том случае, если производительность новой техники выше старой. Следовательно, генеральным направлением автоматизации должна быть разработка новых, прогрессивных технологических процессов и создание таких высокопроизводительных средств производства, которые были бы вообще невозможны, пока человек процессами производства управлял вручную.

3.5. Инженерные методы расчета экономической эффективности автоматизации производства

В инженерной практике существуют понятия: *проектная* и *проверочная* задачи.

Проектная задача: правильность выбора конструктивных параметров машины исходя из обеспечения заданных выходных параметров. Например, по заданным значениям частот вращения шпинделя N_i определить i, z в кинематических расчетах.

Проверочная задача: все параметры уже выбраны, проверяем, соответствуют ли они заданной целевой функции. Напри-

мер, рассчитанные значения N_i не должны отличаться от требуемых по кинематической структуре более чем на 10 %.

Проверочная и проектная задачи отличаются по **входной** и **выходной информации**. Проектная задача: вход – целевая функция, выход – конкретные характеристики машины. Проверочная задача: вход – характеристики машины, выход – точность достижения целевой функции.

В общем случае для решения этих задач используются и различные математические уравнения. Идеально, когда уравнения «реверсивны», то есть по одним уравнениям можно решать обе задачи, меняя местами функцию и аргумент. Математические модели, используемые в теории производительности машин, относятся к «реверсивным».

Особенность моделей ТПМ: в обычных проектных расчетах по заданной целевой функции, например по прочности, мы выбираем конкретные значения какого-то элемента машины, например сечение шпонки или диаметр вала. Если целевая функция – *экономический критерий* (в ТПМ именно так), то мы можем выбрать только принципиальное решение в целом: компоновку, структуру системы и пр. Таким образом, в ТПМ понятия проектной и проверочной задач можно сформулировать следующим образом:

Проектная задача – расчет и выбор структурно-компоновочных параметров автоматических систем машин (число последовательно работающих станков, число параллельных потоков, число и место расположения накопителей, станков-дублеров и т. д.).

Проверочная задача – проверяем, удовлетворяет ли уже спроектированная система каким-либо нормативам (сроку окупаемости, экономическому эффекту и т. д.). Например, чтобы тиражировать проект АЛ. Этот тип расчетов традиционный, чисто экономический.

Обычно к началу расчета проектной задачи исходных данных очень мало, поэтому проектные расчеты носят приближенный характер.

3.5.1. Математическая модель экономической эффективности

Для построения математической модели рассмотрим два гипотетических варианта: базовый (например, поточная линия) и проектный (АЛ).

Базовый вариант. Характеризуется следующими параметрами: K – стоимостью оборудования; Z – годовым фондом зарплаты; m – годовыми затратами на инструмент, энергию, материалы; Q_r – годовым выпуском продукции.

Тогда $K\alpha_1$ – годовые амортизационные отчисления, $K\alpha_2$ – годовые затраты на ремонт и обслуживание.

Себестоимость годового выпуска продукции:

$$C_1 = K(\alpha_1 + \alpha_2) + m + Z.$$

Проектный вариант. Его характеристики должны обеспечивать гарантированный экономический эффект. Мы будем использовать вариационные показатели, которые сейчас и являются управляемыми (φ , σ , ε , δ):

стоимость оборудования	$- K\sigma$;
фонд зарплаты	$- Z / \varepsilon$;
производительность	$- Q_r \varphi$;
годовые эксплуатационные затраты	$- m\delta\varphi$.

Тогда себестоимость годового выпуска по второму варианту

$$C_2 = K\sigma\alpha_1 + K\sigma\alpha_2 + m\delta\varphi + \frac{Z}{\varepsilon}.$$

Сравним оба варианта по критерию минимум приведенных затрат:

$$\begin{aligned} C_{\Pi} &= KE_H + C; \\ C_{\Pi 1} &= \varphi[K(E_H + \alpha_1 + \alpha_2) + m + Z]; \\ C_{\Pi 2} &= K\sigma(E_H + \alpha_1 + \alpha_2) + m\delta\varphi + \frac{Z}{\varepsilon} \end{aligned} \quad (28)$$

($C_{п1}$ умножено на φ , чтобы привести к одному масштабу выпуска).

Годовой экономический эффект

$$\Delta = C_{п1} - C_{п2} = K(\varphi - \sigma)(E_H + \alpha_1 + \alpha_2) + m\varphi(1 - \delta) + 3\left(\varphi - \frac{1}{\varepsilon}\right). \quad (29)$$

Такая модель может служить основой для решения целого ряда задач:

а) расчета технико-экономических допусков, то есть значений технических характеристик проектируемого оборудования, исходя из гарантированного экономического эффекта при внедрении, то есть можно оценить, созрели ли технические и экономические предпосылки для автоматизации данного производства по тем или иным вариантам [2];

б) расчета оптимальных с экономической точки зрения отдельных технических характеристик, то есть задача однопараметрической оптимизации [7];

в) целесообразности построения автоматов и их первичного отбора [7];

г) определения экономически оптимальных вариантов из множества технически возможных, то есть комплексной оптимизации проектных решений.

Если мы примем $\Delta = 0$, то можно определить $\varphi = \varphi_{\min}$, при котором варианты равноценны. Очевидно: если $\varphi > \varphi_{\min}$, то второй вариант лучше.

$$\varphi_{\min} = \frac{K\sigma(E_H + \alpha_1 + \alpha_2) + \frac{3}{\varepsilon}}{K(E_H + \alpha_1 + \alpha_2) + m(1 - \delta) + 3} = \frac{0,312K\sigma + \frac{3}{\varepsilon}}{0,312K + m(1 - \delta) + 3}. \quad (30)$$

Для автоматов и АЛ $\alpha_1 = 0,122$; $\alpha_2 = 0,07$; $E_H = 0,12$, поэтому $(E_H + \alpha_1 + \alpha_2) = 0,12 + 0,122 + 0,07 = 0,312$.

Оценивая ожидаемые дополнительные капитальные затраты, ожидаемое сокращение количества обслуживаемого персона-

ла

в совокупности с требуемым повышением производительности оборудования, а также с реальными возможностями этого повышения с использованием имеющихся технических средств, можно реально оценить, насколько достижимыми являются те технические рубежи, которые необходимо преодолеть.

Рассмотрим использование этой модели на примере.

3.5.2. Пример использования модели $\Xi = f(\varphi, \sigma, \varepsilon, \delta)$

Имеется поточная линия из многошпиндельных полуавтоматов (базовый вариант), на которой вспомогательные и транспортные операции выполняются вручную. Планируется создать на ее основе АЛ (проектный вариант), добавив конвейеры для деталей и уборки стружки, автооператоры и систему управления.

Исходные данные по базовому варианту:

- стоимость одного станка $K = 20\,000$ у.е.;
- месячная зарплата оператора $Z_{\text{оп}} = 125$ у.е., обслуживает $Z = 2$ станка; месячная зарплата наладчика $Z_{\text{нал}} = 150$ у.е., обслуживает $Z = 5$ станков; месячная зарплата вспомогательного рабочего $Z_{\text{вр}} = 100$ у.е., обслуживает $Z = 8$ станков.

Здесь и далее расчет ведется в условных единицах – у.е. Для принятия решения на этапе разработки технического задания имеет значение не абсолютная величина затрат, а сопоставимый масштаб стоимости отдельных элементов производства.

Тогда годовая зарплата на один станок

$$Z = (125 / 2 + 150 / 5 + 100 / 8) \cdot 2 \cdot 12 \cdot 1,26 = 2\,850 \text{ у.е.},$$

где 2 – две смены; 12 – месяцев в году; 1,26 – учитывает отчисления на ЕСН.

Примем коэффициент технического использования оборудования (время фактической работы) в базовом варианте $\eta_{\text{техн}} = 0,85$.

По проектному варианту предполагаемое дооснащение обойдется в 5 000...7 000 у.е. на один станок.

Определим вариационные показатели:

а) рост производительности оборудования (станки менять не предполагается) зависит только от интенсивности использования станка, то есть от $\eta_{\text{техн}}$ (в данном расчете рассматривается как варьируемая величина) в проектном варианте, поэтому

$$\varphi = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\eta_{\text{техн}}}{0,85};$$

б) при неизменных нормах для наладчиков (операторов и вспомогательных рабочих в проектном варианте нет) номинальное сокращение затрат живого труда

$$\varepsilon_{\text{ном}} = \frac{125/2 + 150/5 + 100/8}{150/5} = 3,5.$$

Но фактически нормы обслуживания зависят от надежности оборудования (табл. 5), то есть можно ввести некий коэффициент χ , который зависит от $\eta_{\text{техн}}$, тогда окончательно

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{ном}} \chi.$$

То есть мы имеем выражения φ , ε как функции от надежности оборудования;

в) рост капитальных затрат учтем следующим образом:

$$\sigma = (20\ 000 + (5\ 000 \dots 7\ 000)) / 20\ 000 = 1,25 \dots 1,35;$$

г) эксплуатационные затраты не изменились, то есть $\delta = 1,0$.

Таблица 5

Расчетная таблица

$\eta_{\text{техн}}$	Z для наладчиков	χ
0,9	6	1,2
0,85	5	1,0
0,75	3	0,67
0,65	1	0,25

Подставив полученные значения в формулу экономического эффекта, получим

$$\varepsilon = 20\ 000 \left(\frac{\eta_{\text{техн}}}{0,85} - (1,25 \dots 1,35) \right) 0,312 + 2\ 850 \left(\frac{\eta_{\text{техн}}}{0,85} - \frac{1}{3,5\chi} \right).$$

Поскольку $\eta_{\text{техн}}$ задан дискретно, то аналитическое решение затруднено. Удобно результаты расчета представить в графоана-

литическом виде (рис. 29). Видно, что экономический эффект может быть только при $\eta_{\text{техн}} > 0,85$, что трудно ожидать, так как никаких мероприятий по повышению надежности оборудования не предусмотрено.

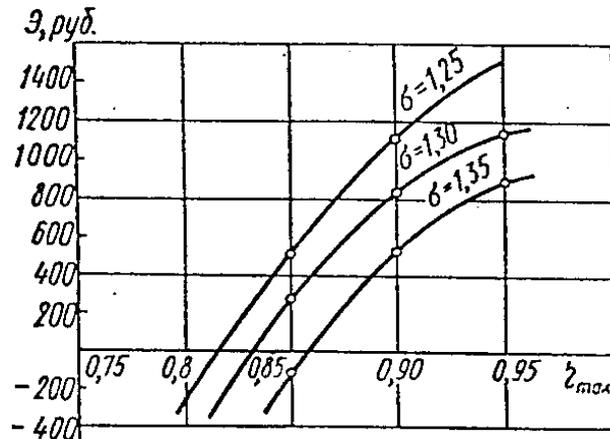


Рис. 29. Зависимость годового экономического эффекта \mathcal{E} от надежности автоматизированного оборудования

3.6. Методы расчета производительности машин-автоматов и их систем

Расчет и анализ производительности оборудования являются наиболее специфичной задачей именно при автоматизации производственных процессов по следующим причинам:

1. Производительность автомата – главный фактор (причина) его создания.

2. Автоматические машины и их системы, как правило, специальное оборудование. Даже на крупных заводах имеется не более 1...2 параллельно работающих систем, и если они не обеспечат требуемый выпуск продукции, то это приведет к катастрофическим результатам. Для универсального оборудования нетрудно в критической ситуации увеличить выпуск продукции за счет организационных мероприятий (например, работа в третью смену, выходные) или установки дополнительных станков (сравнительно быстро). Для автоматических машин эти решения неприемлемы.

3.6.1. Основные показатели производительности

Возможны шесть состояний рабочей машины (станка):

1. Машина работает, выполняя заданный технологический процесс (ТП) (совершает рабочие ходы).
2. Машина работает, выполняя вспомогательные ходы (холостые ходы).
3. Машина работает, но производит брак.
4. Машина не работает из-за отказов (по собственным причинам).
5. Машина не работает из-за отсутствия чего-либо (по организационным причинам: нет второй или третьей смены, различные перерывы, нет энергии, заготовок, оператора, наладчика и пр.).
6. Машина не работает, так как находится под переналадкой.

Только первое состояние считается производительным, остальное – потери. Перед началом проектирования машины-автомата (тем более системы автоматов) ТП обычно уже разработан, то есть известно время рабочих ходов t_p . Значит, можно определить технологическую производительность K (шт./мин):

$$K = \frac{1}{t_p}. \quad (31)$$

Технологическая производительность характеризует *потенциальную производительность метода обработки*. Однако обычно процесс прерывен и есть холостые несовмещенные ходы t_x , входящие во время рабочего цикла T :

$$T = t_p + t_x. \quad (32)$$

Соответственно, *цикловая производительность* характеризует потенциальную производительность реального оборудования, работающего в идеальных условиях без простоев:

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_{\text{р}} + t_{\text{х}}}. \quad (33)$$

Для полуавтоматов процесс загрузки и разгрузки не автоматизирован и в цикл не входит. Тогда

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{T + t_{\text{всп}}} = \frac{1}{t_{\text{р}} + t_{\text{х}} + t_{\text{всп}}}, \quad (34)$$

где $t_{\text{всп}}$ – вспомогательное несовмещенное время ручных операций.

Реально в производстве имеют место простои и брак, которые также должны быть учтены. Используют два способа.

3.6.1.1. Учет простоев коэффициентом использования

Коэффициент использования равен:

$$\eta_{\text{исп}} = \frac{\Theta_{\text{р}}}{\Theta} = \frac{1}{1 + \sum \frac{\Theta_{\text{п}}}{\Theta_{\text{р}}}}, \quad (35)$$

где $\Theta_{\text{р}}$ – суммарное время работы за время Θ ; $\sum \Theta_{\text{п}}$ – суммарное время простоев за время Θ .

Тогда фактическая производительность: $Q_{\text{ф}} = Q_{\text{ц}} \eta_{\text{исп}}$.

При проектных расчетах укрупненно принимают $\eta_{\text{исп}} = 0,75 \dots 0,8$.

Чтобы дифференцировать простои по видам, используют развернутую формулу:

$$\eta_{\text{исп}} = \frac{\Theta_{\text{р}}}{\Theta_{\text{р}} + \sum \Theta_{\text{с}} + \sum \Theta_{\text{орг}} + \sum \Theta_{\text{пер}}}, \quad (36)$$

где $\sum \Theta_{\text{с}}$ – собственные технические простои (ремонт, профилактика, регулировка и пр.); $\sum \Theta_{\text{орг}}$ – организационные простои из-за

внешних факторов; $\sum \Theta_{\text{пер}}$ – простои при переналадке на другую продукцию.

Удобно дифференцировать и сам $\eta_{\text{исп}}$:

$$\eta_{\text{исп}} = \eta_{\text{техн}} \eta_{\text{пер}} \eta_{\text{загр}}$$

Например, линия загружена, то есть обеспечена всем необходимым на 90 % фонда времени, из этого времени 8 % уходит на переналадки, а когда линия могла бы работать, она стоит еще 20 % из-за аварий, тогда

$$\eta_{\text{исп}} = 0,9 \cdot 0,92 \cdot 0,8 = 0,66 = 66 \%$$

3.6.1.2. Учет простоев внецикловыми потерями

Этот способ используется чаще, так как безразмерные коэффициенты не всегда удобны для углубленной оценки производительности. Используют две формы представления внецикловых потерь:

$$\sum B = \frac{\sum \Theta_{\text{п}}}{\Theta_{\text{р}}}; \quad \sum t_{\text{п}} = \frac{\sum \Theta_{\text{п}}}{Z}, \quad (37)$$

где $\sum B$ – внецикловые потери как простои, приходящиеся на единицу времени бесперебойной работы; $\sum \Theta_{\text{п}}$ – суммарные простои за какой-то период времени Θ ; $\Theta_{\text{р}}$ – время работы за этот же период; $\sum t_{\text{п}}$ – внецикловые потери как простои, приходящиеся на единицу продукции; Z – количество выпущенной продукции за тот же период.

Если у сравниваемых вариантов примерно равны времена цикла, то используют форму $\sum B$, иначе форму $\sum t_{\text{п}}$. С учетом дифференциации простоев

$$\sum t_{\text{п}} = \sum t_{\text{с}} + \sum t_{\text{орг}} + \sum t_{\text{пер}}; \quad (38)$$

$$Q_{\text{ф}} = \frac{1}{t_{\text{р}} + t_{\text{х}} + \sum t_{\text{с}} + \sum t_{\text{орг}} + \sum t_{\text{пер}}}. \quad (39)$$

Можно интерпретировать внецикловые потери как фиктивное удлинение рабочего цикла из-за простоев.

Для учета брака удобнее всего использовать коэффициент выхода годной продукции γ (данные ОТК):

$$Q_{\phi} = \frac{1\gamma}{t_p + t_x + \sum t_c + \sum t_{\text{орг}} + \sum t_{\text{пер}}}. \quad (40)$$

3.6.2. Составление моделей производительности машин

Как уже отмечалось, математическую основу ТПМ составляют уравнения, связывающие производительность непосредственно с технологическими, конструкционными и эксплуатационными параметрами машин. Метод получения таких уравнений следующий.

Для данного типа оборудования (автомат, АЛ, ОЦ и т. д.) выделяют группу параметров, которые в данном случае являются предметом анализа или расчета (X_1, X_2, \dots, X_n). Затем, путем инженерного анализа отыскивают частные функциональные зависимости всех элементов затрат времени от этих параметров:

$$\begin{aligned} t_p &= f_1 (X_1, X_2, \dots, X_n); \\ t_x &= f_2 (X_1, X_2, \dots, X_n); \\ \sum t_c &= f_3 (X_1, X_2, \dots, X_n); \\ \sum t_{\text{орг}} &= f_4 (X_1, X_2, \dots, X_n); \\ \sum t_{\text{пер}} &= f_5 (X_1, X_2, \dots, X_n); \\ \gamma &= f_5 (X_1, X_2, \dots, X_n). \end{aligned} \quad (41)$$

Далее, подставляем эти частные зависимости в формулу производительности [типа формулы (40)], проводим необходимые преобразования и получаем искомую модель

$$Q_{\phi} = f(X_1, X_2, \dots, X_n). \quad (42)$$

При необходимости это уравнение решают относительно какого-либо из входящих параметров в зависимости от поставленной задачи. Например, можно выделить некий параметр, ко-

торый для данного типа систем является определяющим, и определить его оптимальное значение. В следующем разделе на конкретных примерах будет показано применение этой методики.

3.6.3. Производительность автоматов в условиях массового и серийного производства

Для вывода частных зависимостей будем использовать общую формулу

$$Q_{\Phi} = \frac{p\gamma\eta_{\text{загр}}}{t_p + t_x + t_{\text{всп}} + \sum t_c + \sum t_{\text{пер}}} \quad (43)$$

3.6.3.1. Автомат последовательного действия

Схема автоматов последовательного действия приведена на рис. 30. В ТП можно выделить совмещенные и несовмещенные (основные) операции. Введем $t_{\text{ро}}$ – суммарную длительность несовмещенных операций (общая трудоемкость обработки).

В качестве списка параметров выберем основной конструктивный параметр q – число рабочих позиций (в АЛ – станков).

Определим частные зависимости:

а) если использовать принцип синхронизации операций, то длительность рабочих ходов на одной позиции

$$t_p = t_{\text{ро}} / q;$$

б) длительность холостых ходов, то есть время загрузки, выгрузки, транспортирования на другую позицию, практически не зависит от q , то есть $t_x = t_x$;

в) внецикловые собственные потери представим как сумму потерь по инструменту и потерь по оборудованию

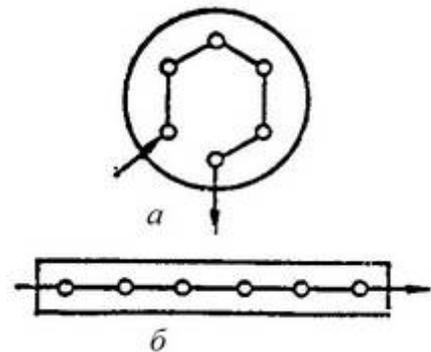


Рис. 30. Структурные схемы автоматов (а) и линий (б) последовательного действия

$$\Sigma t_c = \Sigma C_i + t_e q,$$

где ΣC_i – потери по инструменту зависят от технологии (режимов резания, материала инструмента и т. д.). Так как ТП не меняется, а просто происходит перераспределение переходов по позициям, то ΣC_i не зависит от q ; t_e – внецикловые потери по оборудованию одного потока (одного комплекта, состоящего из загрузочно-разгрузочного устройства, автоматического приспособления, привода и исполнительного механизма).

Так как комплект механизмов примерно одинаков на всех позициях, то $t_e = \text{const}$. Тогда при последовательном соединении позиций общие собственные потери будут $t_e q$.

Тогда собственная производительность станка (без простоев и брака)

$$Q = \frac{1}{\frac{t_{\text{po}}}{q} + t_x + \Sigma C_i + t_e q}.$$

На рис. 31, *a* показан график теоретической производительности для автоматов последовательного действия.

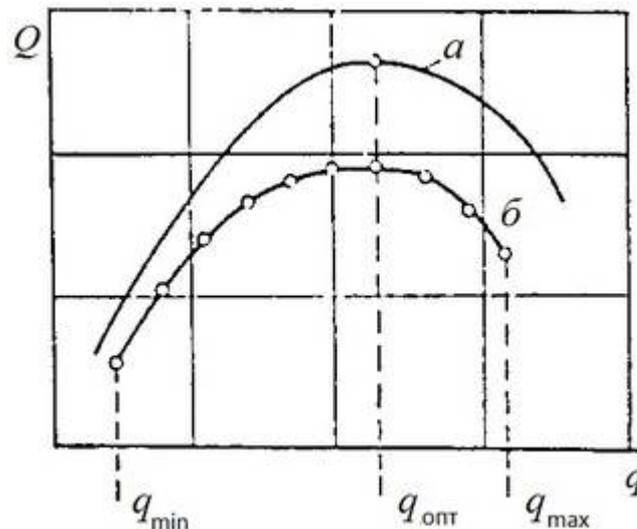


Рис. 31. Зависимость производительности автоматов последовательного действия от числа рабочих позиций:
a – собственная; *б* – фактическая

Для учета реальных условий надо учесть брак и организационные простои (рис. 31, б)

$$Q = \frac{1\gamma\eta_{\text{загр}}}{\frac{t_{\text{по}}}{q} + t_x + \sum C_i + t_e q}. \quad (44)$$

Оптимальное число рабочих позиций нетрудно определить по формуле

$$q_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{t_{\text{по}}}{t_e}}. \quad (45)$$

ТП накладывает ограничения на q , то есть $q_{\text{min}} < q < q_{\text{max}}$. Тогда:

- а) если $q_{\text{max}} < q_{\text{опт}}$, то следует принимать $q = q_{\text{max}}$;
- б) если $q_{\text{max}} > q_{\text{опт}}$, то следует принимать $q = q_{\text{опт}}$.

3.6.3.2. Автомат параллельного действия

Представителем являются **роторные автоматы**. Принцип работы роторного автомата поясним на примере автомата для сверления двух отверстий в корпусе (рис. 32). На одной оси расположены и одновременно вращаются барабан для заготовок 2, два инструментальных барабана 3 со сверлильными головками. Число инструментов равно числу рабочих позиций в барабане. Заготовка поступает на ротор в позиции A , совершает поворот до позиции разгрузки B . Сверлильные головки перемещаются по копиру, развертка которого показана внизу. На угле поворота α_1 происходит подвод сверла, на рабочем угле α собственно сверление и на угле поворота α_2 отвод инструмента. Рассмотрим частные зависимости:

- а) рабочий цикл T осуществляется за один оборот ротора, а собственно обработка за поворот на угол α , тогда $T = t_p 360/\alpha$;
- б) внецикловые потери $\sum t_c = q(t_{\text{ин}} + t_{\text{об}}) + t_{\text{тр}}$,

где $t_{ин}$ – потери, вызванные заменой и регулировкой инструментов одного инструментального блока; $t_{об}$ – потери, связанные с обнаружением и устранением отказов механизмов инструментального блока (зажимное устройство, выталкиватель, корпус и т. д.); $t_{тр}$ – потери из-за транспортных роторов.

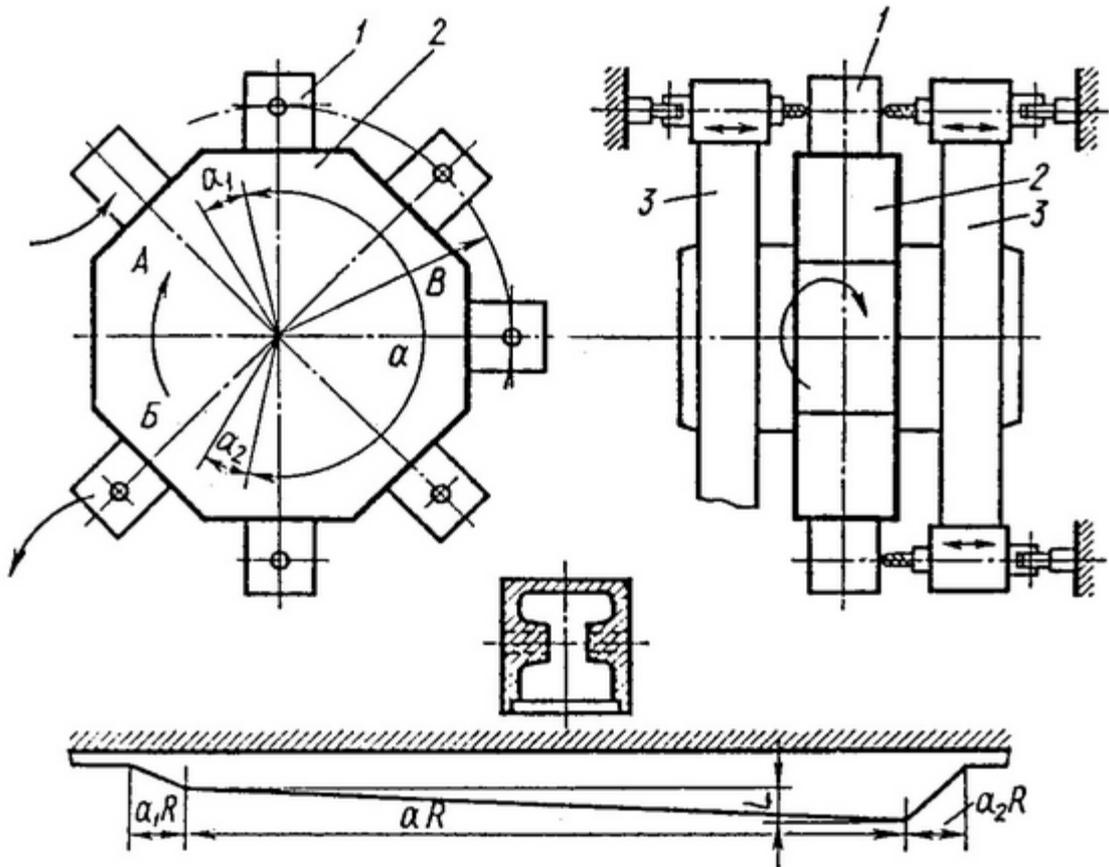


Рис. 32. Роторный автомат

Тогда производительность роторного автомата

$$Q = \frac{q\gamma\eta_{загр}}{t_p \frac{360}{\alpha} + q(t_{ин} + t_{об}) + t_{тр}}. \quad (46)$$

Или, переходя к показателям надежности,

$$Q = \frac{q\gamma\eta_{\text{загр}}}{t_p \frac{360}{\alpha} + q \left(\frac{\tau_{B1}}{N} + \omega_1 \tau_{B1} \right) + \omega_2 \tau_{B2}}, \quad (47)$$

где τ_{B1} , τ_{B2} – среднее время замены или устранения отказов; ω_1 , ω_2 – параметр потока отказов механизмов и устройств; N – средняя стойкость инструмента, выраженная в количестве обработанных изделий.

То есть мы выразили производительность роторной машины через технологические (t_p), конструктивные (α) и структурные характеристики, а также параметры надежности (N , ω_1 , ω_2 , τ_{B1} , τ_{B2}). На рис. 33 показаны графики производительности роторных машин. Видно, что график имеет насыщение

$$Q_{\text{max}} = \lim_{q \rightarrow \infty} Q = \frac{1}{\tau_{B1} \left(\frac{1}{N} + \omega_1 \right)}. \quad (48)$$

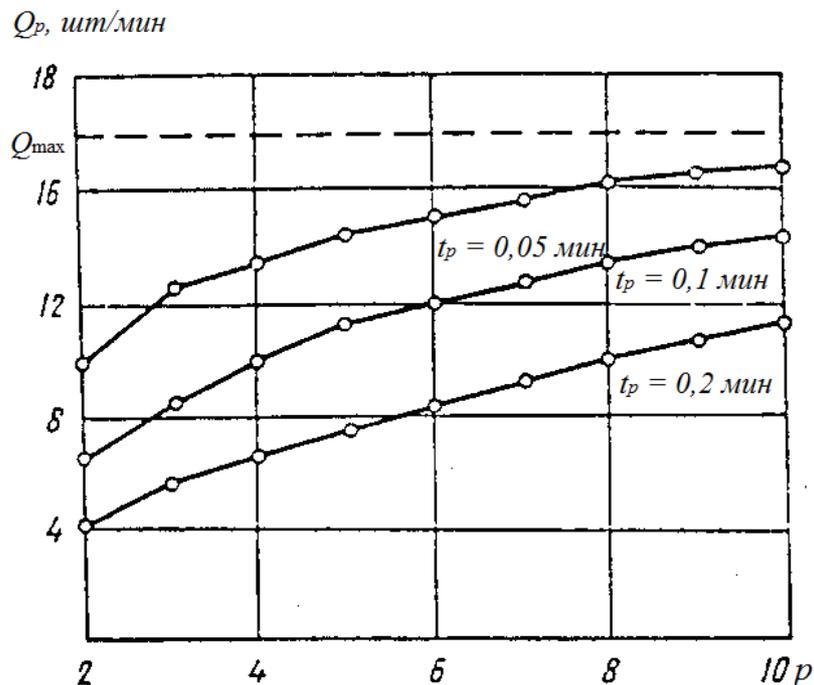


Рис. 33. Зависимость производительности роторных машин от числа позиций

3.6.3.3. Обрабатывающий центр с ЧПУ

Используют два способа:

1. По типовой детали-представителю

Из общей номенклатуры выбирается деталь типовая (со всеми средними характеристиками). Тогда можно использовать формулу массового производства, только учесть длительность переналадки $\Theta_{\text{пер}}$ и средний размер партии Z между двумя переналадками:

$$Q_{\text{ф}} = \frac{p\eta\eta_{\text{загр}}}{t_{\text{р}} + t_{\text{х}} + t_{\text{всп}} + \sum t_{\text{с}} + \frac{\Theta_{\text{пер}}}{Z}}. \quad (49)$$

Недостаток: трудно выбрать достоверный представитель, чтобы он имел средние характеристики не только по рабочим, но и по холостым ходам, по переналадкам. Кроме того, в этой формуле нет параметров станка, ТП и пр.

2. По интегральным характеристикам комплекта изделий, закрепленных за ОЦ. Обозначим: n – всего типоразмеров деталей.

Для каждой i -й детали: S_i – число переходов; A_i – число инструментов; $t_{\text{р}ij}$ – длительность переходов; Z_i – величина партии обработки.

а) время рабочих ходов цикла $t_{\text{р}} = t_{\text{ср}}S$,

$$\text{где } t_{\text{ср}} = \frac{\sum_i \sum_j t_{\text{р}ij} Z_i}{\sum_i S_i Z_i} - \text{среднее время единичного перехода;}$$

$$S = \frac{\sum_i S_i Z_i}{\sum_i Z_i} - \text{среднее число переходов;}$$

б) время холостых ходов $t_{\text{х}} = t_{\text{х}2}S + t_{\text{х}3}A + t_{\text{х}1}$,

где t_{x1} – среднее время загрузки-разгрузки; t_{x2} – среднее время замены координаты (отвод – поворот стола – подвод); t_{x3} – среднее время замены инструмента в шпинделе;

в) собственные внецикловые потери. Для станков с ЧПУ характерен большой цикл обработки, поэтому используют формулу $\Sigma B_c = \omega \tau_b$, где ω – параметр потока отказов (величина, обратная среднему времени безотказной работы, выраженному в рабочих циклах или абсолютном времени); τ_b – среднее время восстановления отказа;

г) внецикловые организационные потери. Как правило, функционально связать их с характеристиками производства не удастся, используются численные значения, полученные хронометражом;

д) внецикловые потери на переналадку. Целесообразно определять на единицу продукции

$$\Sigma t_{\text{пер}} = \frac{\Theta_{\text{пер}}}{Z} = \frac{\Theta_1 + \Theta_2 S}{Z},$$

где $\Theta_{\text{пер}}$ – общее время переналадки на обработку партии деталей (Z); Θ_1 – составляющая, не зависящая от S (замена и выверка приспособлений, замена программносителя и пр.); Θ_2 – составляющая, зависящая от S (замена комплекта инструмента, обработка пробных деталей, корректировка УП).

Тогда окончательно

$$Q_{\text{ф}} = \frac{\Theta_{\text{см}} \gamma}{(t_p S + t_{x1} + t_{x2} S + t_{x3} A)(1 + \omega \tau_b) + \Sigma t_{\text{орг}} + \frac{\Theta_1 + \Theta_2 S}{Z}}, \quad (50)$$

где $\Theta_{\text{см}}$ – фонд времени работы в смену.

Таким образом, в окончательную формулу вошли характеристики: комплекта деталей; оборудования; производственных условий.

3.6.4. Производительность АЛ при различных структурных вариантах

В п. 3.6.3.1 была рассмотрена модель производительности жесткой АЛ в зависимости от q . Полученную модель можно усложнить, учтя еще ряд важных параметров.

Исходные данные для проектирования АЛ:

- чертеж заготовки и детали;
- принятые методы и маршрут обработки;
- диапазон требуемой производительности $Q_{\min} < Q < Q_{\max}$.

Этим условиям соответствует большое число конструктивно-технологических вариантов построения АЛ, которые могут отличаться:

- режимами;
- числом рабочих позиций q ;
- числом параллельных потоков обработки p ;
- числом участков-секций (с отдельным накопителем) n_y ;
- количеством наладчиков;
- видом транспортной системы и ее компоновкой;
- числом станков-дублеров m .

Каждому технически возможному сочетанию этих параметров соответствуют *свои* производительность, качество, себестоимость обработки продукции. Из них важнейший показатель – *производительность*. Поэтому необходимо построение моделей, связывающих технологические, конструктивные, структурные, эксплуатационные параметры с производительностью.

Ранее мы получили формулу для АЛ с жесткой межагрегатной связью

$$Q = \frac{1}{\frac{t_{\text{po}}}{q} + t_x + \sum C_i + t_e q}.$$

Если $Q > Q_{\text{зад}}$, то принимают этот простейший случай, но часто это условие не выполняется. Тогда для повышения производительности используют различные структурные усложнения АЛ (рис. 34):

- деление АЛ на участки с установкой накопителей;
- добавление параллельных потоков обработки;
- использование станков-дублеров на лимитирующих позициях.

Представим собственную производительность как

$$Q_{\text{соб}} = \frac{1}{T} \eta_{\text{техн}}, \quad (51)$$

где

$$\eta_{\text{техн}} = \frac{T}{T + \sum C_i + t_{eq}} = \frac{1}{1 + \frac{\sum C_i + t_{eq}}{T}} = \frac{1}{1 + B}, \quad (52)$$

где B – цикловые потери одного станка, отнесенные к единице времени безотказной работы.

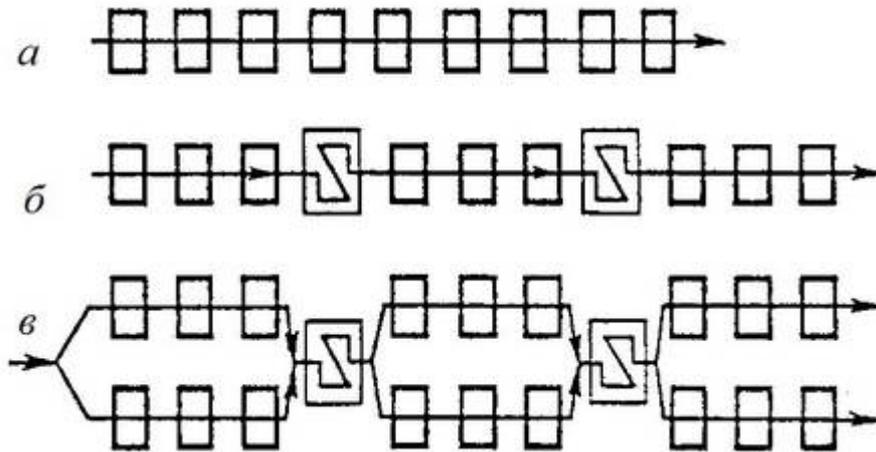


Рис. 34. Структурные варианты автоматических линий:
a – однопоточная линия с жесткой межагрегатной связью;
б – однопоточная линия, разделенная на участки-секции;
в – многопоточная линия, разделенная на участки

Деление на участки и установка накопителей позволяют локализовать влияние отказов. Для простоты примем, что все станки имеют одинаковый цикл T и одинаковый уровень надежности. Тогда будет меняться только $\eta_{\text{техн}}$:

$$\eta_{\text{техн}} = \frac{1}{1 + B \frac{1}{n_y}}.$$

Однако не всегда возможна полная компенсация потерь (не хватает емкости накопителей), тогда

$$\eta_{\text{техн}} = \frac{1}{1 + B \frac{1}{n_y} W},$$

где W – коэффициент возрастания внецикловых потерь из-за неполной компенсации простоев накопителями, $W = 1,15 \dots 1,2$.

