

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Д о п у щ е н о  
Министерством высшего и среднего  
специального образования СССР  
в качестве учебного пособия  
для студентов  
машиностроительных специальностей  
высших учебных заведений



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1973

6П5 : 338

А 18

УДК 621.9 : 338. 45 (075)

*Алексей Петрович Белоусов, Анатолий Носифович Дашенко,  
Павел Миронович Полянский, Александр Владиславович Шулешкин*

**А18 Автоматизация процессов в машиностроении. Учеб. пособие для вузов.**  
М., «Высш. школа», 1973.  
456 с илл.

Перед загл. авт.: А. П. Белоусов, А. И. Дашенко, П. М. Полянский,  
А. В. Шулешкин

В книге изложены новые материалы по автоматизации процессов механической обработки и сборки в машиностроении и даны основные направления дальнейшего развития автоматизации. Рассмотрены системы автоматического управления металлорежущими станками с программным управлением. Освещены вопросы проектирования автоматических линий комплексной автоматизации механической обработки деталей на автоматических линиях, автоматизации процессов сборки деталей машин.

6П5 : 338

#### Рецензенты:

канд. техн. наук, лауреат Ленинской премии Бобров В. П.;  
кафедра металлорежущих станков и инструментов Горьковского политехни-  
ческого института

А  $\frac{0316 - 257}{001 (01) - 73}$  105—73

© Издательство «Высшая школа»

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

В данном учебном пособии в систематизированном виде излагаются все разделы курса. Материал книги написан с учетом достижений отечественной и зарубежной техники в области механизации и автоматизации технологических процессов механической обработки и сборки. Основные теоретические положения курса подтверждаются соответствующими расчетами и примерами из практической работы машиностроительных заводов, специальных конструкторских бюро и научно-исследовательских институтов. Материал книги находится в органической связи с учебным планом технологического цикла обучения и рассчитан на подготовку технологов-машиностроителей широкого профиля. При написании учебного пособия авторами также использовался длительный опыт преподавания курса «Автоматизация процессов в машиностроении» в МАМИ.

Предлагаемое учебное пособие дает студентам возможность изучить теоретические и практические материалы по вопросам механизации и автоматизации технологических процессов и правильно применить полученные знания в их практической инженерной работе.

Материал между авторами распределен следующим образом: введение, гл. I, II, V — доц., канд. техн. наук А. П. Белоусов, гл. III — доц., канд. техн. наук П. М. Полянский, гл. IV — доц., канд. техн. наук А. И. Дашенко, гл. VI — доц., канд. техн. наук А. В. Шулешкин.

Все замечания и пожелания просим посылать по адресу: Москва, К-51, Неглинная ул. 29/14, издательство «Высшая школа».

*Авторы*

Директивами XXIV съезда КПСС намечена широкая программа развития науки и техники СССР. Основным направлением развития техники на данном этапе является широкое внедрение во все виды машиностроительной промышленности механизации и автоматизации технологических процессов и в особенности комплексной автоматизации.

*Механизацией технологических процессов* называют частичную или полную замену ручного труда рабочего машинным в той части технологического процесса, где происходит непосредственное изменение состояния формы или качества объекта (например, обработка деталей на станке) при непосредственном участии рабочего в управлении машинами и контроле за их работой.

*Автоматизацией технологических процессов* называют комплекс мероприятий по управлению и контролю над машинами или технологическими процессами, исключающими труд рабочего. При этом работа машины и механизмов происходит по заданной программе.

• *Полуавтомат* — это машина, работающая с автоматическим рабочим циклом, повторяемым с участием рабочего.

*Автомат* — это самоуправляющаяся машина, автоматически выполняющая все рабочие и холостые ходы рабочего цикла обработки, кроме контроля и наладки.

В нашей стране вопросами автоматизации и механизации технологических процессов механической обработки и сборки занимаются научно-исследовательские институты, конструкторские бюро, машиностроительные заводы и т. д.

При внедрении механизации и автоматизации на заводах основное внимание необходимо уделять электронике, автоматизации контроля деталей и загрузки заготовками станков, более широкому применению станков с программным управлением, разработке высокопроизводительных и надежных автоматических линий, снижению себестоимости выпускаемой продукции, повышению ее качества и производительности труда рабочих.

Прогрессивное развитие технологических процессов в области технологии машиностроения должно проходить путем механизации и автоматизации, обеспечивающих непрерывный рост производительности труда рабочих.

Процесс развития технологии машиностроения должен быть ориентирован на применение комплексных технологических процессов. При комплексной автоматизации технологического процесса обработки деталей все технологические операции обработки, а также все контрольные и транспортные операции автоматизированы, т. е. обеспечена



непрерывность. Примером комплексной автоматизации технологического процесса обработки детали является завод по изготовлению поршней автомобилей в г. Ульяновске. На этом заводе весь технологический процесс, начиная от плавления чушек алюминиевого сплава, последующей механической обработки поршней на станках автоматической линии и кончая упаковкой готовых поршней, полностью автоматизирован, и работа наладчиков сводится к наблюдению за правильной работой оборудования и его своевременной подналадкой.

Кроме комплексной автоматизации технологических процессов для отдельных деталей, начинают применять комплексную автоматизацию всего производственного процесса данного завода (или цеха), под которой следует понимать такую автоматизацию, которая охватывает всю совокупность отдельных процессов, применяемых на данном заводе (или цехе), начиная от обработки исходных материалов и полуфабрикатов и кончая сборкой готовой машины. Следовательно, комплексная автоматизация производственного процесса (или цеха) может быть отнесена как к изготовлению всей машины, так и к изготовлению отдельного узла машины или же к одной детали. Примером комплексной автоматизации производственного процесса может служить цех, в котором полностью автоматизирована работа по изготовлению карданных подшипников на 1-м ГПЗ в Москве.

Механизация и автоматизация технологических процессов в машиностроительной промышленности СССР способствует улучшению условий труда рабочих, создает предпосылки для постепенного стирания граней между умственным и физическим трудом, освобождает рабочих от тяжелого физического труда, повышает квалификацию, производительность труда и материальную заинтересованность рабочих.

Машиностроительная промышленность является основной базой для быстрого развития всех отраслей народного хозяйства СССР. Поэтому наша партия и правительство уделяют большое внимание и оказывают практическую помощь развитию машиностроительной промышленности.

# Глава I

## СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИМИ СТАНКАМИ

---

### § 1.1. Различие систем автоматического управления по основным признакам

Для автоматизации обработки деталей на металлорежущих станках применяют различные системы управления перемещением рабочих органов станков. Устройства, служащие для воздействия на главные приводные механизмы исполнительных рабочих органов металлорежущих станков, называют *системами автоматического управления*. Применение таких систем позволяет централизовать управление рабочими органами станков, повысить точность управления, контроля и обработки.

Системы автоматического управления станками различают по следующим признакам: степени централизации управления, виду программного носителя, принципу синхронизации работ, числу управляемых координат и т. д.

По степени централизации системы управления разделяют на централизованные, децентрализованные и смешанные.

Централизованную систему управления применяют для управления работой станков автоматической линии, которое осуществляется с центрального командного устройства независимо от положения и перемещения исполнительных рабочих органов станка.

Централизованные системы управления имеют простую схему и обладают большой надежностью в работе.

Недостатком централизованных систем является наличие в системах дополнительных предохранительных устройств, потому что с центрального командного пульта команды подаются независимо от действия и положения рабочих органов.

Децентрализованную (путевую) систему управления применяют для управления работой как отдельных станков, так и целой автоматической линии. Работу исполнительных органов станка в децентрализованной системе контролируют датчики (путевые переключатели и конечные выключатели), которые включаются и выключаются при движении исполнительных рабочих органов отдельных станков и станков, работающих в автоматической линии. Контроль перемещения исполнительных органов станка осуществляют упоры и копиры.

Преимущество децентрализованной системы управления по сравнению с централизованной в том, что в ней нет сложной блокировки,

так как команды подаются только после окончания обработки на предыдущем станке.

Недостатком децентрализованной системы управления является еще слабая надежность работы элементов промежуточных цепей и датчиков, которые, работая в тяжелых цеховых условиях, нередко выходят из строя или подают ложные команды вследствие закорачивания электрических цепей.

Смешанная система управления является комбинацией двух систем — централизованной и децентрализованной.

Системы управления в зависимости от способа воздействия на исполнительные рабочие органы станка разделяют на непрерывные и дискретные (прерывные). В непрерывных системах управления соответствующая команда является непрерывной функцией времени и сигнала управления, в дискретных системах управления — прерывной функцией, так как команда подается отдельными импульсами через определенные промежутки времени.

Основным признаком для всех систем управления рабочими органами станков является вид программносителя, который управляет рабочим циклом станка в соответствии с его типом и видом технологической операции обработки детали. Программноситель — основное звено системы управления, подающее сигналы на перемещение соответствующего исполнительного органа станка. Программноситель содержит программу работы рабочих органов станка при обработке на нем детали.

По виду программносителя все системы управления рабочими органами станков можно разделить на четыре группы: системы управления с упорами, системы управления с копирами, системы управления распределительным валом с кулачками и системы цифрового (числового) программного управления. Применение этих систем для автоматизации перемещения рабочих органов станков позволяет освободить рабочего от выполнения различных вспомогательных работ и повысить производительность труда.

## **§ 1.2. Системы управления с упорами**

Системы управления с упорами применяются для автоматизации управления рабочими органами отдельных станков или станков автоматической линии. В этих системах программносителем являются упоры, установленные на неподвижных и подвижных органах станка.

На станках автоматической линии систему управления с упорами применяют для управления циклами работ силовых головок, рабочих столов, систем блокировки, сигнализации и т. д. В этих системах упорами являются путевые переключатели, которые, подавая электрические, гидравлические или пневматические сигналы, дают команды приводу исполнительных механизмов, управляющих перемещением рабочих органов станка.

На рис. 1.1 дана система управления фрезерного полуавтоматического станка с упорами. На станке имеется вращающийся диск 1,

по окружности которого установлены и закреплены подвижные упоры 2. При вращении диска упоры 2 поворачивают рычаги 4 конечных выключателей 3, которые подают определенный импульс на поворот детали около оси или на перемещение рабочего органа станка.

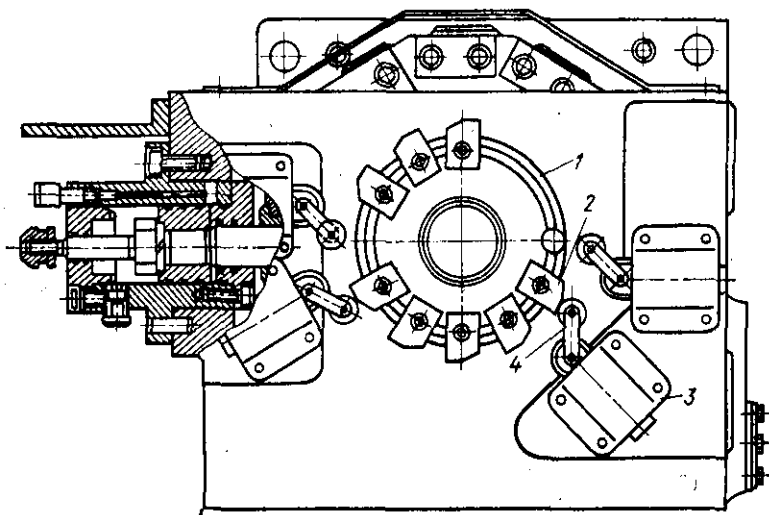


Рис. 1.1. Схема управления циклом работы фрезерного полуавтомата по упорам

### § 1.3. Кулачковые системы

Кулачковые системы используют для автоматизации отдельных станков и автоматических линий. Программоносителем в этих системах являются кулачки соответствующего профиля, установленные на распределительном валу. Рабочий профиль кулачка определяет путь движения рабочего органа станка. Кулачковые системы управления с распределительным валом являются централизованными разомкнутыми системами управления без обратной связи, обеспечивающими заданную синхронизацию требуемых движений рабочих органов при выполнении цикла работы станка.

Считывающим устройством в этих системах служат рычаги и толкатели, которые, перемещаясь по профилю кулачка, осуществляют передачу заданной программы движения через передаточно-преобразующие устройства к рабочим органам станка.

При проектировании кулачковых механизмов рассчитывают формы и размеры отдельных участков профиля кулачков, обеспечивающих выполнение заданных движений рабочих органов станков и максимальное сокращение времени холостых ходов.