Окончательно

$$Q_{\Phi} = \frac{m \gamma \eta_{\text{техн}}}{\frac{t_{\text{po}}}{q} + t_x + \frac{\sum C_i + t_e q}{n_y} W}. \quad (53)$$

3.6.5. Баланс производительности

Для удобства наглядного представления фондов времени и различных простоев Г. А. Шаумян предложил использовать баланс производительности.

Баланс производительности – графическая схема, отражающая простои рабочей машины и их удельный вес.

Типовой баланс производительности автоматической машины представлен на рис. 35.

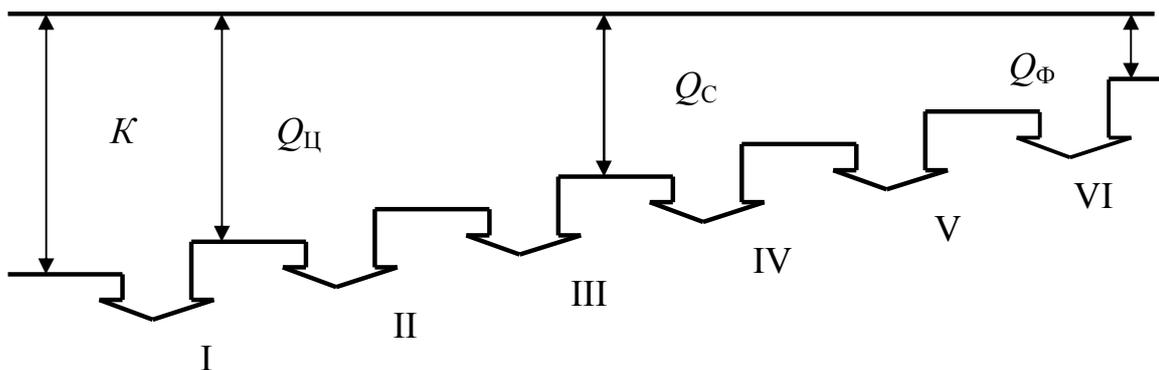


Рис. 35. Баланс производительности станка:

I – цикловые потери (на холостые хода); II – отказы режущего инструмента; III – отказы механизмов машин; IV – организационные простои; V – потери от брака; VI – потери на переналадку

Баланс производительности – очень мощный инструмент теории производительности машин, позволяющий выявить основные источники потерь времени в производстве для различных

форм его организации. Приведем расчет баланса производительности использования станков с ЧПУ в следующих условиях его эксплуатации:

- автономное использование станка в одну смену;
- автономное использование станка в две смены;
- использование станка в составе ГПС в режиме «безлюдной» технологии круглогодично и круглосуточно без выходных и праздничных дней по 22 часа в сутки (2 часа в сутки – плановая профилактика и подготовка к работе).

В табл. 6 приведены исходные данные для расчета (данные хронометража).

Таблица 6

Исходные данные для расчета

1. Организационные потери (в %)			2. Собственные потери (в %)		
Элементы потерь времени	Автономные ОЦ	ГПС	Элементы потерь времени	Автономные ОЦ	ГПС
– нет заготовок в цехе	5	2	– устранение отказов режущего инструмента	1,4	0,7
– нет заготовок у станка	15	0	– устранение отказов механизмов	0,2	0,1
– нет УП	2	0	– устранение отказов систем управления	0,9	1,5
– нет оператора	5	1	– подготовка оборудования к работе	1,1	0
– нет режущего инструмента	4	0	– уборка и очистка	1,2	0
– нет наладчика	4	2	– профилактические осмотры	1,2	0
– нет ремонтника	3	5			
– нет энергии (любой)	0	0			
3. Потери на переналадку (в %)			4. Характеристика комплекта		
Элементы потерь времени	Автономные ОЦ	ГПС	Элементы времени цикла обработки	Автономные ОЦ	ГПС
– замена приспособления	3	0	– среднее время обработки 1 перехода, ч	0,04	0,04
– замена комплекта инструмента	2	1	– среднее число переходов на 1 деталь, шт.	15	15
– замена УП	0,5	0			

– обработка пробной детали, подналадка	7,2	7,2	– время смены заготовки, ч	0,06	0,003
			– время смены координаты, ч	0,01	0,01
			– время смены инструмента, ч	0,03	0,03
			– среднее число инструментов на 1 деталь, шт.	6	6
			– коэффициент выхода годной продукции γ , %	95	98

На рис. 36 в виде столбиковой диаграммы приведены результаты расчета.

Баланс производительности

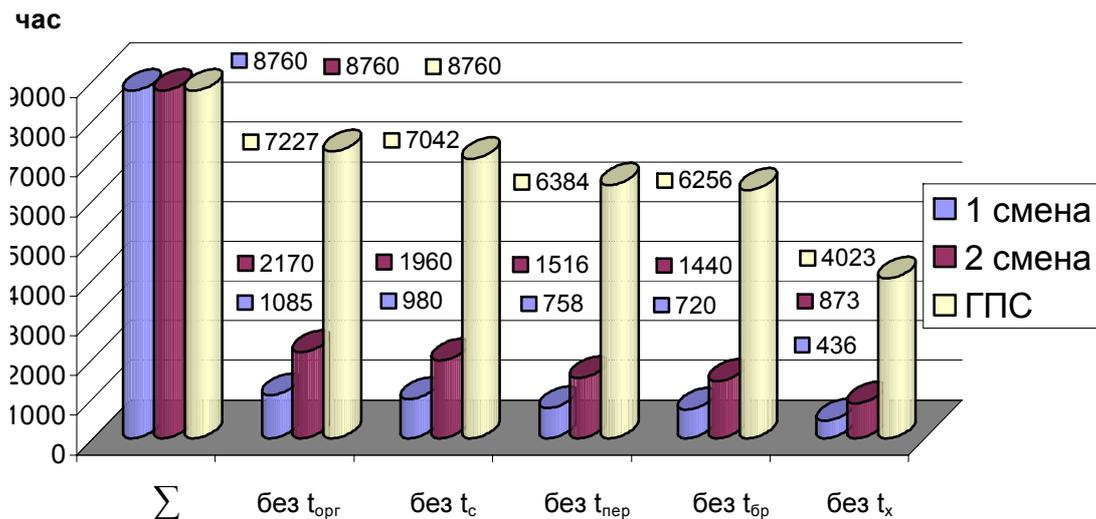


Рис. 36. Баланс производительности ОЦ при различных вариантах его использования

Видно, что основной резерв производительности ГПС не в повышении единичной мощности оборудования, а в **значительно лучшем использовании фонда рабочего времени** (примерно в 10 раз по сравнению с односменным режимом).

Баланс производительности позволяет оценить и возможные источники лучшего использования рабочего времени при использовании современных средств автоматизации. Так на рис. 37 показаны затраты составляющих календарного фонда времени в

серийном производстве при внедрении ГПС и видны значительные резервы повышения эффективности общественно полезного труда.

Вывод: Полное использование фонда времени станка и сокращение производственного цикла – основные источники повышения эффективности производства в серийном машиностроении.

Этот вывод еще раз подтверждает справедливость первого постулата ТПМ (см. стр. 44), который говорит о том, что полезно затраченным временем можно считать только время, затраченное на основные процессы. Все остальные затраты времени являются потерями и их надо всемерно сокращать.

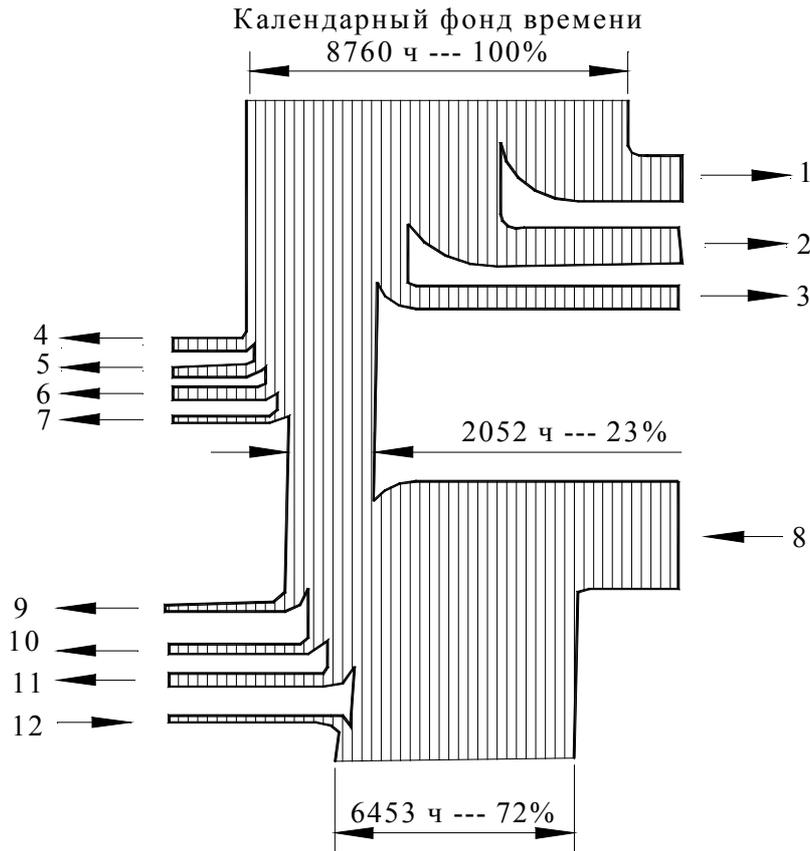


Рис. 37. Диаграмма затрат составляющих календарного фонда времени в серийном производстве:

- 1 – выходные и праздничные дни (2 646 ч); 2 – третья смена (1936 ч); 3 – отпуска и болезни (864 ч); 4 – профилактическое обслуживание и ремонт (292 ч); 5 – простои по организационным причинам (400 ч); 6 – затраты времени на переналадки (350 ч); 7 – простои на восстановление работоспособности (220 ч); 8 – работа в «безлюдном» режиме (5014 ч); 9 – дополнительное профилактическое обслуживание и ремонт (308 ч); 10 – дополнительные затраты времени на переналадки (175 ч); 11 – дополнительные простои на восстановление работоспособности (330 ч); 12 – сокращение простоев по организационным причинам (200 ч)

3.7. Оценка целесообразности создания ГПС (с АСУ ТП)

В данном разделе рассмотрим одно из практических применений ТПМ для конкретной задачи: оценка целесообразности

развертывания работ по созданию в конкретных производственных условиях ГПС.

3.7.1. Теоретические положения

Оценку целесообразности создания ГПС будем давать из результатов укрупненного сравнения двух вариантов:

1. Автономно работающее оборудование на уровне лучших образцов, пригодное в качестве базового (для встраивания в ГПС).

2. Созданная на базе этого оборудования ГПС.

Технические и экономические показатели варианта 1 можно получить достаточно достоверно. Производительность, качество продукции ГПС можно оценить только ориентировочно, стоимость технических средств АСУ ТП тоже, поэтому расчеты носят приближенный характер.

Основной источник эффекта:

- в дискретном производстве – повышение производительности;

- непрерывном производстве – повышение качества (сортности) продукции.

И то, и другое можно оценить в рублях и употреблять общий термин «увеличение выпуска продукции» (в ф раз). Мы будем рассматривать методику для дискретного производства.

Так как сокращение затрат живого труда в ГПС носит второстепенный характер (увеличивается число программистов, наладчиков, электриков, очень большие основные фонды), то целесообразность развертывания работ по созданию ГПС оценивают укрупненно сравнением ожидаемых капитальных затрат на АСУ ТП с допустимыми, при разных вариантах производства с одинаковой программой $Q_{тр}$.

Базовый вариант.

Стоимость базового технологического оборудования K .

Производительность единицы оборудования Q .

Число станков $m = Q_{тр} / Q$.

Проектный вариант.

Требует дополнительных капитальных затрат:

а) на модернизацию основного и вспомогательного оборудования (можно выразить в долях к стоимости базового оборудования) χ ;

б) на создание комплекса технических средств АСУ ТП $K_{АСУ}$.

Ожидается рост выпуска в Φ_{21} раз. Тогда стоимость основного и вспомогательного оборудования во втором варианте

$$K_2 = K(1 + \chi) \frac{Q_{\text{тр}}}{Q\Phi_{21}}. \quad (54)$$

Общая стоимость ГПС: $K_2 + K_{АСУ}$.

Тогда максимально допустимая стоимость комплекса технических средств $K_{АСУ \text{ max}}$:

$$K_{АСУ \text{ max}} = K \frac{Q_{\text{тр}}}{Q} \left(1 - \frac{1 + \chi}{\Phi_{21}} \right). \quad (55)$$

Сравниваем с ожидаемыми затратами:

- если $K_{АСУ \text{ max}} > K_{АСУi}$ – создание ГПС (i -вариант) целесообразно;

- если $K_{АСУ \text{ max}} < K_{АСУi}$ – создание ГПС нецелесообразно.

То есть в конкретных производственных условиях ГПС не даст эффекта по сравнению с автономно работающим оборудованием (велика стоимость вычислительной техники, низок потенциал повышения производительности оборудования, недостаточна производственная программа и т. д.). *Основная трудность* в этой методике – прогнозирование $K_{АСУ}$, χ , Q , Φ_{21} . Чтобы повысить достоверность, применяют поэлементный расчет. Методику такого расчета покажем на примере.

3.7.2. Пример оценки целесообразности создания ГПС

Допустим поставлена следующая задача. Рассмотреть целесообразность создания ГПС для мехобработки корпусных деталей в условиях серийного производства на базе ОЦ с ЧПУ.

1 этап. Сбор и систематизация исходных данных. Получены следующие данные:

- стоимость единицы оборудования 120 тыс. у.е.;
- программа выпуска $Q_{\text{тр}} = 130$ шт./смену;
- характеристика продукции 10 наименований;
- годовой фонд зарплаты, нормы обслуживания и пр.

2 этап. Исследование технических характеристик базового оборудования при автономной эксплуатации. Рассчитываются или измеряются следующие величины:

- среднее время одного перехода $t_{\text{cp}} = 0,9$ мин;
- среднее число переходов на одну деталь $S = 13$.

Отсюда

$$t_p = t_{\text{cp}} S = 0,9 \cdot 13 = 11,7 \text{ мин.}$$

Аналогично:

- среднее число инструментов на одну деталь $A = 9$ шт.;
- среднее время загрузки-разгрузки $t_{x1} = 2$ мин;
- изменения координаты $t_{x2} = 0,2$ мин;
- смены инструмента $t_{x3} = 0,25$ мин.

Среднее время обработки одной детали комплекта, закрепленного за участком:

$$T = 11,7 + 2,0 + 0,2 \cdot 13 + 0,25 \cdot 9 = 11,7 + 6,8 = 18,5 \text{ мин.}$$

3 этап. Исследование работоспособности базового оборудования. Используют хронометраж простоев с их разбивкой по всем причинам. Соответственно сгруппировав простои можно рассчитать $\sum t_c$, $\sum t_{\text{пер}}$.

4 этап. Исследование производственных условий. Аналогично этапу 3.

Хронометраж показал следующие результаты:

- Θ_p - 65 %;
- $\sum \Theta_c$ - 12,5 %;
- $\sum \Theta_{\text{орг}}$ - 16,8 %;
- отсутствие заготовок - 10,8 %;
- отсутствие оператора - 5,2 %;

$\Sigma\Theta_{\text{пер}}$	- 5,7 %;
- замена наладки	- 2,9 %;
- пробная обработка	- 2,8 %.
Выход годных деталей	- $\gamma = 0,98$.

Тогда

$$\Sigma t_c = \Sigma\Theta_c / \Theta_p T = 12,5 / 65 \cdot 18,5 = 3,6 \text{ мин/шт.};$$

$$\Sigma t_{\text{орг}} = 4,8 \text{ мин/шт.}; \Sigma t_{\text{пер}} = 1,6 \text{ мин/шт.}$$

Средний размер партии $Z = 70$ шт.

5 этап. Расчет производительности базового оборудования.

$$Q = \frac{\Phi_{\text{см}} m \eta_{\text{исп}} \gamma}{T} = \frac{480 \cdot 1 \cdot 0,65}{18,5} \cdot 0,98 = 16,6 \text{ шт./смену.}$$

Необходимое количество оборудования

$$m = Q_{\text{тр}} / Q = 130 / 16,6 \approx 8 \text{ шт.}$$

6 этап. Формирование вариантов построения ГПС. Планируя разный набор функций АСУ ТП, мы будем иметь и разные по стоимости и производительности варианты ГПС.

В табл. 4 показаны функции АСУ ТП и их влияние на капитальные затраты K и изменение производительности Q .

Примем следующий вариант: автоматизация транспортировки (на приспособлениях-спутниках), складирования, накопления, загрузки-разгрузки, учет работы станков и оптимизационное планирование загрузки оборудования.

7 этап. Анализ возможного улучшения рабочих параметров оборудования в составе ГПС. Каждая функция АСУ – узкоспециализированная с точки зрения производительности и качества, позволяет либо интенсифицировать ТП, либо повысить быстродействие механизмов, либо сократить простои.

Аналізу подвергаются все элементы Q и определяются коэффициенты β_i возможного изменения соответствующего элемента. В табл. 7 даны параметры варианта 1 (данные хронометража) и предполагаемые значения параметров варианта 2 при автоматизации выбранных нами функций АСУ ТП. Соответственно рассчитаны коэффициенты β_i .

$$\text{Тогда } \beta_{\text{орг}} = 16,8 / 7 = 2,4; \beta_{\text{пер}} = 5,7 / (1,9 + 2,8) = 1,2.$$

Параметры γ , Σt_c , t_p не изменились.

8 этап. Расчет ожидаемого увеличения выпуска продукции каждой единицей оборудования в составе ГПС.

$$\varphi_{21} = \frac{Q_2}{Q} = \frac{1}{16,6} \cdot \frac{480 \cdot 1 \cdot 0,98}{11,7 + (0,2 + 0,1 \cdot 13 + 0,25 \cdot 9) + 3,6 + \frac{4,8}{2,4} + \frac{1,6}{1,2}} = 1,27.$$

То есть, несмотря на разнообразие автоматизируемых функций, производительность увеличится только на 27 %.

Таблица 7

Значения коэффициентов β_i

Составляющая	Вар. 1	Вар. 2	β	Примечание
t_{x1}	2,0	0,2	10	автоматическая загрузка
t_{x2}	0,2	0,1	2	совмещение движения шпиндельной бабки и стола станка
нет заготовок	10,8	3,6	3	улучшение планирования, учет простоев
нет оператора	5,2	2,6	2	учет простоев
наладка	2,9	1,9	1,2	подбор однотипных деталей

9 этап. Расчет ожидаемых затрат на создание ГПС.

По экспертным оценкам ожидаемые затраты на техническое обеспечение выбранных нами функций АСУ ТП составят $K_{АСУ} = 300\ 000$ у.е., а ожидаемые затраты на модернизацию основного оборудования для встраивания в ГПС составят на один станок – 11 000 у.е., тогда

$$\chi = 11\ 000 / 120\ 000 = 0,09 = 9 \%$$

10 этап. Расчет допустимых затрат и общая оценка.

$$K_{АСУ \max} = K \frac{Q_{тр}}{Q} \left(1 - \frac{1 + \chi}{\varphi_{21}} \right) = 120000 \cdot \frac{130}{16,6} \cdot \left(1 - \frac{1,09}{1,27} \right) = 133\ 000 \text{ у.е.}$$

Так как $133\ 000 \text{ у.е.} < 300\ 000 \text{ у.е.}$, то создание ГПС нецелесообразно. Очевидно, экономия фонда зарплаты, которую мы не учитывали, не исправит общую оценку. Производственная программа недостаточна, а дополнительные затраты очень большие.

Можно определить требуемую производственную программу, чтобы внедрение ГПС стало эффективно:

$$Q_{\text{тр}} = \frac{K_{\text{АСУ}}}{K} \cdot \frac{Q\phi_{21}}{\phi_{21} - (1 + \chi)} = \frac{300\,000}{120\,000} \cdot \frac{16,6 \cdot 1,27}{1,27 - 1,09} = 293 \text{ шт./смену.}$$

То есть в два раза больше, значит в ГПС будет около 16 станков, но это решение требует дополнительных расчетов. Можно рекомендовать эффективнее использовать машинное время, тогда часть $K_{\text{АСУ}}$ перейдет на другие задачи.

3.8. Основы оптимального проектирования автоматических систем машин

3.8.1. Теоретические положения

Оптимальный проект – проект, который позволит обеспечить выпуск продукции заданного качества с требуемой производительностью при наименьших экономических затратах.

Процесс создания оптимальных проектов предполагает:

- а) оптимальную последовательность проектных процедур;
- б) методы принятия оптимальных решений на каждом этапе.

Обычно наиболее оправдана следующая последовательность проектных процедур:

- А. Формулировка проектной задачи.
- Б. Разработка ТП по критерию качества изделий.
- В. Схемная проработка проекта (принципиальная схема, компоновка, схема управления и т. д.).
- Г. Конструктивная проработка всех компонентов системы.
- Д. Оценка разработанного проекта.

Для простых или типовых систем указанная последовательность позволяет получить при наличии инженерного опыта решения, близкие к оптимальным, сравнительно просто, с использованием несложных вычислений. По мере усложнения объекта все большую роль начинают играть современные методы оптимального проектирования, основанные на специальном методологическом и математическом аппарате и использовании вычислительной техники.

Наиболее сложные и ответственные с точки зрения оптимальности – ранние этапы. На этих этапах формируется значи-

тельное число вариантов, эффект (или потери) может измеряться сотнями процентов. Поэтому мы подробнее рассмотрим этап *B*.

Пользуясь терминами теории оптимального проектирования, введем следующие основные категории:

- **целевая функция** – величина, для которой в результате должны быть получены оптимальные или граничные значения (например, минимум приведенных затрат);

- **управляющие переменные** – параметры проектируемой системы машин, которые и являются предметом расчета, то есть оптимизации (режимы, q , P , n_y);

- **управляемые переменные** – частные функции управляющих переменных, ограничения (программа выпуска, ограничения по массе или габаритам и т. д.);

- **константы проектирования** – постоянные для данных условий величины (средняя зарплата, время срабатывания механизмов, ожидаемые показатели надежности).

На любом этапе процесс оптимизации включает в себя:

1. Формирование совокупности технически возможных и целесообразных проектных вариантов.

2. Выбор оптимального варианта (вариантов) по заданной целевой функции.

Подзадача 1 носит расчетный характер, подзадача 2 – экспертный. Для второй стадии необходимо иметь математические модели взаимосвязи управляющих переменных с целевой функцией и ограничениями. Процесс выбора, как правило, носит пошаговый характер с постепенным сужением по принятым критериям числа рассматриваемых конкретных вариантов объекта.

Общая методика выполнения подзадачи 1 следующая:

- выявление управляющих переменных с учетом требований, сформулированных в заявке на проектирование;

- оценка числа значений каждой управляющей переменной;

- формирование общего числа вариантов (перебор всех комбинаций);

- отсев инженерно невозможных или нецелесообразных вариантов.

Процесс решения подзадачи 2 обычно носит пошаговый характер, с постепенным сужением числа вариантов. Например, при проектировании жестких АЛ отбор производится в следующем порядке: по виду транспортной системы; по структурным характеристикам; по производительности; по приведенным затратам; по неформальным критериям. Следует особо отметить, что поскольку расчеты носят приближенный характер, может оказаться несколько близких вариантов (разброс в пределах 5 %) по минимуму приведенных затрат, поэтому появляется последний отбор по неформальным критериям (минимуму станков, производственной площади, удобству обслуживания, срокам поставки оборудования и т. д.).

Ниже более подробно рассмотрена методика проектирования оптимальных вариантов для ГПС.

В данной методике основным вариационным признаком АСУ ГПС является количество и номенклатура выполняемых функций управления. Для ГПС целесообразно рассматривать следующие функции автоматизированных систем управления:

- управление последовательностью работы основного технологического оборудования от ЭВМ. При этом могут быть повышены режимы обработки, то есть повышена технологическая производительность K , также уменьшены потери производительности из-за холостого хода ΔQ_I ;

- оптимальное регулирование процессов обработки. Учет нерегламентированных возмущающих воздействий позволяет повысить производительность K и снизить потери от брака ΔQ_V ;

- управление транспортно-складирующими системами. Позволяет снизить организационные потери ΔQ_{IV} из-за отсутствия заготовок у станка;

- управление механизмами автоматической загрузки. Снижает время холостых ходов на загрузку-разгрузку станков ΔQ_I ;

- управление инструнтообеспечением. Позволяет сократить организационные потери ΔQ_{IV} , связанные с отсутствием инструмента на позициях обработки;

- функциональная диагностика оборудования. Контроль за состоянием оборудования, систем управления и т. д. позволяет

сократить потери из-за надежности ΔQ_{III} , а также потери производительности из-за брака ΔQ_V ;

- статистическая диагностика работоспособности и использования машин. Учет и анализ работы оборудования в первую очередь позволяет сократить организационные потери ΔQ_{IV} ;

- оперативное планирование загрузки оборудования. Позволяет существенно сократить такие виды простоев, как отсутствие заготовок, неравномерная загрузка оборудования (организационные потери ΔQ_{IV}), а также ускорить переналадку (ΔQ_{VI}) за счет порядка запуска деталей;

- оперативный учет выпуска и качества продукции. Повышение оперативности управления в первую очередь уменьшает организационные потери ΔQ_{IV} ;

- автоматизация подготовки управляющих программ. Своевременное отсутствие управляющих программ может привести к росту организационных потерь ΔQ_{IV} ;

- автоматизация контроля и корректировки управляющих программ. В первую очередь автоматизация данной функции позволяет сократить потери по браку ΔQ_V ;

- хранение управляющих программ в памяти ЭВМ. Позволяет сократить время на переналадку оборудования ΔQ_{VI} ;

- оперативное управление ремонтной службой. Повышается качество ремонтной службой и, в конечном итоге, уменьшаются потери по надежности ΔQ_{III} .

Таким образом, каждая функция АСУ является достаточно узкоспециализированной и позволяет сократить те или иные потери производительности или повысить качество поверхности. Очевидно, эффективность автоматизации конкретных функций в большой степени определяется фактическим состоянием потерь производительности базового варианта.

В качестве сопоставимого (базового) рассматривается вариант автономно работающих обрабатывающих центров (ОЦ), пригодных для встраивания в ГПС.

В предлагаемой методике основным вариационным параметром является номенклатура функций АСУ ТП, которая однозначно определяет и состав вспомогательного оборудования. Из

функций АСУ отбираются те, которые могут быть реализованы в данных конкретных условиях. Затем выявляются перспективные функции, которые могут дать существенный рост производительности или сокращение обслуживающего персонала.

В табл. 8 показано влияние автоматизации функций ГПС.

Таблица 8

Влияние автоматизации функций ГПС

Функции интегрированных АСУ для ГПС	Влияние	Дополнительные затраты на $K_{АСУ}$, тыс. у.е.
Управление последовательностью работы основного оборудования	$K \uparrow, \Delta Q_{IV} \downarrow$	–
Оптимальное регулирование процессов обработки	$K \uparrow, \Delta Q_{II} \downarrow$	–
Управление транспортно-складирующими системами	$\Delta Q_{IV} \downarrow$	50
Управление механизмами автоматической загрузки-выгрузки	$\Delta Q_I \downarrow$	35
Управление инструментообеспечением	$\Delta Q_{IV} \downarrow$	40
Функциональная диагностика	$\Delta Q_{III} \downarrow, \Delta Q \downarrow$	50
Статистическая диагностика	$\Delta Q_{IV} \downarrow$	35
Оперативное планирование загрузки оборудования	$\Delta Q_{IV} \downarrow, \Delta Q_{VI} \downarrow$	30
Оперативный учет выпуска и качества продукции	$\Delta Q_{IV} \downarrow$	45
Подготовка управляющих программ	$\Delta Q_{IV} \downarrow, \Delta Q_V \downarrow$	60
Хранение управляющих программ в памяти ЭВМ	$\Delta Q_{VI} \downarrow$	–
Оперативное управление ремонтно-эксплуатационной службой	$\Delta Q_{III} \downarrow, \Delta Q_{IV} \downarrow$	45

Эксплуатационные исследования работоспособности базового оборудования проводятся с целью количественной оценки его функционирования, расчета технологической производительности K , цикловой $Q_{ц}$ и фактической $Q_{ф}$ производительности, а

также всех видов потерь производительности. Основным инструментом выполнения данной работы является хронометраж работы. Произведя соответствующие расчеты для различных видов потерь, можно определить приближенно наиболее перспективные функции для автоматизации. Следует отметить, что некоторые функции АСУ при создании ГПС во многих случаях являются безусловными. К ним относятся для дискретных процессов функции автоматического управления последовательностью работы основного технологического оборудования, хранение управляющих программ в памяти ЭВМ, а также автоматического регулирования процессов обработки, которые являются главным содержанием процесса автоматизации.

Наиболее ответственным и слабо формализованным является этап оценки ожидаемого роста производительности оборудования из-за автоматизации выбранного набора функций. Следует отметить, что никакая автоматизация не может снизить конкретный вид потерь до нуля. Для некоторых видов потерь коэффициент сокращения β_i может быть рассчитан достаточно точно (время загрузки-разгрузки), чаще используют экспертные оценки. Для приближенных оценок при отсутствии других соображений можно рекомендовать двухкратное сокращение конкретного вида потерь при автоматизации.

Для получения оптимального варианта автоматизации ГПС формируется совокупность возможных вариантов методом перебора состава функций. Следует учитывать, что таких вариантов может быть очень много, поэтому следует критически подходить к отбору перспективных функций АСУ.

3.8.2. Пример выбора оптимального уровня автоматизации ГПС

3.8.2.1. Формирование совокупности технически целесообразных вариантов построения ГПС

Рассмотрим методику по этапам на конкретном примере.

1. Отбор и систематизация исходных данных:

- по производственной программе $Q_{\text{тр}}$ и ее изменениям;
- стоимости единицы базового технологического оборудования K ;
- зарплате Z и численности работников;
- характеристикам выпускаемой продукции.

Исходные данные:

- сменная программа выпуска $Q_{\text{тр}} = 220$ шт./смену (с возможной перегрузкой);
- средняя стоимость одного ОЦ $K = 120\,000$ у.е.;
- норма обслуживания оператора (месячная зарплата 140 у.е.) – 1 станок, наладчика (180 у.е.) – 6 станков, подсобных рабочих (120 у.е.) – 5 станков;
- стоимость одной заготовки $M_1 = 3,5$ у.е.;
- режим работы – 2 смены;
- комплект изделий включает 10 наименований.

2. Составление перечня реализуемых функций АСУ ТП и первичный отбор. Автоматизация известных функций ГПС влияет на изменение капитальных затрат и производительность. Число возможных сочетаний составляет несколько тысяч. Для снижения размерности необходимо отобрать возможные технологические и организационные функции.

3. Исследование технических характеристик базового оборудования при независимой эксплуатации. Оно выполняется с целью расчета цикловой производительности.

Для нашего примера на основе эксплуатационных исследований базового оборудования получены следующие данные: $t_{\text{ср}} = 0,5$ мин; $S = 15$; $t_{x1} = 3,8$ мин; $t_{x2} = 0,25$ мин; $t_{x3} = 0,25$ мин; $A = 6$ шт.

Тогда

$$T = 0,5 \cdot 15 + 3,8 + 0,25 \cdot 15 + 0,25 \cdot 15 = 16,6 \text{ мин.}$$

4. Исследование работоспособности базового оборудования. Его выполняют с использованием хронометража всех видов простоев, связанных с собственной надежностью оборудования и переналадками. Затем рассчитывают соответствующие величины внецикловых потерь.

5. Исследование производственных условий эксплуатации.
Выполняется аналогично этапу 4, но фиксируются простои по организационным причинам.

В результате выполнения этапов 4 и 5 получен следующий баланс затрат планового фонда времени (в процентах):

Работа (включая рабочие и холостые ходы) θ_p	54,8
Простои по технологическим причинам $\Sigma\theta_c$:	6,4
- аварийная замена инструмента	0,8
- регулировка инструмента	0,6
- устранение отказов механизмов	0,2
- устранение отказов систем управления	0,9
- подготовка оборудования к работе	1,1
- уборка и очистка	1,2
- профилактические осмотры	1,2
Организационные простои $\Sigma\theta_{орг}$ из-за отсутствия:	26,1
- заготовок в цехе	4,4
- заготовок у станков	12,0
- управляющих программ	1,5
- оператора	6,8
- наладчика	1,1
- ремонтников	0,2
- инструмента	0,1
- энергии	—
Простои для переналадки $\Sigma\theta_{пер}$:	12,7
- замена и выверка приспособлений	3,0
- замена комплекта инструментов	2,0
- замена управляющих программ	0,5
- кинематическая настройка	—
- обработка пробных деталей, подналадка	7,2
Всего простоев $\Sigma\theta_{п}$	45,2
Выход годных изделий γ	0,95
Среднее время на переналадку $\theta_{пер}$	132 мин
Средний размер партии z	35

шт.

Тогда

$$\Sigma t_c = \frac{\Sigma \theta_c}{\theta_p} T = \frac{6,4}{54,8} \cdot 16,6 = 2,0 \text{ мин/шт.}$$

Аналогично

$$\Sigma t_{\text{орг}} = 8,2 \text{ мин/шт.}, \Sigma t_{\text{пер}} = 3,9 \text{ мин/шт.}$$

6. Расчет производительности базового технологического оборудования при автономной эксплуатации. Приблизительно базовую производительность можно определить:

$$Q_b = \frac{\Theta p \gamma}{T} \eta_{\text{ис}} = \frac{480 \cdot 1 \cdot 0,95}{16,6} \cdot 0,548 = 15 \text{ шт./смену.}$$

7. Анализ возможностей улучшения параметров работы оборудования при его модернизации и встраивании в ГПС. Он проводится путем совместного анализа результатов этапов 4 и 5 и состава возможных функций АСУ ТП. Каждая из функций как-то влияет на повышение качества изделий либо на изменение составляющих формулы производительности. Необходимо оценить для каждого элемента затрат времени коэффициенты их возможного сокращения β_i при введении тех или иных функций АСУ ТП.

Результаты анализа с указанием основных резервов повышения производительности и качества представлены в табл. 9.

Таблица 9

Расчет коэффициентов сокращения

Элементы временных затрат	Значение элемента для вариантов		β_i	Функция АСУ ТП, обеспечивающая сокращение временных затрат
	автономные ОЦ	ГПС		
t_{x1}	3,8 мин	0,2 мин	19	Автоматизация загрузки
t_{x2}	0,25 мин	0,125 мин	2	Управление рабочим циклом позволит совместить отвод-подвод инструмента
Простои из-за отсутствия: заготовок у станка	12 %	0 %	–	Оптимизационное планирование
заготовок	4,4 %	2,2 %	2	Учет времени работы

в цехе				и простоев
оператора	6,8 %	3,4 %	2	
УП	1,5 %	0 %	–	Хранение УП в памяти ЭВМ
Замена приспособлений	3 %	0 %	–	Автоматизация транспортирования, стандартные поддоны
Замена комплектов инструмента	2 %	1,33 %	1,5	Планирование, подбор номенклатуры
γ	0,95	0,98	–	Уменьшение погрешности воспроизведения УП

8. Отбор перспективных функций АСУ. Перспективными считаются те функции, которые в данных производственных условиях могут ощутимо повысить производительность (не менее $\Delta Q = 2 \div 3 \%$), улучшить качество изделий ($\gamma_i > \gamma_6$). Стоимость такой автоматизации может оказаться очень высокой, а достигнутый экономический эффект или улучшение условий труда сомнительными. Например, при надежной работе оборудования функциональная диагностика может оказаться неэффективной.

Из анализа проведенного хронометража рабочего времени для нашего примера такими перспективными функциями АСУ ТП, существенно сокращающими потери времени, являются (с учетом сокращения числа рабочих):

- управление рабочим циклом основного технологического оборудования («управление циклом»);
- управление работой транспортно-складирующего оборудования («транспортировка»);
- управление работой механизмов автоматической замены («загрузка»);
- оперативное планирование загрузки станков («планирование»);
- учет работы и простоев оборудования («учет работы»);
- хранение УП в памяти ЭВМ («хранение программ»).

9. Формирование совокупности технически целесообразных вариантов построения ГПС. Окончательно формирование возможных вариантов построения ГПС производится путем комбинирования перспективных функций АСУ. Состав функций каж-

ного варианта определяет и состав вспомогательного оборудования.

При формировании вариантов примем, что функции 1 и 6 необходимы для всех вариантов, остальные функции могут присутствовать в различных сочетаниях. То есть можно сформировать 16 технически целесообразных вариантов построения ГПС (табл. 10).