Каждый участок профиля кулачка зависит от формы, величины подъема (спуска) и профильного угла. Форма профиля кулачка влияет на изменение скорости и ускорения, а величина подъема (спуска) —

на перемещение рабочего органа станка. Величина профильного угла определяет угол поворота кулачка при перемещении рабочего органа станка из одного исходного положения в другое во время контакта башмака с рассматриваемым участком профиля кулачка.

#### § 1.4. Системы управления с копиями

Автоматизация цикла работы различных станков производится с применением системы управления с копирными программами, использующими различные следящие системы.

Наибольшее применение на станках получили гидравлические, электромеханические, электрогидравлические и пневмогидравлические следящие копировальные системы.

По количеству следящих движений копировальные системы подразделяют на однокоординатные с независимой скоростью ведущего движения, однокоординатные с зависимой скоростью ведущего движения и многокоординатные.

В следящей системе управления сигнал, вырабатываемый копировально-измерительным прибором, воздействует на регулируемый привод рабочего органа станка и производит требуемые перемещения этого органа. При этом применяют механический привод с электромагнитными муфтами, регулируемые электро- и гидропривод.

Для получения траектории движения вершины режущего инструмента в виде плавной кривой необходимо обеспечить соответствующую функциональную связь между скоростями подач  $s_x$  и  $s_y$  по осям  $x$  и  $y$

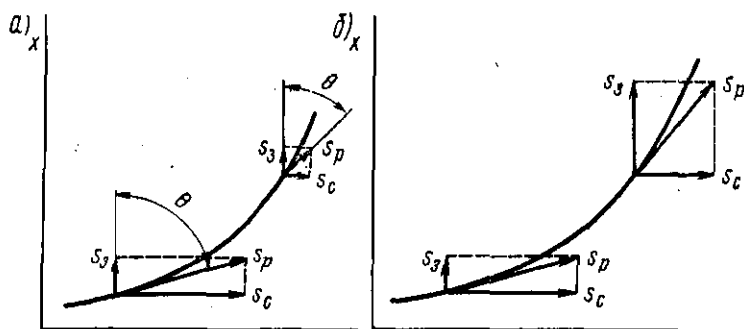


Рис. 1.2. Плавная кривая пути движения режущего инструмента со скоростями подач  $s_x$  и  $s_y$ , направленными по осям  $x$  и  $y$

(рис. 1.2, а). Подача  $s_x$  является задающей, а подача  $s_y$  — следящей. Соотношение между скоростями подач  $s_x$  и  $s_y$  должно быть таким, чтобы вектор результирующей скорости подачи  $s_p$  являлся касательным к траектории движения:

$$s_y = s_x \operatorname{tg} \theta.$$

При постоянной величине задающей подачи требуемая функциональная зависимость достигается изменением величины следящей подачи

в соответствии с сигналом, вырабатываемым копировальным прибором. В этом случае величина результирующей подачи

$$s_p = s_a / \cos \theta.$$

Величина результирующей подачи в основном зависит от технологических требований, предъявляемых к обрабатываемой детали. Поэтому при наладке станка для обработки детали задающая подача должна быть такой, чтобы максимальная величина результирующей подачи, получающейся при максимальных значениях угла  $\theta$ , не была бы больше допустимой.

При увеличении угла  $\theta$  результирующая подача быстро растет, что ограничивает возможность обработки профиля детали с большим углом подъема.

Сигнал, вырабатываемый копировальным прибором, применяется для управления следящей и задающей подачами станка. Величину задающей и следящей подач регулируют так, что результирующая подача устанавливается постоянной (рис. 1.2, б); для этого случая

$$s_a = s_p \cos \theta; s_c = s_p \sin \theta.$$

Чтобы траектория движения режущего инструмента была плавной, необходимо иметь непрерывный сигнал управления, вырабатываемый копировальным прибором. Например, непрерывный сигнал может быть получен при использовании прибора с дифференциальным трансформатором и других типов приборов.

Системы управления, обеспечивающие изменение следящей и задающей подач, называют *двухкоординатными следящими системами*.

Следящие гидроприводы машин komponуются с управлением от шаблонов (копировальные станки) или с программным управлением из гидроузлов, изготовляемых на специализированных заводах. В ЭНИМСе разработаны конструкции таких гидроузлов. К ним относятся электрогидравлические следящие золотники модели Г68-1 и гидроусилители крутящего момента модели МГ18-1.

Электрогидравлические следящие золотники осуществляют непрерывное регулирование в станках с программным управлением и в копировальных. В гидроусилителях крутящего момента сигналы передаются к шаговому электродвигателю, поворачивающему следящий золотник-кран, управляющий гидромотором. Эксплуатация различных станков, оснащенных гидравлическими и электрическими следящими устройствами, показала большую надежность гидравлических устройств.

Опыты, проведенные в НИАТе для сравнения гидравлических следящих устройств с электрическим в станках с программным управлением, показали большую надежность первых.

В ЭНИМСе разработаны следящие золотники, устойчиво работающие и управляемые непосредственно от копира. Они обеспечивают точность копирования  $\pm 0,02$  мм при ошупывающем усилии 10—15 н (1—1,5 кг). Эти следящие золотники применяют в копировальных суппортах для токарной обработки и в копировальных приспособлениях для поперечно-строгальных станков.

Недостатком следящих систем с дросселирующим золотником является значительный нагрев рабочей жидкости, что ограничивает область применения их по мощности, равной не более 3 *квт*. Для станков с большей мощностью следящего гидропривода рационально применять гидросистемы с регулируемым насосом.

Любая следящая копировальная система может состоять из отдельного узла, пристраиваемого к станку, и быть встроена в соответствующий станок. Применение копировальных систем в станках сокращает время на наладку и управление движениями рабочих органов станка и повышает производительность труда рабочего.

### **§ 1.5. Гидравлические следящие копировальные системы**

Гидравлические следящие копировальные системы являются системами автоматического регулирования. В этих системах исполнительными органами, производящими перемещение рабочих органов станка, служат гидроцилиндры. Управление работой гидроцилиндров осуществляется гидравлическим датчиком. В гидравлических копировальных системах действительное перемещение узла станка с режущим инструментом при обработке детали непрерывно сравнивается с заданной программой обработки и при отклонении движения узла с режущим инструментом от заданной программы дается сигнал об его устранении.

Гидравлические следящие копировальные системы могут работать без усилителей мощности сигналов, они обладают значительным быстрым действием. Недостатком гидравлических следящих систем является возможность возникновения вибраций при значительных подачах режущего инструмента.

Применяются следующие виды гидрокопировальных следящих систем.

**Однокоординатная система с дифференциальным цилиндром и однокромочным золотником** (рис. 1.3,а). В этой системе масло под давлением подается насосом в меньшую — штоковую — полость *A* гидроцилиндра 4. В поршне 5 гидроцилиндра имеется отверстие 7, через которое масло из полости *A* поступает в полость *B*. Когда выход масла из полости *B* закрыт, то в полостях *A* и *B* будет одинаковое давление масла.

Площадь поршня 5, на которую давит масло в бесштоковой полости *B* гидроцилиндра 4, в два раза больше, чем в штоковой полости *A*, поэтому копировальный суппорт с инструментом будет перемещаться к обрабатываемой детали до того момента, пока шуп следящего золотника, упершись в копир 1, начнет перемещаться вверх. Когда шуп следящего золотника не упирается в копир 1, плунжер 3, находясь в нижнем положении, закрывает отверстие для слива масла из полости *B* в бак. Перемещаясь вверх, плунжер 3 открывает проходное отверстие в корпусе золотника 2, и масло из верхней полости *B* гидроцилиндра по трубопроводу поступит в корпус следящего золотника и далее через нижнее отверстие в нем будет сливаться в бак; давление в полости *B* понижается, так как в поршне просверлено отверстие 7 небольшого

диаметра и масло медленно перетекает из одной полости в другую. При соответствующем диаметре отверстия для пропуска масла в корпусе следающего золотника можно в полости *В* гидроцилиндра получить давление в два раза меньше, чем в полости *А*. В этом случае поршень 5 со штоком перемещаться не будет. При неподвижном поршне суппорт 6 с резцом будет производить обработку цилиндрической поверхности детали только с продольной подачей.

При последующем перемещении по профилю копира щуп, нажимая на плунжер 3, будет перемещать его в корпусе следающего золотника 2.

Когда плунжер, перемещаясь вверх, полностью откроет проходное отверстие, то слив масла из полости *В* в бак усиливается, давление в полости *В* уменьшится, а в полости *А* увеличится, и поршень 5 со штоком и суппортом будут перемещаться в поперечном направлении вверх от обрабатываемого вала.

Гидроцилиндр 4 связан с механизмом станка, выполняющим основное движение, поршень 5 через шток соединен с копирующим суппортом 6, а корпус 2 следающего золотника жестко соединен кронштейном 8 с копирующим суппортом 6 и перемещается вместе с ним.

**Однокоординатная система с дифференциальным цилиндром и двухкромочным золотником**

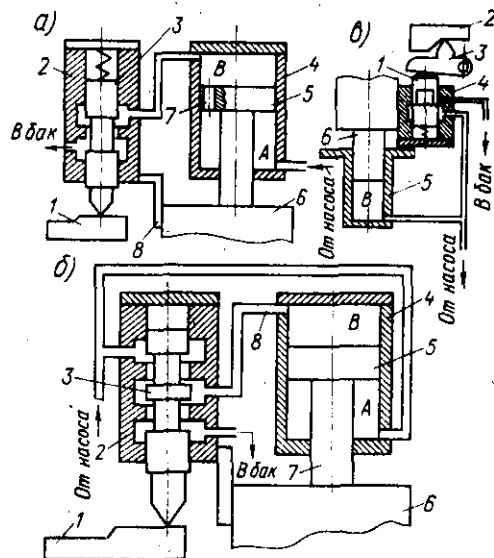


Рис. 1.3. Схемы различных видов гидрокопировальных систем

ником (рис. 1.3, б). Системы с дифференциальным цилиндром применяют двух типов: с двух- и однокромочным золотниками. На схеме изображен гидроцилиндр 4 в неподвижном состоянии, но указано перемещение поршня 5 со штоком 7, жестко связанным с гидросуппортом 6 станка. Насос под определенным давлением подает масло по трубопроводу в корпус золотника 2 и в штоковую полость *А* гидроцилиндра 4. В этой системе в поршне 5 нет отверстия, поэтому из полости *А* в полость *В* гидроцилиндра 4 масло переливаться не может. Пока щуп, связанный с плунжером 3 золотника 2, не будет касаться профиля копира 1, плунжер будет занимать в корпусе золотника нижнее положение, пропуская масло из корпуса золотника по трубопроводу в полость *В* гидроцилиндра. Следовательно, в этот момент масло поступает от насоса одновременно в обе полости *А* и *В* гидроцилиндра 4.

Площадь поршня 5, на которую давит масло в бесштоковой полости *В*, в два раза больше, чем в штоковой полости *А*, поэтому поршень со штоком и суппортом 6 будут перемещаться вниз к обрабатываемой



детали. Под давлением шупа, скользящего по копиру 1, плунжер 3 при перемещении вверх может занять такое положение, при котором подача масла из корпуса золотника 2 по трубопроводу 8 в полость В гидроцилиндра прекратится; при этом следящей поперечной подачи не будет. При дальнейшем перемещении плунжера 3 вверх под действием шупа, скользящего по копиру 1, масло из полости В гидроцилиндра 4 по трубопроводу 8 будет перемещаться в корпус золотника 2, а из корпуса — на слив в бак. При этом давление в полости В понизится и гидросуппорт 6 со штоком 7 и поршнем 5 будет перемещаться от обрабатываемой детали вверх. Следовательно, при перемещении плунжера 3 вверх или вниз под действием шупа, перемещающегося по профилю копира 1, происходит перекрытие впускного или выпускного отверстия в корпусе золотника 2, вследствие чего масло по трубопроводу 8 подается в полость В или выпускается из полости В на слив в бак. При этом за счет изменений давлений в полостях А и В гидроцилиндра 4 и происходит перемещение поршня 5 со штоком 7 и суппортом 6 в двух направлениях: по вертикали к детали или от нее.

Однокоординатная система с недифференциальным цилиндром и однокромочным золотником (рис. 1.3, в). В этой системе применяют гидроцилиндр 5 одностороннего действия. При подаче масла в полость В гидроцилиндра 5 шток 6 перемещается вверх и выполняется вертикальная следящая рабочая подача суппорта с резцом.