Таблица 10

Характеристика вариантов ГПС

Номер варианта	Функции АСУ ТП	Производительность				Затраты			
		T , мин	$\Sigma t_{\text{орг}}$, мин/шт.	$\Sigma t_{\text{пер}}$, мин/шт.	φ_i	$K_{\text{АСУ}}$, тыс. у.е.	ζ	ε	φ_{min}
1	1, 6	14,7	7,7	3,7	1,13	800	–	0,78	1,42
2	1, 2, 6	14,7	7,7	2,9	1,18	850	0,05	0,81	1,54
3	1, 3, 6	11,1	7,7	3,7	1,30	835	0,08	1,53	1,5
4	1, 4, 6	14,7	3,9	3,5	1,33	830	–	0,78	1,51
5	1, 5, 6	14,7	6,0	3,7	1,21	845	–	0,78	1,51
6	1, 2, 3, 6	11,1	7,7	2,9	1,33	885	0,13	1,65	1,54
7	1, 2, 4, 6	14,7	3,9	2,6	1,38	880	0,05	0,81	1,55
8	1, 2, 5, 6	14,7	6,0	2,9	1,38	880	0,05	0,81	1,55
9	1, 3, 4, 6	11,1	3,9	3,5	1,56	865	0,08	1,53	1,52
10	1, 3, 5, 6	11,1	6,0	3,7	1,4	880	0,08	1,53	1,52
11	1, 4, 5, 6	14,7	2,2	3,5	1,44	875	–	0,78	1,53
12	1, 2, 3, 4, 6	11,1	3,9	2,6	1,64	915	0,13	1,65	1,55
13	1, 2, 3, 5, 6	11,1	6,0	2,9	1,52	930	0,13	1,65	1,56
14	1, 2, 4, 5, 6	14,7	2,2	2,6	1,49	925	0,05	0,81	1,5
15	1, 3, 4, 5, 6	11,1	2,2	3,5	1,7	910	0,08	1,53	1,5
16	1, 2, 3, 4, 5, 6	11,1	2,2	2,6	1,76	960	0,13	1,65	1,56

3.8.2.2. Выбор оптимального варианта ГПС и оценка его перспективности для других условий производства

В теории производительности для сравнительной оценки вариантов систем машин используются технико-экономические допуски (по производительности, стоимости, удобству эксплуатации и пр.). Допуск рассчитывается, как правило, для параметра, в наибольшей степени обеспечивающего экономический эффект. Для дискретного производства необходимо рассчитать минимально допустимый рост производительности оборудования, который обеспечивается приближенным расчетом ввиду недостаточной достоверности исходных данных, поэтому для упрощения все текущие затраты (амортизационные отчисления, ремонт) по эксплуатации оборудования выражают в долях стоимости.

Продолжим рассмотренные методики по этапам.

10. Ожидаемый рост производительности ГПС. Расчет коэффициента φ_i определяется как соотношение производительности i -го варианта построения ГПС Q_i к базовой Q_6 :

$$\varphi_i = \frac{1}{Q_6} \cdot \frac{\Phi_{см} \gamma_i}{T + \sum t_c + \sum t_{орг} + \sum t_{пер}}. \quad (56)$$

Рассмотрим расчет для наиболее развитого 16 варианта (см. табл. 10). Время рабочего цикла:

$$T = 0,5 \cdot 15 + 0,2 + 0,125 \cdot 15 + 0,25 \cdot 6 = 11,1 \text{ мин.}$$

Потери по организационным причинам сократятся приблизительно пропорционально сокращению затрат фонда времени, то есть ожидаемое сокращение составит:

$$12 + 2,2 + 3,4 + 1,5 = 19,1 \text{ \%}.$$

Тогда коэффициент ожидаемого сокращения и потери соответственно:

$$\beta = \frac{26,1}{26,1 - 19,1} = 3,7 \text{ раз};$$

$$\Sigma t_{\text{орг}} = \frac{8,2}{3,7} = 2,2 \text{ шт./мин.}$$

Аналогично потери на переналадку:

$$\beta = \frac{12,7}{12,7 - (3,0 + 0,6 + 0,5)} = 1,5;$$

$$\Sigma t_{\text{пер}} = \frac{3,9}{1,5} = 2,6 \text{ мин/шт.}$$

Собственные потери не изменились $\Sigma t_c = 2$ мин/шт.

Тогда

$$\Phi_{16} = \frac{1}{15} \cdot \frac{480 \cdot 1 \cdot 0,98}{11,1 + 2,0 + 2,2 + 2,6} = 1,76.$$

В табл. 6 приведены результаты расчетов по остальным вариантам. Из таблицы видно, что рост производительности весьма различен – от 13 до 76 %. Характерно, что ни одна функция АСУ в отдельности не может дать такого эффекта.

11. Расчет ожидаемых затрат при создании ГПС с АСУ ТП. Выполняется путем суммирования затрат на модернизацию основного оборудования, создание вспомогательного оборудования. Расчет производится прямым методом. Ориентировочно стоимость отдельных функций АСУ можно оценить по затратам машинного времени на их выполнение.

Количество станков по базовому варианту легко определить:

$$m_6 = \frac{Q_{\text{тр}}}{Q_6} = \frac{220}{15} = 15 \text{ шт.}$$

Дополнительные затраты на модернизацию оборудования пропорциональны m , их целесообразно выразить через долю стоимости оборудования ζ_i . Так, примем, что ожидаемые затраты на автоматизацию функции «транспортирование» составят 6 000 у.е. на один станок, функции «загрузка» – 9 000 у.е.

Следовательно, для функций:

- «транспортировка» $\zeta = 6\,000 / 120\,000 = 0,05$;
- «загрузка» $\zeta = 0,08$;
- «транспортировка + загрузка» $\zeta = 0,13$.

Ожидаемый фонд зарплаты Z и степень его сокращения по уравнению с исходным вариантом ε рассчитывается исходя из норм обслуживания и среднего достигнутого уровня зарплаты по категориям.

Годовой фонд зарплаты по базовому варианту:

$$Z = 15 \cdot \left(\frac{140}{1} + \frac{180}{6} + \frac{120}{5} \right) \cdot 1,14 \cdot 12 \cdot 2 = 79\ 500 \text{ у.е.}$$

Сокращение фонда зарплаты можно определить из следующих соображений. Автоматизация загрузки позволит сократить число операторов до двух в смену, автоматизация транспортирования – вспомогательных рабочих до двух в смену.

Дополнительный фонд зарплаты работников по обслуживанию АСУ – 820 у.е. в месяц.

Например, для варианта 16 коэффициент сокращения (можно рассчитывать по месячному фонду зарплаты):

$$\varepsilon = \frac{15 \cdot \left(\frac{140}{1} + \frac{180}{6} + \frac{120}{5} \right)}{140 \cdot 2 + 180 \cdot 3 + 120 \cdot 2 + 820} = 1,56.$$

12. Расчет требований к технико-экономическим характеристикам ГПС. Он производится исходя из гарантированного обеспечения экономической эффективности ($\Xi \geq 0$) и сводится к определению Φ_{\min} , за счет которого возможна окупаемость затрат в нормальные сроки.

Используется формула

$$\Phi_{\min} = \frac{Km(1 + \zeta)\alpha + K_{\text{АСУ}}b + \frac{Z}{\varepsilon}}{Km\alpha + Z + (\gamma_i - \gamma_0)M_1Q_T}, \quad (57)$$

где α – коэффициент, учитывающий амортизационные отчисления, текущий ремонт, нормативный коэффициент окупаемости капвложений; $\alpha = 0,32 \dots 0,35$; b – коэффициент, включающий те же затраты для АСУ ТП; $b = 0,35 \dots 0,4$; $K_{\text{АСУ}}$ – ожидаемые дополнительные затраты на собственно АСУ ТП.

В рассматриваемом примере часть показателей постоянна, например:

$K = 12\ 0000$ у.е.; $m_6 = 15$ станков; $\alpha = 0,32$; $b = 0,4$; $Z = 79\ 500$ у.е.; $\gamma_i - \gamma_6 = 0,03$; $M_1 = 3,5$ у.е./шт.; $Q_T = 94\ 000$ шт./год, тогда

$$\Phi_{\min} = \frac{576 \cdot (1 + \zeta) + 0,4 \cdot K_{\text{АСУ}} + \frac{80}{\varepsilon}}{666}.$$

В табл. 10 приведены расчеты $K_{\text{АСУ}}$, ζ , ε , Φ_{\min} для каждого варианта.

13. Отбор экономически целесообразных вариантов. Производится путем сравнения ожидаемых параметров φ_i с требуемыми $\Phi_{\min i}$.

Экономически эффективны только те варианты, для которых

$$\varphi_i > \Phi_{\min i}. \quad (58)$$

По табл. 10 отбираем варианты 9, 12, 15, 16. Близки к требованию (58) варианты 13 и 14; они могут быть исследованы дополнительно.

14. Отбор рациональных вариантов из числа экономически эффективных. Формально можно для каждого варианта рассчитать предельные затраты Z_i и выбрать вариант с $Z_i \rightarrow \min$.

Но недостоверность исходных данных может внести ошибку в расчет. Поэтому целесообразнее из всех экономических вариантов выбрать группу вариантов с наилучшими показателями.

$$\Delta\varphi_i = (\varphi_i - \Phi_{\min i}) \rightarrow \max. \quad (59)$$

В группу отбираются варианты, у которых $\Delta\varphi_i$ достаточно близки (отличаются не более чем на 2-3 %).

Для исследуемых вариантов: $\Delta\varphi_9 = 0,04$; $\Delta\varphi_{12} = 0,09$; $\Delta\varphi_{15} = 0,17$; $\Delta\varphi_{16} = 0,20$.

Можно сразу выбрать оптимальный вариант – 16. Но если на этапе 14 будет отобрано несколько вариантов, то необходимо выполнить этап 15.

15. Выбор оптимального варианта построения ГПС. Окончательное решение принимается с учетом неформальных критериев (экспертные оценки, производственная площадь, число обслуживающих рабочих, сроки поставки и т. д.).

В нашем примере выбран вариант со следующими характеристиками:

- число станков, шт.		15
- число функций АСУ, шт.	6	
- дополнительные капвложения, у.е.	1	200
000		
- производительность, шт./смену	400	
- годовой фонд зарплаты, у.е.	48 000	

Рассмотренный пример показывает неправомерность выбора уровня автоматизации АСУ ТП, не подтвержденного расчетами

и не привязанного к конкретным типам изделий и условиям их производства.

3.9. Элементы теории надежности

3.9.1. Основные понятия

Термины и определения, используемые в теории надежности, регламентированы ГОСТ 27.002–89 «Надежность в технике. Термины и определения».

Надежность – свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени и в заданных пределах значения установленных эксплуатационных показателей.

Объект – техническое изделие определенного целевого назначения, рассматриваемое в периоды проектирования, производства, испытаний и эксплуатации.

Объектами могут быть различные системы и их элементы.

Элемент – простейшая составная часть изделия, в задачах надежности может состоять из многих деталей.

Система – совокупность совместно действующих элементов, предназначенная для самостоятельного выполнения заданных функций.

Понятия элемента и системы трансформируются в зависимости от поставленной задачи. Например, станок при установлении его собственной надежности рассматривается как система, состоящая из отдельных элементов – механизмов, деталей и т. п., а при изучении надежности технологической линии – как элемент.

Надежность объекта характеризуется следующими основными состояниями и событиями.

Исправность – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией (НТД).

Работоспособность – состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значения основных параметров, установленных НТД.

Основные параметры характеризуют функционирование объекта при выполнении поставленных задач.

Понятие «исправность» шире, чем понятие «работоспособность». Работоспособный объект обязан удовлетворять лишь тем требованиям НТД, выполнение которых обеспечивает нормальное применение объекта по назначению. Таким образом, если объект неработоспособен, то это свидетельствует о его неисправности. С другой стороны, если объект неисправен, то это не означает, что он неработоспособен.

Предельное состояние – состояние объекта, при котором его применение по назначению недопустимо или нецелесообразно.

Для некоторых объектов предельное состояние является последним в его функционировании, то есть объект снимается с эксплуатации, для других – определенной фазой в эксплуатационном графике, требующей проведения ремонтно-восстановительных работ.

В связи с этим, объекты могут быть:

- невозстанавливаемые, для которых работоспособность в случае возникновения отказа не подлежит восстановлению;
- восстанавливаемые, работоспособность которых может быть восстановлена, в том числе и путем замены.

К числу невосстанавливаемых объектов можно отнести, например, подшипники качения, полупроводниковые изделия, зубчатые колеса и т. п. Объекты, состоящие из многих элементов (например, станок, автомобиль, электронная аппаратура), являются восстанавливаемыми, поскольку их отказы связаны с повреждениями одного или немногих элементов, которые могут быть заменены.

В ряде случаев один и тот же объект в зависимости от особенностей, этапов эксплуатации или назначения может считаться восстанавливаемым или невосстанавливаемым.

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Критерий отказа – отличительный признак или совокупность признаков, согласно которым устанавливается факт возникновения отказа.

Классификация и характеристики отказов.

По типу отказы подразделяются:

- отказы функционирования (выполнение основных функций объектом прекращается, например поломка зубьев шестерни);
- отказы параметрические (некоторые параметры объекта изменяются в недопустимых пределах, например потеря точности станка).

По своей природе отказы могут быть:

- случайные, обусловленные непредусмотренными перегрузками, дефектами материала, ошибками персонала или сбоями системы управления и т. п.;
- систематические, обусловленные закономерными и неизбежными явлениями, вызывающими постепенное накопление повреждений: усталость, износ, старение, коррозия и т. п.

Основные признаки классификации отказов:

- характер возникновения;
- причина возникновения;
- характер устранения;
- последствия отказов;
- дальнейшее использование объекта;

- легкость обнаружения;
- время возникновения.

Рассмотрим подробнее каждый из классификационных признаков.

1. Характер возникновения:

- внезапный отказ – отказ, проявляющийся в резком (мгновенном) изменении характеристик объекта;
- постепенный отказ – отказ, происходящий в результате медленного, постепенного ухудшения качества объекта.

Внезапные отказы обычно проявляются в виде механических повреждений элементов (трещины – хрупкое разрушение, пробой изоляции, обрывы и т. п.) и не сопровождаются предварительными видимыми признаками их приближения. Внезапный отказ характеризуется независимостью момента наступления от времени предыдущей работы. Постепенные отказы связаны с износом деталей и старением материалов.

2. Причина возникновения:

- конструкционный отказ, вызванный недостатками и неудачной конструкцией объекта;
- производственный отказ, связанный с ошибками при изготовлении объекта по причине несовершенства или нарушения технологии;
- эксплуатационный отказ, вызванный нарушением правил эксплуатации.

3. Характер устранения:

- устойчивый отказ;
- перемежающийся отказ (возникающий/исчезающий).

4. Последствия отказа:

- легкий отказ (легкоустраняемый);
- средний отказ (не вызывающий отказы смежных узлов – вторичные отказы);
- тяжелый отказ (вызывающий вторичные отказы или приводящий к угрозе жизни и здоровью человека).

5. Дальнейшее использование объекта:

- полные отказы, исключаяющие возможность работы объекта до их устранения;

- частичные отказы, при которых объект может частично использоваться.

6. Легкость обнаружения:

- очевидные (явные) отказы;
- скрытые (неявные) отказы.

7. Время возникновения:

- приработочные отказы, возникающие в начальный период эксплуатации;
- отказы при нормальной эксплуатации;
- износные отказы, вызванные необратимыми процессами износа деталей, старения материалов и пр.

Составляющие надежности.

Надежность является комплексным свойством, включающим в себя в зависимости от назначения объекта или условий его эксплуатации ряд простых свойств:

- безотказность;
- долговечность;
- ремонтпригодность;
- сохраняемость.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторой наработки или в течение некоторого времени.

Наработка – продолжительность или объем работы объекта, измеряемая в любых неубывающих величинах (единица времени, число циклов нагружения, километры пробега и т. п.).

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

Ремонтпригодность – свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, поддержанию и восстановлению работоспособности путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

Сохраняемость – свойство объекта непрерывно сохранять требуемые эксплуатационные показатели в течение (и после) срока хранения и транспортирования.

В зависимости от объекта надежность может определяться всеми перечисленными свойствами или частью их. Например, надежность колеса зубчатой передачи, подшипников определяется их долговечностью, а станка – долговечностью, безотказностью и ремонтпригодностью.

Основные показатели надежности.

Показатель надежности количественно характеризует, в какой степени данному объекту присущи определенные свойства, обуславливающие надежность. Одни показатели надежности (например, технический ресурс, срок службы) могут иметь размерность, ряд других (например, вероятность безотказной работы, коэффициент готовности) являются безразмерными.

Рассмотрим составляющие показателя надежности – долговечность.

Технический ресурс – наработка объекта от начала его эксплуатации или возобновления эксплуатации после ремонта до наступления предельного состояния. Строго говоря, технический ресурс может быть регламентирован следующим образом: до среднего, капитального, от капитального до ближайшего среднего ремонта и т. п. Если регламентация отсутствует, то имеется в виду ресурс от начала эксплуатации до достижения предельного состояния после всех видов ремонтов.

Для невосстанавливаемых объектов понятия технического ресурса и наработки до отказа совпадают.

Назначенный ресурс – суммарная наработка объекта, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния.

Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации (в том числе, хранение, ремонт и т. п.) от ее начала до наступления предельного состояния.

На рис. 38 приведена графическая интерпретация перечисленных показателей, при этом: $t_0 = 0$ – начало эксплуатации; t_1, t_5 – моменты отключения по технологическим причинам; t_2, t_4, t_6, t_8 – моменты включения объекта; t_3, t_7 – моменты вывода объекта

в ремонт, соответственно средний и капитальный; t_9 – момент прекращения эксплуатации; t_{10} – момент отказа объекта.

Технический ресурс (наработка до отказа)

$$T_p = t_1 + (t_3 - t_2) + (t_5 - t_4) + (t_7 - t_6) + (t_{10} - t_8).$$

Назначенный ресурс

$$T_H = t_1 + (t_3 - t_2) + (t_5 - t_4) + (t_7 - t_6) + (t_9 - t_8).$$

Срок службы объекта

$$T_c = t_{10}.$$

Для большинства объектов машиностроения в качестве критерия долговечности чаще всего используется технический ресурс.

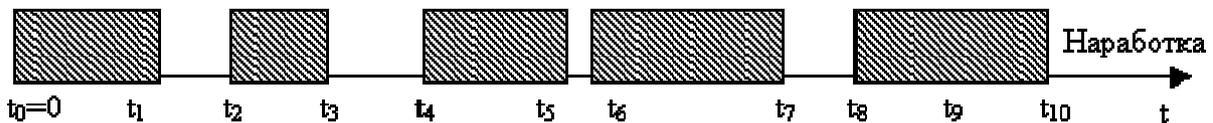


Рис. 38. Графическая интерпретация показателя долговечность

3.9.2. Методика расчета надежности систем

Технические системы с точки зрения теории надежности можно разделить на системы с резервированием и без резервирования, системы с восстанавливаемыми элементами и невосстанавливаемыми и т. д. Соответственно и методики их расчета различны. Здесь рассмотрим методику определения надежности систем с резервированием (нагруженный резерв), состоящую из невосстанавливаемых элементов.

Можно выделить несколько этапов.

Этап 1. Разделение рассматриваемой системы на элементы. Такое деление носит условный характер и определяется поставленной задачей. Если, например, мы рассматриваем автоматический регулятор как исследуемую систему, то можно выделить такие элементы, как элемент сравнения, усилитель, измерительное устройство, исполнительное устройство. В свою очередь, каждый из этих элементов можно разбить на более мелкие, например, электродвигатель, являющийся основой исполнительно-

го устройства, можно разделить на корпус, подшипниковый щит, статор, ротор, коробку выводов и пр. Будем считать критерием **разделение на минимальное число элементов при соблюдении следующих условий:**

1) элемент должен обладать самостоятельной характеристикой надежности, например, вероятностью безотказной работы;

2) эта характеристика должна быть доступной, то есть указываться в литературе, иначе надо разбивать на более мелкие элементы, характеристика которых может быть найдена или рассчитана.

Этап 2. Формулируется понятие отказа для отдельных элементов и системы в целом. То есть определяется, когда мы будем говорить о потере работоспособности элемента и системы. Понятия формулируются отдельно по внезапным и износным отказам.

Этап 3. Составляется логическая схема расчета надежности. В теории надежности используют несколько способов соединения элементов:

а) последовательное или основное. Используется в том случае, если отказ любого элемента приводит к отказу всей системы (рис. 39, *а*);

б) параллельное соединение (резервирование). Различают нагруженный (рис. 39, *б*) и ненагруженный (рис. 39, *в*) резервы.

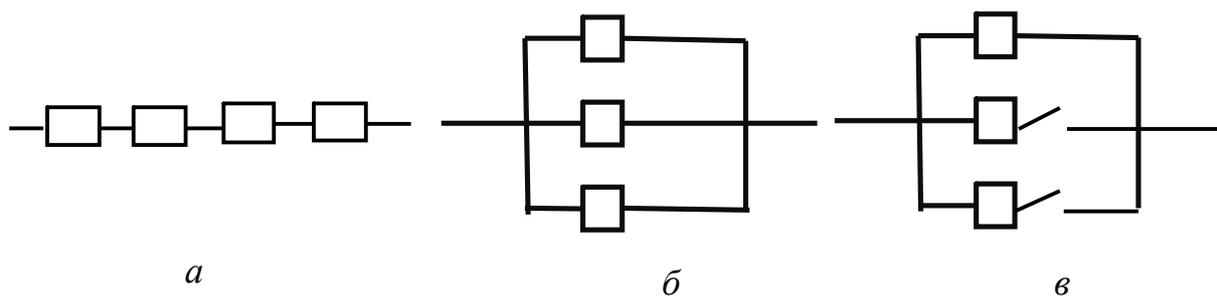


Рис. 39. Основные схемы соединения элементов в теории надежности:
а – последовательное соединение; *б* – нагруженное резервирование;
в – ненагруженное резервирование

Кроме указанных, могут использоваться и более редкие, например, мостиковые схемы соединения.

В сложных системах используются обычно смешанные схемы соединения. Необходимо отметить, что логическая схема расчета надежности, как правило, отличается от соответствующих компоновочных, электрических, функциональных и других схем.

Приведем основные расчетные формулы:

а) для основного соединения вероятность безотказной работы всей цепочки элементов

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (60)$$

где n – число элементов в соединении; $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы i -го элемента;

б) для параллельного соединения. Для нагруженного резерва общий отказ произойдет, если откажут все элементы, то есть:

$$Q(t) = \prod_{i=1}^n Q_i(t), \quad (61)$$

где $Q_i(t)$ – вероятность отказа i -го элемента.

Тогда

$$P(t) = 1 - Q(t) = 1 - \prod Q_i(t) = 1 - \prod (1 - P_i(t)). \quad (62)$$

Этап 4. Определяются количественные характеристики надежности элементов. Здесь удобнее пользоваться вероятностью безотказной работы, через которую всегда можно определить вероятность отказа $Q(t)$, частоту отказов $\alpha(t)$, интенсивность отказов $\lambda(t)$. Значения $P_i(t)$ устанавливаются по литературным источникам либо экспериментальным образом.

Этап 5. Определение надежности системы. Для рассматриваемого типа систем наиболее удобен метод **свертки структуры**, позволяющий преобразовать сложные логические схемы расчета к простейшим.

При наличии мостиковых схем соединения используют методы преобразования «треугольника» в «звезду» и наоборот. Для

приближенного решения сложных систем используют также метод путей и сечений, изучение которых выходит за рамки данного курса.

3.9.2.1. Метод свертки структуры

В этом методе также используется принцип поэтапного решения. Сначала рассматриваются все параллельные соединения и заменяются эквивалентным элементом, затем все последовательные соединения, опять параллельные, затем последовательные и т. д., до тех пор пока не останется один эквивалентный элемент. Вероятность безотказной работы этого элемента и будет характеристикой системы в целом.

Поясним на примере. Дана логическая схема расчета системы и величины $P_i(t)$ (рис. 40, а). Определить $P(t)$ для системы.

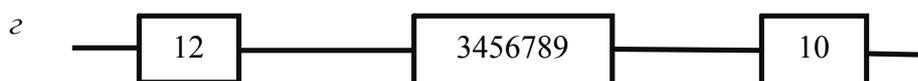
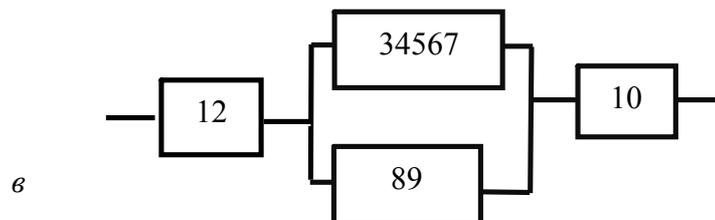
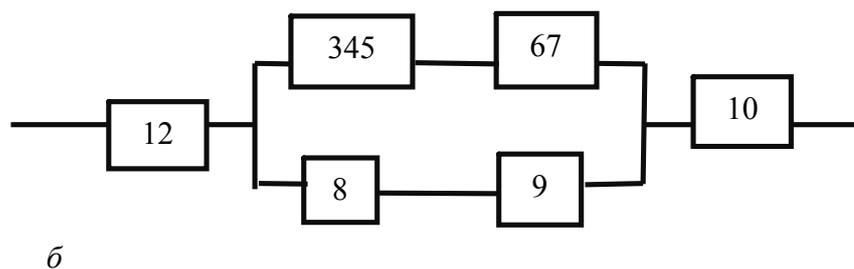
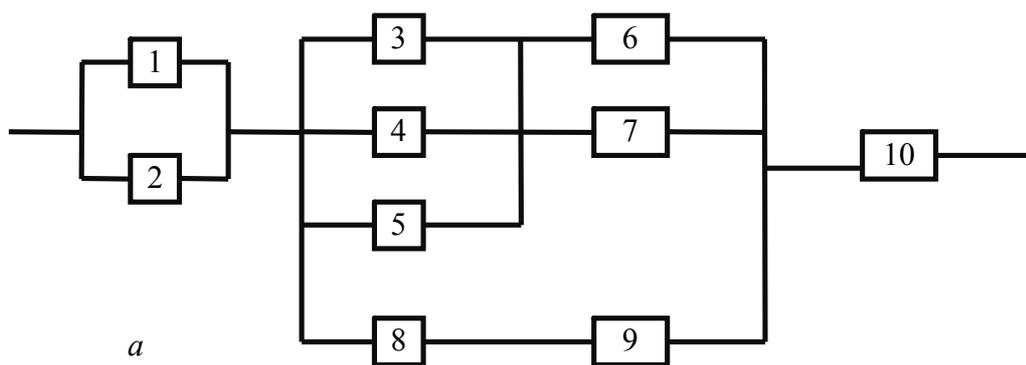


Рис. 40. Схема расчета надежности системы:

a – исходная структура; *б* – схема после первого преобразования; *в* – схема после второго преобразования; *г* – схема после третьего преобразования

Этап 1. Заменяем звенья 1 и 2 на звено 12, а звенья 3, 4, 5 на 345, звенья 6 и 7 на 67 по формулам:

$$\begin{aligned} P_{12} &= 1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2); \\ P_{345} &= 1 - (1 - P_3) \cdot (1 - P_4) \cdot (1 - P_5); \\ P_{67} &= 1 - (1 - P_6) \cdot (1 - P_7). \end{aligned}$$

Результат преобразования показан на рис. 40, *б*.

Этап 2. Заменяем последовательные соединения по следующим формулам:

$$\begin{aligned} P_{34567} &= P_{345} \cdot P_{67}; \\ P_{89} &= P_8 \cdot P_9. \end{aligned}$$

Схема упростится до следующего вида (рис. 40, *в*).

Этап 3. Вновь заменим параллельные соединения по формуле

$$P_{3456789} = 1 - (1 - P_{34567}) \cdot (1 - P_{89}).$$

Схема после третьего этапа показана на рис. 40, *г*.

Этап 4. Получилась схема, представленная как основное соединение. Можно определить вероятность безотказной работы всей системы

$$P(t) = P_{12} \cdot P_{3456789} \cdot P_{10}.$$

Результаты расчета представлены в табл. 11.

Таблица 11

Результаты расчета и исходные данные

Исходные данные	Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4
$P_1 = 0,8$	$P_{12} = 0,98$	$P_{34567} = 0,991$	$P_{3456789} = 0,999$	$P = 0,959$
$P_2 = 0,9$	$P_{345} = 0,994$	$P_{89} = 0,855$		
$P_3 = 0,7$	$P_{67} = 0,995$			
$P_4 = 0,8$				
$P_5 = 0,9$				
$P_6 = 0,9$				
$P_7 = 0,95$				

$P_8 = 0,95$				
$P_9 = 0,9$				
$P_{10} = 0,98$				

4. ГИБКАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

4.1. Общие сведения

Гибкая автоматизация производства (ГАП) – автоматизация, обеспечивающая быстрое и легкое переоснащение (переналадку) и смену программы работы средств производства в соответствии с изменениями требований производства. Такая автоматизация является антиподом *жесткой автоматизации*, предназначенной для производства изделий только одного типа, трансформация которой требует весьма значительных затрат времени, труда и финансовых ресурсов.

Гибкий производственный модуль (ГПМ) – единица технологического оборудования, автоматически осуществляющая технологические операции в пределах ее технологических характеристик, способная работать автономно и в составе гибких производственных систем или ячеек. В ГПМ входят устройства: ЧПУ, адаптивного управления, контроля и измерения,

Гибкая производственная ячейка (ГПЯ) – управляемая средствами вычислительной техники совокупность нескольких ГПМ и систем обеспечения функционирования, способная работать автономно и в составе гибкой производственной системы при изготовлении изделий в пределах подготовленного запаса заготовок и инструмента.

В систему обеспечения функционирования ГПЯ входят автоматизированная система управления технологическим процессом, автоматизированная система управления технологическим оборудованием, автоматизированная транспортно-складская система, система автоматического контроля, автоматизированная система инструментального обеспечения, автоматизированная система удаления отходов и др.

Гибкая производственная система (ГПС) – управляемая средствами вычислительной техники совокупность технологиче-

ского оборудования, состоящая из разного сочетания ГПМ и (или) ГПЯ, автоматизированной системы технической подготовки производства и системы обеспечения его функционирования, обладающая возможностью автоматизированной переналадки при изменении программы производства изделий, разновидности которых ограничены технологическими возможностями оборудования.

Главная особенность ГПС по сравнению с прежними формами организации производства, обеспечивающая высокую производительность (например, АЛ), – возможность производства целой группы изделий в произвольном (в соответствии с требованиями дня) порядке и небольшими партиями, причем такая организация производства не оказывает значительного влияния на его экономические показатели.

В настоящее время под ГПС понимают системы, включающие средства производства, которые характеризуются легкостью переналадки и адаптации к изменяющимся требованиям производства. Цель использования ГПС – достижение эффективности производства, сравнимой с эффективностью массового производства, но для небольших партий разнородных деталей.

Наиболее часто ГПС рассматривают как комплексную систему технологических машин (в большинстве случаев – металлорежущих станков), транспортных средств, оснастки и прочих средств производства, которые полностью управляются с помощью компьютера.

Станки в этом случае укомплектованы оснасткой для смены заготовок и режущих инструментов, что обеспечивает возможность обработки различных деталей без потерь времени на переналадку станка.

В последнее время ГПС часто трактуют как способ организации производства, обеспечивающий полное управление производственным процессом и рационализирующий этот процесс. Такой подход означает необходимость анализа каждой составляющей производства продукции на данном предприятии и тщательной временной стыковки с другими составляющими.

Возможности ГПС весьма привлекательны для лидеров современного промышленного производства. С одной стороны, они позволяют объединить высокую производительность с малыми объемами партий деталей или изделий, с другой – внедрить безлюдные технологии и значительно снизить производственные расходы на заработную плату. А это дает предприятию возможность быстрее, чем когда-либо, реагировать на требования

В настоящее время ГПС функционируют главным образом в промышленно развитых странах – США, Японии, Южной Корее, странах Западной Европы и т. д. Обусловлено это целым рядом причин, определяющих возможность их использования. Эти причины связаны с рынком потребителей продукции, возможностями предприятий и используемыми технологиями и могут быть условно разделены на три группы:

- 1) технические;
- 2) экономические;
- 3) общественные.

Весьма важным для предприятия является обеспечение соответствующего качества производимых изделий, их технического уровня при сохранении конкурентоспособной цены. Требования современного рынка характеризуются непрерывными изменениями, что заставляет производителей разделять и конкретизировать ассортимент выпускаемой продукции, сокращать количество одинаковых изделий в партии. Это способствует переходу от массового и крупносерийного производства к мелкосерийному и единичному. Типичный пример, иллюстрирующий данное явление, – изменения в структуре и организации автомобилестроения.

В настоящее время легковые автомобили выпускают небольшими сериями, с большим количеством модификаций; предусмотрена возможность выполнения индивидуальных заказов. Это приводит к необходимости использования таких гибких систем, которые обеспечивали бы быстрые изменения в действующем производстве.

Появление и развитие ГПС стало возможным только при широком использовании современных технологических машин, характеризующихся гибкостью функционирования. Главное здесь –

развитие систем ЧПУ производственным оборудованием и использование возможностей современных технологий на уровне информации

и принятия решений. Способствуют развитию ГПС также улучшение конструкций металлорежущих станков (например, линейные двигатели), металлорежущих инструментов (сменные пластины, использование износостойких покрытий), появление новых конструкционных материалов (искусственные граниты, стали повышенной обрабатываемости) и др.

Следует хотя бы кратко сказать и о роли социальных процессов в развитии ГПС. В постиндустриальном обществе снижается заинтересованность в труде, пусть и высокооплачиваемом, но требующем значительных физических усилий и опасном для здоровья, и увеличивается заинтересованность в труде творческом, интеллектуальном.

Подводя итоги, можно сказать, что использование ГАП позволяет: в мелко- и среднесерийном производстве – повысить уровень автоматизации с сохранением гибкости; в крупносерийном и массовом производстве – повысить гибкость при сохранении существующего уровня автоматизации.

К основным достоинствам ГАП следует отнести:

- возможность быстрой реакции предприятия на требования внутренних и зарубежных рынков;
- повышение и сохранение качества выпускаемой продукции;
- повышение производительности труда, в первую очередь в результате использования станков с высокой концентрацией операций;
- увеличение действительного фонда времени работы машин за счет работы в три смены, работы во время отпусков и болезней персонала;
- уменьшение численности обслуживающего персонала, что приводит к снижению затрат на заработную плату и социальные отчисления;
- значительное улучшение условий труда, в первую очередь за счет исключения тяжелой, неквалифицированной работы;

– возможность снижения себестоимости продукции.

Исследования, проведенные в ФРГ, США, Швейцарии и других странах, показали, что эффективное время обработки на традиционных металлорежущих станках и станках с ЧПУ в случае участия человека (оператора) составляет только 6...10 % годового фонда рабочего времени.

Это привело к созданию ГПМ и ГПС, обеспечивающих работу в три смены с минимальным участием человека. Эффективность ГАП можно проиллюстрировать с помощью данных швейцарской фирмы «Erowa» (рис. 41). На рисунке выделено пять уровней автоматизации:

1. Автоматизация без дополнительной оснастки и оборудования – станки с ЧПУ, обслуживаемые операторами, не соединенные с транспортными системами, накопителями деталей и с различными системами закрепления деталей.

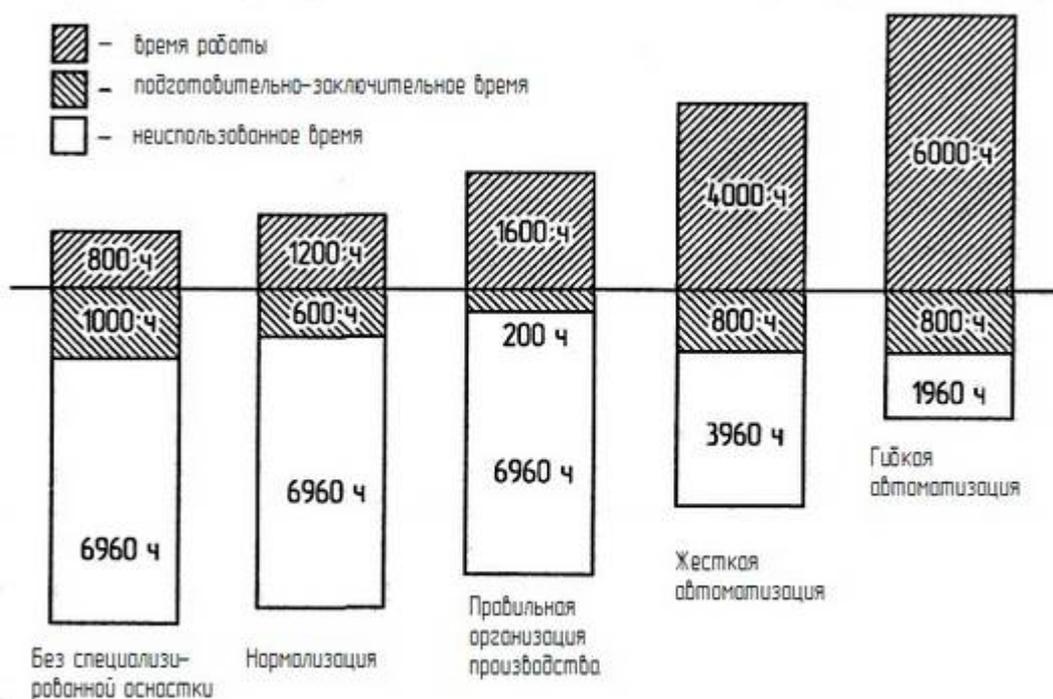


Рис. 41. Годовой фонд времени работы фрезерных станков при различной степени автоматизации

2. Нормализация – использование одного и того же способа закрепления деталей на всех станках в течение цикла обработки (универсальная инструментальная оснастка, палеты и др.). Правильная организация производства – закрепление заготовок в

приспособлениях вне станка с использованием принятой системы координат и введением поправок в программу обработки; система прецизионного закрепления, реализованная на втором уровне и обеспечивающая транспортирование и установку палеты на станке практически без погрешностей.

3. Жесткая автоматизация – использование средств автоматизации, в частности автоматическая смена режущих инструментов + смена палет оператором или автоматическая замена режущих инструментов + смена палет манипулятором.

4. Гибкая автоматизация – использование средств гибкой автоматизации, в частности смена инструментов и палет программируемым промышленным роботом.

Увеличению времени эффективного использования машин способствует снижение стоимости машино-часа их работы (рис. 42) и сокращение времени реализации заказов.

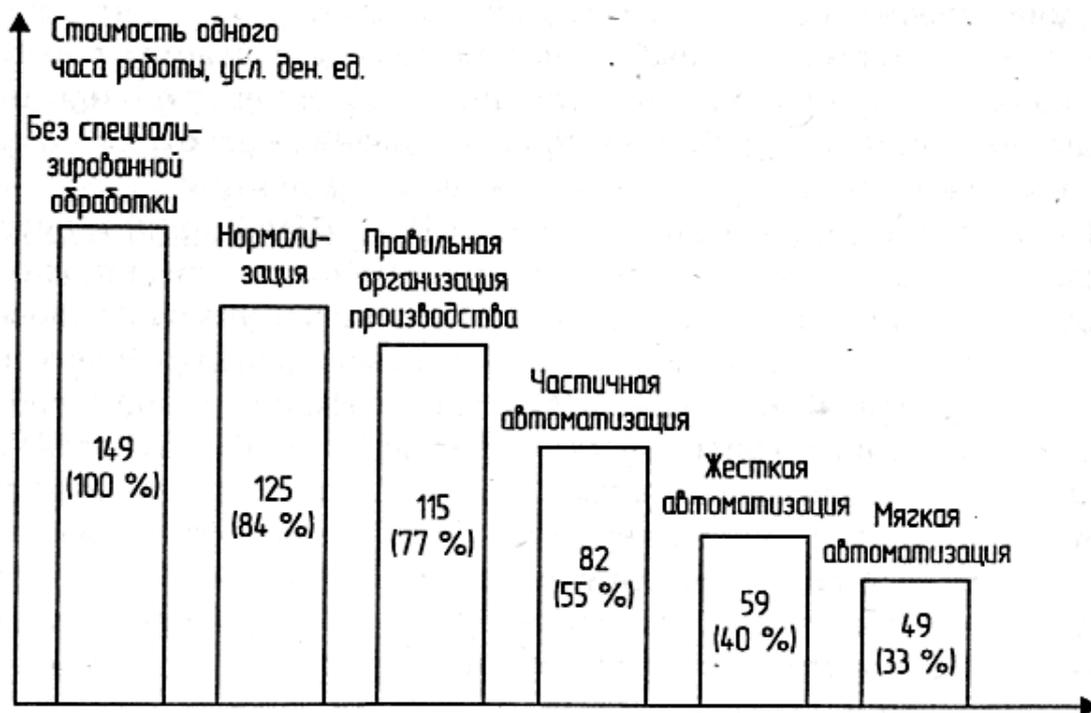


Рис. 42. Снижение стоимости машино-часа работы станка при различной степени автоматизации

4.2. Основы построения ГПС

4.2.1. Структура ГПС

Структурой ГПС называется сеть связей между ее элементами, которые могут рассматриваться как в статике (конфигурация и конструкция), так и в динамике (изменения во времени). Каждая ГПС может быть представлена в виде комплекса подсистем, показанных на рис. 43.

Взаимодействие функциональных подсистем ГПС показано на рис. 44.

Технологическая подсистема ГПС включает основные технологические устройства, использование которых определяется типом обрабатываемых деталей и технологией их обработки. К таким устройствам относятся машины и приспособления на соответствующих РМ, с помощью которых реализуются операции технологических процессов обработки, сборки, а также операции мойки, чистки и т. д.

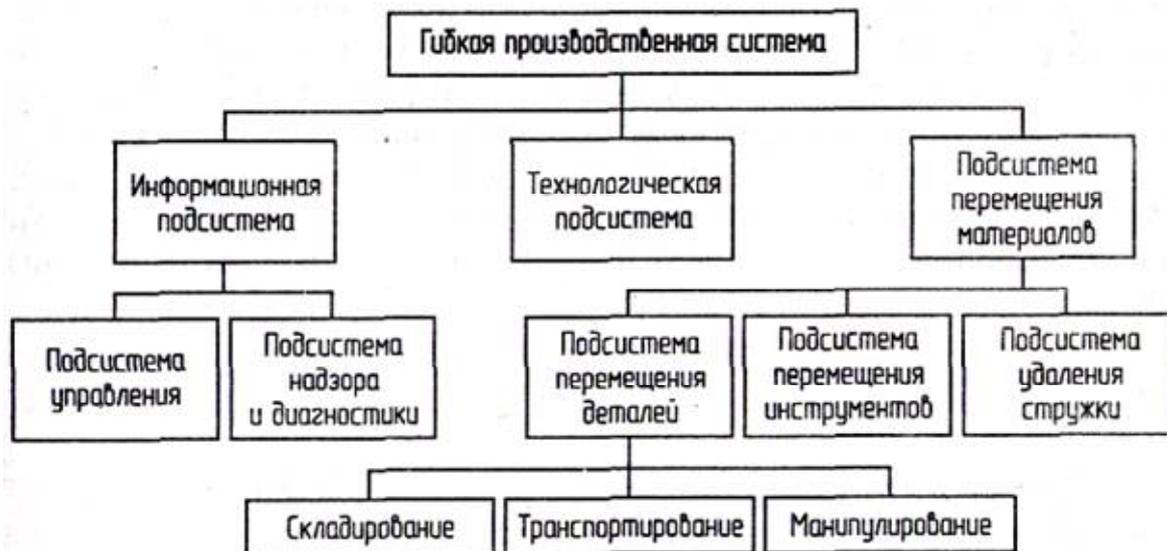


Рис. 43. Функциональные подсистемы ГПС

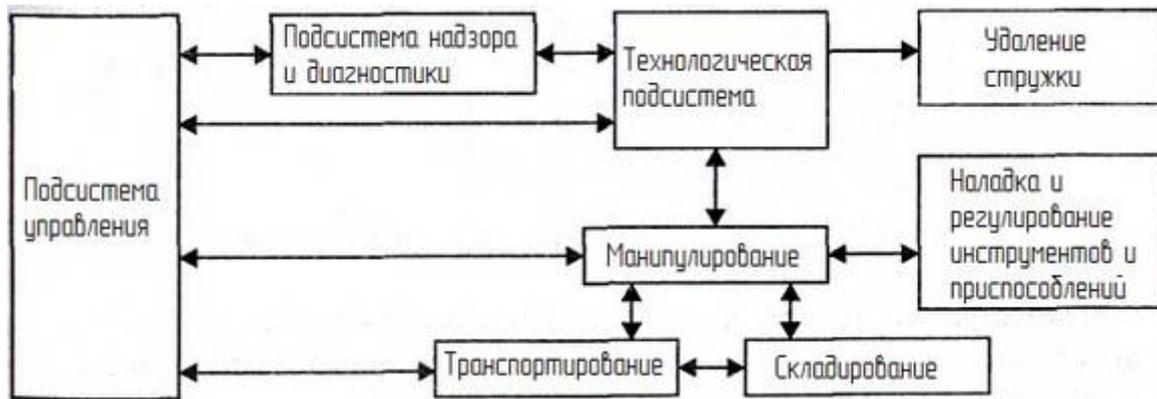


Рис. 44. Взаимодействие подсистем ГПС

Информационная подсистема на локальном уровне состоит из подсистемы управления и подсистемы надзора и диагностики. Она обеспечивает возможность функционирования ГПС без непосредственного участия оператора. *Подсистема управления* может содержать центральный (главный) компьютер и автономные подсистемы для управления работой каждой из составляющих подсистем. *Подсистема надзора и диагностики* обеспечивает проверку как корректности работы машины, так и точности обработанных деталей.

Подсистема перемещения материалов включает технические средства, обеспечивающие связи между элементами производственной подсистемы, и управляет перемещениями инструментов, деталей и приспособлений для их закрепления. Эта подсистема обеспечивает складирование, транспортирование соответствующих элементов и манипулирование ими. *Складирование* заключается в хранении обрабатываемых изделий до и после обработки, а также в обеспечении требуемых перерывов в перемещении элементов для нормальной работы технических устройств. *Транспортирование* служит для изменения местоположения (перемещения) соответствующих элементов. *Манипулирование* обеспечивает перемещение с одновременной сменой ориентации, например перемещение детали в рабочую зону станка. Рассмотренные действия могут реализовываться независимо друг от друга либо быть объединены. Последнее перспективнее, хотя и требует разработки более сложной системы управления. Наиболее часто встречается объединение двух функций: транспорти-

рования

и манипулирования или транспортирования и складирования.

Разделение ГПС на подсистемы касается в первую очередь производственных ячеек высокого уровня. На нулевом уровне практически все рассмотренные функции выполняет оператор, обслуживающий данное РМ.

4.2.2. Формы организации ГПС

Основные положения. Расположение конкретных устройств, входящих в ГПС, зависит от структуры последней, которая создает между элементами и подсистемами комплекс связей, обеспечивающий движение материальных, энергетических и информационных потоков. С точки зрения способа расположения основное значение имеет перемещение обрабатываемых изделий или носителей с изделиями, менее значимо перемещение вспомогательных элементов. В каждой системе перемещения материалов реализуются функции складирования, транспортирования и манипулирования. Устройства для реализации данных функций объединяют рабочие (технологические) места (РМ) и вспомогательные устройства. Связи, определяющие способ размещения устройств, создают пространственную структуру ГПС. Основные факторы, влияющие на пространственную структуру, – технологический маршрут обработки и степень интеграции ГПС.

Существуют следующие формы организации (структуры) ГПС: **концентрированная, замкнутая (ячейка), линейная, с центральным магазином-накопителем обрабатываемых изделий.**

Концентрированная форма. Данная структура характеризуется тем, что все операции, необходимые для полной обработки изделия, выполняются на одном РМ. В зависимости от типа производства на нем может обрабатываться одно изделие либо целый ряд часто сменяемых изделий (с учетом технических возможностей данного РМ). В соответствии с принципами концентрации труда можно создавать производственные ячейки, в том числе полностью автоматизированные. Обеспечение материала-

ми

в данном случае охватывает:

- доставку заготовок с внешнего склада на РМ;
- складирование заготовок на промежуточном складе;
- перемещение заготовок на станок и их закрепление;
- обработку;
- снятие обработанной детали со станка;
- складирование обработанных деталей на промежуточном складе;
- транспортирование деталей на центральный склад, другие ГПС либо на сборку.

Концентрация данных функций с одновременной их автоматизацией приводит к созданию автономных (гибких) РМ как формы интегрированных производственных систем (ПС).

Замкнутая форма (ячейка). Организация ПС в данном случае является результатом специализации системы. Обрабатываемые изделия требуют одних и тех же технологических операций, однако технологические маршруты обработки различны. Это обуславливает движение заготовок в различных не связанных между собой направлениях, пропуск некоторых РМ, в связи с чем можно говорить о разветвленной сети связей между ними как о характерной для данной структуры. Транспортирование и складирование в данном случае также связаны с РМ. По сравнению с линейными структурами номенклатура обрабатываемых изделий значительно шире, а в ГПС могут одновременно обрабатываться различные изделия.

В ГАП с ячеистой структурой обработка изделий, как правило, многоуровневая. РМ могут быть специализированными либо технологически взаимозаменяемыми. В первом случае для каждой операции используются различные станки, что требует высокой надежности их работы. Во втором случае все операции могут быть реализованы на каждом РМ, например многоцелевом станке. Взаимозаменяемость делает ПС более устойчивой к отказам. В ГАП кроме РМ, непосредственно связанных с обработкой, дополнительно включены места для мойки, чистки, консервации и контроля (измерительные машины).

В системах с ячеистой структурой могут быть использованы следующие способы размещения РМ: функциональный, модульный, сотовый, технологически специализированный (в соответствии с этапами протекания технологического процесса). При *функциональном* размещении (рис. 45) РМ сгруппированы по видам обработки (токарная, фрезерная, шлифовальная и т. д.). Цифрами на рис. 45–51 обозначены номера рабочих мест.

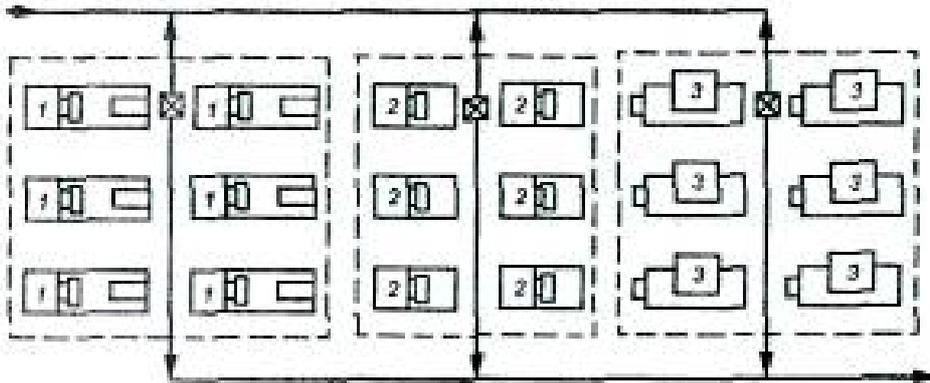


Рис. 45. Функциональное размещение РМ в ячеистой структуре

Изделия транспортируются между конкретными станками различных групп, которые могут быть по-разному размещены относительно друг друга.

В случае *модульного* размещения (рис. 46) идентичные РМ (модули), то есть станки или группы станков одного типа, могут выполнять одни и те же операции. Использование нескольких однотипных станков способствует возрастанию гибкости.

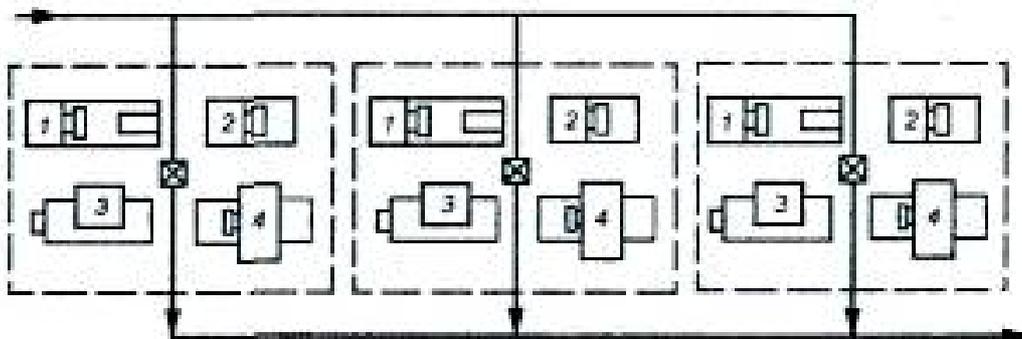


Рис. 46. Модульное размещение РМ в ячеистой структуре

Сотовое размещение (рис. 47) характеризуется выделением групп РМ, предназначенных для обработки оговоренной номенклатуры изделий.

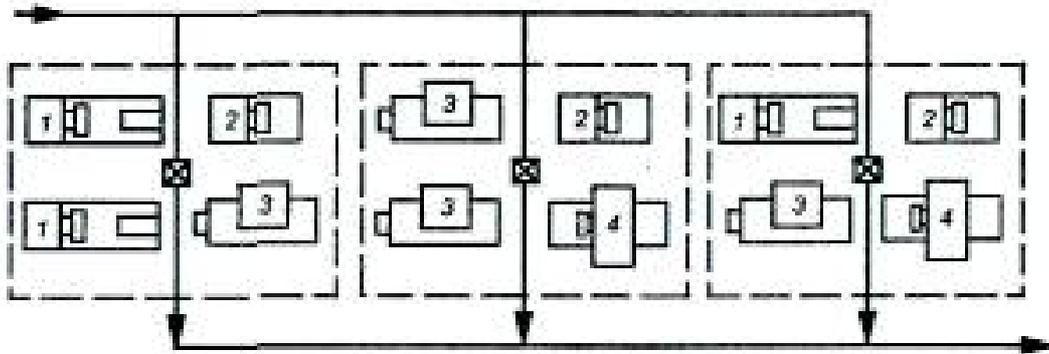


Рис. 47. Сотовое размещение РМ в ячейистой структуре

Технологически специализированное размещение характеризуется тем, что в ПС выполняются одни и те же технологические операции над различными изделиями. Номенклатура изделий весьма значительна, часто заменяется, а РМ группируются и располагаются в соответствии с технологическим и организационным подобием (рис. 48). Такая форма организации используется для ПС, производящих сложные изделия, которые требуют сборочных операций, либо для ПС, охватывающих несколько технологических этапов, например сварка → механическая обработка → термическая обработка → шлифование и т. д.

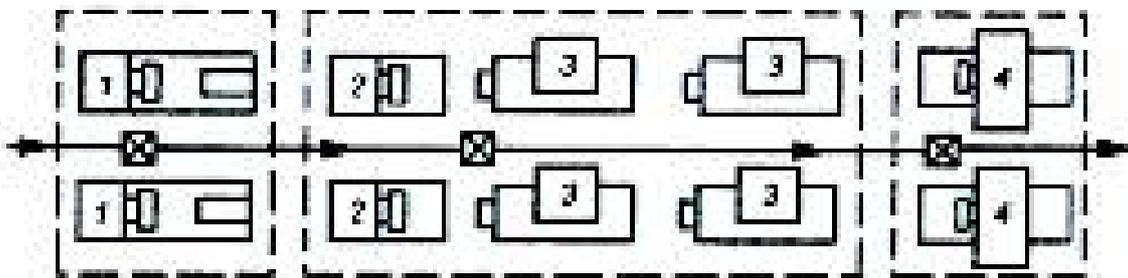


Рис. 48. Размещение РМ в соответствии с этапами ТП

Ячейковую структуру имеют гибкие производственные ячейки и системы. В ячейках два или три станка часто

обслуживаются промышленным роботом, а реализация связей между РМ и размещение станков зависят от возможностей манипулирования робота.

Линейная форма. Такая форма организации ПС является предметной. Производимые изделия характеризуются подобием всех или большинства технологических операций и последовательности их выполнения, а связи между элементами ПС и способ их размещения реализуются в соответствии с последовательностью операций. В таких системах движение заготовок осуществляется в одном направлении: непосредственно от предшествующего РМ к последующему. На линиях осуществляется многопереходная обработка и используются

в основном специализированные станки. Такт работы линии при обработке конкретной партии деталей постоянен, что требует синхронизации работы существующих РМ и обеспечивает их более или менее равномерную загрузку. Иногда между отдельными РМ создаются промежуточные накопители. Линейные ПС могут быть:

- однорядными с отдельными позициями закрепления и открепления изделий (рис. 49);
- линейно-замкнутыми с центральной позицией закрепления и открепления деталей (рис. 50).

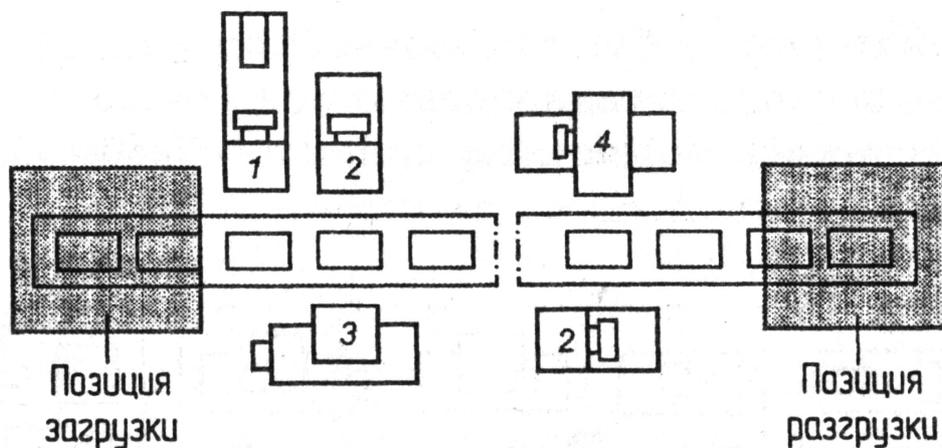


Рис. 49. Однорядная линейная производственная система

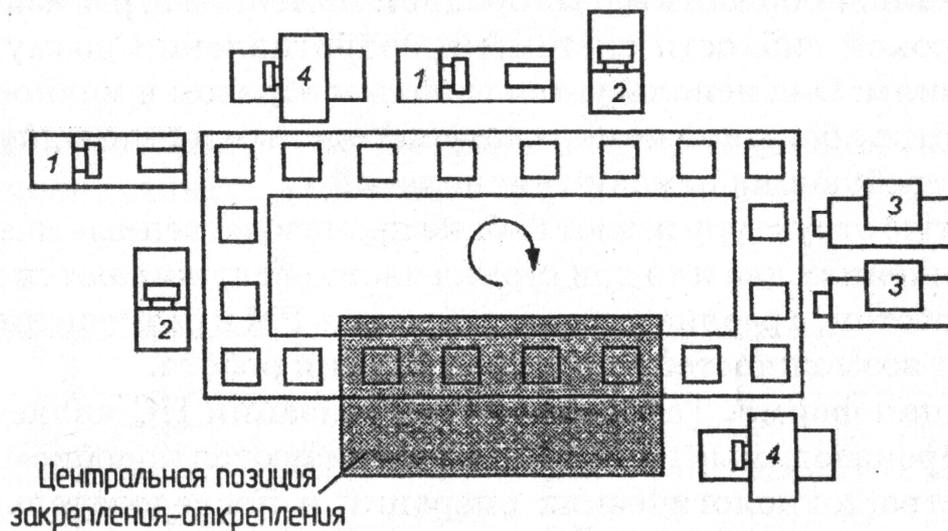


Рис. 50. Линейно-замкнутая система с центральной позицией закрепления-открепления изделий

Отдельные РМ линии могут быть по-разному связаны с транспортной подсистемой.

С централизованным складом-накопителем. В таких системах РМ связаны друг с другом опосредованно, через центральный склад-накопитель обрабатываемых изделий.

Заготовки перемещаются в таре или на палетах, которые подаются на конкретное РМ из центрального склада с помощью транспортных средств, а после обработки точно так же возвращаются обратно. Этот способ значительно упрощает движение заготовок и не зависит от последовательности обработки изделий. Но работа такой системы усложняется при большом количестве РМ, так как требует усложнения и удлинения путей транспортирования.

Магазин-накопитель может быть *неподвижным* или *подвижным*, *внутренним* или *внешним*. Неподвижный накопитель — обычно многоуровневый стеллаж, обслуживаемый краном-штабелером. На рис. 51 показаны схемы ПС с внешним и внутренним неподвижными накопителями.

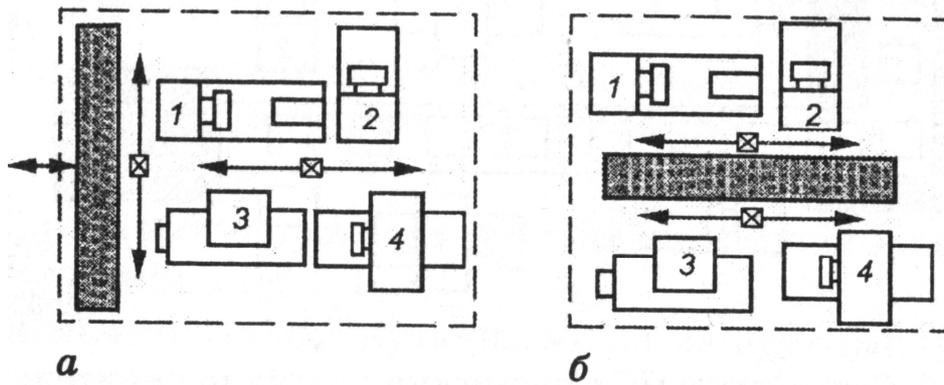


Рис. 51. ПС с неподвижным накопителем изделий:
а – внешним; *б* – внутренним

ПС с *внешним неподвижным* накопителем называют также системами с точечным разделением заданий (разделение выполняется в условной точке). Этой условной точкой является один из фрагментов накопителя – место закрепления-открепления деталей. Палеты с изделиями перемещаются с помощью транспортирующих устройств непосредственно на РМ, а после обработки – обратно в накопитель. Поскольку склад-накопитель размещен с краю ПС или же вообще за ее границами, его размер не зависит от конфигурации ПС.

В ПС с *внутренним неподвижным* накопителем транспортирование и складирование нераздельны. Накопителем является многоуровневый стеллаж, вокруг которого размещены РМ. По окончании обработки или сборки на РМ партия изделий складировается в накопителе, откуда с помощью штабелера подается на следующее РМ. В этом случае положение палеты на стеллаже относительно РМ носит случайный характер. Расположение РМ вокруг накопителя влияет на длительность транспортирующих движений штабелера, а следовательно, на степень его загрузки. Поэтому пути движения всегда стремятся минимизировать.

ПС с точечным разделением заданий имеют практически ничем не ограниченную вместимость магазина и широкие возможности выполнения транспортных задач.

Подвижным складом-накопителем чаще всего является транспортер (подвесной или напольный), на котором размещаются изделия перед обработкой и после нее. *Внутренний склад* распола-

гается внутри ПС, *внешний* – на краю или вне ее. В последнем случае необходимо наличие дополнительной транспортной подсистемы, соединяющей РМ со складом.

ПС с подвижным накопителем называют также системами с линейным разделением заданий. Конвейер кроме транспортирования выполняет также роль межоперационного склада. В системах с линейным разделением заданий накопитель располагается непосредственно между РМ, что позволяет перемещать палеты с изделиями с любого места накопителя на то или иное РМ.

ПС с линейным разделением заданий и подвижным накопителем используют (с учетом малой вместимости последнего) в случаях длительной обработки партии изделий или значительного подобию технологических маршрутов обработки. Поскольку доступ к изделиям ограничен, не все технологические маршруты могут быть в этом случае использованы.

4.2.3. Стратегии организации производства

Основной целью организации производства является стремление к сокращению сроков выполнения заказов, снижению затрат и ускорению оборота капитала. Это может быть достигнуто на основе сокращения запасов и времени производственного цикла, оптимизации использования производственных мощностей, обеспечения максимально выгодных условий кооперационных связей и доставки изделий заказчикам.

Выполнение данных условий возможно путем обеспечения тесных связей между движением материалов и информационными потоками. Задание, то есть реализация того или иного действия, определяется в первую очередь тремя параметрами: **временем реализации, стоимостью** и имеющимися **производственными мощностями**. Можно использовать различные стратегии организации производства, обеспечивающие реализацию поставленной задачи.

Стратегия 1. Существующие производственные мощности и срок доставки приняты за не подлежащие увеличению. Кратковременное использование дополнительных производственных

мощностей или стремление к увеличению производительности действующей ПС вызывает возрастание производственных затрат.

Стратегия 2. Стоимость и производственные мощности являются неизменными. Единственно возможный шаг – смещение сроков выполнения целого ряда заданий.

Стратегия 3. Стоимость и производственные мощности неизменны. Существует возможность кратковременного использования резервов производства, которые не должны увеличивать его стоимость.

В настоящее время используются нагнетающая и всасывающая системы планирования и управления производством.

Нагнетающие системы управления производством действуют на основе данных оперативного плана производства, который содержит подтвержденные к использованию заказы. В таких системах производственный процесс реализуется от первой до последней операции в соответствии с разработанным графиком (рис. 52).

Во **всасывающих системах** производственный процесс анализируется с точки зрения завершающей операции, на основании чего определяются сроки выполнения предшествующих операций (от окончания к началу процесса обработки; рис. 53). Если детали или сборочные единицы недоступны для обработки на следующем РМ, то их удаляют с РМ, на котором выполняется предшествующая операция.



Рис. 52. Принципиальная схема нагнетающей системы управления



Рис. 53. Принципиальная схема всасывающей системы управления

4.2.4. Средства гибкой автоматизации производства

В ГАП, характеризуемых высокой концентрацией операций, в качестве средств производства используются обрабатывающие центры (ОЦ) и ГПМ. На сегодня ОЦ – основные станки, используемые для гибкой автоматизации производства как на малых, так и на больших предприятиях и обеспечивающие гибкую высокопроизводительную и комплексную обработку. Под ОЦ понимают станок с ЧПУ, обеспечивающий (с учетом технологических возможностей) выполнение за одну установку детали большого количества технологических переходов с помощью различных металлорежущих инструментов таким образом, чтобы получить полностью либо почти полностью обработанную деталь. Для этого станок оснащен магазином для режущих инструментов и системой для их автоматической смены.

Существуют две основные группы ОЦ (рис. 54), конструктивные и технологические возможности которых рассмотрены в [11].



Рис. 54. Классификация обрабатывающих центров

ГПМ рассматривается как самостоятельная гибкая производственная единица, в состав которой входит технологическая машина (чаще всего ОЦ) вместе с необходимыми средствами транспортирования, складирования, управления, контроля и т. д., обеспечивающими автоматическую работу модуля при обработке серии технологически подобных изделий без дополнительной помощи извне, без постоянного присутствия оператора и в течение достаточно длительного времени (как минимум, одной рабочей смены). Система управления ГПМ управляет на основе определенной стратегии всеми действиями модуля, включая функции контроля и диагностики.

Примерами наиболее развитых средств ГАП являются ГПЯ и ГПС.

ГПЯ – это комплекс, состоящий из станков с ЧПУ, выбранных и установленных в соответствии с выполняемыми заданиями и соединенных средствами транспорта. В состав ГПЯ могут входить станки и машины, обслуживаемые вручную, а также дополнительные РМ – для мойки, сушки, контроля размеров после обработки. Ячейки, обслуживаемые с помощью промышленного робота, называются *роботизированными*.

На рис. 55 показана схема ГПЯ, состоящей из токарного станка с ЧПУ 1 и многоцелевого токарного станка 2. Ячейку обслуживает промышленный робот 4 с системой управления 12. Наряду со

станками и роботом в состав ячейки входят дополнительные устройства и оборудование, в частности кантователь 3, моечная машина 5, палета 7 с заготовками типов А и В, палета 6 с обработанными деталями, установка распознавания заготовок 9. Оператор находится перед центральным пультом управления 10 с монитором 11. Поле действия робота защищено системой фотоэлементов 8.

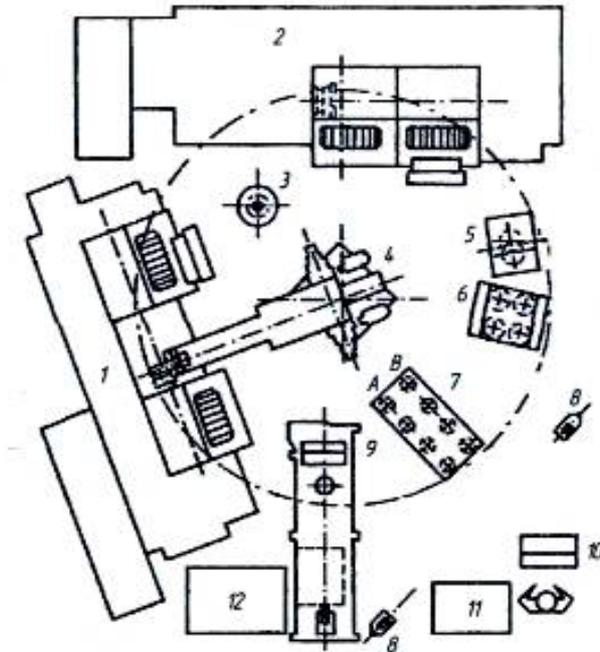


Рис. 55. Функциональная схема гибкой производственной ячейки

4.3. АТСС ГПС

Грузовые потоки механического цеха представляют собой схему движения по цеху (участку) материалов, заготовок, изделий, полуфабрикатов, инструментов, технологической оснастки, отходов в соответствии с последовательностью ТП. Используют различные транспортные средства (рис. 56).

То есть в общем случае транспортно-складская система состоит из складов заготовок (12), изделий, складов (24) полуфабрикатов, инструмента, оснастки, а также транспортных средств (1, 5, 11, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 28).

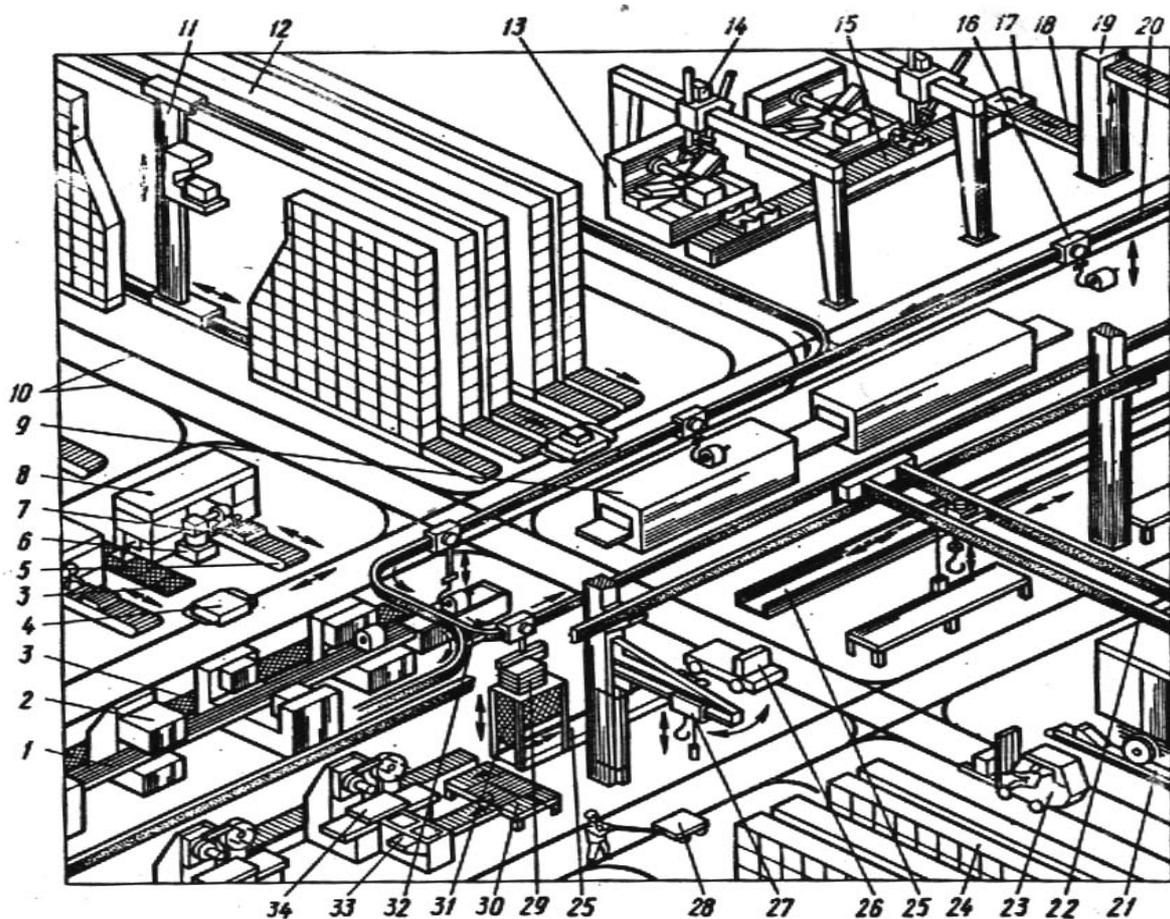


Рис. 56. Грузовые потоки автоматизированного механосборочного цеха:
 1 – шаговый конвейер; 2 – АЛ; 3 – конвейер для удаления стружки;
 4 – автоматическая тележка; 5 – роликовый конвейер; 6 – ПР; 7 – тара;
 8 – станки; 9 – термообработка; 10 – трасса; 11 – штабелеры; 12 – склад
 заготовок; 13 – АЛ; 14 – порталный манипулятор; 15 – роликовый
 конвейер; 16 – манипулятор; 17 – поворотное устройство; 18 – роликовый
 конвейер; 19 – цепной подъемник; 20 – подвесной конвейер;
 21 – железнодорожный путь; 22 – мостовой кран; 23 – электропогрузчик;
 24 – склад полуфабрикатов; оснастки; 25 – ленточный конвейер;
 26 – электрокар; 27 – подвесная кран-балка; 28 – ручные тележки
 и робокары; 29 – тара; 30 – магазин; 31 – разгрузочная станция;
 32 – автоматические стрелки; 33 – агрегаты загрузки; 34 – станочный
 модуль

Загрузочно-разгрузочные устройства встраивают в станок или располагают рядом (6, 14, 33).

Современное производство работает с ориентированными заготовками и изделиями, что требует тару для транспортировки

(7, 29). Тара унифицирована. Для хранения заготовок у станков применяют магазины (30).

Таким образом, автоматизированная транспортно-складская система (АТСС) является важнейшим компонентом ГПС. Ее функции весьма разнообразны:

- накопление заготовок, полуфабрикатов, изделий, комплектов настроенных инструментов и приспособлений;
- транспортирование всех этих объектов к оборудованию;
- транспортирование от оборудования;
- удаление и сортировка отходов.

Анализ внедренных ГПС показывает значительное многообразие вариантов АТСС [2, 8]. Весьма различны и уровни ее автоматизации: от полной автоматизации до автоматизации только складских и транспортных операций (все остальное выполняется оператором).

Обычно разработчики стремятся найти *оптимальный уровень* автоматизации, оставляя за человеком технически трудные или экономически нецелесообразные функции (перегрузку деталей из накопительной тары в приспособления, замену комплектов режущего инструмента и т. д.).