От насоса масло под давлением поступает одновременно в полость В гидроцилиндра 5 и в корпус следящего золотника 4. При отсутствии контакта между шупом золотника и копиром плунжер 1 под действием пружины находится в верхнем положении и закрывает отверстие, поэтому масло не может проходить через корпус золотника 4. В этот момент масло, поступающее в полость В, давит на шток 6 и перемещает его с рабочим органом станка с поперечной подачей вверх.

При соприкосновении шупа 3 с копиром 2 плунжер 1 золотника 4 под действием шупа будет перемещаться вниз и откроет отверстие в корпусе для слива масла в бак. При дальнейшем опускании плунжера 1 вниз отверстие в корпусе для слива масла полностью откроется, и все масло, подаваемое насосом в корпус золотника 4, будет сливаться по трубопроводу в бак. При таком положении плунжера в корпусе золотника не будет вертикальной подачи рабочего органа станка и он будет находиться в требуемом положении. Вследствие слива масла из золотника 4 в бак давление масла в полости В гидроцилиндра 5 уменьшится, шток 6 под действием веса рабочего органа станка переместится вниз; при этом перемещении деталь не обрабатывается.

Гидравлические следящие копировальные системы с недифференциальным гидроцилиндром обеспечивают высокую точность копирования и имеют большую жесткость, но изготовление этих систем обходится дорого. Они применяются на станках при чистовой обработке деталей.

Гидравлические следящие копировальные системы с дифференциальным гидроцилиндром обеспечивают меньшую точность, но проще в изготовлении и стоят дешевле. Они применяются на станках при черновой обработке деталей.

Гидравлические следящие копировальные системы в зависимости от их назначения бывают одно-, двух- и многокоординатные.

На станках с применением однокоординатных гидравлических следящих копировальных систем автоматическое перемещение рабочих органов станка производится только в одном направлении, а второе заданное перемещение рабочего органа станка — его другим механизмом. Определенное сочетание двух движений рабочего органа станка позволяет обработать поверхности детали с заданной формой и точностью.

Однокоординатные следящие копировальные системы применяют на токарных станках. При обработке на токарном станке ступенчатого

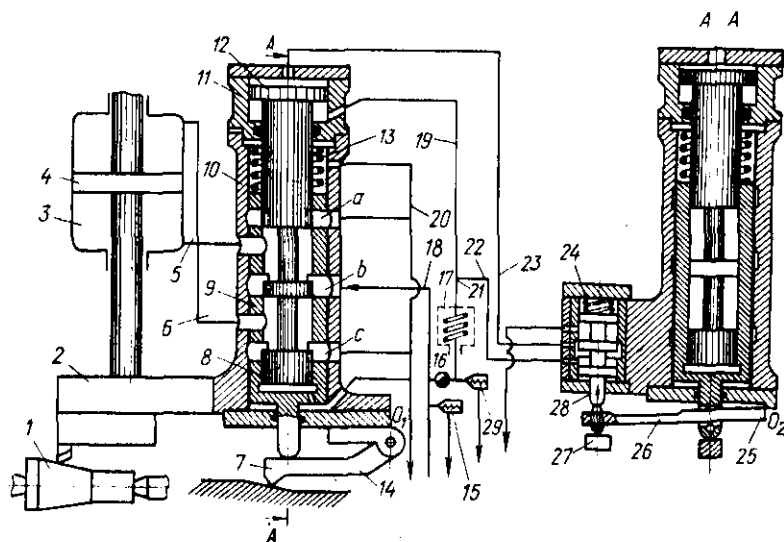


Рис. 1.4. Схема конструкции гидрокопировальной следящей системы

валика поперечная подача рабочего органа станка — суппорта с резцом — осуществляется однокоординатной гидравлической следящей системой, а продольная подача суппорта с резцом — самоходом станка. Сочетание двух подач позволяет обработать шейки ступенчатого валика.

**Двухкоординатная гидрокопировальная следящая система** (рис. 1.4). Эта система может применяться на станках токарных, фрезерных, шлифовальных и строгальных для систем одно- и двухкоординатного копирования, для больших и малых скоростей копирования и усилий, действующих на шток силового цилиндра, с обеспечением высокой точности копирования.

В схеме имеется управляющий золотник с четырьмя рабочими кромками и отрицательными перекрытиями (четырёхкромочный приточный золотник). Верхний конец управляющего золотника 8 жестко соединен со вспомогательным поршнем 12. Гильза 9 золотника имеет щели *a*, *b*, *c*, образующие на внутренней поверхности отсекающие рабочие кромки. Гильза может перемещаться в корпусе 10.

Пружиной 13 гильза 9 нижним концом прижимается к рычагу 14, на котором имеется шуп 7. Рычаг 26 крепится к корпусу копировального прибора плоскими пружинами 25 и находится в контакте со вспомогательным золотником 28 (двухкромочный проточный золотник). Вспомогательный золотник управляет движением поршня 12 и управляющего золотника 8. Пружина 24 перемещает золотник 28 вниз. Винт 27 регулирует нулевое положение системы.

Рассмотрим работу гидрокopировальной следящей системы. От насоса масло под давлением, зависимым от настройки клапана 15, по трубопроводу 18, 20 поступает в рабочие щели гильзы 9 и золотника 8. Незначительная часть масла через дроссель 16 с давлением, зависимым от настройки клапана 29, элевик, установленный в термостате 17, и по трубопроводам 19 и 21 поступает в нижнюю полость дифференциального цилиндра 11 и по трубопроводу 22 — в полость корпуса золотника 28.

При перемещении шупа 7 вверх гильза 9 также перемещается вверх, обеспечивая доступ масла по трубопроводу 5 в нижнюю полость рабочего гидроцилиндра 3, и поршень 4 с суппортом 2 будет двигаться от детали 1. В это же время рычаг 26 смещает вверх золотник 28, что обеспечивает доступ масла по трубопроводу 23 в верхнюю полость гидроцилиндра 11. При этом поршень 12 вместе с золотником 8 будет перемещаться вниз, увеличивая щель между рабочими кромками гильзы 9 и золотника 8.

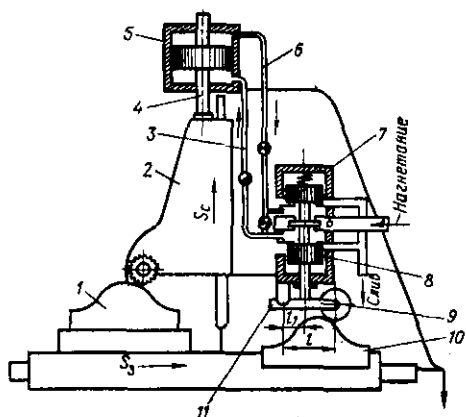


Рис. 1.5. Схема продольного копировально-фрезерного станка с гидравлической однокоординатной следящей системой

При перемещении шупа 7 вниз гильза 9 также перемещается вниз, обеспечивая доступ масла по трубопроводу 6 в верхнюю полость рабочего гидроцилиндра 3, и поршень 4 с суппортом 2 будет двигаться к детали 1. При этом рычаг 26 нижним концом гильзы 9 будет опускаться вниз. Золотник 28 под действием пружины 24 также будет перемещаться вниз и обеспечит поступление масла по трубопроводам 19 и 22 в нижнюю полость гидроцилиндра 11. Поршень 12 вместе с золотником 8 будет перемещаться вверх, увеличивая щель между рабочими кромками гильзы 9 и золотника 8.

Данная гидрокopировальная следящая система может применяться в различных системах автоматического управления.

Применяются следующие виды следящих гидравлических систем копировальных полуавтоматических станков: одно-, двух-, трехкоординатные.

Однокоординатные гидравлические следящие копировальные системы (рис. 1.5). 1. Применение данной системы показано на копиро-

вально-фрезерном станке. На столе станка устанавливают деталь 1, у которой производится фрезерование фасонного профиля на автоматическом цикле по копиру 10. При обработке профиля детали стол станка с деталью 1 и копиром 10 перемещается с постоянной задающей продольной подачей  $s_z$  от самохода станка. Копирная следящая вертикальная подача  $s_c$  сообщается рабочему органу станка — головке с фрезой.

При перемещении ролика 9 по профилю копира 10 вниз его рычаг 11 (плечо 1) будет опускаться и позволит золотнику 8 под действием пружины также перемещаться вниз. При перемещении вниз золотник 8 пропускает масло под давлением из корпуса 7 золотника по трубопроводу 6 в верхнюю полость гидроцилиндра 5, а из нижней полости гидроцилиндра масло, пройдя через корпус золотника, сливается в бак. При этом поршень со штоком 4 гидроцилиндра перемещается вниз. Фрезерная головка, жестко связанная с этим штоком, также будет перемещаться вниз.

При перемещении ролика 9 по профилю копира вверх рычаг 11 ролика нажимает на золотник 8 и перемещает его вверх. При этом золотник пропускает масло из корпуса по трубопроводу 3 в нижнюю полость гидроцилиндра 5, а из верхней полости гидроцилиндра масло по трубопроводу 6, пройдя через корпус золотника, сливается в бак. В это время поршень и шток 4 гидроцилиндра перемещают фрезерную головку с фрезой вверх, т. е. повторяется путь копирного ролика. Когда ролик перемещается по верхнему участку копира, золотник 8 занимает нейтральное положение и фрезерная головка 2 по вертикали не перемещается.

При однокоординатном копировании фасонные поверхности детали обрабатывают с углом подъема профиля не больше  $\alpha = \pm 45^\circ$ .

Двухкоординатные гидравлические следящие копировальные системы. В конструкцию двухкоординатной следящей системы входят два гидравлических цилиндра с золотниками, синусный распределитель, измерительное устройство и механизм для автоматического управления положением синусного распределителя. Двухкоординатные следящие системы применяют в металлорежущих станках, где требуется, чтобы обе подачи, продольная и поперечная, автоматически управлялись копиями и соответствующими механизмами. Они изготавливаются различных конструкций и имеют более сложное устройство по сравнению с однокоординатными. Применяют их для обработки фасонных поверхностей с углом подъема профиля до  $\pm 90^\circ$ , подача исполнительного органа станка, несущего инструмент, должна производиться по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Двухкоординатные системы в основном применяют на фрезерных станках.

Рассмотрим схему гидравлической следящей системы двухкоординатного копирования с автоматическим регулированием скорости продольной подачи (рис. 1.6), применяемой на токарно-копировальных полуавтоматах модели 1722—1732. Использование этой системы обеспечивает постоянную результирующую подачу суппорта 11, так как при изменении поперечной копирной подачи происходит автоматическое изменение скорости его продольной подачи.

Шуп 9 гидравлического золотника, скользя по профилю шаблона 10, нажимает на золотник 8 и перемещает его в соответствии с профилем шаблона. При перемещении золотник открывает одно из отверстий в корпусе 7 золотника, через которое масло, качаемое насосом 14, подается в одну из полостей гидроцилиндра 4 поперечной подачи копирующего суппорта 11 с резцом. Шток 5 гидроцилиндра 4 перемещается в том направлении, в котором перемещается шуп 9 с золотником 8. При подаче масла в верхнюю полость гидроцилиндра масло из его нижней полости будет вытесняться и, пройдя через корпус 7 и трубопровод, сливается через дроссель 13 в бак.

Корпус 7 золотника 8 жестко соединен через угольник 6 и шток 5 с суппортом, перемещаемым до тех пор, пока не закроется проходное сечение между золотником и корпусом, по которому масло поступает в одну из полостей гидроцилиндра 4 поперечного перемещения копирующего суппорта 11. Следовательно, перемещение суппорта строго соответствует перемещению шупа 9.

Шток 3 гидроцилиндра 2 связан с кареткой суппорта 11 и при обтачивании детали перемещает ее к передней бабке станка. При перемещении влево штока с поршнем в гидроцилиндре 2 масло насосом 14 подается в правую полость гидроцилиндра. Из левой полости гидроцилиндра масло выжимается и, пройдя через автоматический регулятор 1 и дроссель 12 продольной подачи, сливается в бак.

Автоматический регулятор является двухступенчатым золотником. На ступени золотника большего диаметра есть лыски для дросселирования масла, а на торец ступени золотника меньшего диаметра давит масло, вытекающее из левой полости гидроцилиндра.

Соотношения и величины скоростей движения копирующего суппорта 11 в поперечном и продольном направлениях устанавливаются дросселями 12 и 13, включенными в систему. При обтачивании фасонной или конусной поверхности золотник автоматического регулятора 1 устанавливают в положение, соответствующее такому соотношению скоростей продольной и поперечной подач, которое обеспечивает постоянство результирующей подачи, направленной по касательной к профилю обрабатываемой детали.

Постоянство результирующей подачи обеспечивается тем, что при увеличении поперечной подачи давление перед дросселем 13 увеличится и передастся на золотник автоматического регулятора 1 скорости; при этом золотник переместится вниз и произойдет уменьшение проходного сечения между лысками золотника и корпусом авто-

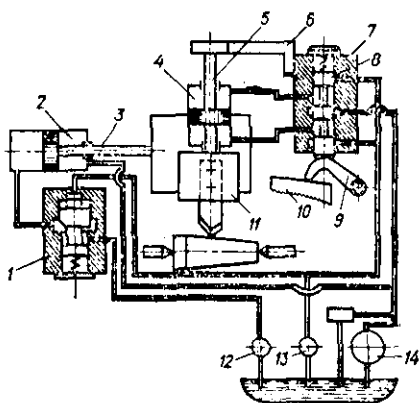


Рис. 1.6. Схема следящей гидравлической двухкоординатной копирующей системы токарно-копировальных полуавтоматов

матического регулятора, поэтому скорость продольной подачи каретки уменьшится.

Применение двухкоординатной гидравлической следящей системы с автоматическим регулированием скорости продольной подачи позволяет получить различные соотношения величин скоростей продольной и поперечной подач суппорта с резцом.

Данная следящая система позволяет обрабатывать по копиру с одного или нескольких проходов цилиндрические и торцовые поверхности ступенчатых деталей при установке суппорта перпендикулярно к оси центров станка.

При обработке некоторых ступенчатых деталей токарно-копировальные полуавтоматы модели 1712—1722 по производительности не уступают многолезцовым станкам.

На рис. 1.7 показана схема копировально-фрезерного станка с применением двухкоординатной следящей системы. На столе станка размещено приспособление 4, в котором установлен и закреплен шатун 5. На верхней головке шатуна производится фрезерование фасонной поверхности с автоматическим циклом.

Для получения траектории движения вершин зубьев фрезы в виде кривой, соответствующей заданному профилю обрабатываемой поверхности детали, требуется обеспечить необходимую функциональную связь между скоростями подач  $s_z$  и  $s_c$  по осям  $x$  и  $y$ .

Рис. 1.7. Схема копировально-фрезерного станка с гидравлической двухкоординатной следящей системой

Соотношение между скоростями подач  $s_z$  и  $s_c$  должно быть таким, чтобы вектор результирующей скорости подачи  $s_p$  являлся касательной к траектории движения, т. е. чтобы результирующая подача  $s_p$  была бы направлена по касательной в каждой точке обрабатываемого фасонного профиля детали. Такое соотношение скоростей подач  $s_z$  и  $s_c$  устанавливается управляющим четырехщелевым распределительным золотником 1. На нижнем конце золотника 1 закреплен ролик 2, который перемещается по профилю копира 3 при обработке фасонного профиля детали.

На основе независимых следящих систем для одно- и двухкоординатного копирования можно разработать конструкцию гидравлического копировального устройства для трехкоординатного копирования.

## § 1.6. Электромеханические следящие копировальные системы

При обработке деталей на токарных, фрезерных и других станках применяют управление работой рабочих органов станка с копирной программой, в которой используют электромеханическую следящую

систему для регулирования относительного положения шупа и рабочего органа станка с режущим инструментом. Электромеханическая следящая система состоит из электрического датчика, промежуточного устройства и исполнительного привода в виде электромагнитных муфт или электродвигателя постоянного тока.

Электрические датчики, применяемые в этих системах, бывают контактными и бесконтактными. Наибольшее применение для автоматизации цикла обработки деталей на станках имеют электромеханические копируемые системы электроконтактного вида, в которых копируемый палец скользит по профилю шаблона. Движение копируемого пальца по профилю шаблона воспроизводится рабочим органом станка с режущим инструментом, перемещаемым с помощью системы электромеханических звеньев, поэтому происходит точное копирование профиля шаблона на поверхности обрабатываемой детали.

На рис. 1.8. представлена схема электромеханического копируемого устройства, применяемого при обработке ступенчатых валиков или деталей с фасонными поверхностями на токарном станке. На станке производят обработку цилиндрической и конусной поверхности детали 1, зажатой в патроне. Суппорт 7 с резцом 6 и трехпозиционный датчик 4 закреплены на каретке 5, которой сообщается поперечная следящая подача. Каретка 5 установлена на салазках 2, перемещаемых с задающей продольной подачей. Поперечное перемещение каретки производится поочередно от одной из электромагнитных муфт 9 или 10 через коническую пару колес 8 или 11 и винт с гайкой.

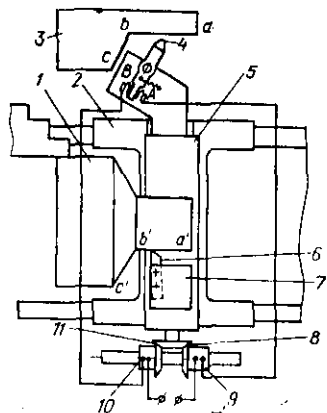


Рис. 1.8. Схема электромеханического копируемого устройства с трехпозиционным датчиком

Включение в работу муфты 9 или 10 для перемещения каретки 5 вперед или назад производится датчиком 4, который через электрическое устройство подает соответствующие сигналы на одну из муфт.

В данной системе применяют трехпозиционный электроконтактный датчик 4 с двумя парами контактов А и В. При этом датчик и его шуп могут иметь три рабочих положения. В первом положении датчика контакты А замкнуты, а контакты В разомкнуты; при этом одновременно производится перемещение салазок 2 ходовым винтом с продольной подачей и каретки 5 от одной из электромагнитных муфт с поперечной подачей на деталь. Во втором положении датчика контакты А и В разомкнуты, производится перемещение салазок 2 ходовым винтом с продольной подачей, а поперечная подача каретки 5 выключена. В третьем положении датчика контакты А разомкнуты, а контакты В замкнуты. При этом одновременно производится перемещение салазок 2 ходовым винтом с продольной подачей и каретки 5 от одной из электромагнитных муфт с поперечной подачей от детали.

При соприкосновении шупа датчика 4 с копиром в точке *a* контакты *A* датчика разомкнутся, поперечная подача каретки 5 выключится и будет включена продольная подача, перемещающая салазки с кареткой. В это время шуп датчика скользит по прямолинейному участку *ab* копира 3, а резец обрабатывает прямолинейный участок *a'b'* на детали 1. Придя в точку *b*, шуп датчика начнет скользить по наклонной плоскости *bc* копира 3 и вызовет замыкание контактов *B* датчика. При этом одновременно будут включены две подачи: продольная, перемещающая салазки 2, и поперечная для перемещения каретки 5 с суппортом 7 и резцом от детали. При скольжении шупа датчика по наклонному участку *ab* копира резец будет обтачивать участок *b'c'* на поверх-

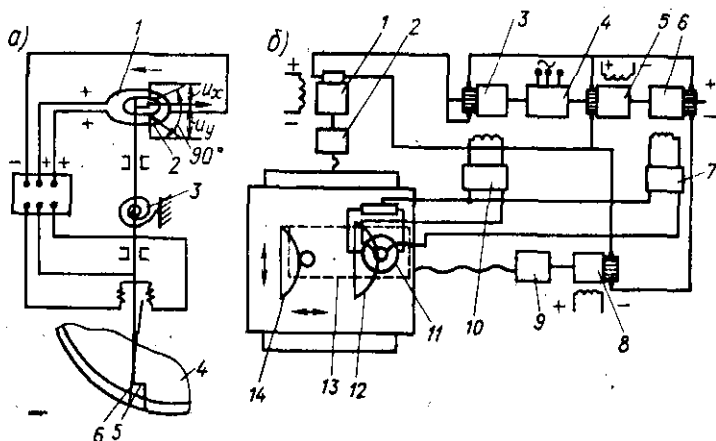


Рис. 1.9. Схема электрокопировальной системы НИАТ для фрезерного станка

ности детали 1. Как только шуп датчика отойдет от копира, снова замкнутся контакты *A* датчика и разомкнутся контакты *B*; одновременно с продольной подачей салазков будет выключена и поперечная подача каретки в направлении на деталь и т. д.

Электромеханические системы с бесконтактными датчиками. Применение бесконтактных датчиков в системе слеящего привода для автоматизации копировальных станков обеспечивает получение весьма небольших давлений шупа на профиль копира и высокую точность профиля обрабатываемой детали.

В НИАТе разработана электромеханическая копировальная система для обработки деталей на фрезерном станке (рис. 1.9). Датчик, используемый в данной системе (рис. 1.9,а), имеет основной 5 и вспомогательный 6 шупы, которые прижимаются к копиру 4 спиральной пружиной 3. Концы этих шупов находятся на близком расстоянии. Основной шуп 5 связан с измерительным индуктивным устройством, вспомогательный шуп 6 прижимается к поверхности копира 4 с помощью асинхронного двигателя (на рисунке отсутствует), который работает в моментном режиме.



С помощью копира 4 вспомогательный шуп 6 поворачивает корпус основного шупа 5, в верхней части которого на вертикальном валике установлен щеткодержатель, имеющий две щетки 2, расположенные под углом  $90^\circ$  относительно друг друга. Щетки 2 перемещаются по неподвижному плоскому синусному потенциометру 1 и поворачиваются на угол, соответствующий углу контура в определенной точке копира 4. При этом сигналы  $u_x$  и  $u_y$  на выходе потенциометра являются синусоидальными функциями угла наклона контура.

В синусный потенциометр 11 (рис. 1.9, б) поступают сигналы центрального и углового отклонений, который распределяет их по каналам для продольной и поперечной подач узлов станка. Эти сигналы подаются к электронным усилителям 7 и 10 и после усиления поступают в электромашинные усилители 6 и 3, питающие соответствующие двигатели рабочих органов, управляющих подачами. На рис. 1.9, б: 4 — приводной двигатель, а 5 — вольтодобавочный генератор.

Обрабатываемая деталь 12 и копир 14 установлены на столе 13 фрезерного станка. Продольная подача стола производится от электродвигателя 8 постоянного тока через редуктор 9, а поперечная подача осуществляется электродвигателем 1 постоянного тока через редуктор 2. Скорость вращения электродвигателей 8 и 1 регулируется сигналами, поступающими от специального датчика.

### **§ 1.7. Электрогидравлические следящие копировальные системы**

В конструкцию электрогидравлической копировальной системы входит электрический датчик, электрогидравлическое промежуточное устройство и гидравлический двигатель (гидроцилиндр). Эти системы применяют для автоматизации цикла обработки деталей на металлообрабатывающих станках. На рис. 1.10 дана схема копировального суппорта токарного станка с электрогидравлической следящей системой. С поверхностью эталонной детали 7 соприкасается шуп 6 копировального прибора. При перемещении шупа по эталонной детали в продольном направлении его рычаг 4 воздействует на контакты 5 копировального прибора и они замыкаются. Контакты 5 включены в цепь сетки электронной лампы 3. Сетка электронной лампы управляет ее анодным током, подведенным к обмотке электромагнита 11. Насос 17 подает по трубопроводу 16 масло к золотнику 13, который при последовательном переключении подает масло по трубопроводу 14 в бесштоковую полость гидроцилиндра 10, а по трубопроводу 15 — в его штоковую полость.

Переключение золотника 13 производится электромагнитом 11 через рычаг 12. При подаче масла в бесштоковую полость гидроцилиндра 10 его поршень 9 со штоком 8, тягой 1 и суппортом 2 переместится влево. Следовательно, суппорт с резцом с поперечной подачей будет отходить от детали. При подаче масла в штоковую полость гидроцилиндра 10 его поршень 9, шток 8, тяга 1 и суппорт 2 с резцом переместятся вправо, т. е. резец с поперечной подачей переместится к детали.