Первоначально транспортные системы создавались на основе различных конвейеров (как в массовом производстве). Но в массовом производстве такт выпуска мал (1...2 мин), поэтому грузопоток большой. В ГПС используют принцип *концентрации операции*, такт возрастает до 2...5 ч, пропорционально уменьшается грузопоток. При обработке сложных корпусных деталей АТСС необходимо за час передать всего 2...4 детали.

На рис. 57 показана компоновка ГПС с совмещенной транспортной и накопительной системами. Позже появились линейные системы с рельсовыми тележками. Но они оказались эффективны для ГПС из 2...6 станков, которые сами по себе не очень перспективны.

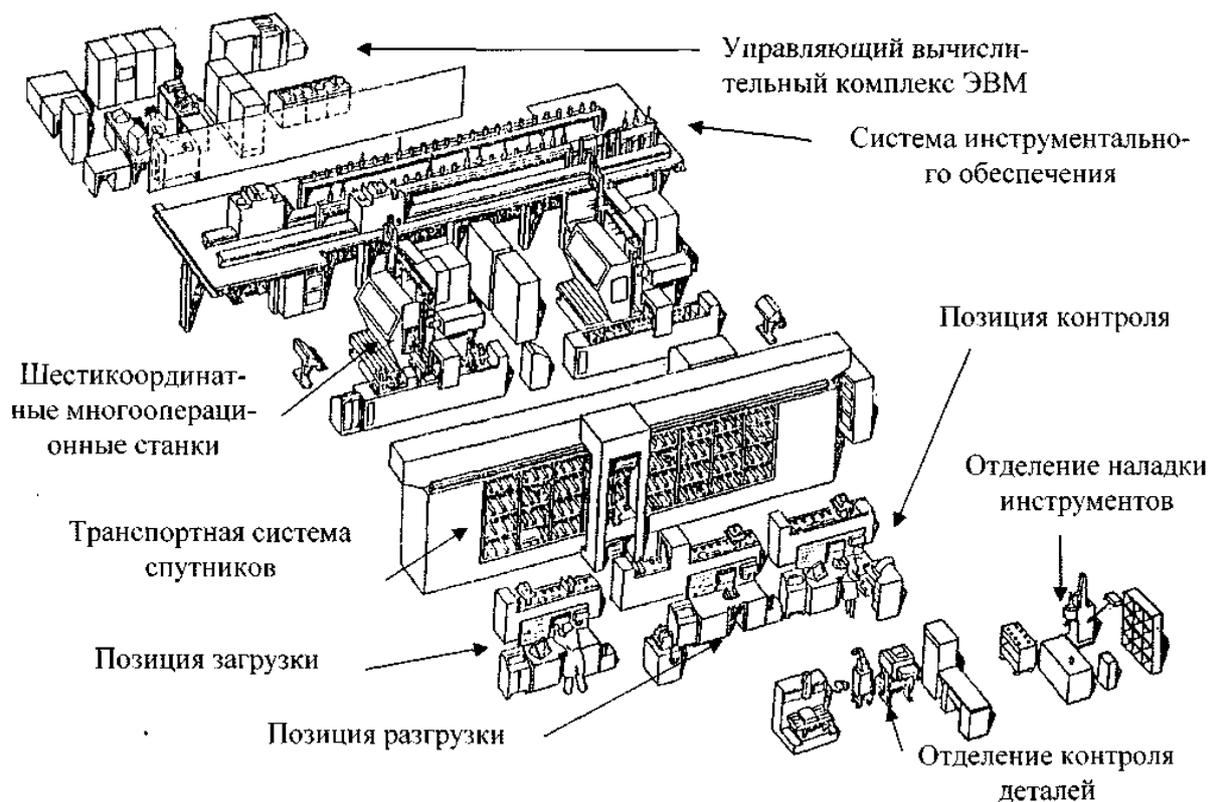


Рис. 57. Гибкий автоматизированный комплекс для обработки корпусных деталей

Поэтому в более сложных случаях создают разветвленные транспортные сети на основе безрельсового транспорта – робокаров. Здесь возникают свои проблемы. В первую очередь, надежность и точность позиционирования. На рис. 58 приведен пример компоновки ГПС с использованием безрельсового транспорта и индукционной системой маршрутослежения.

С автоматического склада 4 штабелер 3 передает заготовки на палетах на приемный стол, откуда они перегружаются манипулятором 5 (через транспортный робот 8) на промежуточный накопитель 11. По мере необходимости палеты загружают на один из автоматических транспортных напольных роботов 8, которые обслуживают пристаночные накопители 6 обрабатывающих центров 7. Отдельная тележка 9, проходя с тыльной стороны станков, развозит магазины с предварительно настроенным режущим инструментом. Инструмент настраивают на участке подготовки 17 и хранят на складе 2. Контроль изделий осуществляется на координатно-измерительной машине 10.

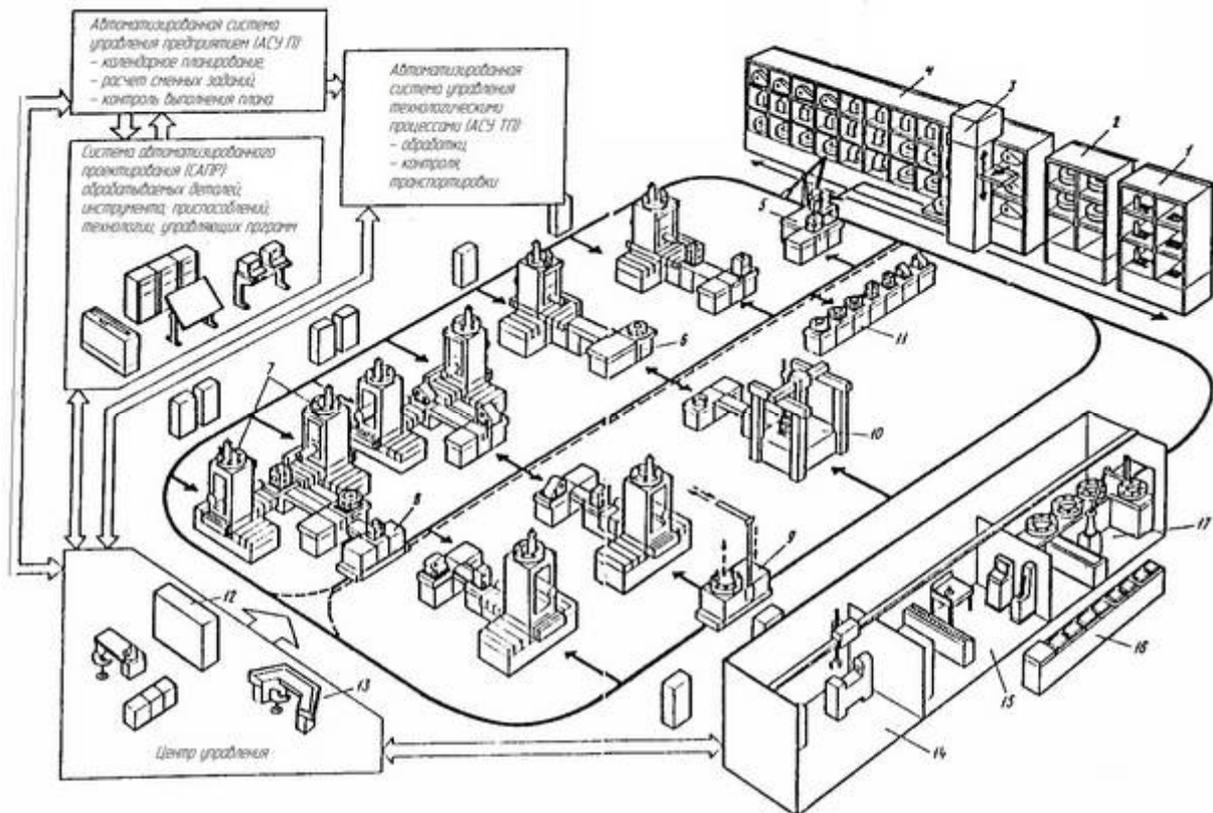


Рис. 58. ГПС с замкнутой траекторией транспортной системы

5. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АТСС ГПС

5.1. Классификация технических средств АТСС

Классификация технических средств представлена на рис. 59. При проектировании технических средств АТСС широко используют принцип *модульности*, который характеризуется построением оборудования АТСС и транспортно-складской тары из унифицированных модулей, агрегатов в соответствии с требованиями размерных параметрических рядов. Основные параметры, по которым унифицируются все эти средства [9]:

- а) грузоподъемность, т: 0,05; 0,1; 0,15; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 3,2;
- б) габариты, мм: 400×300; 400×400; 600×400; 500×500; 600×600; 800×600; 800×800; ...; 1600×1600.

В соответствии с основными функциями АТСС технические средства можно подразделить на две большие группы: транспортные средства и средства складирования и накопления.

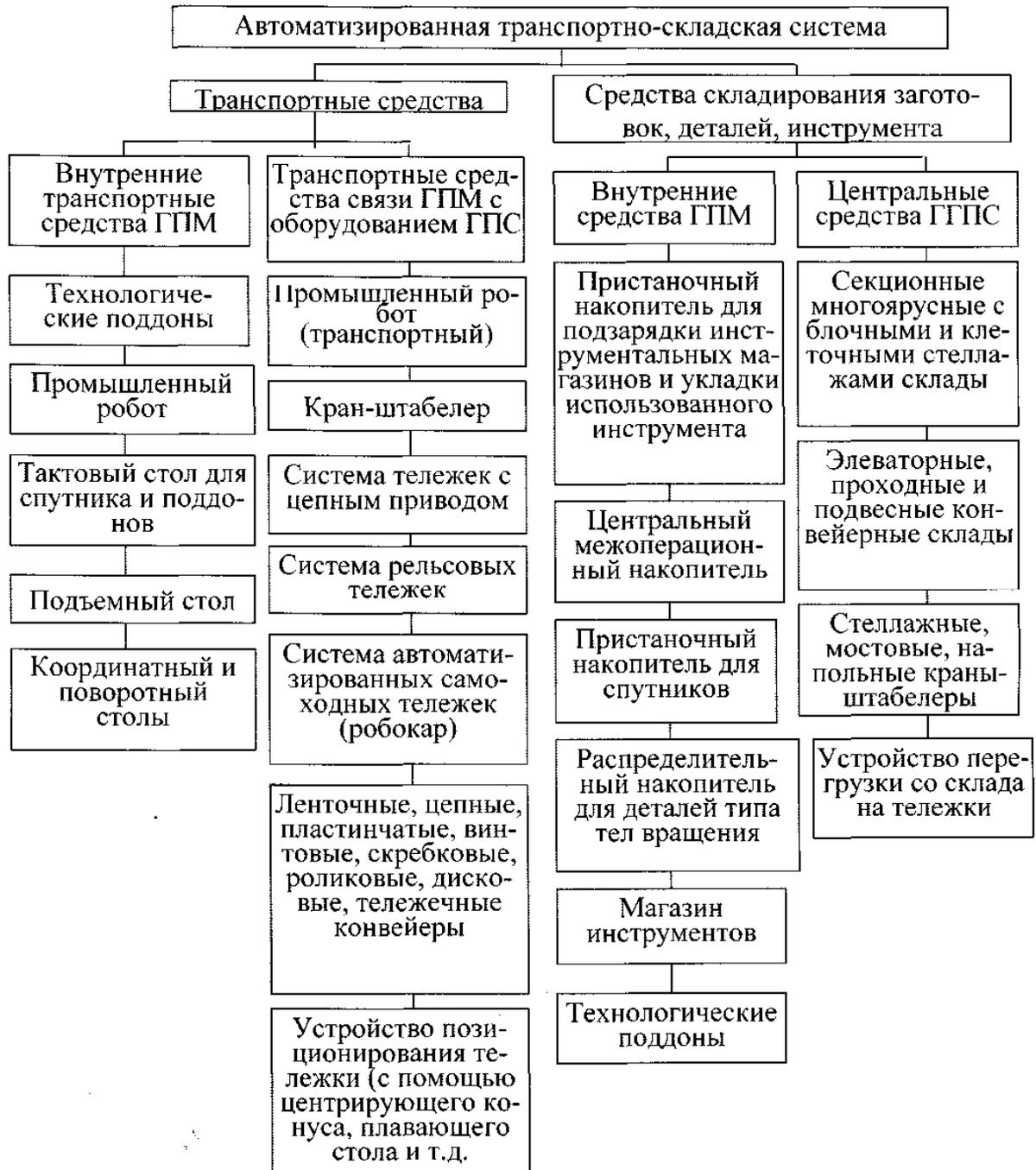


Рис. 59. Классификация технических средств АТСС

5.2. Подсистема складирования изделий

Развитие ГАП повысило уровень требований к складированию, которое является очень важным элементом подсистемы обеспечения ГПС заготовками. Склады (магазины) обрабатываемых деталей в подсистеме обеспечения заготовками служат:

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

На территории склада выполняются и дополнительные действия (резка прутков на штучные заготовки, измерения, контроль качества, упаковка готовых изделий). С организационно-технической точки зрения склад должен быть соединен с транспортными устройствами, располагающимися перед ним и после него, а это требует автоматизации всех складских функций.

В качестве основных критериев оценки используются:

- область действия (склады центральные и периферийные);
- расположение склада относительно ГПС (наружное и внутреннее);
- возможность перемещения предметов в границах магазина (статичные в динамичные).

5.2.1. Центральные склады

Производственные системы с центральным складом обеспечивают связь между РМ косвенным образом, через склад, что требует значительного количества транспортирующих движений. В таких системах процесс транспортирования в значительной степени, а складирование полностью оторваны от РМ. Одиночные крупногабаритные детали либо их партия складываются на палетах, которые с помощью транспортирующих устройств доставляются к РМ, а после обработки – обратно в склад. Поэтому прямые связи между различными РМ отсутствуют. Использование центрального магазина значительно упрощает прохождение обрабатываемых элементов через ГПС, однако усложняет транспортные задачи.

Центральный склад выполняет целый ряд функций:

- хранение заготовок в ожидании обработки или отправки после обработки на сборку;
- хранение межоперационного запаса;
- хранение компенсационного (аварийного) запаса, необходимого в случае внезапных организационных простоев того или иного РМ (в том числе аварии);
- обеспечение выравнивания производительности и времени работы отдельных РМ.

К вспомогательным действиям относятся:

- работа в качестве магазина конкретных РМ (отдельные полки стеллажа предназначены для складирования изделий, обрабатываемых на том или ином РМ);
- функционирование в качестве склада полуфабрикатов;
- обеспечение комплектации деталь – палета;
- хранение вспомогательных устройств для сборки и контроля машинокомплектов;
- хранение пустых палет и контейнеров, используемых в ГПС;
- хранение запасных частей и вспомогательных материалов.

Центральные склады могут располагаться внутри ГПС (*внутренние склады*), а также с краю либо снаружи ГПС (*внешние склады*). В последнем случае следует выделить систему транспортирования изделий от магазина до РМ.

Выделяют **основные зоны** склада: зону хранения, зону приема-выдачи на внешний уровень, зону приема-выдачи на внутренний транспорт ГПС, зону укладки деталей в тару.

Склады можно разделить на две основные группы:

а) *стеллажные*: с блочными или клеточными стеллажами, с мостовыми, стеллажными или напольными кранами-штабелерами;

б) *конвейерные*: элеваторные, проходные (гравитационные), подвесные.

Некоторые схемы складов приведены на рис. 60. На рис. 60, *а* показан склад с одним однорядным стеллажом 1, а на рис. 60, *б* с двумя однорядными стеллажами. Стеллажи 1 обслуживаются одним автоматическим стеллажным краном-штабелером 2, который укладывает в ячейки стеллажа поданный на перегрузочное устройство 3 груз или в зависимости от программы забирает его (спутник с заготовкой, инструмент или приспособление и т. д.) из ячейки стеллажа и попадает на перегрузочное устройство, откуда груз с помощью применяемого в ГПС транспортного средства доставляется на станок.

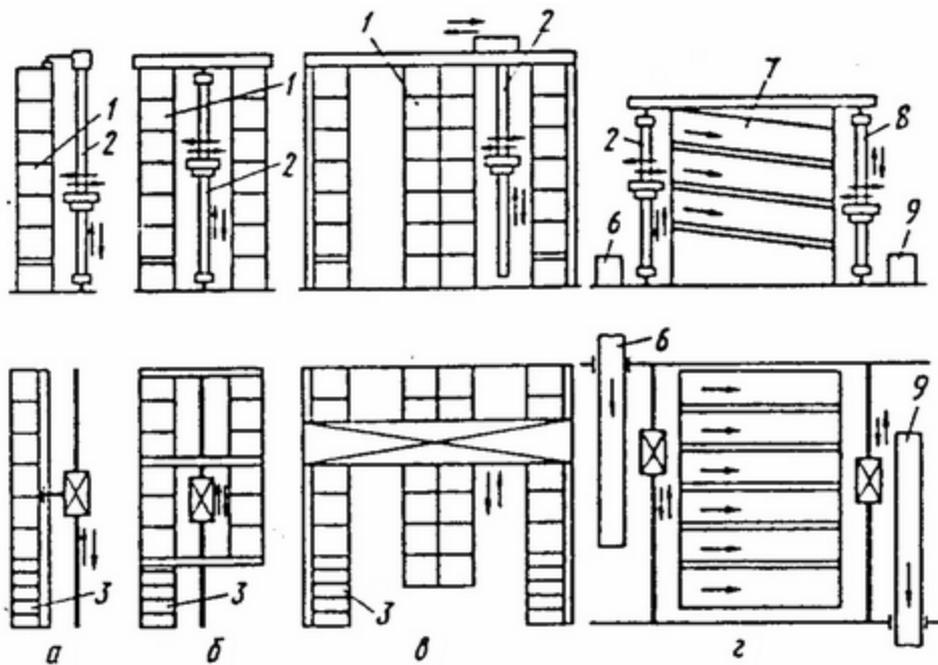


Рис. 60. Принципиальные схемы автоматических складов:
а – с однорядным стеллажом; *б* – с двумя однорядными стеллажами;
в – стеллажный, обслуживаемый мостовым краном-штабелером;
г – проходной (гравитационный)

Однорядный стеллажный накопитель 1 позволяет устанавливать груз с любой стороны стеллажа. Такая конструкция упрощает доступ ко всем ячейкам склада.

Склады с автоматическими стеллажными кранами-штабелерами получили в ГПС наибольшее применение, так как они занимают мало места, имеют высокую производительность и более легко поддаются автоматизации. Недостатки: при не-

большой высоте помещения грузоподъемность одной секции невысока, при сооружении длинных стеллажей снижается производительность крана-штабелера. Стеллажный склад, показанный на рис. 60, в, обслуживается одним мостовым краном-штабелером 2, который может устанавливаться в первом или во втором проходе между стеллажами 1. Перегрузочные столы 3 могут находиться в зависимости от компоновки склада либо у однорядных стеллажей, либо в середине у двухрядного стеллажа. Подобные автоматические склады получили применение в единичном или мелкосерийном производстве.

Склады с одним однорядным стеллажом (см. рис. 60, а) размещают вдоль производственного участка станков ГПС.

Склады с линейной компоновкой нескольких стеллажных накопителей и с автоматическим стеллажным краном-штабелером (см. рис. 60, б) или с мостовым краном-штабелером (см. рис. 60, в) получили применение при линейных компоновках ГПС. При этом подача заготовок от перегрузочного стола склада к перегрузочным столам станков и обратно производится специальными транспортными средствами. Как правило, между стеллажами в каждом проходе есть отдельный погрузочный агрегат, но можно уменьшить их число за счет мостового крана или специальной тележки для перестановки штабелера.

5.2.2. Магазины на рабочих местах для деталей типа тел вращения

Магазины данного типа характеризуются высоким уровнем специализации и разнородностью технических решений. Их конструкция, как правило, согласовывается с возможностями применяемых средств манипулирования.

Требования к магазинам для деталей типа тел вращения касаются как подсистемы в целом, так и тех или иных ее составляющих. Это вызвано в основном различиями в конструкциях обрабатываемых деталей. Выполненный анализ показывает, что независимо от формы, размеров и массы 90 % общего количества

деталей типа тел вращения при механической обработке пригодны для автоматического складирования и манипулирования.

Основное требование к подсистеме складирования – максимальная гибкость использования, обеспечиваемая простой переналадкой или переоснащением подсистемы и возможностью расширения сферы ее действия. Магазины на рабочих местах могут быть частью АТСС ГПС либо функционировать независимо от нее. В первом случае магазин полностью механизирован и автоматизирован, во втором – требует ручного обслуживания при получении заготовок и отправке обработанных деталей. Выбор конкретного варианта магазина зависит от технического и организационного уровня заводской транспортной системы, степени автоматизации цеха и экономических условий.

С точки зрения капиталовложений наиболее дешевым является неподвижный магазин, не содержащий подвижных функциональных механизмов и не имеющий электропривода. Такой магазин характеризуется также высокой надежностью работы.

С точки зрения эксплуатационных затрат важную роль играют гибкость магазина, то есть простота и легкость его переоснащения для складирования других деталей; минимизация количества специальных элементов и устройств, взаимодействующих с теми или иными деталями; легкодоступность к складировемым объектам при максимальном использовании производственных площадей.

Для токарной обработки деталей могут использоваться (как часть общецеховой транспортно-складской системы) многопредметные и выдвижные палеты и магазины палет циклического действия, а в случае автономных магазинов, требующих ручной работы, – роликовые и ленточные конвейеры, многопозиционные дисковые магазины и магазины проката.

Неподвижный магазин типа многопредметной палеты может быть выполнен на основе палет, складированных поодиночке; контейнеров палет (выдвижные палеты); палет, размещенных вертикальными штабелями; палет, размещенных в приспособлениях циклического действия. Во всех случаях перемещение одиночных палет или контейнеров с палетами осуществляется транс-

портными средствами, используемыми в цехе, и не требует обязательной ручной загрузки-выгрузки деталей с палет непосредственно на РМ.

Использование магазина с одиночной многопредметной палетой, в которой каждая заготовка находится на определенном месте, имеет свои достоинства и недостатки. С одной стороны, это простота конструкции, поскольку палета в ходе работы ГПС неподвижна, с другой – необходимость для выполнения манипуляций относительно дорогого портального промышленного робота, перемещающегося вдоль трех осей координат. На рис. 61 показана схема токарной производственной ячейки, обслуживаемой портальным ПР с магазином рассматриваемого типа.

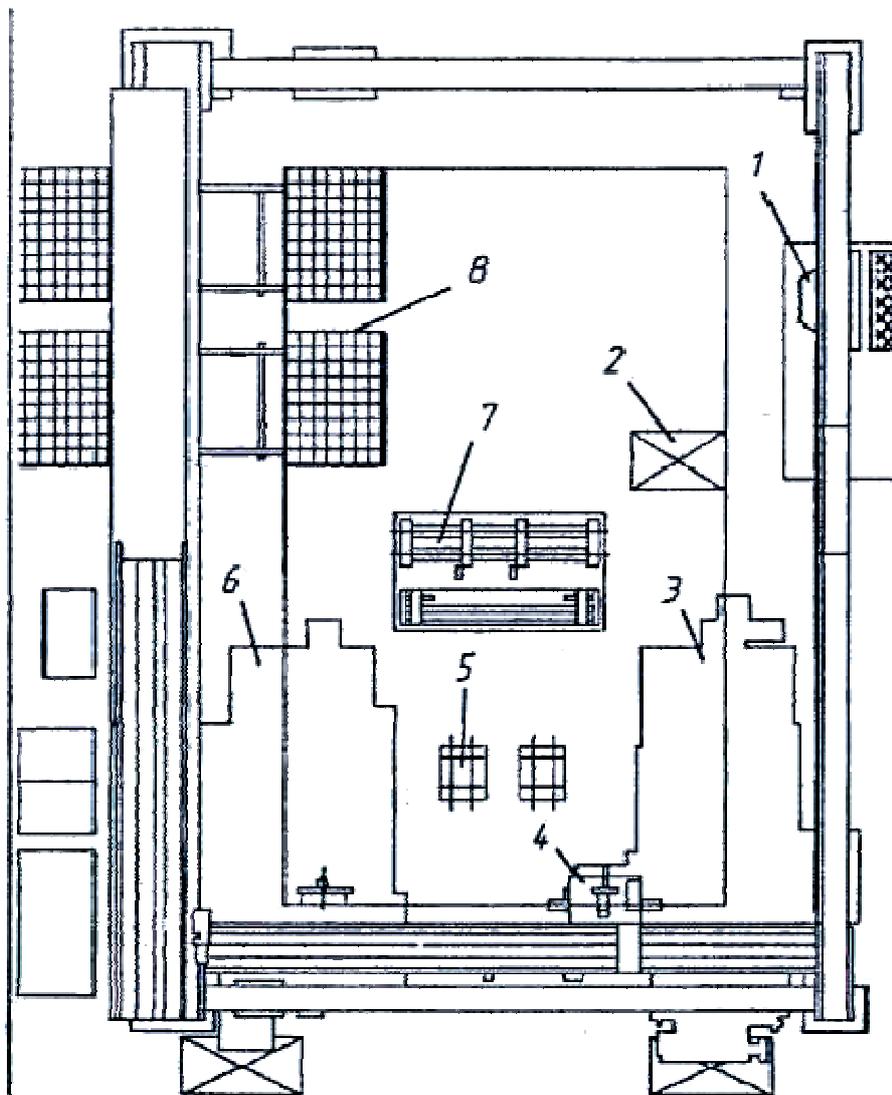


Рис. 61. Схема токарной производственной ячейки, обслуживаемой

трехкоординатным ПР:

- 1 – компьютер; 2 – емкость для брака; 3, 6 – токарные станки с ЧПУ;
4 – ПР; 5 – буферный накопитель; 7 – измерительная система;
8 – комплект станочных палет

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

5.2.3. Магазины на рабочих местах для обработки корпусных деталей

Магазины, используемые в ГПМ для обработки корпусов, являются магазинами палет с установленными на них крепежными приспособлениями. Используют для деталей, расположенных на палетах. Сами палеты базируются на загрузочных устройствах «в координатный угол» либо по плоскости и двум пальцам. Конструкции спутников унифицированы для станков с ЧПУ с прямоугольным и квадратным столами [9]. Каждое автономное загрузочное устройство выполнено в виде тумбы с транспортером, направляющими и приводом перемещения спутников. Для этого на торцах спутников есть специальный

Магазины могут быть подвижными (рис. 62) и неподвижными (рис. 63), соответственно с движением деталей или его отсутствием. Независимо от степени подвижности магазины бывают линейными и замкнутыми (круглыми и овальными). Линейные неподвижные магазины используются как накопители (буферные); если же требуется большая вместимость, то лучше применять замкнутые магазины. Типовым решением магазина ГПМ для обработки корпусов является стационарный магазин с комплектом палет, поворачивающихся вокруг оси магазина, и толка-

телем (см. рис. 62, *a*) либо линейный магазин, обслуживаемый тележкой с устройством для смены палет.

В сборочном производстве и при обработке деталей призматической формы можно использовать однотипные палеты или магазины на целом ряде следующих друг за другом РМ.

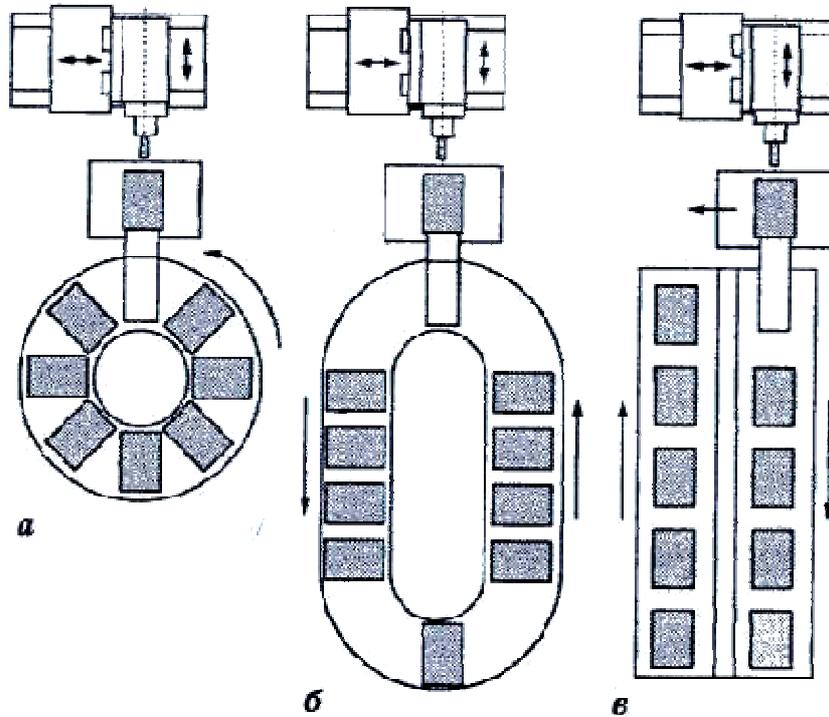


Рис. 62. Подвижные магазины палет, используемые в ГПМ для обработки корпусов:

a – круговой; *б* – овальный; *в* – линейный

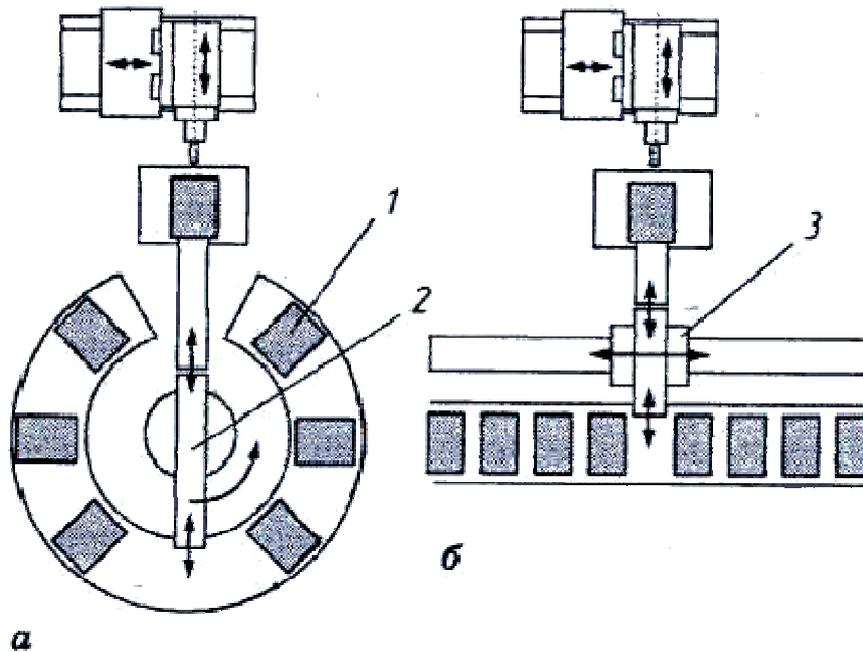


Рис. 63. Неподвижные магазины палет, используемые в ГПМ для обработки корпусов:

a – круговой; *б* – линейный: 1 – палета; 2 – поворотное устройство для смены палет; 3 – тележка с устройством для смены палет

5.3. Подсистема транспортирования изделий

5.3.1. Классификация транспортных средств

Следует также отметить высокие требования к надежности, так как транспортные средства, как правило, не дублируются никакими другими видами оборудования, в результате чего отказ транспортирующих средств ГПС приводит к остановке производственного процесса. Это положение обосновывается тем, что в ГПС используют не отдельные транспортные средства, а систему 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.

Учитывая, что выбор технических средств для организации грузопотоков зависит от уровня производственно-технологических связей, необходимо рассмотреть транспортное

оборудование, которое применяется на межоперационном уровне.

Структура транспортной подсистемы. В ГПС используют три разновидности транспортных подсистем (рис. 64): линейную, маятниковую и замкнутую. Транспортирование может быть *прямым* или *разветвленным*; последнее является значительно более гибким с точки зрения оптимизации транспортных путей и минимизации количества транспортирующих перемещений. В *линейной транспортной подсистеме* существует только одно постоянное направление движения изделий, а вход и выход транспортирующей подсистемы разделены. Поскольку возможность обратного перемещения (на предыдущее РМ) отсутствует, такая система имеет очень малую гибкость. *Маятниковая подсистема* обеспечивает минимизацию транспортных путей. Достоинством *замкнутой подсистемы* является обеспечение постоянства положения изделия при перемещении на место обработки.

Разновидности транспортных средств. На рис. 65 представлены типы устройств, наиболее часто используемых в ГПС для транспортирования изделий. В зависимости от характера работы их можно условно разделить на работающие непрерывно и прерывисто, а в зависимости от расположения относительно уровня пола – на связанные и не связанные с ним.

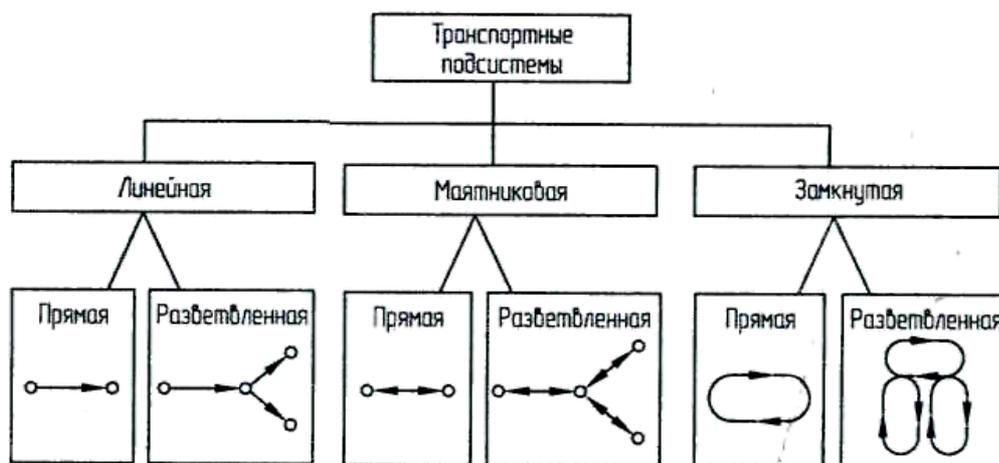


Рис. 64. Структура транспортных подсистем ГПС

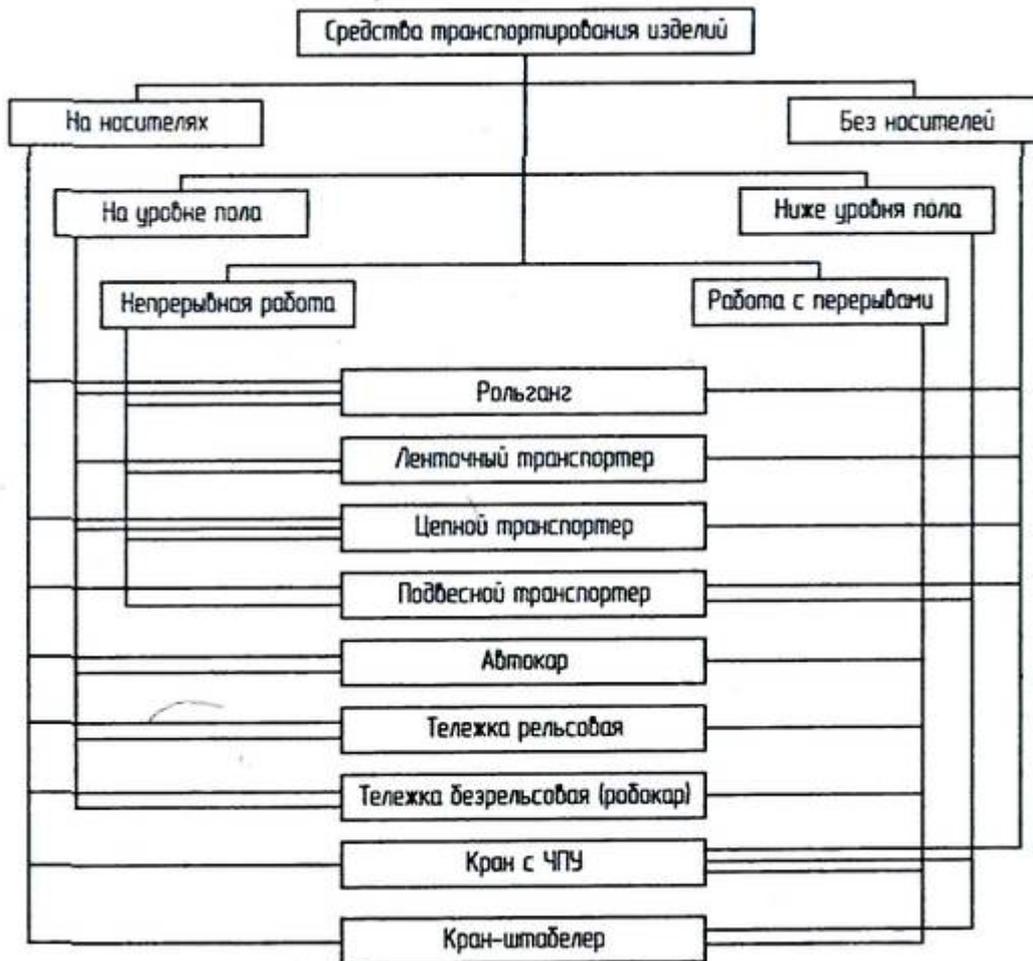


Рис. 65. Средства транспортирования изделий в ГПС

Существуют три группы средств транспортирования изделий:

- транспортеры (роликовые, ленточные, цепные, подвесные, замкнутые);
- тележки (вильчатые, рельсовые и безрельсовые);
- краны (в том числе штабелеры и краны с ЧПУ).