Поперечное следящее перемещение суппорта 2 с резцом к детали или от детали осуществляется щупом 6 копировального устройства, скользящего по профилю эталонной детали 7. Продольная подача

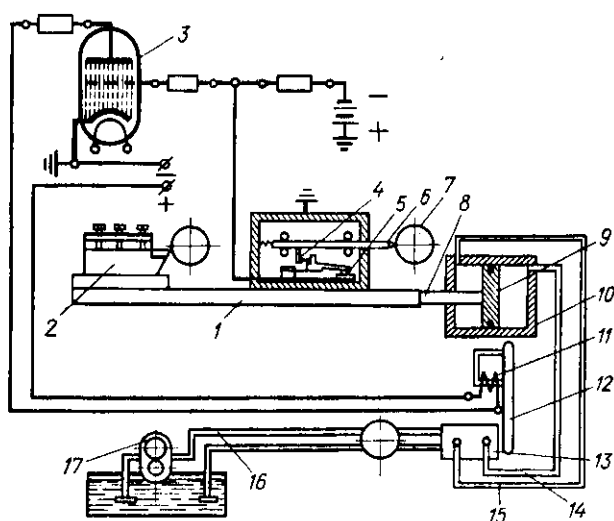


Рис. 1.10. Схема копировального суппорта токарного станка с электрогидравлической следящей копировальной системой

каретки суппорта с резцом производится механизмом продольной подачи токарного станка.

Электрогидравлические следящие копировальные устройства применяются в станках с числовым программным управлением.

## § 1.8. Пневмогидравлические следящие копировальные системы

Пневмогидравлические следящие копировальные системы применяются для автоматизации цикла управления универсальными металлорежущими станками. На рис. 1.11 дана схема пневмогидравлической следящей системы для автоматизации перемещения суппорта токарного станка. В схеме имеется пневмоцилиндр 21, установленный и закрепленный на салазках суппорта станка. В пневмоцилиндре 21 имеется шток 22 с поршнем 19. В средней части штока установлен поршень 10 гидравлического цилиндра, на конце штока 22 — резец 13, обрабатывающий деталь 14. По трубопроводу 6 сжатый воздух одновременно поступает в обе полости пневмоцилиндра 21, причем в полость 18 воздух поступает прямо из трубопровода 6, а в полость 20 — через трубопровод 5 и редукционный клапан 4. Затем из полости 20 пневмоцилиндра 21 сжатый воздух, пройдя по отверстию 7 внутри штока, поступает в рабочую полость 12 пневмоцилиндра 15, жестко закрепленного на штоке 22 и перемещающегося вместе с ним. Выход сжатого воздуха из кана-

ла 7 штока 22 в атмосферу закрыт клапаном, прижатым давлением сильфона 3.

Управление работой пневмогидравлической следящей системы производится шупом 1, скользящим по профилю копира 2. Верхний конец шупа связан с клапаном 23, прижимаемым к седлу сильфоном 3, который получает соответствующие команды от шупа при перемещении его по копиру. Клапан 23 сообщается с полостями 12 и 20 пневмоцилиндров. Когда шуп 1 копиром отводится вправо, сильфон 3 сжимается, клапан открывается, сжатый воздух через канал 7 выходит в атмосферу и давление в полостях 20 и 12 пневмоцилиндров падает. При этом поршень 19 со штоком 22 и резцом 13 под давлением сжатого воздуха в полости 18 будет перемещаться вправо от детали 14. При перемещении шупа, скользящего по копиру влево, сильфон переместится вправо и нажмет на клапан 23; последний закроет выход сжатого воздуха из канала 7 в атмосферу и давление в полостях 20 и 12 пневмоцилиндров повысится. При этом сжатый воздух в полости 18 давит на одну поверхность поршня 19, а в полостях 20 и 12 — на две поверхности. Следовательно, суммарное усилие в двух полостях 20 и 12 пневмоцилиндров будет больше усилия в полости 18 пневмоцилиндра, и шток 22 с резцом 13 переместится влево к детали 14.

При обтачивании цилиндрической части детали 14 клапан устанавливают в положение, при котором давление сжатого воздуха в полостях 20 и 12 и в полости 18 уравнивается, поэтому перемещение штока 22 в поперечном направлении не происходит.

Гидроцилиндр 9 служит для регулирования величины подачи и равномерности хода штока 22. Перемещение штока регулируется скоростью перетекания масла из одной полости 11 гидроцилиндра 9 в другую 8, которая регулируется дроссельным клапаном 16. Утечка масла из гидроцилиндра 9 пополняется аккумулятором 17, поршень которого под давлением пружины перемещает масло из аккумулятора в гидроцилиндр 9.

Рассмотренная пневмогидравлическая следящая система, используемая для поперечного перемещения резца, в отличие от гидравлических следящих систем работает без насосной станции.

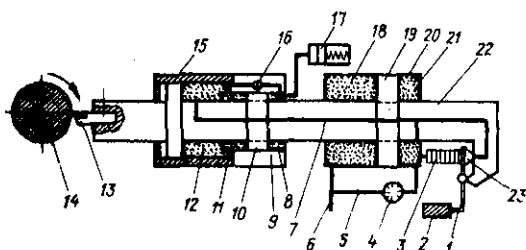


Рис. 1.11. Схема копирующего суппорта токарного станка с пневмогидравлической следящей копирующей системой

## § 1.9. Системы числового программного управления металлорежущими станками

Числовое программное управление металлорежущим станком применяют для автоматического управления перемещениями исполнительных узлов станка при помощи последовательно вводимых в систему

управления чисел, определяющих форму, размеры и класс чистоты поверхностей обрабатываемой детали. В перерывах между подачами команд для перемещения узлов станка форма поверхностей детали определяется направляющими исполнительных узлов и скоростью их перемещения. По чертежу детали для каждого вида обработки и типа станка составляют программу в виде таблиц, в которых указывают величину и направление перемещения исполнительных органов станка при обработке детали.

Составленную числовую программу для автоматического управления узлами станка при обработке детали на соответствующей операции фиксируют при помощи выключателей на пульте управления станком или записывают на программноносителе карте-ленте (перфорированных ленте или карте, магнитной ленте, кинолентке).

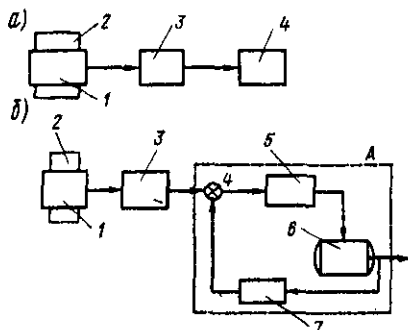


Рис. 1.12. Схемы работы различных систем программного управления в связи с числом потоков информации

Программоноситель обработки детали вводят в специальное считывающее устройство станка. При считывании программоносителя на станок, обрабатывающий деталь, поступает числовая информация, которая преобразуется в электрические импульсы, используемые для требуемых перемещений исполнительных узлов станка.

При обработке деталей на станках с программным управлением функции рабочего сводятся к установке и снятию детали, смене за-

тупившегося режущего инструмента и наблюдению за процессом обработки деталей. Точность размеров, форма обрабатываемой детали и время, затрачиваемое на ее изготовление, зависят от правильности расчетов программы работы станка.

Устройства, воздействующие на главные приводные механизмы исполнительных рабочих узлов станков, называют *системами управления*.

На станках с программным управлением применяют две системы управления: а) без обратной связи, или разомкнутую; б) с обратной связью, или замкнутую.

**Система программного управления без обратной связи.** В этих системах имеется один поток информации, направленный от устройства, считывающего программу, к исполнительному механизму (рис. 1.12, а). При перемещении ленты 2 с программой в дешифраторе 1 (считывающем устройстве) на его выходе возникают командные сигналы. Далее эти сигналы поступают в промежуточное звено 3, преобразуются и затем поступают в исполнительное устройство 4 (привод рабочего узла). Устройство 4 перемещает определенный узел станка непосредственно или через промежуточные механизмы в требуемое положение. Соответствие действительного перемещения узла станка с заданной программой не контролируется.

**Система программного управления с обратной связью.** В этих системах в процессе обработки детали на станке ведется непрерывное сопоставление действительного размера обрабатываемой детали или действительного перемещения узла станка с заданной программой. Результаты сопоставления поступают в специальное передаточно-сравнивающее устройство, которое производит соответствующее корректирование работы привода рабочего органа станка.

На рис. 1.12, б дана система программного управления. При считывании заданной программы 2 в считывающем устройстве 1 (дешифраторе) на его выходе получают командные сигналы. Из считывающего устройства 1 командные сигналы поступают в промежуточное звено 3, где они преобразуются. Затем из промежуточного звена 3 сигналы направляются в следящую систему 4. В состав следящей системы входит сравнивающее устройство 4, в которое поступают задающие сигналы усилителя 5 исполнительного двигателя 6 и измерителя-преобразователя 7 (датчика обратной связи). Датчик 7 производит измерение действительного перемещения узла станка и преобразует его в сигнал обратной связи, направляемый к сравнивающему устройству 4, в котором сигналы обратной связи от датчика 7 сравниваются с сигналами, получаемыми от считывающего устройства 1.

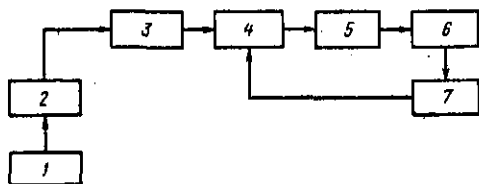


Рис. 1.13. Типовая блок-схема программного управления станком:

1 — разработка и запись программы; 2 — контроль программы; 3 — ввод программы в станок; 4 — преобразование программы, управление и контроль исполнения; 5 — привод исполнительного узла; 6 — исполнительный узел; 7 — датчик исполнения

В случае разницы между заданными и фактическими величинами перемещения узла станка на выходе сравнивающего устройства 4 появляется сигнал, соответствующий величине рассогласования. Этот сигнал через усилитель 5 подается к исполнительному устройству, которое производит регулировку работы узла станка в соответствии с заданной программой. Следовательно, обратная связь служит для контроля и корректировки движения узлов станка в соответствии с заданной программой.

По способу воздействия на исполнительные рабочие узлы станка системы управления разделяют на непрерывные и дискретные (прерывные). В непрерывных системах управления командная величина является непрерывной функцией времени и управляющего сигнала, в дискретных системах — прерывной функцией времени и управляющего сигнала, она осуществляется отдельными импульсами.

**Типовая блок-схема числового программного управления металлорежущими станками.** На рис. 1.13 дана блок-схема системы числового управления станками с программным управлением. Она состоит из нескольких блоков.

Первый блок — это устройство для составления и записи программы обработки детали. Основными документами для составления программы

является чертеж и технические условия обрабатываемой детали. В соответствии с размерами обрабатываемых поверхностей детали, указанными в чертеже, техник-программист строит таблицу, в которой указывает абсолютные значения координат программируемых точек обрабатываемых поверхностей или приращение координат этих точек. Затем с помощью перфоратора полученную числовую информацию записывают по определенному коду на программноноситель, которым является перфокарта или перфолента.

Второй блок служит для контроля программы, который производится визуальным способом или путем проверки положения переключателей на пульте управления станком.

Третий блок необходим для ввода программы в станок. Обычно третий блок имеет механизм, в который вводится программноноситель с записанной программой обработки детали. В третьем блоке при считывании механизмом программы формируются сигналы, определяющие заданные перемещения исполнительных узлов станка.

Четвертый блок производит переработку сигналов, поступающих из третьего блока, и управление приводом исполнительного узла станка, а также осуществляет контроль исполнения заданной программы по сигналам, поступающим от датчика управления 7.

Пятый блок является приводом исполнительного узла станка, который производит перемещение его исполнительного узла в соответствии с заданной программой обработки детали.

Шестой блок — исполнительный узел станка для установки режущего инструмента или обрабатываемой детали. Каждый из исполнительных узлов перемещается при обработке детали по заданной программе.

Седьмой блок состоит из датчика, обеспечивающего контроль за работой исполнительного узла станка путем сравнения заданной программы с программой, по которой он работает. При отклонении перемещения исполнительного узла станка от заданной программы датчик подает корректирующие сигналы в блок 4 в соответствии с заданной программой, и последний регулирует работу исполнительного узла станка.

Системы программного управления станками по технологическому назначению разделяют на системы позиционного управления и контурные.

**Позиционные системы программного управления.** Эти системы обеспечивают перемещение исполнительного узла станка в требуемое положение, например перемещение стола вертикально-сверлильного станка с обрабатываемой деталью в заданное положение для сверления отверстия в детали (рис. 1.14, а). Систему позиционного управления называют *системой с программированием точек* относительно положения инструмента и обрабатываемой детали. Позиционные системы программного управления бывают с прямолинейным перемещением узлов станка с режущим инструментом относительно поверхностей детали в процессе ее обработки на станке. Например, при обтачивании шеек ступенчатого валика (рис. 1.14, б) траектория движения суппорта с резцом относительно обрабатываемых поверхностей детали пред-

ставляет собой сочетание последовательных перемещений продольных и поперечных салазок токарного станка, выраженных отрезками прямых  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$ ,  $DE$  и т. д. Перемещение продольных и поперечных салазок зависит от формы и размеров обрабатываемой детали. Такие системы позиционного управления называют *системами с программированием отрезков прямых*, параллельных перемещению исполнительных узлов в процессе обработки детали.

**Контурные системы программного управления.** Такие системы являются функциональными, в них существует функциональная зависимость между величинами перемещения исполнительного узла станка с режущим инструментом и исполнительным узлом станка с обрабатываемой деталью. Перемещение этих исполнительных узлов станка

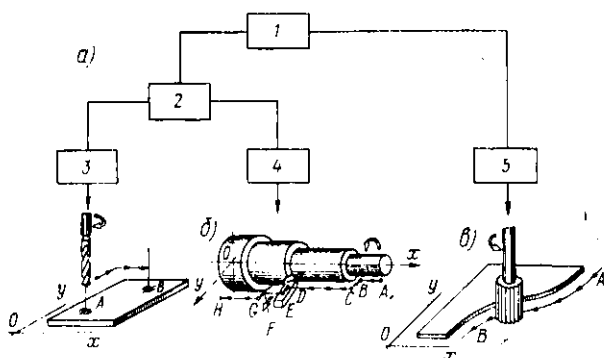


Рис. 1.14. Классификация систем программного управления (СПУ) по технологическим условиям:

1 — программное; 2 — позиционное; 3 — СПУ с программированием точек; 4 — СПУ с программированием отрезков прямых; 5 — СПУ контурное с программированием фасонных профилей деталей

в процессе обработки детали происходит непрерывно по заданным координатам.

В зависимости от вида обработки детали контурные системы программного управления могут быть двух- и трехкоординатными. Эти системы применяют для обработки фасонных поверхностей детали на фрезерных станках с программным управлением (рис. 1.14, в).

**Системы счисления и коды в числовых системах программного управления.** Разработка программы обработки детали на станке состоит в преобразовании заданных чертежом размеров детали в определенную систему команд и импульсных сигналов для требуемого перемещения исполнительных узлов станка при обработке детали. Разработанная информация в виде команд и сигналов записывается условным кодом на программноносителе или вводится в станок с помощью переключателей на пульте управления. Разработка программы — весьма трудоемкая работа, поэтому используют счетные клавишные или электронно-вычислительные машины.

Полученные расчетные данные могут вводиться в станок непосредственно с помощью переключателей на пульте управления станком

или на программонositeле в виде карт или лент, на которых в определенной системе проколоты отверстия. Каждая система отверстий соответствует определенному числу, которое определяет требуемое перемещение исполнительных узлов станка при обработке соответствующей детали. Выбор системы кодирования программы для ввода в станок имеет большое значение для правильной эксплуатации станков с числовым программным управлением.

Числовая информация о положении или перемещении исполнительных узлов станка может выражаться различным условным кодом. Наибольшее применение для кодирования имеют десятичная, двоичная и другие системы счисления.

**Десятичная система счисления.** В этой системе для записи чисел используют десять различных знаков (цифр) — 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, изображающих целые числа. В десятичной системе основанием системы счисления является число 10. Цифры следующего (высшего) разряда в 10 раз больше аналогичной цифры низшего разряда.

Число  $N$ , записанное в десятичной системе счисления, можно представить в виде суммы:

$$N_{10} = a_0 10^0 + a_1 10^1 + a_2 10^2 + a_3 10^3 + \dots + a_i 10^i \text{ или } N_{10} = \sum_{i=0}^{i=n-1} a_i 10^i,$$

где  $n$  — количество разрядов в числе;  $a_i$  — коэффициенты, являющиеся целым однозначным числом 0, 1, ..., 9.

В десятичном коде каждое пробитое отверстие на программонositeле означает одну из десяти цифр соответствующего разряда. Однако для записи десятичного кода на программонositeле требуется значительное место. Поэтому десятичную систему следует использовать для ввода программы в станок с помощью переключателей, установленных на пульте управления.

**Двоичная система счисления.** В двоичной системе счисления применяют только две цифры — единицу (1) и нуль (0). В этой системе счисления за основание числа принимают число 2. Поэтому ряд выражается двумя сигналами.

Число  $N$ , записанное в двоичной системе счисления, можно представить в виде суммы:

$$N_2 = a_0 2^0 + a_1 2^1 + a_2 2^2 + \dots + a_i 2^i \text{ или } N_2 = \sum_{i=0}^{i=n-1} a_i 2^i,$$

где  $a_i$  — коэффициент, имеющий одно из двух значений — 0 или 1.

Цифра 1 соответствует одному состоянию, например пробитому отверстию на перфоленте, замкнутому реле, наличию тока в цепи, а цифра 0 — отсутствию отверстия на перфоленте, разомкнутому реле, отсутствию тока в цепи и т. д.

Передача сигналов при двоичной системе может осуществляться от электромагнитного реле, например, 1 — включено, 0 — выключено. Чтобы представить любое число  $N$  в двоичной системе счисления, нужно



его разложить на сумму степеней числа два в убывающем порядке с соответствующими коэффициентами ( $a_i = 0$  или 1). Например, число 26 запишется в этой системе следующим образом:  $11010 = 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 16 + 8 + 2$ . Этот способ кодирования требует небольшой емкости программносителя и минимального количества каналов связи и приборов, поэтому он является весьма экономичным.

Двоичную систему счисления можно перевести в десятичную, для этого необходимо знать, чему равна в десятичной системе единица каждого разряда двоичного числа.

При автоматическом переводе двоичной системы счисления в десятичную и при обратном переводе применяют релейные схемы, а также диодные матрицы. Эти схемы используют в специальных считывающих устройствах — дешифраторах, служащих для преобразования информации.

**Десятично-двоичная система.** В десятично-двоичной системе счисления запись чисел, как и в десятичной системе, производится десятью допустимыми знаками. Но при десятично-двоичной системе каждую цифру числа, имеющегося в десятичной системе, записывают в двоичной системе отдельно, например для числа 325:

|                          |      |      |      |
|--------------------------|------|------|------|
| десятичная система . . . | 3    | 2    | 5    |
| двоичная система . . .   | 0011 | 0010 | 0101 |

В десятично-двоичной системе числа записывают в десятичной системе, но цифры, из которых составляются числа, — четырехзначными в двоичной системе счисления:

|                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| десятичная система | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| двоичная система   | 0000 | 0001 | 0010 | 0011 | 0100 | 0101 | 0110 | 0111 | 1000 | 1001 |

В десятично-двоичной системе, как и в двоичной системе, записи можно представить в виде наличия (1) или отсутствия (0) сигнала в соответствующей цепи. Цифре 9 в десятично-двоичной системе соответствует 1001, следовательно, максимальное число разрядов для представления цифры в этой системе равно четырем. Выбор соответствующей системы кодирования производится для каждого конкретного вида обработки детали на определенном станке.

**Виды программносителей и перфораторы.** Разработка системы программного управления станком состоит из технологической подготовки и математического вычисления программы. Технологическая подготовка состоит в изучении чертежа готовой детали с техническими условиями, выборе вида заготовки, изучении технологического процесса механической обработки детали.

После изучения технологического процесса выбирают станок, технологическую оснастку, режущий и мерительный инструмент, режимы резания и устанавливают норму времени на обработку детали.

При разработке программы обработки детали на станке с системой программного управления (СПУ) необходимые данные, указанные в чертеже готовой детали и в технологической карте механической обработки, преобразуются в ряд команд и сигналов, обеспечивающих требуемое

последовательное перемещение узлов станка. Эти команды или сигналы записывают на определенном программоносителе, который является внешней памятью системы автоматического управления станков с программным управлением.

При обработке деталей на станке по определенной программе в качестве программоносителей можно использовать командоаппараты или переключатели на пульте управления станком. Более рационально вести обработку деталей на станках с программным управлением с программоносителем в виде перфокарты или перфоленты, так как их можно долго хранить и использовать по мере надобности.

Обработка деталей на станках с ПУ с использованием таких программоносителей, как командоаппараты или переключатели на пульте управления станком, является менее рациональной, так как программу нельзя сохранять. Поэтому каждый раз приходится с помощью командоаппарата или переключателей на пульте управления станком снова набирать все программные параметры детали и требуемые команды для перемещения узлов станка.

**Перфорированные карты.** Эти карты изготавливают из картона прямоугольной формы, их размеры даны в ГОСТе. Перфокарты изготавливают двух видов: 45 и 80 колонн на 12 строк. На одной 80-колонной перфокарте можно записать до  $n = 80 \times 12 = 960$  двоичных разрядов при разрядности числа или команды (в двоичной системе счисления), равной 40, на одной перфокарте можно разместить 24 числа ( $960/40 = 24$ ). Обычно на перфокарте размещают до 12 чисел. Перфокарты применяют для записи программы работы станка с позиционным управлением. На перфокартах требуемая информация наносится перфоратором с пуансонами, которые на основании выбранного кода пробивают в них отверстия круглой или прямоугольной формы. Отверстия, пробиваемые на перфокарте, разделяют ее на вертикальные колонки и горизонтальные ряды — позиции. Запись на картах может производиться вдоль колонок и вдоль горизонтальных строк.

**Перфорированные ленты.** Перфорированные ленты изготавливают из бумаги, пластмасс, киноплёнки. Перфоленты для записи программы различаются по ширине, от размеров которой зависит количество пробитых отверстий в поперечном направлении (количество дорожек).

Большое применение имеет бумажная лента шириной 17,5 мм с пятью дорожками с шагом перфорации  $2,5 \pm 0,02$  мм, а также пластмассовая лента шириной 35 мм. Могут применяться и более широкие ленты (более 100 мм с большим числом дорожек).

Запись программ работы станка производят путем пробивки отверстий на перфораторе в соответствии с цифровыми данными, фиксирующими перемещение исполнительных узлов станка по принятой системе счисления. Максимальная плотность записи программы — примерно один импульс на 4—5 мм длины ленты. Правильность пробивки отверстий в соответствии с заданной программой можно контролировать автоматически или визуально. Исправление или изменение расположения пробитых отверстий на перфокарте производят путем повторной пробивки отверстий на другой ленте и затем склейки.

Достоинством записи работы узлов станка на перфоленту по сравнению с записью той же программы на перфокарту является возможность многократного автоматического повторения соответствующего цикла путем ввода задающего документа и реверсирования или склейки ленты в кольцо.

Достоинством использования перфолент является возможность изменения программы работы станка в связи с изменением размеров обрабатываемой детали, недостатком — износ ее краев при многократном прохождении ленты через считывающее устройство, следствием чего может быть нарушение системы подачи сигналов и команд на станок.

Запись требуемой программы на перфокартах и перфолентах производится пуансонами перфораторов, пробивающими на них отверстия. Применяют ручные клавишные перфораторы со встроенными шифраторами для кодирования информации. Запись программы работы станка на кинолентку производят нанесением на ней круглых пятен двух видов прозрачности: при одном виде прозрачности свет через кинолентку проходит, при втором не проходит.

Считывающие устройства перфолент служат для прочитывания числового материала, записанного на ней. При считывании записи перфоленту пропускают через дешифратор с определенной скоростью или перемещают в дешифраторе через определенное время из одного рабочего положения в последующее после выполнения группы сигналов или команд, соответствующих заданным перемещениям узлов станка. Наибольшее применение для прочитывания перфолент имеют электромеханический, пневмо- и фотозлектрический дешифраторы.

Принципиальная схема считывания числового материала с перфолент контактным способом на электромеханическом считывающем устройстве дана на рис. 1.15. Над верхней частью ленты 7 размещаются контактные штифты 2 двуплечих рычагов 5, качающихся на оси 6. Нижняя часть ленты 7 прилегает к стальной плите 1. При перемещении ленты штифты 2 рычагов 5 соленоидами 3 поднимаются над лентой. Когда соответствующая строка ленты переместится в рабочее положение, т. е. станет под штифтами 2, соленоиды 3 обесточиваются и рычаги 5 со штифтами 2 пружинами 4 поворачиваются вниз.