Работа транспортного оборудования обусловлена функциональной направленностью, пространственной ориентацией и компактностью производства. Последняя характеризует эффективность использования производственных объемов и связей между размещаемыми элементами и зависит от грузопотока, общей плотности использования помещений под производственные процессы, минимального цикла производства. Анализ связей между элементами производства позволяет сделать вывод, что применение какого-то одного вида транспорта в ГПС нецелесообразно.

но вследствие специфики различных видов производства, конструктивных особенностей транспортных средств, их технологических возможностей, а также различных требований к ним и целей транспортирования.

Палеты. Изделия, находящиеся на носителях, во время транспортирования могут быть закреплены или расположены свободно. Если предмет закреплен, то в качестве носителя всегда используется так называемая *палета*, на которой может быть закреплено одно или несколько изделий. Закрепление для транспортирования в данном случае является также закреплением для обработки на РМ.

Стандарт ISO 8526-1:1990 предусматривает целый ряд элементов для базирования и закрепления как самих палет, так и обрабатываемых деталей и направлен на еще большую универсализацию конструкции палет (рис. 66). В зависимости от площади зеркала их рабочие поверхности могут иметь резьбовые отверстия, радиальные Т-образные пазы, взаимно параллельные Т-образные пазы с шагом 63...160 мм, Т-образные пазы и шпонки, сдвоенные Т-образные пазы, идущие в радиальном направлении, а также могут быть гладкими.

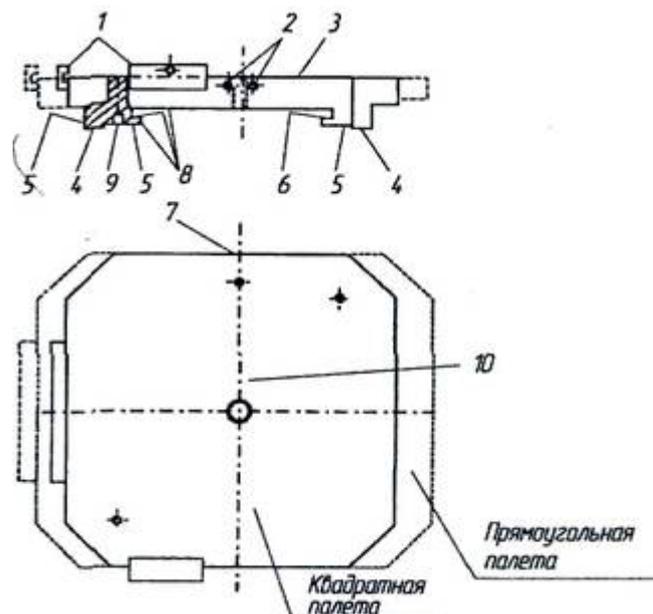


Рис. 66. Функциональные поверхности станочных палет:

1 – кромки для базирования; 2 – отверстия для защелки; 3 – зеркало;
4 – поверхность для временной установки; 5 – поверхность базирования;
6 – поверхность для закреплении палеты; 7 – отверстие для установки палет

в очереди для обработки; 8 – поверхности для транспортирования палет;
9 – отверстия для базирования; 10 – центральное отверстие

5.3.2. Автоматические тележки

Наиболее перспективными среди транспортных средств, используемых в транспортно-накопительных системах, являются самоходные безрельсовые тележки (транспортные роботы или робокары). Применяют тележки двух типов: безрельсовые напольные и рельсовые. Они приводятся в движение от электродвигателей, питаемых от аккумуляторных батарей, и перемещаются по транспортным путям цеха по командам управления АТСС. По сравнению с широко известными средствами самоходные тележки обладают повышенными гибкостью и мобильностью транспортных линий; можно изменять и наращивать маршруты движений тележек; легко регулировать мощность потока грузов за счет изменения числа действующих тележек; обеспечивать возможность выхода из тактового потока производства, использовать транспортные пути для прохождения других транспортных средств и оборудования; увеличивать коэффициент использования производственных площадей вследствие высокой маневренности тележек.

При этом не загрязняется производственная среда, так как тележки работают от аккумуляторных батарей и имеют низкие уровень шума и расход электроэнергии.

В условиях ГПС тележки применяют для автоматического транспортирования заготовок со склада к технологическим модулям; передачи обработанных деталей от одной ячейки на другую, участки сборки, контроля, мойки, промежуточный склад и т. д.; передачи заготовок от межоперационных накопителей к РМ; в качестве подвижных платформ при выполнении ряда технологических операций (сварки, сборки, окраски, контроля, закалки и т. д.); автоматического транспортирования инструментальных

блоков (магазинов) и отдельных инструментов к станку; транспортирования отдельных сменных узлов станка (например, шпиндельных бабок) к ОЦ. Тележки иногда используют 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 (± 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).

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 средств манипулирования грузом.

По *назначению* тележки бывают трех видов: рабочая тележка, тележка-тягач, тележка-перекладчик. Рабочую тележку применяют для транспортирования грузов. Ее загрузку и разгрузку

производят вручную или роботом. Тележку можно комплектовать различными устройствами для закрепления и съема груза. Тележку-тягач используют для транспортирования груза в прицепных тележках. Загрузку и разгрузку таких тележек производят роботом. Тележка-перекладчик предназначена для транспортирования грузов, закрепленных на поддонах или палетах. Они снабжены устройствами, позволяющими производить загрузку-выгрузку

с помощью автоматически действующих перекладчиков (подъемников, приводных рольгангов, транспортеров, выталкивателей грузов и т. д.).

Автоматическое передвижение самоходных тележек по маршруту осуществляется с помощью специальных устройств наведения: оптоэлектронных или индукционных.

Оптический маршрутопривод 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.

Преимущество автоматизированной транспортной тележки с оптическим маршрутослежением заключается в более низких (по сравнению с индукционным) первоначальных и эксплуатационных затратах. А главное, такая система 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. На практике оптические системы маршрутослежения используют главным образом для управления автоматическими тележками небольшой грузоподъемности.

Большинство эксплуатируемых в настоящее время транспортных систем на базе автоматических тележек основано на *индукционном* способе маршрутослежения. Маршрутопровод – это электрический провод, который укладывается в желоб, прорезанный в полу. По проводу пропускается ток определенной частоты и амплитуды, который создает управляющее электромагнитное поле. Предпочтителен диапазон звуковых частот, так как это облегчает контроль исправности сети и снижает опасность помех. 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 отклонениях 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. Исполнительный механизм на основе указаний командного устройства вырабатывает сигнал, необходимый для изменения частоты вращения двигателя-редуктора для обхода препятствия и 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. На практике возможно создание управляющих систем, сочетающих признаки перечисленных типов. 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. Последний 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 транспортную систему, поддерживается дистанционно, обычно с помощью того же кабеля, который служит маршрутопроводом. Управляющие сигналы чаще всего передаются в диапазоне УКВ.

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, распо-

ложенные 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 в случае либо простых трасс движения, либо при неизменном ~~производственном цикле~~ кодировании маршрута трассы. 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 воз-

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.

В процессе перемещения необходимо обеспечить сравнение расчетного и реального путей движения и выявление непредвиденных препятствий (люди, предметы). Поэтому системы маршрутослежения функционируют вместе с другими системами, обеспечивающими локализацию положения тележки и препятствий.

Системы локализации положения тележки на основе расчета приращений координат основаны на использовании сигналов от импульсных датчиков, установленных на колесах движения и поворота. Получая информацию о количестве импульсов, сгенерированных каждым колесом, бортовой компьютер может предварительно рассчитать перемещение тележки относительно осей координат. Однако такие расчеты, обеспечивающие текущее управление тележкой, имеют погрешности, которые суммируются по мере перемещения тележки. Кроме того, невозможно выявление непредвиденных препятствий на пути движения.

При *оптической локализации* используется видеокамера, установленная под потолком цеха, и система знаков на верхней поверхности тележки. Компьютерный анализ изображения позволяет точно оценить положение тележки и препятствий. Но такая система требует работы в режиме реального времени, то есть использования компьютеров с очень высоким быстродействием.

В случае локализации положения тележки с помощью *инфракрасного или ультразвукового излучения* тележка оснащена генератором соответствующего излучения и приемником отраженных сигналов. Бортовой компьютер оценивает положение робота относительно постоянных препятствий, записанных в карте памяти. Могут быть зарегистрированы также случайные объекты, что обеспечивает своевременное изменение курса и объезд препятствий. Поскольку излучение распространяется по прямой

линии, цель движения и робокар должны находиться на отрезках прямых. Появление препятствия на пути излучения (например, проходящего человека) влечет за собой автоматическую остановку тележки.

Локализация с помощью лазерного сканера основана на облучении пространства вокруг робокара в пределах 180° или 360° с разрешением $0,5^\circ$. Лазерный дальномер обеспечивает идентификацию положения тележки относительно неподвижных объектов (информация о которых записана в памяти компьютера) и выявление непредвиденных препятствий.

Локализация с помощью гироскопов требует наличия на тележке бортового гироскопа, обеспечивающего ее ориентацию во время движения.

Использование описанных систем локализации и выявления препятствий позволяет корректировать положение тележки и генерировать новую траекторию движения, учитывающую положение новых объектов в рабочем пространстве и огибающую эти объекты.

Сопоставляя технические характеристики тележек, необходимо отметить: по способу маршрутослежения 40 % составляют тележки с оптическим устройством. При оптическом маршруте слежения скорость ограничена до 0,55 м/с, при индуктивном – до 1,1 м/с; по ходовой части тележки бывают в трех- и четырехколесном исполнении. При трехколесном исполнении среднее колесо либо рулевое, либо рулевое и ведущее. При четырехколесном исполнении расположение колес ромбическое, средние колеса являются и ведущими, и рулевыми.

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.

5.3.3. Подвесные транспортные роботы

Подвесные транспортные роботы составляют особую группу транспортных средств и в основном строятся на базе тельферных тележек, перемещающихся по монорельсу. Характерными примерами этой группы роботов являются роботы ТРТ-1-250, ТРТ-2-250 и ТРП-5-030.

Конструктивно эти модели выполнены в виде тележки, перемещающейся по двутавровому профилю. На тележке расположен подъемник с захватным устройством. Робот может автоматически захватывать тару с определенных позиций, находящихся под трассой тележки, и ставить ее на другие позиции согласно программе. Электроэнергия подводится к роботу с помощью щеточного 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. Фрагмент автоматической транспортной подвесной системы ГПС приведен на рис. 67.

При сравнении подвесного транспорта с напольным имеет смысл сопоставлять рассматриваемый вид транспорта с напольным рельсовым. Подвесной транспорт почти не требует дополнительных производственных площадей; в производственных условиях может быть применен без перепланировки существующего оборудования; позволяет избежать больших опрокидывающих моментов при захвате и транспортировании груза, так как монорельс можно разместить по маршруту перемещения груза; исключает возможность столкновения его с людьми и наземными транспортными средствами, что обеспечивает соблюдение требований техники безопасности без привлечения дополнительных затрат. Подвесные трансманипуляторы имеют также приоритет при их использовании в технологических процессах, связанных с окунанием изделий в рабочую жидкость.

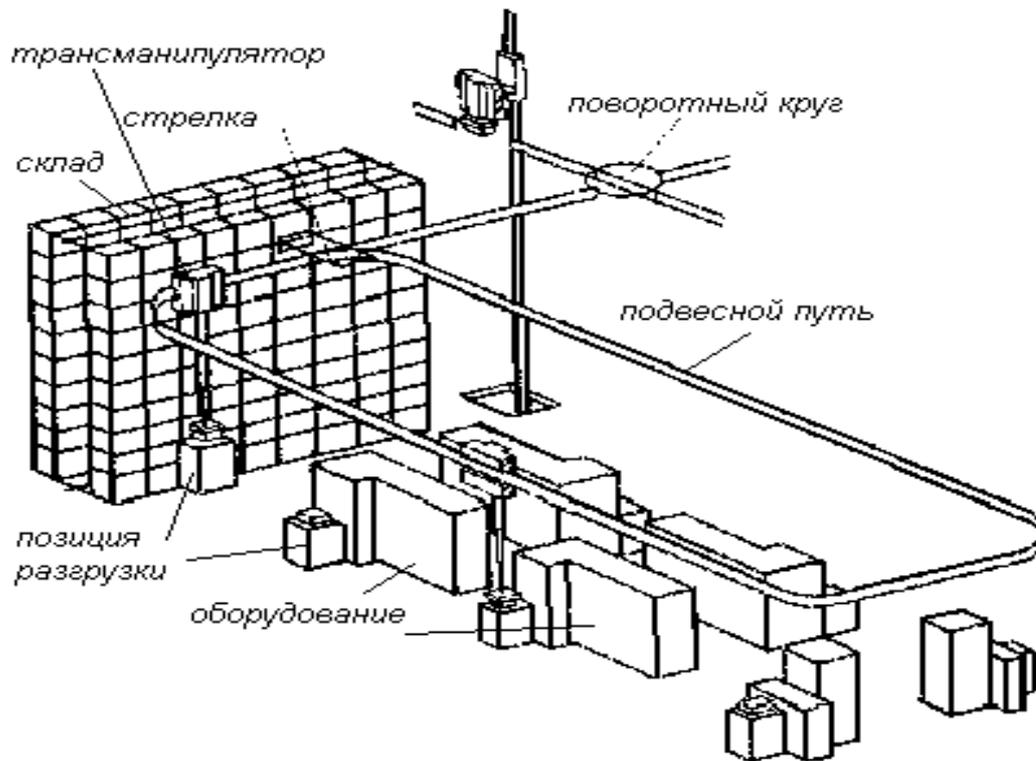


Рис. 67. Фрагмент компоновки транспортной подвесной системы ГПС

Недостатками подвешенного транспорта являются: относительно большие капитальные затраты на устройство подвесных путей; грузоподъемность подвешенного транспорта ограничена грузонесущей способностью подвесных путей; подвешенный транспорт обладает меньшей поперечной устойчивостью, так как база между опорами качения ограничена высотой монорельса; затруднены техническое обслуживание и ремонт подвешенного транспорта ввиду значительной высоты, на которой располагаются объекты обслуживания: ходовая и приводная части, электроаппаратура. Учитывая перечисленные преимущества и недостатки подвешенного транспорта, можно считать его применение в ГПС перспективным и экономически обоснованным. При разработке проектов подвешенного транспорта целесообразно предусматривать разработку конструкций, komponуемых из следующих основных модулей: приводной и холостой тележек, соединительной траверсы и манипулятора, электрооборудования.

5.3.4. Конвейерный транспорт

В соответствии с характером грузопотоков конвейерный транспорт может быть использован для транспортирования заготовок, готовых деталей, тары, оснастки между цехами и автоматизированными складами, между участками внутри цехов и складов; заготовок (деталей) на приемные позиции для пополнения запаса заготовок в складах или накопителях, установленных около каждого станка; заготовок на приемные позиции станка из другого модуля или в другой модуль ГПС для продолжения обработки, обработанных деталей на позиции разгрузки; обработанных деталей на позиции контроля и возвращения их обратно после межоперационного контроля для дальнейшей обработки; спутников на позиции загрузки (разгрузки) или в накопитель; для приема заготовок или тары на склад (приемные конвейеры) или для выдачи заготовок или тары из склада (отводящие конвейеры); удаления стружки (табл. 12).

По способу передачи перемещаемому грузу движущей силы различают конвейеры, действующие с помощью привода (механического, гидравлического и др.), самотечные (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.

По характеру приложения движущей силы конвейеры бывают с гибким тяговым элементом (лентой – текстильной или из синтетических материалов, с цепью или канатом) и без него. К первым относят ленточные, пластинчатые, цепные, скребковые; тележечные, подвесные, шагающие и другие конвейеры. В них груз движется вместе с тяговым элементом на рабочей ветви.

В конвейерах без гибкого тягового элемента груз перемещается поступательно при вращательном или колебательном движении рабочих элементов машины. К ним относят роликовые, качающиеся (вибрационные) и винтовые конвейеры.

Основные типы конвейеров

Конвейеры	Грузо-подъемность, кг	Характер перевозимых грузов, цели
Ленточные	До 50	Для межоперационной передачи единичных изделий и в таре в обрабатывающем и сборочном производстве в приборостроении и точном машиностроении
Пластинчатые	25–125	Для передачи единичных изделий и изделий, укрепленных на спутниках, в заготовительном, обрабатывающем и сборочном производстве
Подвесные с автоматическим адресованием	50–250	Для межцеховой и межучастковой передачи изделий в таре и крупногабаритных заготовок на расстояние более 50 м в машиностроении
Роликовый и цепной	30–500	Для межоперационной передачи изделий, укрепленных на спутниках, на расстояние менее 50 м в механообработке

По характеру движения рабочего (грузонесущего) 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 распределяется на несколько грузопотоков или, наоборот, несколько потоков объединяются в один. По назначению конвейеры, применяемые в АТСС, можно разделить на

приемные и отводящие, приемно-передающие, межоперационные и конвейеры-накопители.

Скорость конвейеров 0,006–0,67 м/с. Наибольшую скорость конвейеров выбирают из условия обеспечения требуемой производительности. Опыт работы по проектированию транспортных систем с использованием конвейеров показывает, что скорость 0,67 м/с оптимальная.

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.

5.3.5. Выбор областей использования транспортных средств

На выбор средств транспортирования изделий в ГПС влияют следующие факторы:

- пространственная конфигурация рабочих мест и магазинов;
- объем транспортных задач, обусловленный интенсивностью связей между РМ и магазинами и частотой их смены;
- технические требования устройств, работающих в контакте с транспортными средствами;
- принципы управления перемещением изделий в ГПС;
- возможность использования производственных площадей и архитектурно-строительные ограничения (например, высота цеха);
- связи с цеховой сетью снабжения изделиями и материалами;
- требования, обусловленные безлюдной работой ГПС;
- экономичность (капиталовложения и эксплуатация).

Характеристики транспортных средств ГПС и их балльная оценка приведены в табл. 13.

Таблица 13

Характеристики и балльная оценка транспортных средств ГПС

Критерий оценки	Транспортное средство								
	Рольганг	Транспортер			Рельсовая тележка	Автокар	Робокар	Кран с ЧПУ	Кран-штабелер
		ленточный	цепной	подвесной					
Стоимость	4	4	4	3	3	5	2	2	3
Затраты на эксплуатацию	4	4	4	4	4	3	5	4	4
Возможность закупки	4	4	4	5	5	3	5	4	4
Занимаемая площадь	3	3	3	5	3	4	4	5	4
Возможность достройки	3	2	4	4	2	5	5	4	3
Возможность встраивания в существующие структуры	3	3	3	4	1	5	5	3	3
Транспортирование в произвольном направлении	3	2	3	4	0	5	5	5	4
Транспортирование на палетах	4	2	4	3	5	5	5	3	5
Грузоподъемность	3	3	4	3	5	4	4	4	4
Автоматическое управление	4	4	4	4	5	0	5	5	4
Простота изменения функций	2	3	3	4	1	4	5	4	2
Возможность соединения:									
- со складской системой	4	4	4	4	0	0	0	0	4
- с манипуляционной системой	0	0	0	0	3	0	3	4	3
Средний балл	3,2	2,9	3,4	3,6	3,1	3,3	4,4	3,9	3,9

Примечание: 5 – очень хорошо; 4 – хорошо; 3 – удовлетворительно; 2 – весьма посредственно; 1 – неудовлетворительно; 0 – невозможно

При выборе транспортных средств можно дополнительно воспользоваться следующими рекомендациями:

- в ГПС со сложной структурой и значительным количеством РМ преимущество имеют тележки с индукционным управлением, реже используются рельсовые тележки, порталные роботы-манипуляторы и устройства для смены палет;
- в автоматических линиях применяются преимущественно транспортеры, с которыми взаимодействуют порталные роботы или краны;
- в ГПМ для обработки деталей призматической формы часто используются рельсовые тележки.

5.4. Подсистема манипулирования

5.4.1. Устройства для манипулирования деталями типа тел вращения

Выбор способа манипулирования деталями, а часто и способа их транспортирования с учетом последующих манипуляций, зависит прежде всего от количества станков в ГПС, количества деталей в партии и времени обработки, приходящегося на одно закрепление детали.

Конструктивное решение системы манипуляции обусловлено в основном типом манипулируемых объектов. Таким объектом в ГПС для обработки деталей типа тел вращения могут быть как многопредметные палеты, поступающие из магазина, так и одиночные детали, устанавливаемые на станках. В ГПС для обработки тел вращения функции манипулирования обеспечивают специализированный робот, выполненный как одно целое со станком, порталный робот или универсальный отдельно стоящий робот. Специализированный робот обслуживает станок спереди (рис. 68, *а*). Универсальный робот также подает детали в зону обработки, находясь перед станком (рис. 68, *б*). Такое решение используется при обработке небольших деталей (поскольку затруднен доступ в зону обработки). Портальные роботы (рис. 68, *в*, *г*) расположены над станком и подают заготовки сверху, что обеспечивает легкий доступ в зону обработки. Именно это, а также более рациональное использование площади цеха делает применение порталных роботов наиболее перспективным. К их достоинствам можно отнести также высокую грузоподъемность (до 350...500 кг); значительную длину перемещения по горизонтали (до 10 м для одноосных роботов и еще большую для двухосных); перемещение по вертикали до 2 м; скорость линейных перемещений до 1...2 м/с и скорость вращения до 60...120 град/с; ускорения до 0,5 g для осей с программным управлением и до 1,5 g для осей без такого управления; точность позиционирования от $\pm 0,025$ до $\pm 0,25$ мм.

Портальные роботы и манипуляторы в зависимости от конструкции и рабочего пространства могут быть линейными (одноосными) и поверхностными (двухосными). В первом случае

(рис. 68, а) несущая конструкция имеет форму портала, а рука может перемещаться в двух направлениях – по горизонтали и по вертикали. Во втором случае (рис. 68, б) несущая конструкция представляет собой каркас на основе двух порталов, а рука перемещается относительно трех осей. Рабочее пространство можно расширить, используя дополнительные оси вращения механической руки.

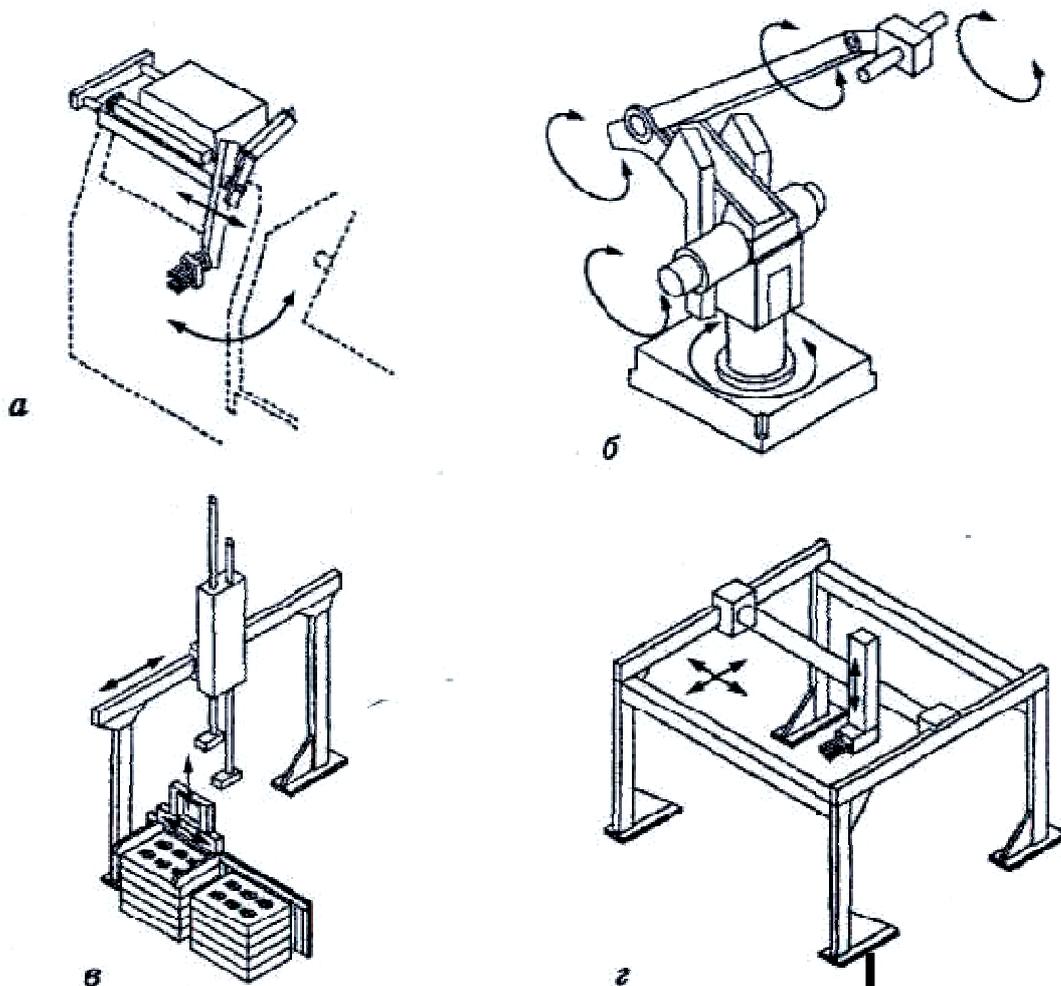


Рис. 68. Основные типы манипуляционных устройств, используемые в ГПМ:
 а – робот-манипулятор, установленный на станке; б – универсальный отдельно стоящий робот; в – порталный одноосный манипулятор; г – порталный двухосный манипулятор

Линейные роботы и манипуляторы используются главным образом в ГПМ. Они могут обслуживать любые одноуровневые (одно- и многорядные) магазины, не имеющие возможностей перемещения, а также одноуровневые дисковые поворотные мага-

зины. Перемещение очередной заготовки непосредственно под механическую руку обеспечивает магазин. При необходимости обслуживания многоуровневых магазинов (штабели палет) манипуляторы действуют совместно с устройствами для перекладывания палет (см. рис. 68, в).

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

Механические руки (схваты) являются важной частью манипулятора. Они могут быть одиночными и сдвоенными, причем в последнем случае имеют последовательное, параллельное или угловое расположение. Сдвоенные схваты характеризуются большой скоростью действия. Форма и размеры схватов должны обеспечивать манипулирование деталями, имеющими разные диапазоны размеров. Если различия в размерах очень велики, можно применять комплекты сменных схватов, хотя такое решение используется очень редко.

5.4.2. Устройства для манипулирования корпусными деталями

В ГПМ и ГПС для обработки корпусных деталей последние обычно установлены на палетах, и именно палеты являются предметами манипулирования, которое осуществляется в основном с помощью устройств для смены палет, перемещающих предметы с транспортной подсистемы (тележки) на рабочую позицию (стол станка). Такие устройства могут быть поворотными (см. рис. 63, а) или прямолинейного действия (см. рис. 63, б), характеризуются простотой взаимодействия с магазином палет и не требуют выполнения каких-либо дополнительных функциональных движений. На тяжелых станках смена палет может осуществляться с помощью цепных передач.

Поворотные устройства используются в ГПС с пассивными магазинами. Устройство располагается в центре магазина, причем позиция загрузки-выгрузки отсутствует. Иногда используют

ся схемы поворотное устройство – линейный неподвижный магазин палет; при этом устройство для смены палет имеет дополнительное движение вдоль магазина. Устройства прямолинейного действия используются вместе с круговыми или овальными магазинами с перемещением палет.

Для манипулирования палетами могут применяться также роботы-манипуляторы.

5.5. Кодирование деталей и заготовок

При использовании палет и в случае складирования обрабатываемых деталей и заготовок универсальным является электромагнитное кодирование. В этом случае носители информации имеют вид резьбовых втулок или прямоугольных вставок небольших размеров. Они снабжены элементами, обеспечивающими запись и считывание информации с помощью специальной головки (рис. 69). Объем записываемой информации может колебаться в пределах 16...1024 бит. Считывающее устройство соединено с системой управления станка.

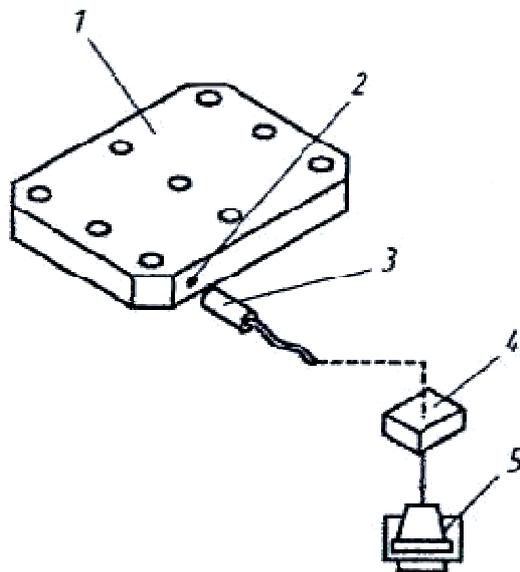


Рис. 69. Схема устройства для электромагнитной записи и считывания информации:

1 – палета; 2 – носитель информации; 3 – головка для записи и считывания; 4 – устройство контроля правильности считывания сигналов; 5 – компьютер или система управления

6. ИНСТРУМЕНТООБЕСПЕЧЕНИЕ В ГПС

6.1. Состав системы инструментального обеспечения

Задачи системы инструментального обеспечения. Система инструментального обеспечения (СИО) предназначена для эффективного решения вопросов, связанных с работой режущих инструментов. В настоящее время в отечественной и зарубежной практике применяют системы, способные:

- заблаговременно осуществлять настройку инструментов вне станка;
- проверять состояние устанавливаемых на станок инструментов и подготавливать корректирующие команды для УП;
- оперативно и рационально перемещать инструменты;
- повышать надежность информации об ожидаемом периоде стойкости инструментов, что снижает вероятность отказов;
- рационально организовывать оперативную смену инструментов; а заранее давать команды на сборку, наладку и другую подготовку инструментов, что сокращает вынужденные простои;
- обеспечивать учет и хранение инструментов.

Правильное функционирование СИО имеет важное значение, поскольку ее стоимость может достигать 25 % общей стоимости ПС. Известны ГПС, содержащие до 50 тысяч только режущих инструментов.

Структура СИО. Возможны два уровня реализации СИО. На первом уровне каждый станок (гибкий модуль) снабжен одним или несколькими магазинами режущих инструментов. В магазин устанавливается группа инструментов для обработки конкретной детали. Обычно используются магазины вместимостью до 60 инструментов при достаточно большой программе выпуска деталей. Фактически это гибкая поточная линия.

Более перспективно применение групповой технологии обработки деталей. В этом случае станки с магазином вместимостью 80–140 инструментов используются для обработки значительной номенклатуры деталей, требующих однотипных операций. Общий запас режущих инструментов сокращается при од-

новременном повышении уровня гибкости технологической системы.

На втором уровне реализации СИО используется автоматизированный склад, связанный с инструментальными магазинами группы станков с помощью автоматических транспортных средств. Необходимо наличие отделения или участка подготовки инструментов, а также компьютера для управления инструментальным потоком, работающего во взаимосвязи с другими компьютерами. Этот же компьютер транслирует УП в устройства ЧПУ ОЦ и управляет функциями еще двух компьютеров. Первый из них используется для учета запросов на материалы, управления потоками материалов и оперативного планирования производством, второй управляет центральным автоматизированным складом и перемещениями транспортных средств.

Взаимосвязи элементов СИО показаны на рис. 70.

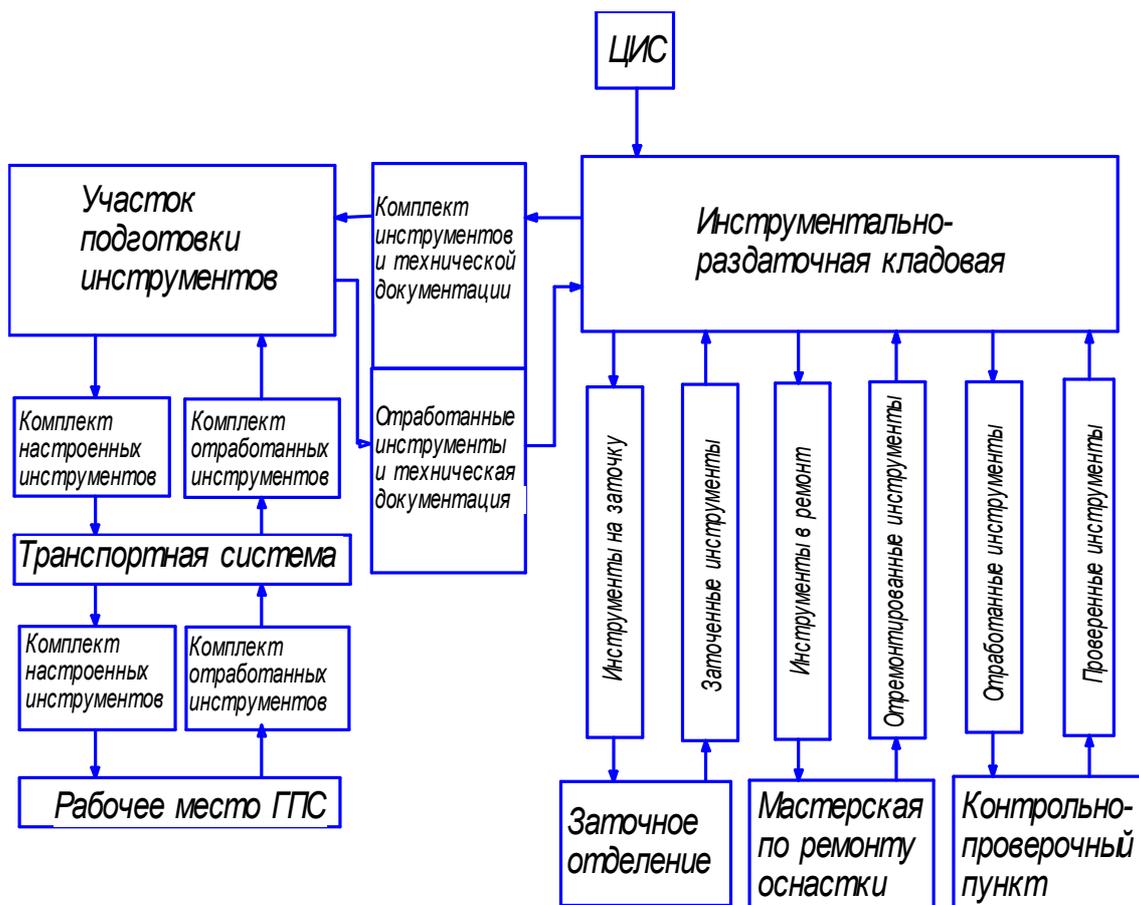


Рис. 70. Взаимосвязи элементов СИО

Функции основных элементов СИО. *Центральный инструментальный склад (ЦИС)* выполняет функции главного хранилища инструментов. Он является и первым звеном в системе обеспечения предприятия инструментами. В ЦИСе хранится только новый и пригодный для работы инструмент. Обычно запасы инструментов в ЦИСе составляют 25...50 % годового расхода. Для каждого завода устанавливаются нормы хранения запасов инструментов на ЦИСе.

Порядок пополнения запасов инструментов на ЦИСе осуществляется по системе минимум – максимум. Качество покупного инструмента подвергается проверке контрольно-проверочным пунктом (КПП) отдела технического контроля (ОТК) завода непосредственно на ЦИСе.

В соответствии с принятой классификацией инструмента ЦИС делится на секции, стеллажи, полки, ячейки. Ячейки обычно отводятся под отдельные типоразмеры инструмента.

Для обслуживания ГАП и ГПС инструментами находят применение автоматические склады:

- с клеточными стеллажами и автоматическим стеллажным краном-штабелером (складским роботом);
- автоматические элеваторные; а карусельные на основе подвесного и тележечного горизонтально замкнутых конвейеров;
- вертикально замкнутого цепного или роторного накопителей.

Из ЦИСа инструменты в соответствии с их технологическим назначением передаются в *инструментально-раздаточные кладовые (ИРК)*. Эти кладовые осуществляют:

- обеспечение ГПС режущими и вспомогательными инструментами;
- хранение минимальных запасов режущих и вспомогательных инструментов и технической документации;
- передачу затупленных режущих инструментов в отделение централизованной заточки;
- контроль режущих и вспомогательных инструментов (работниками центрально-измерительной лаборатории – ЦИЛ);
- учет и списание всех видов инструментов;

– передачу инструментов в ремонт.

Подготовка СИО к работе. При запуске новой партии деталей определяется количество инструментов, необходимых для ее обработки; на это количество выдается документация, в которой содержится следующая информация: дата подготовки комплекта инструментов, номер партии деталей, код комплекта инструментов, номер инструмента и их общее количество. При этом в зависимости от места нахождения подготовленного инструмента в алгоритме функционирования СИО предусматриваются соответствующие коды. Например: код 1 – инструмент находится в ИРК, код 2 – инструмент выдан на станок, код 3 – инструмент снят со станка и возвращен в ИРК. В компьютер с пульта ввода данных, установленного в ИРК, вводится сообщение. Оно содержит: код комплекта инструментов, код места нахождения комплекта (склад инструментов, магазин инструментов, расположение в накопителе и т. п.), номер станка, на который выдан или с которого снят комплект. Если в сообщении код места нахождения инструмента 1 (при принятом нами коде), то компьютер формирует массив с кодом подготовленного инструмента; при коде 2 в массив добавляется номер станка, на который будет выдан комплект; при коде 3 из массива памяти подготовленных комплектов удаляются код комплекта и номер станка.