Если данная строка на ленте имеет отверстие, то штифты 2 входят в отверстие и прижимаются к плите 1; при этом соответствующие цепи замыкаются и на определенном выходе считывающего устройства появляется электрический импульс. Число рычагов со штифтами в данном считывающем устройстве соответствует числу дорожек в ленте. Перемещение перфоленты из одного рабочего положения в следующее

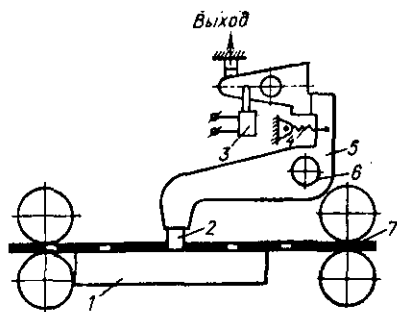


Рис. 1.15. Схема электромеханического устройства для считывания числового материала

производится от соленоидного двигателя, вращающего храповое колесо и барабан с зубьями, которые входят в ленту и продвигают ее через дешифратор (на рис. 1.15 устройство для перемещения ленты отсутствует).

По принципу работы дешифраторы считывающих устройств для перфокарт ничем не отличаются от работы дешифраторов для прочитывания перфолент. Считывающие устройства для перфокарт могут прочитывать всю запись на участке карты одновременно или последовательно колонка за колонкой, при этом карта после прочитывания одной колонки подается на один шаг для прочитывания следующей колонки. Практически перфокартами пользуются при относительно небольшом объеме информации: например, для работы станка с программным управлением требуется несколько десятков перфокарт в смену.

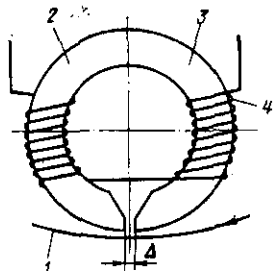


Рис. 1.16. Схема магнитной головки для записи электрических импульсов на магнитную ленту

Перфоленты применяют в контурных системах программного управления, при этом для непрерывности считывания информации с перфоленты считывающие устройства снабжают блоками памяти, служащими для запоминания информации на время, требуемое для перемещения ленты на следующую позицию для считывания.

Считывание лент контактным способом производится со скоростью 10—12 строк в секунду, бесконтактным способом — со скоростью движения ленты до 5—7 м/сек, что для пятидорожечной ленты составит 2000—2800 строк в секунду. Следовательно, если требуется большая скорость считывания информации с ленты, то необходимо применять бесконтактные считывающие устройства для перфолент.

**Магнитные ленты.** Такую ленту применяют для записи программы работы станка. Магнитные ленты состоят из немагнитной бумажной или пластмассовой основы, покрытой тонким слоем ферромагнитной эмульсии (магнитного покрытия).

При записи программы (рис. 1.16) на магнитную ленту 1 последняя перемещается с определенной скоростью мимо записывающей магнитной головки. Головка представляет собой электромагнит, основной частью которого является сердечник, состоящий из двух полуколец 2 и 3 с катушками 4, через которые проходит переменный ток. В рабочей части головки, находящейся над лентой, между половинками 2 и 3 сердечника имеется зазор  $\Delta = 0,01 \div 0,02$  мм. При пропускании переменного тока через катушки 4 записывающей головки в зазоре сердечника головки образуется переменное магнитное поле, которое воздействует на ферромагнитный слой ленты и производит намагничивание участка магнитной ленты, находящегося против зазора головки. Электрические импульсы фиксируются на магнитной ленте в виде поперечных элементарных магнитных штрихов. Записанная на магнитную ленту программа работы станка может быть считана с магнитной ленты при перемещении ленты мимо магнитной головки.

При пропускании магнитной ленты через считывающее устройство магнитные штрихи ленты, проходя зазор магнитной головки, создают в ней переменный магнитный поток, который возбуждает электродвижущую силу в катушках магнитной головки, и на выходе считывающего устройства появляются соответствующие электрические импульсы. Для каждого рабочего узла станка на магнитной ленте имеется своя дорожка записи, которая располагается параллельно движению ленты.

Способ магнитной записи имеет широкое применение как носитель программы для работы станков с программным управлением. Магнитная лента с записью работы станка долго сохраняет магнитную запись и может быть использована для работы несколько тысяч раз при сохранении требуемого качества передаваемой программы.

Целесообразно применять программное управление с записью на магнитной ленте для станков с временем обработки детали примерно 20—55 мин.

**Штепсельные коммутаторы** для станков с программным управлением. Для универсальных металлорежущих станков с программным управлением в качестве программноносителя используют штепсельные и кнопочные коммутаторы.

На рис. 1.17 дана схема штепсельного коммутатора телефонного типа. Штепсельный коммутатор имеет несколько рядов штепсельных гнезд: каждый горизонтальный ряд штепсельных гнезд соответствует одной строчке перфоленты. Программное управление станка штепсельным коммутатором определяет последовательность перемещения рабочих узлов станка, величину их перемещения и скорость.

Каждое штепсельное гнездо, в которое вставляется штеккер 6, состоит из двух изолированных металлических обкладок 2 и 3. Левые обкладки 3 каждой горизонтальной строчки присоединяются через щетки 4 многорядного шагового искателя к цепям, передающим сигналы к блокам системы управления. Обкладки 2 всех штепсельных гнезд подключены к общему проводу 1, связанному с источником питания. Щетки шаговых искателей 4 подключены к обмоткам катушек реле  $P_1 - P_{10}$ , а вторые концы катушек реле — к общему проводу 5.

Шаговый искатель имеет несколько рядов, размещенных по дуге окружности контактов. По контактам каждого ряда перемещается контактная щетка 4, подключенная к обмотке одного реле. От каждого контакта отходит провод, подключаемый к обкладке

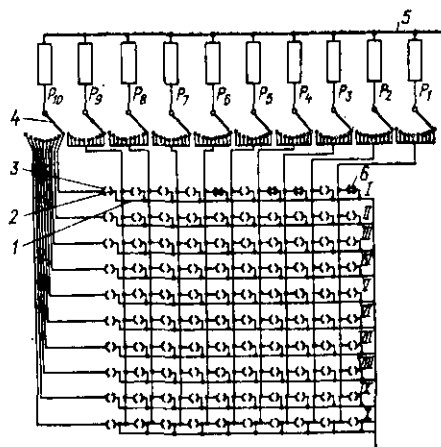


Рис. 1.17. Схема штепсельного коммутатора для фиксации программы

штеккерного гнезда. Все контакты подключают к гнездам одной колонки.

В положении щеток шагового искателя, представленном на рис. 1.17, к обмоткам реле подключены только гнезда ряда I коммутатора. Если в определенные гнезда ряда I вставить штекеры 6, то цепи питания соответствующих реле будут замкнуты и реле сработают. На схеме штекеры 6 вставлены в гнезда первой, третьей, четвертой и шестой колонок, поэтому будут включены реле  $P_1, P_3, P_4, P_6$ .

После выполнения следующего перехода обработки детали щетки шагового искателя переместятся на один шаг, к обмоткам реле  $P_1$  —  $P_{10}$  будут подключены гнезда ряда II коммутатора и питание получат те реле, в гнезда которых вставлены штекеры. Несколько вертикальных колонок используют для фиксации цикловых и технологических команд, остальные — для фиксации величины перемещений.

Следовательно, выполнение заданной программы обработки детали на станке производят установкой штеккеров в соответствующие гнезда штепсельного коммутатора.

Кроме штепсельного коммутатора для настройки станка с программным управлением применяют кнопочный коммутатор, в котором штепсельные гнезда заменены кнопочными переключателями. При кнопочных коммутаторах предварительное замыкание определенных цепей в каждом из рядов производят нажатием кнопок в определенной последовательности в соответствии с заданной программой.

Штепсельные и кнопочные коммутаторы рабочие используют для настройки станка в соответствии с заданной программой обработки небольшой партии деталей. Недостатком коммутаторов является небольшой объем информации и затрата вспомогательного времени на набор заданной программы при переходе к обработке следующей партии деталей. Для сокращения времени на выбор программы при обработке повторяющихся партий одинаковых деталей на коммутаторах применяют перфокарты с прошитыми отверстиями для установки штеккеров.

Основными параметрами любого программноносителя являются емкость, плотность информации, скорость считывания программы, надежность в работе, экономичность.

Емкость программноносителя определяется количеством записей, которое может храниться в нем одновременно. Наименьшую емкость имеют коммутаторы, наибольшую — магнитные и перфорированные ленты. Плотность информации определяется площадью программноносителя, приходящейся на единицу информации.

Система программного управления фрезерным станком с замкнутой цепью. На рис. 1.18 приведена схема управления автоматическим движением рабочих узлов фрезерного станка. Запись программы перемещения узлов станка по оси  $x$  (продольная) и по оси  $y$  (поперечная) при обработке первой детали выполняется вручную. Эта программа сельсинами 16 и 21 преобразуется в электрические сигналы, записываемые на магнитную ленту.

Перемещение узлов станка по осям  $x$  и  $y$  производится от соответствующего электродвигателя и сельсина. Нижние салазки суппорта при продольной подаче перемещаются по оси  $x$  винтом, вращаемым

от электродвигателя 19; верхние салазки 18 при поперечной подаче — по оси  $y$  винтом, вращаемым от электродвигателя 17. Сельсины 21 и 16, связанные с электродвигателями 19 и 17, координируют работу приводов подачи рабочего узла станка и служат для записи сигналов на магнитную ленту при обработке первой детали.

По цепям 7 и 12 подаются сигналы о действительном положении исполнительных узлов станка, а по цепи 8 — сигналы записанных на ленте положений механизмов подачи. Управление поперечной подачей по оси  $y$  производится от координирующего устройства 10 по цепи.

Электродвигатель, вращающий шпиндель станка, включает и выключает устройство 13. Подачу масла и охлаждающей жидкости осуществляют насосы 11 и 14.

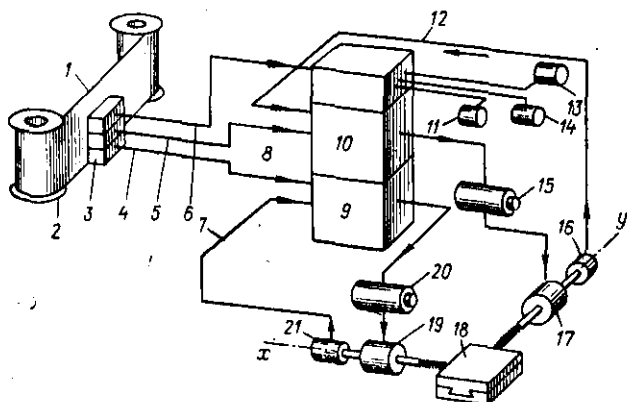


Рис. 1.18. Схема программного управления исполнительными органами станка магнитной лентой

Программу работы станка записывают на магнитную ленту 1 с тремя дорожками: поперечную подачу по оси  $y$  — на среднюю дорожку 5, продольную подачу по оси  $x$  — на нижнюю дорожку 4 и вспомогательные сигналы — на верхнюю дорожку 6.

При протягивании магнитной ленты 1 лентопротяжным механизмом 2 воспроизводящая головка 3 воспринимает импульсы команд и после усиления направляет их в узлы 10 и 9 координации, куда поступают также сигналы от сельсинов 21 и 16. В узлах координации сигналы от магнитной ленты сравниваются с сигналами от сельсинов, и рассогласование, полученное от сравнения, используется для подачи определенных корректирующих сигналов через усилители 15 и 20 в обмотку возбуждения электродвигателей 19 и 17 привода продольной и поперечной подач.

Системы автоматического управления металлорежущими станками с записью программ работы их узлов имеют большое применение на заводах, так как они позволяют автоматизировать станки общего назначения без значительных переделок и при этом получается значительный экономический эффект.

## **§ 1.10 Виды систем программного управления станками в зависимости от командного сигнала**

Из имеющихся видов систем с цифровым программным управлением наибольшее применение получили импульсные и аналоговые системы.

**Импульсные системы программного управления.** Эти системы разделяют на шагово- и счетно-импульсные. В шагово-импульсных системах задающие импульсы после соответствующих преобразований в промежуточных звеньях системы поступают в исполнительные устройства — шаговые двигатели. Каждый импульс, поступивший в шаговый двигатель, производит поворот его ротора на определенный угол, при этом число импульсов определяет величину перемещения рабочего узла станка, а частота следования импульсов — скорость перемещения этого узла.