Выходная информация о наличии и месте нахождения подготовленного инструмента выводится на табло или дисплей по запросу оператора.

Потребность и номенклатура инструментов для обслуживания ГПС определяются на основании типовых технологических процессов механической обработки деталей.

Запас вспомогательных инструментов принимают из расчета двух комплектов в зоне обслуживания и двух комплектов настроенных инструментов на каждый станок.

6.2. Инструментальная оснастка

Конструкцию инструментальной оснастки станков с ЧПУ определяют присоединительные поверхности для крепления на

станке, промежуточные присоединительные поверхности и поверхности для крепления режущего инструмента. Выбор рациональных присоединительных поверхностей и степень их унификации оказывают влияние на построение системы инструментальной оснастки.

Создание систематизированной инструментальной оснастки обусловлено использованием устройств для автоматической смены инструмента. Конструкции устройств, осуществляющих смену инструментов и их крепление на станках, определяют форму хвостовика инструмента, который для данного станка должны иметь все без исключения режущие инструменты. Необходимость обеспечения размеров инструментов (в соответствии с программой обработки) обуславливает введение в конструкции вспомогательных инструментов устройств, позволяющих регулировать положение режущих кромок.

Неотъемлемой частью станка с ЧПУ является комплект вспомогательных инструментов, состоящий из резцедержателей, патронов, оправок и втулок различных конструкций, предназначенных для крепления режущих инструментов. Такой комплект вместе с прибором предварительной настройки должен обеспечивать быструю наладку и подналадку инструментов при работе в условиях ГПС.

В настоящее время разработаны системы инструментальной оснастки для станков с ЧПУ, представляющие собой наборы унифицированных вспомогательных и специальных режущих инструментов (резцедержателей, оправок, втулок, зажимных патронов и т. п.) [12]. Это обеспечивает качественное крепление всего стандартного режущего инструмента, необходимое для полной реализации технологических возможностей станков с ЧПУ.

К системе инструментальной оснастки предъявляются следующие требования:

- номенклатура вспомогательного и специального режущего инструмента, входящего в систему, должна быть сведена к минимуму;

- элементы системы должны обеспечивать крепление режущего инструмента с требуемой точностью, жесткостью и виброустойчивостью (с учетом интенсивных режимов работы);
- элементы, входящие в систему, должны обеспечивать в необходимых случаях регулирование положения режущих кромок инструмента относительно координат технологической системы;
- элементы системы инструментальной оснастки должны быть удобными в обслуживании и технологичными в изготовлении.

Системы инструментальной оснастки предназначены для компоновки специальных функциональных единиц – **инструментальных блоков** (комбинаций режущих и вспомогательных инструментов), каждый из которых служит для выполнения конкретного технологического перехода. Поэтому важно наименьшим количеством вспомогательных инструментов крепить наибольшее количество режущих инструментов. Осуществляется эта задача унификацией всех конструкций, входящих в систему инструментальной оснастки станков с ЧПУ.

На основании анализа затрат, связанных с эксплуатацией режущих инструментов, установлены два пути повышения экономичности их использования: сокращение потерь времени на смену инструментов, вызванных их износом, и повышение периодов стойкости инструментов, а значит – снижение затрат на их эксплуатацию. Для этого инструментальная оснастка должна обеспечивать:

- сокращение потерь времени на установку и смену инструментов за счет упрощения элементов крепления и создания быстросменных инструментов, а также механизмов автоматической смены инструментов во время вспомогательного хода станка;
- сокращение потерь времени на наладку инструментов на станке, что достигается созданием инструментов, настраиваемых на размер вне станка, чтобы вновь установленные инструменты обеспечивали получение размеров детали в требуемых пределах;
- повышение периодов стойкости, в том числе размерной. Размерная стойкость инструментов может быть повышена путем

применения их автоматической подналадки, адаптивного управления процессом резания и т. д., а общая стойкость – применением инструментов с износостойкими покрытиями, подвижными режущими кромками, обильным подводом СОЖ в зону резания;

– снижение простоев оборудования, связанных с внеплановым выходом инструментов из строя, которое достигается повышением надежности инструментов, созданием информационных систем диагностики состояния режущих инструментов, надежным дроблением стружки.

Способы присоединения инструментального блока.

В станках сверлильно-фрезерно-расточной группы наиболее широко используется соединение конических поверхностей с конусностью 7:24 (рис. 71). Такой конус не является самотормозящимся и позволяет легко извлекать оправку из шпинделя. Крутящий момент со шпинделя передается с помощью торцовых шпонок. Оправка удерживается в шпинделе с помощью тяги и тарельчатых пружин или затягивается винтом. Движение передается тяге или винту от гидроцилиндра или электродвигателя.

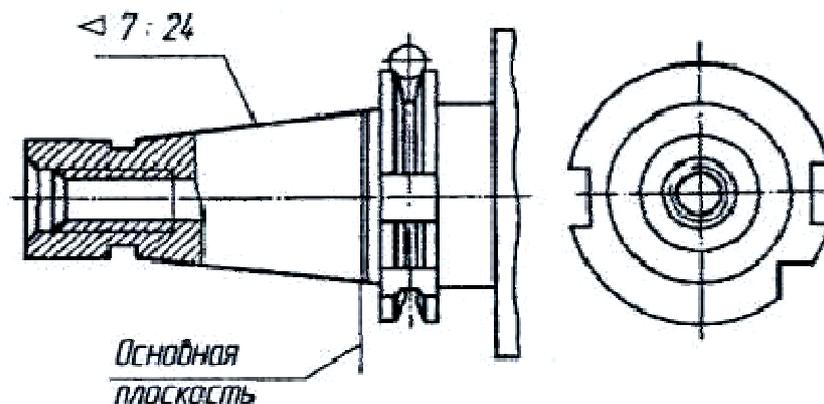


Рис. 71. Хвостовик шпиндельных оправок станков сверлильно-фрезерно-расточной группы

В станках токарной группы широко используется присоединение инструмента к револьверной головке или резцедержателю

с помощью цилиндрического хвостовика. Пример конструкции

Режущие инструменты могут устанавливаться непосредственно в резцедержатель станка токарной группы либо через про-

межуточный вспомогательный инструмент (переходные оправки и втулки).

В связи с возрастанием скоростей резания и усложнением конструкции режущих и вспомогательных инструментов важную роль играют возникающие при работе станка колебания. Они резко снижают стойкость режущих инструментов, отрицательно действуют на шпиндельные опоры станка, ухудшают качество обработанной поверхности. Поэтому борьба с вибрациями в условиях работы ГПМ приобретает важное значение.

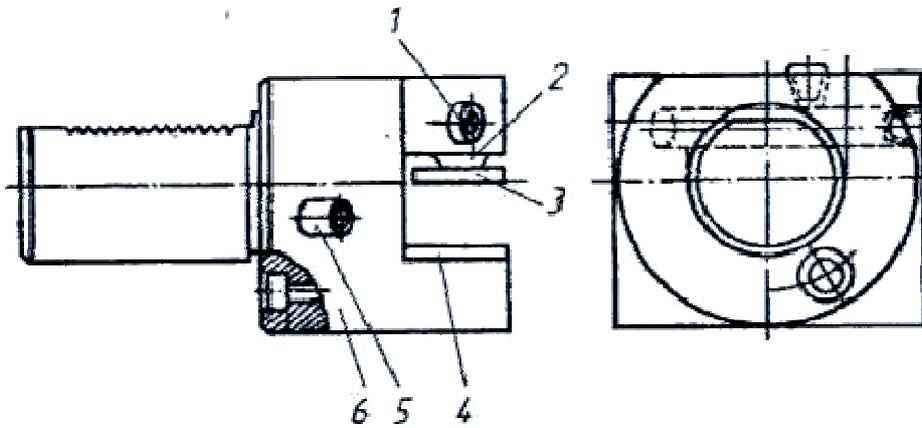


Рис. 72. Резцедержатель с цилиндрическим хвостовиком к станкам токарной группы

Имеется много пассивных и активных методов, позволяющих снизить статические деформации и (или) повысить виброустойчивость консольных инструментальных оправок, особенно большой длины. Этого можно добиться снижением уровня сил резания, использованием оправок с высокой демпфирующей способностью, периодическим изменением режимов резания путем изменения частоты вращения инструмента или обрабатываемой детали, шага зубьев многолезвийных инструментов и т. д., применением систем адаптивного управления.

В современных станках даже относительно крупные шпиндели, с диаметрами шеек подшипников 100...120 мм и конусом 50, работают с частотами 20...30 тыс. об/мин. Такие высокие частоты предъявляют жесткие требования к инструментальной оснастке, в том числе по степени ее динамической балансировки,

так как центробежные силы могут достигать очень высоких значений. Например, для инструмента, имеющего массу 10 кг и эксцентриситет только 1 мкм, дисбаланс достигает 108 Нм, а центробежная сила при частоте вращения 30 тыс. об/мин равна 100 Н. Такая сила может существенно воздействовать на динамическое состояние станка, особенно если частоты резания близки

к частотам собственных колебаний. В системе инструментальный блок – шпиндель именно первый отвечает за появление дисбаланса, поскольку шпиндель точно сбалансирован на станкостроительном заводе. Дисбаланс в инструментальном блоке возникает вследствие целого ряда причин, в частности из-за наличия торцовых и продольных шпонок, пазов для захватов манипулятора

и ориентации оправки в магазине, головок винтов, единичных лезвий режущих инструментов, например расточных резцов и др.

Точность балансировки для многоцелевых станков, работающих в традиционном диапазоне скоростей, должна быть не ниже класса G2.5 по стандарту ISO 1940/1:1986; для высокоскоростных станков – в пределах классов G1–G0.4. Номер в обозначении класса представляет допустимый дисбаланс (в миллиметрах) на 1 кг массы, вращающейся с частотой 10 тыс. об/мин.

Согласно данным фирмы «Kennametal-Hertel», использование шпиндельных оправок с комплектом балансировочных колец обеспечивает устойчивую работу при частотах вращения до 40 тыс. об/мин, тогда как для обычных оправок частоты не превышают 8 тыс. об/мин.

6.3. Настройка инструмента на размер

Для настройки инструмента на размер **на станке** наряду с жесткими применяются регулируемые оправки (рис. 73). Они устанавливаются в переходную державку (с конусностью 7:24), в корпусе 1 которой имеется внутреннее цилиндрическое отверстие диаметром 36 или 48 мм со шпоночным пазом. Хвостовик 3 регулируемой оправки или втулки устанавливается в отверстие.

Регулирование вылета инструмента осуществляется вращением регулировочной гайки 5 по наружной трапецеидальной резьбе хвостовика 3. Это обеспечивает осевое перемещение инструмента, который не вращается из-за шпонки 2, передающей крутящий момент. После настройки на размер гайка фиксируется на хвостовике с помощью стопорного винта 6 и медной прокладки 7, а сам хвостовик в корпусе – винтами 4. Для предотвращения вытягивания инструмента из корпуса на поверхности хвостовика сделан косой срез под углом 2° .

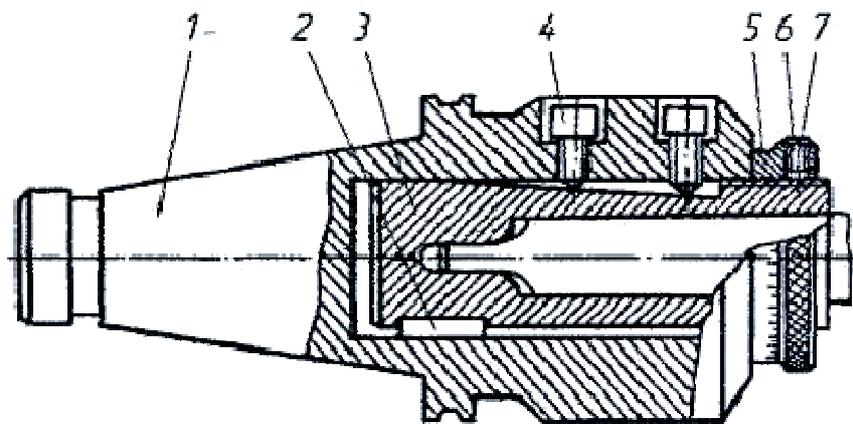


Рис. 73. Схема закрепления регулируемой оправки

Для расширения технологических возможностей многооперационных станков, с целью сокращения их простоев применяются специальные конструкции вспомогательного инструмента.

Например, на рис. 74 показана плансуппортная головка, используемая для обработки канавок и пазов различной формы, подрезания «обратных» торцов в тех случаях, когда затруднена обработка поверхностей вращения методом контурного фрезерования.

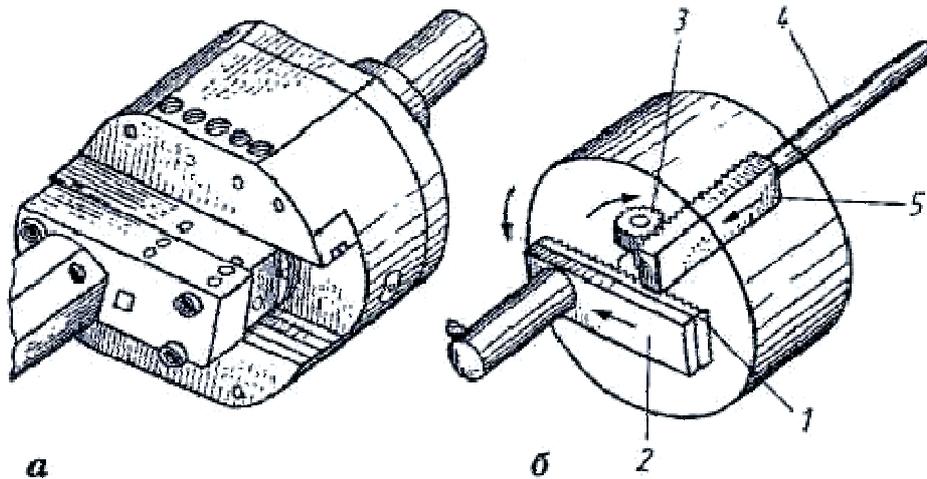


Рис. 74. Плансуппортная головка:
а – общий вид; *б* – схема работы

Резец, расточная оправка или другой инструмент закрепляется в суппорте, установленном на направляющих планшайбы или корпуса инструментальной головки. При вращении планшайбы или корпуса суппорт может перемещаться в радиальном направлении с помощью реечнозубчатой передачи. Рейка *1* прикреплена к суппорту *2*, рейка *5* связана с тягой *4*, проходящей через отверстие шпинделя. При перемещениях тяги вдоль оси шпинделя она поворачивает шестерню *3*, вместе с которой поворачивается вторая такая же шестерня, передвигающая рейку *1* и суппорт *2* с инструментом.

Используются головки для прецизионного растачивания с автоматической компенсацией износа резца, головки со встроенными планетарными механизмами, позволяющие увеличивать частоту вращения мелких сверл и фрез в несколько раз по сравнению с частотой вращения шпинделя.

Настройка инструментов на размер **вне станка** рациональна в условиях применения быстросменного и взаимозаменяемого однотипного инструмента. Точность настройки зависит от конструкции применяемых приспособлений, способа базирования инструмента в приспособлении, способа поджима инструмента к базовым поверхностям приспособления, погрешности перебазирования при переустановке инструмента, формы поверхности, контактирующей с режущими кромками (вершинами) инстру-

мента при настройке, формы обработанной поверхности, средств контроля, места настройки, квалификации наладчика.

К приспособлениям для настройки режущего инструмента предъявляются следующие требования:

1) базовые поверхности для крепления инструмента в приспособлениях должны быть одинаковыми с базовыми поверхностями на станке;

2) форма поверхности, контактирующей с режущими кромками инструмента при настройке, по возможности должна соответствовать форме поверхности детали, обработанной данным инструментом;

3) усилие, действующее на режущие кромки инструмента, не должно быть более 2 Н, так как в противном случае возможно выкрашивание кромок. Следует избегать непосредственного контакта измерительного наконечника индикатора часового типа с режущими кромками;

4) приспособления для настройки инструмента должны обеспечивать требуемую точность настройки, быть простыми и удобными в эксплуатации.

Для размерной настройки инструмента вне станка используются специальные приборы. Резцовый блок (державка) закрепляется на подставке, перекрестие проектора устанавливается на требуемые координаты вершины инструмента в поперечном и продольном направлениях. Режущий инструмент закрепляют в державке и с помощью регулировочных элементов смещают его вершину так, чтобы ее проекция попала в перекрестие, а проекции режущих кромок совпали с соответствующими линиями перекрестия экрана (рис. 75). Приборы имеют пульт с устройством цифровой индикации, с помощью которого ведется отсчет по двум координатам.

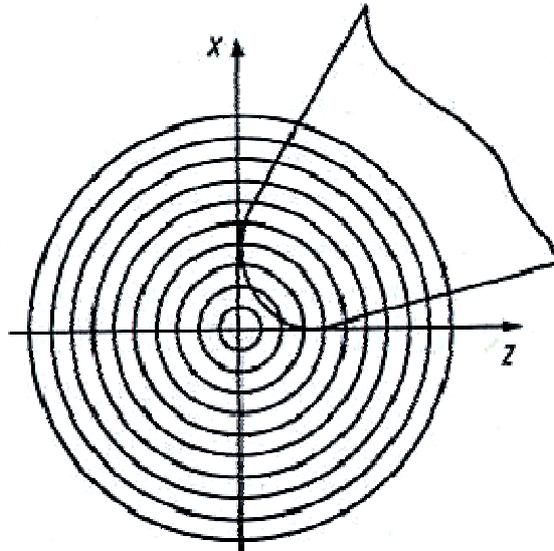


Рис. 75. Изображение вершины инструмента на экране проектора при настройке инструмента на размер

Более совершенны устройства на микропроцессорах. В таких приборах после установки инструмента в базирующем устройстве положение его режущей части фиксируется с помощью оптических сканирующих щупов. Микропроцессор по специальной программе определяет координаты вершины и вносит их в магнитную метку на корпусе инструмента. После установки в инструментальном магазине станка эти сведения считываются для соответствующей коррекции программы обработки.

6.4. Транспортирование инструмента

В условиях ГАП используются различные транспортные системы для автоматической подачи нового инструмента и удаления изношенного или сломанного, обеспечивающие возможность работы по безлюдной технологии. Станки могут оснащаться дополнительными (буферными) накопителями, инструменты из которых автоматически заменяются в магазинах станков. Дополнительные магазины с автооператорами могут быть установлены непосредственно на станке либо в виде отдельных агрегатов, установленных около станка и обслуживающих один станок.

Так на рис. 57 показан пример СИО, состоящей из централизованного склада-накопителя инструмента, расположенного среди обрабатывающих станков. Склад выполнен в виде подвешенного конвейера, один конец которого доходит до участка подготовки инструмента. Здесь осуществляется обмен нового и изношенного инструмента. Станки имеют собственные локальные магазины инструмента, емкости которых как минимум должно хватать на обработку детали одного наименования. При необходимости обмен инструментами между центральным накопителем и локальными магазинами осуществляется специальными автооператорами.

На рис. 58 представлена подсистема СИО, входящая в состав АТСС. Магазины с настроенным инструментом подаются специальной тележкой 9 (по принципу: один магазин – одна деталь).

Интересная СИО, показанная на рис. 76, 77, используется на станках фирмы HULLER HILLE (Германия). Налаженные инструменты закрепляются в специальные кассеты, которые могут подаваться к станку на тележке, управляемой человеком или автоматически. На станке (см. рис. 76) устанавливается несколько кассет 1, с помощью транспортного устройства и автооператора 2 (см. также рис. 77) инструмент подается в дополнительный магазин 4, откуда непосредственно в шпиндель станка.

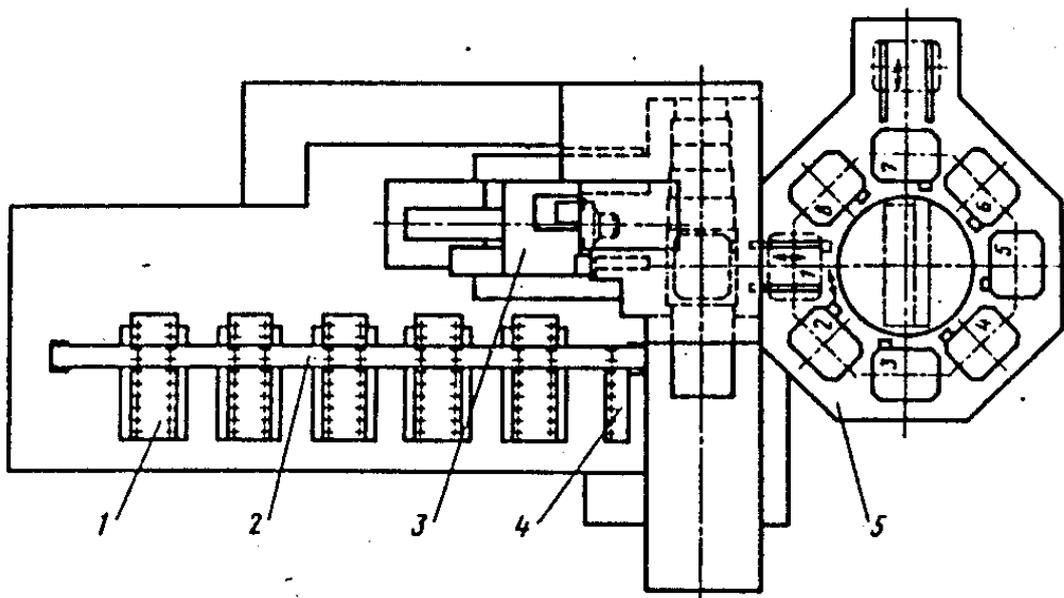


Рис. 76. Многоцелевой станок с кассетным инструментальным магазином

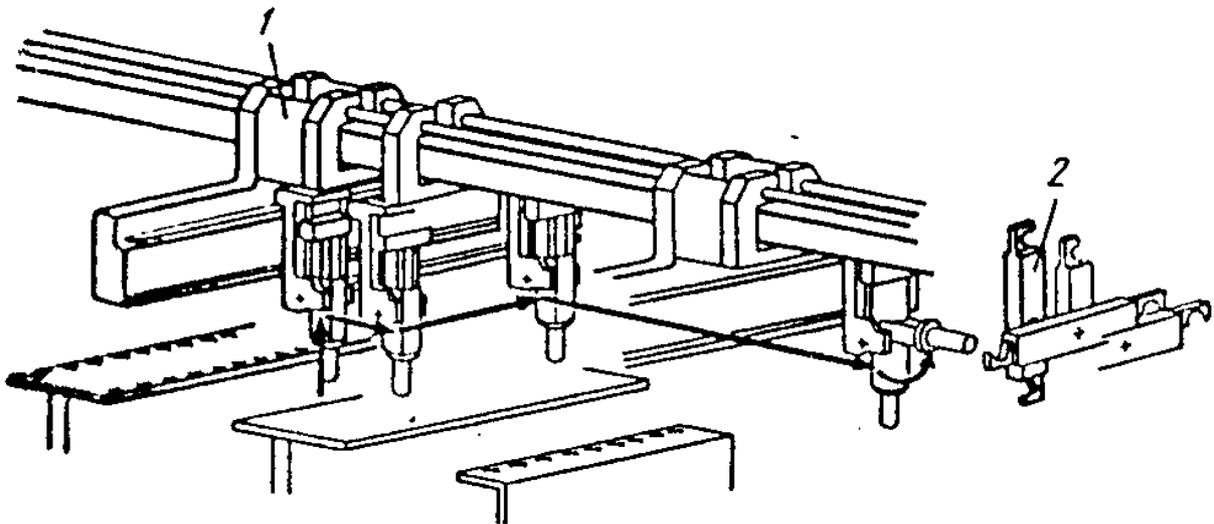


Рис. 77. Транспортное приспособление и автооператор смены инструмента

7. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ В ГПС

7.1. Общие положения

Измерение – процесс нахождения физических величин с помощью технических средств.

Контроль – измерительный процесс, состоящий в установлении годности изделия по контролируемому параметру. Результат контроля – качественная оценка: годное, неисправимый брак, исправимый брак.

Обычно контролируются линейные и угловые величины.

Состав технических средств измерения:

1) приемник информации. Главная характеристика – измерительное усилие;

2) передающее устройство. Главные характеристики – передаточное отношение, чувствительность, конструктивное выполнение;

3) отсчетное устройство. Главные характеристики – цена деления, точность отсчета, интервал делений шкалы, конструктивное выполнение.

Автоматические контрольные устройства (АКУ) делят на два больших класса:

- а) **пассивные АКУ;**
- б) **активные АКУ.**

Пассивные – сортируют готовые изделия на годные и бракованные, разделяют на размерные группы. Представители – контрольно-сортировочные автоматы.

Активные – по результатам измерений не только сортируются изделия на годные и бракованные, но и, главное, вырабатываются сигналы управления процессом обработки: о достижении заданного размера, о поднастройке станка, об остановке станка и пр.

В свою очередь активные АКУ по времени использования:

- а) **до обработки, блокировочные;**
- б) **во время обработки;**
- в) **после обработки, автоподнастройщики.**

На рис. 78 представлены схемы вышеупомянутых активных АКУ. Схема *а* работает следующим образом. Детали попадают на измерительную позицию 2 и контролируются датчиком 1. Отсчетное устройство управляет измерительной заслонкой 3, в которой происходит разделение потока проконтролированных деталей на неисправимый брак 8, исправимый брак 7, и годные детали поступают для обработки на рабочую позицию 4 станка 5. На схеме *б* измерение происходит датчиком 5 непосредственно при обработке. По результатам измерения отсчетное устройство выдает в систему управления 1 информацию и принимается решение об изменении режимов обработки (величины подачи шлифовальной бабки 7 или окончания обработки, то есть практически осуществляется управление циклом обработки. На схеме *в* контроль осуществляется после обработки на станке, поэтому можно сформировать сигнал на подналадку станка.

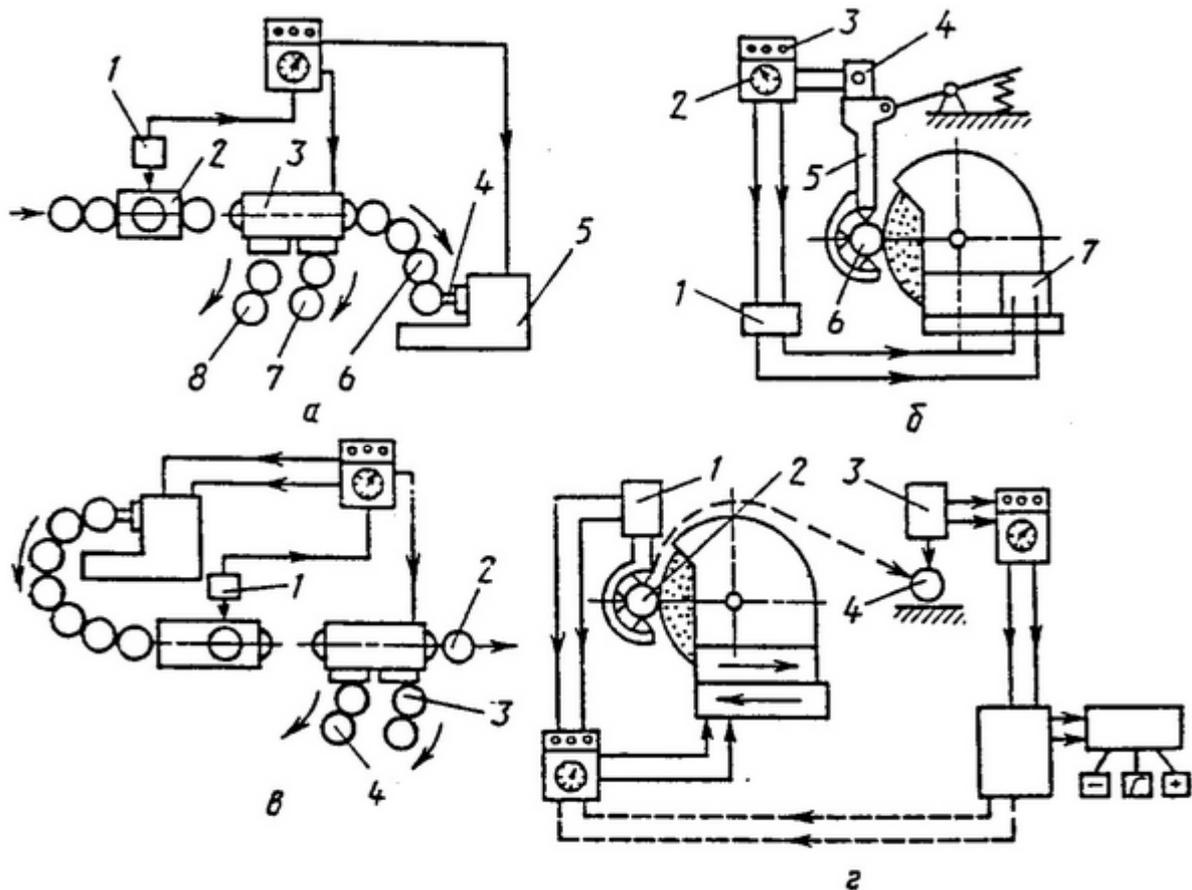


Рис. 78. Устройства активного контроля:
а – до обработки; *б* – в процессе обработки; *в* – после обработки;
г – самонастраивающееся

Активный контроль во время обработки различают:

- **прямой** – когда контролируется непосредственно нужный размер детали;

- **косвенный** – когда размер вычисляется косвенным образом, например, контролируя положение образующей шлифовального круга при внутреннем круглом шлифовании, можно определить диаметр шлифуемого отверстия.

Активный контроль – наиболее прогрессивный метод, так как превращает станок в САР, автоматически обеспечивающую заданную точность.

7.2. Обеспечение заданной точности обработки в ГПС

7.2.1. САУТО

Как показывает опыт, известные технологические приемы (многопроходная обработка, стабилизация свойств заготовки, выбор соответствующих режимов обработки и пр.) достаточно эффективны лишь при ограниченных требованиях к точности изготовления. Если задана точность h_5 , h_6 , то существенно возрастает роль таких составляющих, как:

- ошибки настройки;
- износ инструмента;
- тепловые деформации;
- погрешности базирования при автоматической смене инструмента;
- погрешности аппроксимации и пр.

Поэтому **необходима корректировка положения инструмента** по результатам измерения размеров обрабатываемой детали, режущего инструмента или других параметров элементов СПИД.

До последнего времени даже на современных станках с ЧПУ указанную операцию измерения и внесения корректировки осуществлял оператор вручную.

В условиях безлюдной технологии (на ГПС) решение указанной проблемы возложено на специальную подсистему **САУТО** (система автоматического управления точностью обработки). Корректировка настройки осуществляется в САУТО на основе измерения либо размеров детали, либо положения (размера) режущей кромки инструмента.

Рассмотрим работу САУТО на примере токарного ОЦ (рис. 79). Собственно измеритель, датчик 5, смонтирован в гнезде револьверной головки 4. Приводами подачи шаровидный конец щупа датчика подводится до касания с деталью 6, закрепленной в патроне 8. В момент касания оптический (инфракрасный) сигнал от передающего устройства через воздушный зазор поступает на приемное устройство 2, далее в электронный блок 1 и в УЧПУ, где регистрируется отсчет датчика и вычисляется координата точки касания.

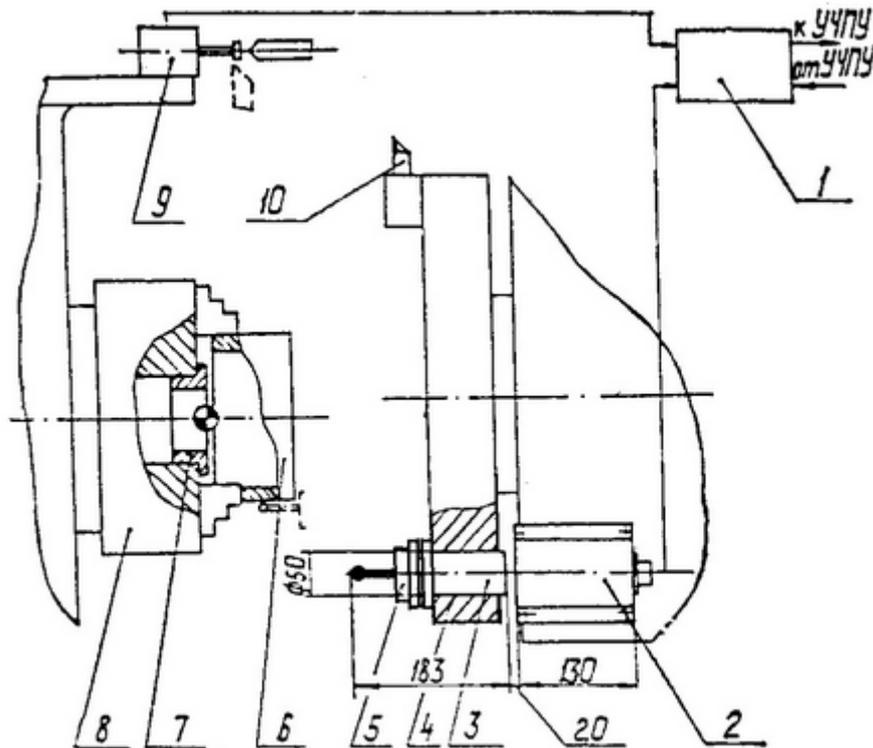


Рис. 79. САУТО в токарном ОЦ

Для аттестации датчика (привязки его к системе координат станка) служит запрессованная в шпиндель втулка 7 с эталонными размерами.

Датчик 9 служит для измерения размерного износа инструмента. Перед началом работы новый инструмент подводится к датчику и положение его вершины в системе координат станка фиксируется. После обработки некоторого количества деталей инструмент вновь подводится к датчику 9. По полученной разнице координат можно определить величину размерного износа.

На фрезерных ОЦ схема работы аналогичная, только датчик детали устанавливается вместо режущего инструмента в шпиндель станка, а датчик инструмента закрепляется на столе станка.

7.2.2. Виды обеспечения САУТО

7.2.2.1. Информационное обеспечение

Включает в себя:

- а) исходные данные: сведения о систематических погрешностях станка; данные, задаваемые в УП: перечень измеряемых размеров, периодичность, заданные значения размеров и пр.;
- б) текущие данные, получаемые в результате измерений.

7.2.2.2. Математическое обеспечение

Включает алгоритмы и программы:

- для выполнения измерительных операций и преобразования результатов измерений в корректирующее воздействие, в сигналы о смене инструмента, об аварийных ситуациях и пр.;
- для регламентирования последовательности измерительных и вычислительных операций;
- для оптимизации последовательности измерительных и вычислительных операций. Задача очень важная, так как по 1...2 замерам нельзя получить надежную информацию о получаемых размерах, особенно для партии деталей. Достаточно вспомнить график кривой нормального распределения. Увеличение же числа измерений приводит к увеличению простоев станка.

7.2.2.3. Техническое обеспечение

Включает в себя:

- а) измерительное устройство (датчики размеров детали и инструмента);
 - б) вычислительное устройство, преобразующее исходную и текущую информацию в корректирующее воздействие;
 - в) устройство, реализующее корректирующее воздействие.
- Элементы б) и в) входят в состав станка с ЧПУ.

7.2.3. Функции САУТО

Основные функции: измерение и преобразование информации.

7.2.3.1. Измерение

Измерять можно по следующим схемам:

- а) на станке в процессе резания;
- б) на станке вне процесса резания;
- в) вне станка.

Схема а) требует бесконтактных высокочувствительных быстродействующих датчиков, так как для механической обработки характерны высокие числа оборотов шпинделя (на токарной обработке), масляный туман от СОЖ и пр. Практически эта схема широко используется только на шлифовании, для токарной и фрезерной обработки находится в стадии лабораторных испытаний. Вместе с этим эта схема перспективна: нет простоев оборудования, можно управлять точностью обработки партий из одной детали.

Схема б) наиболее распространена сегодня, подробнее будет рассмотрена далее. Анализ современного оборудования показывает преобладание в мировой практике именно этой схемы.

Схема в) более дорогая, так как требует специального контрольного оборудования, но обеспечивает точность контроля на порядок выше, чем первые две схемы. Используют **координатно-измерительные машины (КИМ) и измерительные роботы**. Наиболее рациональная область использования – детали сложной пространственной формы достаточно больших партий.

Реализацию схемы б) в САУТО мы уже рассмотрели выше. Датчики монтируются либо в револьверную головку (токарные станки), либо в шпиндель станка (фрезерные и сверлильные). Датчики регистрируют либо отклонение действительного положения измеряемой поверхности от запрограммированного (датчик отклонения), либо разность координат условной базы и измеряемой поверхности (датчик контакта).

У нас получил распространение датчик контакта БВ-4271, разработанный ВНИИИзмерений с максимальной погрешностью срабатывания – 2 мкм.

На рис. 80, 81 приведены схемы измерения щупом различных типовых поверхностей на разных станках.

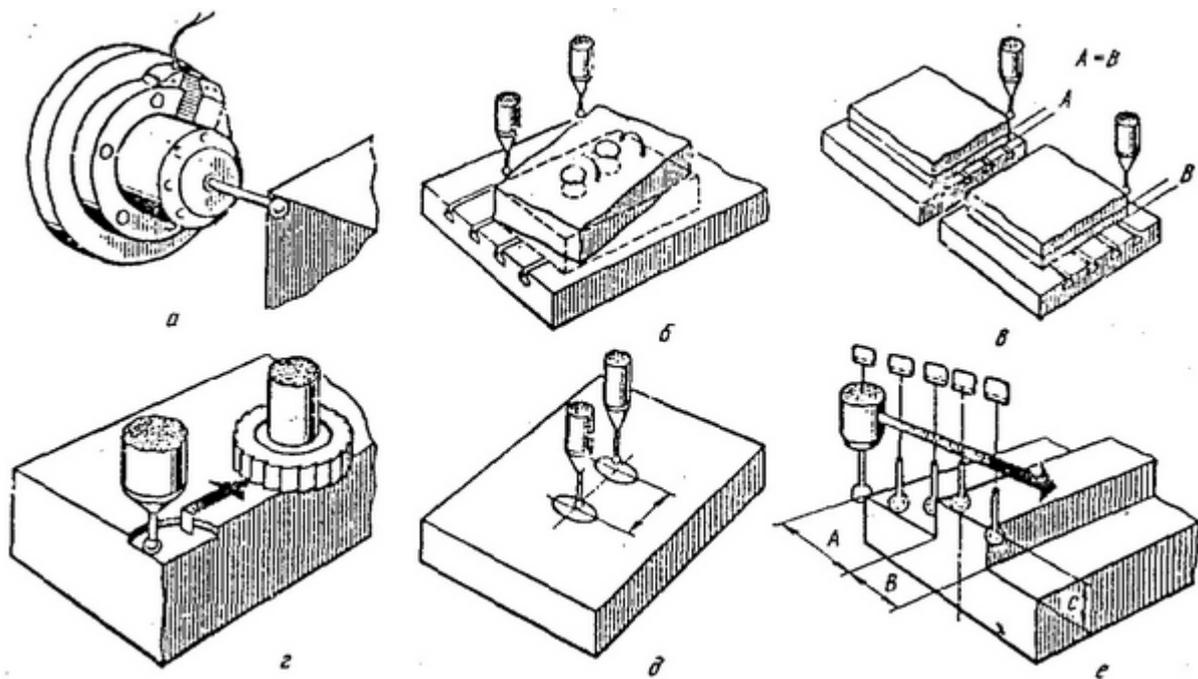


Рис. 80. Схемы применения щупов на ОЦ для измерения:
a – установки нулевой точки; *б* – погрешности установки заготовки на столе; *в* – снимаемого припуска; *г* – припуска на чистовой проход; *д* – межосевого расстояния; *е* – обработанной детали

7.2.3.2. Преобразование информации

Так как измерение происходит на станке вне процесса резания, то актуальна задача минимизации точек измерения. Число измерений и последовательность обхода устанавливает технолог, ориентируясь на типовые схемы измерения поверхностей, требования по точности, объем партии. В КИМ для большинства видов элементарных поверхностей имеется сервисное программное обеспечение, с помощью которого задача проектирования маршрута измерения значительно упрощается.

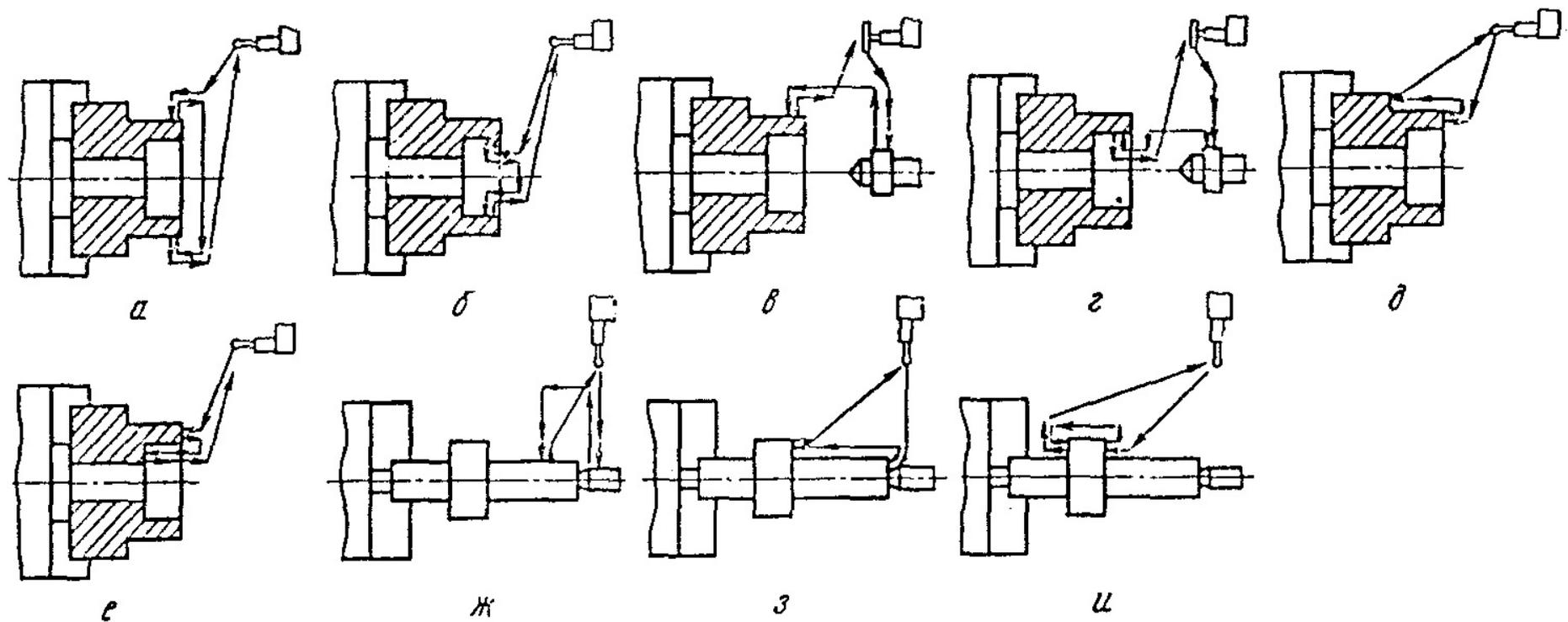


Рис. 81. Схемы применения щупов на токарном станке с ЧПУ для измерения:
а и *б* – соответственно наружного и внутреннего диаметров детали в патроне; *в*, *г* – с одной стороны соответственно наружного и внутреннего диаметров детали в патроне с контролем по эталону; *д*, *е* – длины обработанной поверхности детали в патроне (соответственно наружной и внутренней поверхностей);
ж – наружного диаметра в центрах с контролем по эталону; *з* – длины обработанной поверхности детали в центрах;
и – толщины фланца в средней части детали, обрабатываемой в центрах

После того как измерение детали сделано, появляются еще три задачи:

1) оценка комплексных показателей точности, то есть включающих в себя несколько измерений (биение, конусность, погрешности формы и пр.);

2) вычисление требуемой коррекции;

3) оптимизация управления точностью обработки.

Для решения задач 2) и 3) необходимы математические модели: САУТО; погрешностей обработки (курс ТМС).

Вспомним наиболее распространенную *модель структуры погрешностей* (схема видна из рис. 82, а):

$$y_n = C_0 + C \cdot n + y_{сл}, \quad (63)$$

где C_0 – постоянная составляющая, определяемая ошибками начальной настройки, ступенчатого смещения при температурных деформациях и т. п.; C – систематическая составляющая, приходящаяся на одну деталь (износ и т. п.); n – порядковый номер обрабатываемой детали; $y_{сл}$ – случайная составляющая погрешностей (неравномерность припуска, твердости материала, жесткости системы и т. п.).

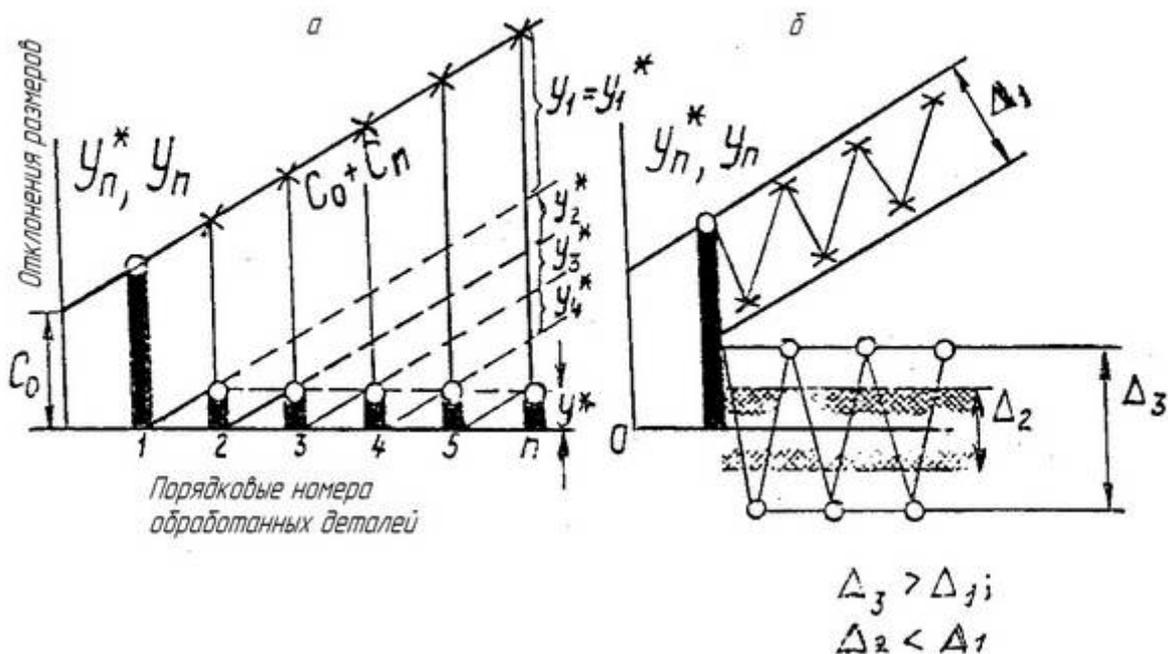


Рис. 82. Модель погрешностей обработки

Модель САУТО как системы автоматического регулирования представлена на рис. 83. На рисунке обозначены:

- Z^{-1} – учитывает запаздывание на 1 шаг;
- $W(Z)$ – преобразователь результатов измерения U_{n-1} в величину коррекции U_n ;
- $\frac{1}{1-Z^{-1}}$ – сумматор.

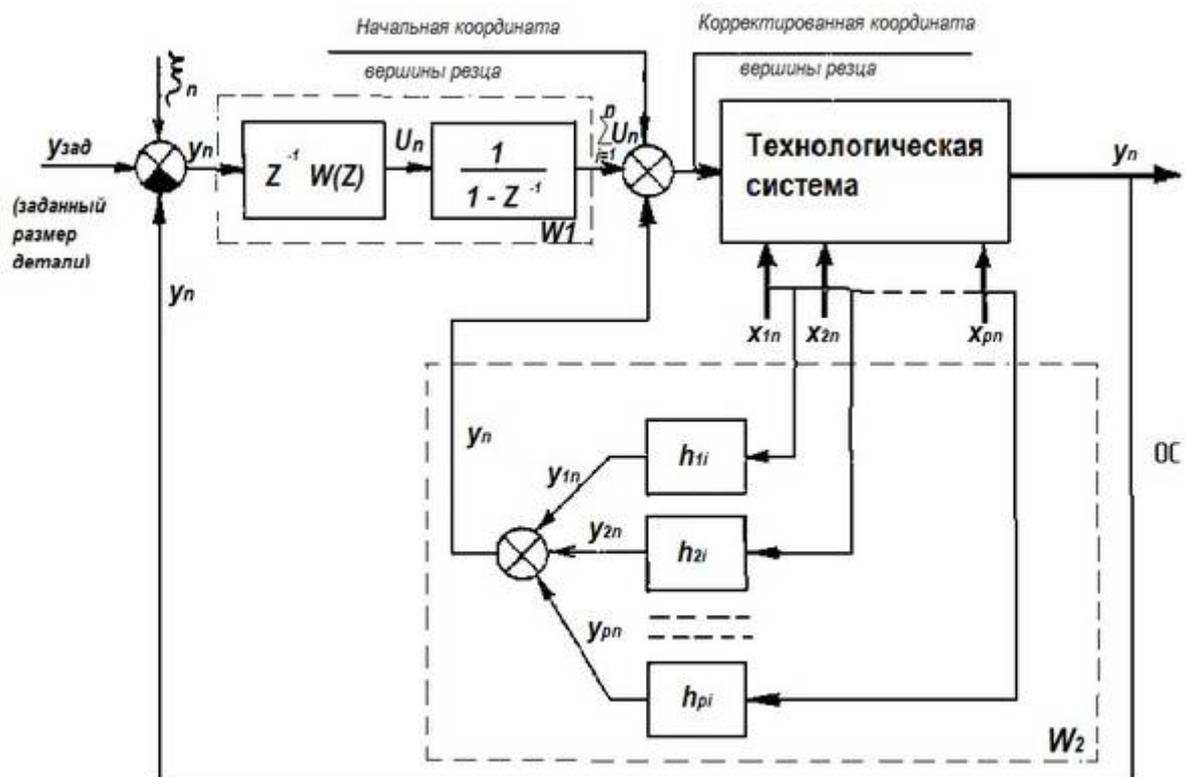


Рис. 83. Схема образования и компенсации погрешностей обработки

Под воздействием факторов среды X_1, \dots, X_p возникает отклонение действительного размера детали y_n (в n -м цикле обработки) от $u_{зад}$ на величину y_n . Для уменьшения y_n есть два способа:

– **регулирование по отклонению.** Измеряем предыдущую деталь. По обратной связи передаем на элемент сравнения. Получаем отклонения от заданного значения. Так можно компенсировать составляющие C_0 и C . Случайная составляющая $y_{сл}$ не компенсируется;

– **регулирование по возмущению.** Измеряем факторы X_1, \dots, X_p , определяем коэффициенты их влияния на y_n (h_{pi}). Так можно компенсировать $y_{сл.}$ Достоинства и недостатки этих способов регулирования рассматриваются в курсе «Теория автоматического управления».

7.2.4. Алгоритм автоматической подналадки

В станках с ЧПУ используется подналадка **пропорциональным импульсом**, при которой коррекция вычисляется пропорционально отклонению размера последней обработанной детали:

$$y_n = -b \cdot y_{n-1}, \quad (64)$$

где b – коэффициент пропорциональности; y_{n-1} – отклонение размера детали, обработанной с подналадкой в $n-1$ цикле.

На рис. 82, *а* показана идеализированная модель без случайной составляющей. Тогда алгоритм таков. Обрабатывается первая деталь без подналадки и измеряется. Перед обработкой второй детали ($n = 2$) вводят коррекцию $U_2 = -y_1$. Далее добавляют (при $n = 3$): $y_3 = -y_2$ и т. д.

Очевидно, что отклонение размеров будет равно C (смещению настройки за время обработки одной детали). Эта величина обычно очень мала, порядка 1...2 мкм, поэтому можно контролировать не каждую деталь, а с какой-то периодичностью.

Реально есть случайная составляющая, которая создает разброс (коридор) размеров, шириной Δ_1 (рис. 82, *б*). В зависимости от величины коэффициента подналадки b возможно в результате подналадки как увеличение разброса ($\Delta_3 > \Delta_1$), так и уменьшение разброса. При $b < 1$ $\Delta_2 < \Delta_1$. Возможно нахождение оптимального значения b , при котором рассеяние размеров будет меньше первоначального рассеяния до подналадки.

В схеме (см. рис. 83) $W(Z) = b = \text{const}$. Для станков с ЧПУ опытное значение $b_{\text{опт}} = 0,5$. В условиях ГПС значение $b_{\text{опт}}$ может меняться и необходимы дополнительные исследования, то есть учет конкретных условий.

7.3. Координатно-измерительные машины

7.3.1. Общая характеристика

Высокий уровень автоматизации, внедрение роботизированных рабочих мест для осуществления процесса контроля изделий в ГАП позволяют использовать координатно-измерительные машины (КИМ), управляемые от ЭВМ, для контроля геометрических параметров.

Координатно-измерительные машины с ЧПУ, имеющие автоматические загрузочно-разгрузочные устройства и автоматическую смену измерительных головок, образуют модуль. По конструктивному исполнению координатно-измерительные машины (КИМ) с ЧПУ можно разделить на четыре типа: консольные, бесконсольные, порталные (рис. 84, табл. 14) и мостовые. Применяют также видоизменения конструкции каждого типа и исполнения, являющиеся комбинацией указанных типов.



Рис. 84. Автоматическая координатно-измерительная машина RV-II

Характерным для КИМ, предназначенных прежде всего для измерения призматических деталей, являются три линейные оси координат с добавлением в некоторых конструкциях четвертой (поворотного стола). В такой базовой координатной системе можно измерить деталь с пяти сторон, а при некоторых методах

крепления и со всех шести сторон. В указанных выше четырех типах жесткость конструкции возрастает по порядку перечисления. Однако при этом снижается доступность к рабочей зоне, что весьма существенно для построения измерительного модуля. Для крупногабаритных деталей применимы только порталная или мостовая конструкции, обладающие нужной жесткостью. При этом стараются удлинить ось X настолько, чтобы во время измерения одной детали было возможно установить следующую.

Таблица 14

Технические характеристики КИМ RV-II

Модель		RV-II 776
Измерительный диапазон (мм)	x-ось	705
	y-ось	705
	z-ось	605
Точность измерения длины по ISO 10360-2 (мкм)		$E = (0,8 + 0,15L)/100$
Температура окружающей среды (°C)		18–22
Максимальная высота рабочего изделия (кг)		500
Габариты машины (мм)		1686×2350×2820
Материал измерительного стола		Гранит
Размеры измерительного стола (мм)		750×750
Скорость перемещения при автоматическом управлении по каждой оси (мм/с)		8-120 (макс. 200)
Измерительная скорость (мм/с)		1-3
Ускорение по осям (g)		0,06 (макс. 0,1)
Разрешение (мм)		0,00001
Масса, включая основу (кг)		4 600

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 измерения; система ощупывания; системы приводов и управления пе-

ремещением механических частей машины; система обработки результатов обмеров.

Система приводов и управления перемещением механической части обеспечивает выполнение подготовительных операций контроля и измерения. Система ощупывания обеспечивает контакт измерительного органа с заданными точками проверяемого объекта. Процесс измерения сводится к определению величины перемещения по всем координатам элементов измерительной системы.

КИМ позволяют определить форму детали, неизвестные размеры, проконтролировать соответствие параметров изготовленной детали эталонным параметрам. Исполнительным органом (ИО) являются щуповые измерительные головки (ИГ) высокой чувствительности, которые могут быть механическими, оптическими, электронными точечными и электронными непрерывными.

Развитием КИМ является создание измерительного робота. Робот может быть снабжен несколькими одновременно работающими измерительными устройствами, сокращающими время проверки точности изготовления. Горизонтальное исполнение, представленное на рис. 85, обеспечивает хороший доступ к проверяемой детали и измерение с различных сторон с помощью щупа одной конфигурации.

Сигнал отсчета координат во всех КИМ поступает от установленного в шпинделе датчика при касании его наконечника детали. Датчики выполняют по коммутирующему (например, типа БВ 4271) или измеряющему принципу. Конструктивное исполнение их весьма разнообразно. Например, конструкция коммутирующего датчика проста. Основание головки датчика установлено на трех шаровых опорах, которые одновременно выполняют функцию микровыключателя. Пружина обеспечивает предварительный натяг. При нажатии щупа на деталь опорная пластина отклоняется относительно оси, проходящей через две точки опоры, и замыкает третий микровыключатель. Однако недостатком ее является ограничение в направлении касания. Имеются и другие более совершенные коммутирующие головки.

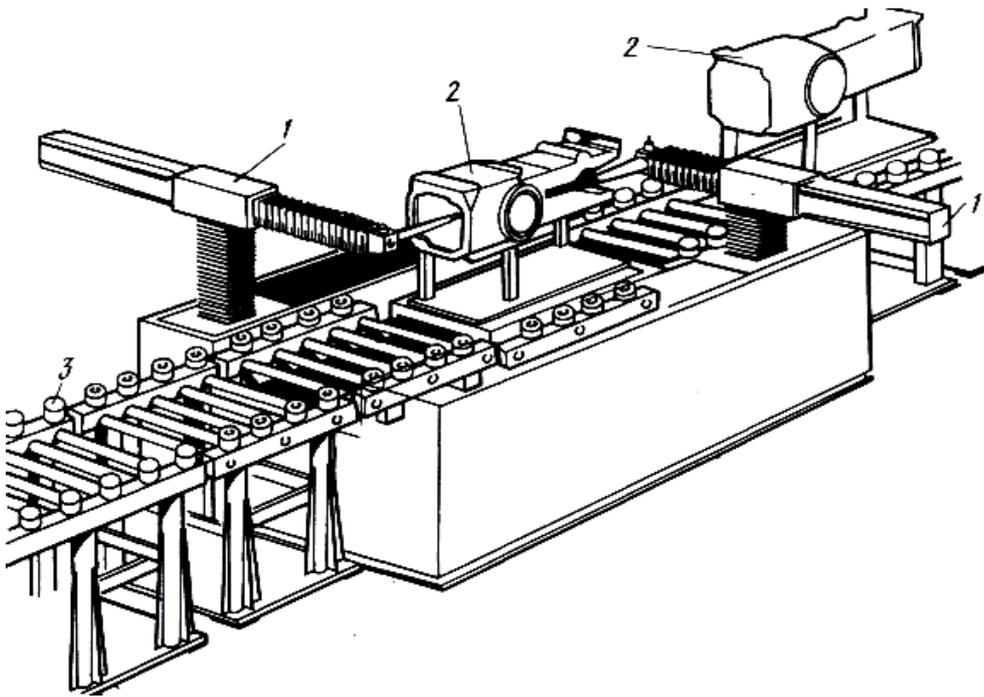


Рис. 85. Измерительный робот в ГПС:
1 – робот; 2 – деталь; 3 – конвейер

Измерительные датчики имеют направляющие по каждой из координат, бесконтактные преобразователи перемещения и пружинную систему обычно в виде параллелограммных подвесок. Существенно, что в динамическом режиме эти датчики позволяют выполнять непрерывное ощупывание (сканирование) заготовки.

Современные универсальные КИМ позволяют измерить самые различные корпусные детали: валы, рычаги, втулки, червяки и другие изделия, поверхности которых образуют плоскости, цилиндры, конусы, сферы, а также геометрические элементы пересечения различных поверхностей.

КИМ могут не только измерить типовые поверхности, но и определить систему координат положения различных поверхностей относительно базовых. Результаты измерения представляются в виде отпечатанных протоколов аттестации или в виде оперативных сообщений на средствах отображения буквенно-цифровой и графической информации; в то же время эти данные

могут накапливаться в ЭВМ для последующей статистической обработки.

7.3.2. Алгоритмизация и программное обеспечение КИМ

Состав программного обеспечения КИМ предусматривает решение ряда типовых задач, некоторые из которых являются универсальными и не зависят от типа детали. Другая часть программ ориентирована на определенный тип деталей.

Приведем примеры трехмерных измерений деталей с плоскими, сферическими, цилиндрическими и коническими поверхностями. Эти программы используют для измерения корпусных деталей и некоторых деталей типа тел вращения.

1. При каждом ощупывании автоматически выполняется программа «ТОЧКА». Происходит измерение координаты в направлении ощупывания. Корректировка радиуса щупового шара производится с учетом системы координат, записанной в память вычислительного устройства (трехмерное выравнивание).

2. Программа «ПРЯМАЯ» предусматривает измерение ряда точек и расчет оптимально вписанной в них прямой. Выдаются два угла, определяющие пространственное расположение прямой, а также координаты точки, в которой прямая пересекает нулевую плоскость системы координат. Если для определения прямой измеряется больше двух точек, тогда выдается средний разброс, а также точки максимального положительного и отрицательного отклонения от идеальной прямой.

3. Программа «КРУГ» позволяет выполнить измерение с помощью N контрольных точек. При использовании более трех точек выдается средний разброс и так же, как в случае прямой, две контрольные точки, наиболее отдаленные от оптимально вписанного круга. В число выдаваемых данных входят координаты центра круга и его диаметр с автоматическим учетом диаметра щупа.

4. Программа «ЭЛЛИПС» позволяет, в частности, упростить определение координатной системы детали с наклонными отверстиями. Эллипс идентифицируется пятью точками. Определяются координаты центра, соотношение между осями, разброс изме-

рительных параметров при числе точек более пяти. Аналогичные данные по разбросу определяются также во всех указанных ниже программах.

5. Программа «ПЛОСКОСТЬ» с помощью от трех до N контрольных точек определяет пространственное расположение плоскости, а также ее неплоскостность. Выдаются два угла, задающие направление нормали к плоскости. При использовании больше трех контрольных точек вычисляются средний разброс и крайние величины отклонения от найденной идеальной плоскости.

6. Программа «ЦИЛИНДР» позволяет на основе измерения не менее пяти точек определить геометрические параметры цилиндров с любым наклонным положением. В качестве данных выдаются два угла, определяющие пространственное положение цилиндра, и точка оси цилиндра, пересекающая нулевую плоскость системы координат детали.

7. Программа «КОНУС» позволяет на основе измерения координат не менее 10 точек определить геометрические параметры конусов с любым наклонным положением в пространстве. В число параметров входят: два угла, определяющие пространственное положение оси конуса; угол конуса; координаты точки пересечения оси конуса с нулевой плоскостью системы координат детали, а также любые вводимые комбинации диаметра конуса и высоты его сечения. Если используется большее число контрольных точек, можно определить отклонение от прямолинейности боковой поверхности и отклонение от круглости конуса. Для идентификации шаровой поверхности или полусферы требуется не менее четырех контрольных точек. Определяется три координаты центра и диаметр шара.

Перечисленные стандартные программы для определения геометрических элементов позволяют измерить разнообразные детали, поверхности которых образованы из плоскостей, цилиндров, конусов, сфер и их сочетаний.

8. Программа «ПОЗИЦИЯ» позволяет подвести измерительный щуп к определенной точке, заданной в координатах детали

или КИМ. Эту программу можно использовать в режиме контроля и при задании УП методом обучения.

9. Программа «ШАГ» позволяет производить измерения через определенный интервал по заданным расстояниям в системе координат детали. При круглом столе программа обеспечивает расчет и последующий учет полученных данных по эксцентricности и наклону измеряемой детали. Применение поворотного стола для контроля корпусных деталей с отверстиями позволяет уменьшить число измерительных щупов и ускорить процесс контроля.

Большинство программ за исключением отдельных случаев преобразования координат, достаточно просты и сводятся к несложным арифметическим действиям. Поэтому они реализуются в системе управления нижнего уровня КИМ. Статистическая обработка результатов измерения и их хранение выполняются на ЭВМ верхнего ранга ГПС.

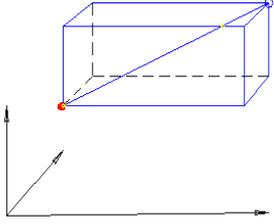
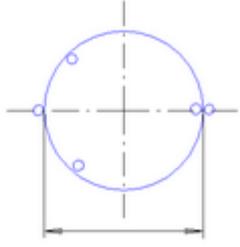
При автоматическом измерении в функции оператора входит задание КИМ команды на выполнение той или иной программы в соответствии с модификацией детали и оценка результата.

В автоматическом режиме работы КИМ с помощью соответствующей программы определяет пространственную ориентацию заготовок. Известно, что любую поверхность можно задать, измерив ее не менее чем в трех точках. В соответствии с законами геометрии в табл. 15 отражено необходимое и достаточное число и месторасположение точек контакта щупа с измеряемой поверхностью для получения геометрических параметров и конфигураций поверхностей различных типов.

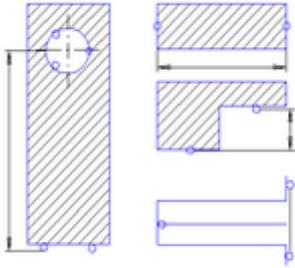
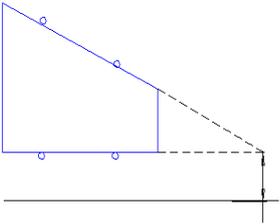
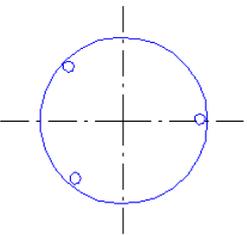
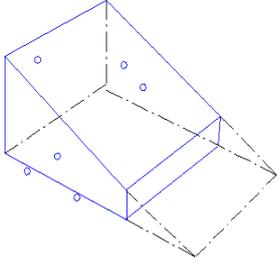
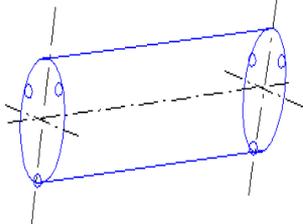
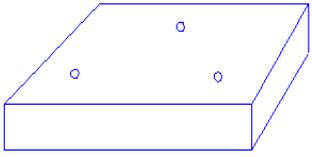
Таблица 15

Число и месторасположение точек контакта щупа с измеряемой поверхностью

Изображение	Задание	Изображение	Задание
-------------	---------	-------------	---------

	<p>Расстояние в координатном направлении</p>		<p>Диаметр круга</p>
---	--	--	----------------------

Продолжение табл. 15

Изображение	Задание	Изображение	Задание
	<p>Пространственное расстояние</p>		<p>Точка сечения</p>
	<p>Центр круга</p>		<p>Прямая пересечения</p>
	<p>Прямая</p>		<p>Плоскость</p>

	<p>Круглость</p>		<p>Плоскост- ность</p>
	<p>Параллель- ность</p>		<p>Угол</p>

Окончание табл. 15

Изображение	Задание	Изображение	Задание
	<p>Перпендику- лярность</p>		<p>Точка про- странства</p>

В зависимости от вида измерительного органа иногда необходимо учитывать размер измерительного щупа. Схема коррекции замеров щупом представлена на рис. 85. Действительные координаты проверяемого параметра передаются вычислительному устройству, которое рассчитывает корректирующие сигналы.

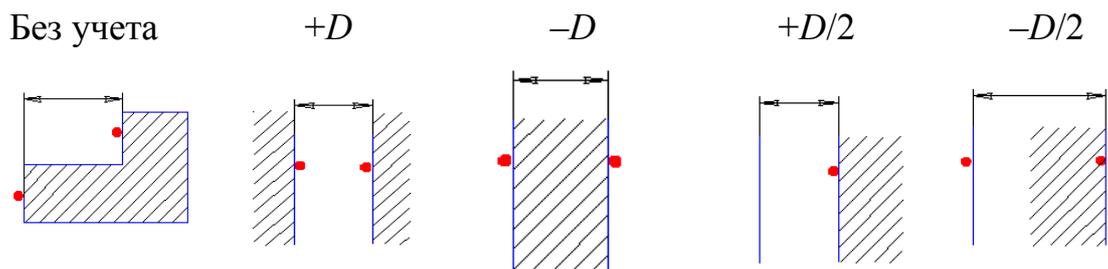


Рис. 85. Схема коррекции замеров щупом

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капустин, Н. М. Автоматизация машиностроения : учеб. для втузов / Н. М. Капустин, Н. П. Дьяконова, П. М. Кузнецов ; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высш. шк., 2002.
2. Автоматизация производственных процессов : учеб. для втузов / М. М. Кузнецов [и др.]. – М. : Высш. шк., 1978.
3. Автоматизация производственных процессов в приборо- и агрегатостроении : учеб. для вузов / А. Н. Гаврилов [и др.]. – М. : Высш. шк., 1968.
4. Автоматизация процессов машиностроения : учеб. пособие для машиностроит. специальностей вузов / под ред. А. И. Дащенко. – М. : Высш. шк., 1991.
5. Автоматическая загрузка технологических машин : справочник / под общ. ред. И. А. Клусова. – М. : Машиностроение, 1990.
6. Волчкевич, Л. И. Автоматизация производственных процессов : учеб. пособие / Л. И. Волчкевич. – М. : Машиностроение, 2005.
7. Комплексная автоматизация производства / Л. И. Волчкевич [и др.]. – М. : Машиностроение, 1983.
8. Обработка металлов резанием : справочник технолога / под общ. ред. А. А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988.
9. РТК и ГПС в машиностроении: Альбом схем и чертежей / под ред. Ю. М. Соломенцева. – М. : Машиностроение, 1989.
10. Транспортно-накопительные системы для ГПС / В. А. Егоров [и др.]. – Л. : Машиностроение, 1984.
11. Трусов, А. Н. Проектирование автоматизированных технологических процессов : учеб. пособие / А. Н. Трусов ; Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2008.
12. Трусов, А. Н. Проектирование технических средств автоматизации и технологической оснастки : учеб. пособие / А. Н. Трусов ; Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2004.

13. Фельдштейн, Е. Э. Обработка деталей на станках с ЧПУ : учеб. пособие / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск : Новое знание, 2005.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ВВЕДЕНИЕ	4
1.1. МЕСТО, ЗНАЧЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ КУРСА	4
1.2. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ	6
2. ЦЕЛЕВЫЕ МЕХАНИЗМЫ ЖЕСТКОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ	10
2.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЦЕЛЕВЫХ МЕХАНИЗМОВ.....	10
2.2. ТРАНСПОРТНЫЕ МЕХАНИЗМЫ.....	13
2.2.1. Для АЛ с жесткой межагрегатной связью	13
2.2.2. Для АЛ с гибкой межагрегатной связью.....	15
2.3. МЕХАНИЗМЫ ПИТАНИЯ.....	18
2.3.1. Общая характеристика механизмов питания.....	18
2.3.2. Магазинные загрузочные устройства	23
2.3.3. Бункерные загрузочные устройства	27
2.3.4. Ориентирование заготовок в ВБЗУ	35
2.3.5. Вторичные ориентирующие устройства.....	42
3. ТЕОРИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАШИН	44
3.1. ЗНАЧЕНИЕ И ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕОРИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ МАШИН 44	44
3.2. ОСНОВНЫЕ ПОСТУЛАТЫ ТЕОРИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ	46
3.3. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРУДА КАК КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ НОВОЙ ТЕХНИКИ.....	47
3.4. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА.....	52
3.4.1. ε -путь.....	52
3.4.2. σ -путь.....	54
3.4.3. φ -путь.....	55
3.5. ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА 56	56
3.5.1. Математическая модель экономической эффективности	58
3.5.2. Пример использования модели $\Delta = f(\varphi, \sigma, \varepsilon, \delta)$	60
3.6. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАШИН-АВТОМАТОВ И ИХ СИСТЕМ.....	62
3.6.1. Основные показатели производительности	63
3.6.2. Составление моделей производительности машин	66
3.6.3. Производительность автоматов в условиях массового и серийного производства 67	67
3.6.4. Производительность АЛ при различных структурных вариантах	73
3.6.5. Баланс производительности.....	76
3.7. ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СОЗДАНИЯ ГПС (с АСУ ТП).....	80
3.7.1. Теоретические положения.....	81
3.7.2. Пример оценки целесообразности создания ГПС.....	82
3.8. ОСНОВЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МАШИН.....	86
3.8.1. Теоретические положения.....	86
3.8.2. Пример выбора оптимального уровня автоматизации ГПС	91
3.9. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ.....	98
3.9.1. Основные понятия.....	98
3.9.2. Методика расчета надежности систем	104
4. ГИБКАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА	109
4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	109
4.2. ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ГПС	114
4.2.1. Структура ГПС	115
4.2.2. Формы организации ГПС	117
4.2.3. Стратегии организации производства	124

4.2.4. Средства гибкой автоматизации производства.....	126
4.3. АТСС ГПС.....	128
5. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АТСС ГПС.....	132
5.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АТСС.....	132
5.2. ПОДСИСТЕМА СКЛАДИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ.....	133
5.2.1. Центральные склады.....	134
5.2.2. Магазины на рабочих местах для деталей типа тел вращения.....	137
5.2.3. Магазины на рабочих местах для обработки корпусных деталей.....	140
5.3. ПОДСИСТЕМА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ.....	142
5.3.1. Классификация транспортных средств.....	142
5.3.2. Автоматические тележки.....	146
5.3.3. Подвесные транспортные роботы.....	153
5.3.4. Конвейерный транспорт.....	156
5.3.5. Выбор областей использования транспортных средств.....	158
5.4. ПОДСИСТЕМА МАНИПУЛИРОВАНИЯ.....	159
5.4.1. Устройства для манипулирования деталями типа тел вращения.....	160
5.4.2. Устройства для манипулирования корпусными деталями.....	162
5.5. КОДИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ И ЗАГОТОВОК.....	163
6. ИНСТРУМЕНТООБЕСПЕЧЕНИЕ В ГПС.....	164
6.1. СОСТАВ СИСТЕМЫ ИНСТРУМЕНТООБЕСПЕЧЕНИЯ.....	164
6.2. ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ОСНАСТКА.....	167
6.3. НАСТРОЙКА ИНСТРУМЕНТА НА РАЗМЕР.....	172
6.4. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТА.....	176
7. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ В ГПС.....	178
7.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	178
7.2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ В ГПС.....	180
7.2.1. САУТО.....	181
7.2.2. Виды обеспечения САУТО.....	182
7.2.3. Функции САУТО.....	183
7.2.4. Алгоритм автоматической подналадки.....	186
7.3. КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ.....	187
7.3.1. Общая характеристика.....	187
7.3.2. Алгоритмизация и программное обеспечение КИМ.....	191
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	196

Трусов Александр Николаевич

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
И ПРОИЗВОДСТВ**

Учебное пособие

Редактор О. А. Вейс

Подписано в печать 19.10.2010. Формат 60×84/16
Бумага белая писчая. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 12,00
Тираж 100 экз. Заказ
Кузбасский государственный технический университет
650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28

Типография Кузбасского государственного технического университета
650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А