В замкнутых счетно-импульсных системах программного управления величина перемещения рабочего органа станка определяется суммой импульсов. В сравнивающем устройстве заданное число импульсов сопоставляется с их действительным числом, соответствующим определенному перемещению рабочего органа станка. Величина фактического перемещения рабочего органа станка, выраженная соответствующим числом импульсов, контролируется датчиком обратной связи.

Сравнивающее устройство, сопоставляющее заданное число импульсов с фактическим, поступающим от датчика обратной связи, при несовпадении их числа подает соответствующий сигнал исполнительному двигателю (приводу), управляющему перемещением узла станка, об увеличении или уменьшении скорости перемещения этого узла. Когда в сравнивающее устройство от датчика обратной связи поступит число импульсов, равное заданному для соответствующего перемещения узла станка, оно подает сигнал на остановку перемещения рабочего органа станка.

**Аналоговые системы программного управления.** В этих системах определенной величине перемещения рабочего узла станка соответствует определенное изменение напряжения электрического тока. Аналоговые замкнутые системы программного управления узлами станка подразделяют на системы, моделирующие перемещение узлов станка амплитудой напряжения, и системы, моделирующие перемещение узлов станка изменением фазы напряжения электрического тока.

В замкнутых аналоговых системах программного управления с модуляцией перемещения рабочих узлов станка амплитудой напряжения электрического тока заданному положению рабочего узла станка соответствует определенное значение амплитуды моделируемого напряжения электрического тока. В этих системах программноноситель пропускают через считывающее устройство, подающее сигналы в сравнивающее устройство в виде напряжения определенной амплитуды. В это же время в сравнивающее устройство от датчика обратной связи поступает информация о действительной величине перемещения узла станка в виде напряжения соответствующей амплитуды.



В результате сопоставления заданной величины перемещения узла станка с его фактической величиной на выходе сравнивающего устройства подается определенный сигнал, корректирующий работу привода узла станка в соответствии с заданной программой.

В замкнутых аналоговых системах программного управления с модуляцией перемещения рабочих узлов станка путем сдвига фаз напряжений электрического тока одинаковой частоты при считывании заданной программы в дешифраторе в сравнивающее устройство поступают сигналы о запрограммированной величине перемещения узла станка в виде фаз напряжений определенной частоты.

В это же время в сравнивающее устройство от датчика обратной связи поступают сигналы о фактической величине перемещения узла станка в виде фаз напряжений одинаковой частоты.

Сдвиг фаз сопоставимых напряжений, поступающих в сравнивающее устройство от дешифратора при считывании программы и посылаемых датчиком обратной связи, должен быть пропорционален величине требуемого перемещения узла станка. При перемещении рабочего узла станка на заданную величину сдвиг фаз, фиксируемых сравнивающим устройством, уменьшается и становится равным нулю, при этом перемещаемый рабочий узел останавливается.

### **§ 1.11 Элементы систем программного управления станками**

В замкнутых системах программного управления станками контроль за процессом выполнения заданной программы производится специальным устройством с датчиком обратной связи, получающим и передающим сигналы в сравнивающее устройство о фактических перемещениях рабочего узла станка. В станках с числовым программным управлением широко применяют электрические индуктивные датчики для обратной связи.

Конструктивная схема индуктивного датчика обратной связи с зубчатой линейкой изображена на рис. 1.19. На подвижном узле станка закрепляют линейку 1 с зубцами, против линейки устанавливают неподвижные сердечники 2 и 3 с катушками. Между линейкой 1 и сердечниками имеется зазор  $\delta$ . При подаче переменного тока в катушки сердечников 2 и 3 в последних возникает магнитный поток, который замыкается через воздушный зазор между сердечниками и линейкой. От величины воздушного зазора зависят сила магнитного потока и индуктивное сопротивление катушки.

Если за исходное положение линейки принять такое положение, когда зазоры между линейкой и обоими сердечниками одинаковы, и включить катушки в мостовую схему, то индуктивные сопротивления обеих катушек будут одинаковы и ток в диагонали моста равен нулю. Во время перемещения рабочего узла станка с линейкой 1 вправо или влево от исходного положения зазор между линейкой и первым сердечником возрастает, а между линейкой и вторым сердечником уменьшается. При этом обнаружится разница в индуктивных сопротивлениях катушек, равновесие электрического моста нарушится и в его диагонали

возникнет разность потенциалов, т. е. появится ток. В случае перемещения рабочего узла станка с линейкой  $I$  из исходного положения величина тока возрастает до некоторой максимальной величины, далее, когда величина перемещения будет равной шагу  $T$  зубьев линейки  $I$ , ток снова уменьшается до нуля. Изменение тока в данном интервале перемещения узла станка с линейкой происходит синусоидально. При дальнейшем перемещении узла станка с линейкой  $I$  на длину, равную шагу  $T$ , снова произойдет синусоидальное изменение тока в диагонали электрического моста. Следовательно, импульс тока в диагонали мостовой схемы (рис. 1.19, а) соответствует перемещению рабочего узла с линейкой  $I$  на длину, равную шагу  $T$  зубьев линейки.

С целью повышения разрешающей способности индуктивного измерительного устройства в его конструкцию внесено изменение (рис. 1.19, б). Линейка  $II$  и сердечник  $I$  имеют на сопряженных поверхностях зубья треугольного профиля. Шаг зубьев линейки  $T_2 = 1,0$  мм и зубьев сердечника  $T_1 = 0,9$  мм.

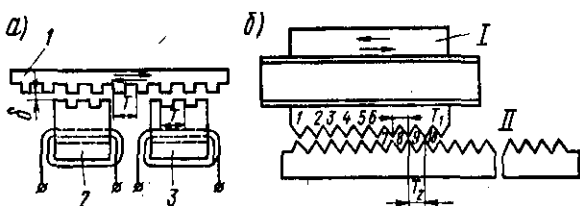


Рис. 1.19. Схемы индуктивных датчиков обратной связи

В исходном положении линейки  $II$  с вершиной ее зуба  $1$  совпадает вершина зуба  $1$  сердечника  $I$ , остальные вершины его зубьев смещены относительно вершин зубьев линейки; между сердечником и линейкой имеется воздушный зазор.

В случае перемещения рабочего узла станка с линейкой  $II$  относительное положение вершин зубьев линейки и сердечника меняется: воздушный зазор сначала увеличивается, а затем, достигнув максимального значения, уменьшается до нуля. Воздушный зазор будет равен нулю, когда вершина зуба  $2$  сердечника  $I$  совпадет с вершиной соответствующего зуба линейки. При этом линейка перемещается на  $0,1$  шага  $T_2$  между ее зубьями. Если линейка  $I$  будет продолжать перемещаться, то цикл повторяется. Разрешающая способность такого измерительного устройства повышается в 10 раз.

На рис. 1.20 показан индуктивный датчик с винтовым якорем  $I$ . Он имеет иную конструктивную схему по сравнению с индуктивными датчиками с зубчатой линейкой, но работает по такому же принципу, что и описанные датчики. Основное конструктивное отличие датчика в том, что якорем является винт, а не линейка с зубьями. Сердечник датчика представляет собой две взаимосвязанные гайки  $2$  и  $5$ . Якорь  $I$  установлен в полюсных сердечниках-гайках  $2$  и  $5$  свободно; между выступами резьбы якоря и выступами резьбы сердечников-гаек имеется радиальный зазор. Для получения дифференциальности сердеч-

ники-гайки смещены относительно резьбы винта на толщину витка резьбы.

Перемещение стола станка на величину шага резьбы приводит к такому же синусоидальному изменению тока в диагонали мостовой схемы, как и при использовании датчика с зубчатой линейкой. Дисбаланс мостовой схемы, в которую включен индуктивный датчик с катушками 3 и 4, устраняют поворотом винта 1. При этом зубчатый диск 6 поворачивается относительно выступов башмаков 7, закрепленных на станине станка. Зубчатый диск и башмаки служат для отсчета перемещений подвижного узла станка в долях шага резьбы якоря 1.

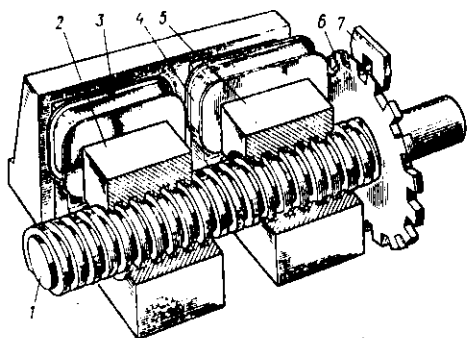


Рис. 1.20. Конструкция индуктивного датчика

Применение датчика с винтовым якорем позволяет отсчитывать перемещения узла станка в целых шагах или в долях одного шага. Одному полному обороту якоря соответствует перемещение узла станка на шаг резьбы.

В рассматриваемом датчике якорь 1 (винт) обычно присоединяют к неподвижной, а его сердечник, состоящий из гаек 2 и 5, — к подвижной части станка и якорь перемещается вместе с ней.

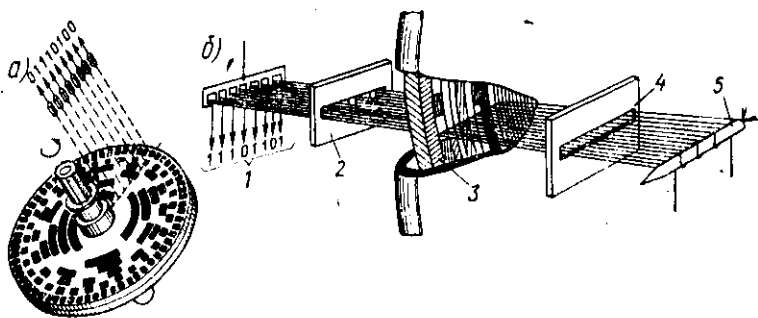


Рис. 1.21. Фотоэлектрический датчик с кодовым диском

На рис. 1.21 а, б показан фотоэлектрический дисковый датчик обратной связи. На ходовой винт станка устанавливают кодированный стеклянный диск. На торцевой поверхности диска нанесен ряд концентрических колец, каждое кольцо соответствует одному разряду кода «Грея» или двоичного числа: наружное — первому разряду, следующее — второму и т. д.

В каждом кольце диска имеются темные и светлые участки, чтобы при повороте диска на определенный угол кодовый рисунок соответствовал следующему двоичному числу.

На рис. 1.21, а отсчетная штриховая линия проходит через затемненные участки в первом, втором и четвертом кольцах, и через прозрачные участки — в остальных кольцах диска 3. Пусть затемненные участки диска соответствуют двоичному знаку 0, а прозрачные участки — 1, тогда данное положение кодированного диска соответствует двоичному числу 01110100.

При повороте диска на угол, соответствующий единице измерения, он займет положение, соответствующее двоичному числу 01110101. Следовательно, поворот диска на определенный угол будет соответствовать перемещению рабочего узла станка относительно его исходного положения, принимаемого за нулевое, на некоторую величину.

Пучок световых лучей от источника света 5 проходит через щель 4 и направляется на кодированный диск 3, закрепленный на ходовом винте. Пройдя диск 3, лучи направляются в раздельную оптическую систему 2 и попадают на фотоэлементы 1. Угол поворота диска характеризуется различным сочетанием импульсов в цепях всех фотоэлементов. В кодированных дисках диаметром 100 мм с 13 разрядами колец отсчета точность отсчета равна  $1/8192$  доли оборота диска.

### **§ 1.12. Счетчики импульсов в системе программного управления станками**

В системах программного управления станками подсчет и запоминание числа импульсов производится специальными счетными устройствами — счетчиками. Счетные устройства могут только суммировать или вычитать числа импульсов, а устройства реверсивные — складывать и вычитать импульсы.

По конструкции счетчики импульсов бывают электронные, электромагнитные, релейные. По системе счисления счетчики импульсов разделяются на двоичные и десятичные.

Наибольшее применение в СПУ получили двоичные и десятичные счетчики и их модификации.

На станках с программным управлением информация о фактическом перемещении исполнительного узла станка в виде электрических импульсов передается датчиком исполнения в сравнивающее устройство; одновременно в него поступают сигналы в виде электрических импульсов из дешифратора при считывании заданной программы с программноносителя. В случае счетно-импульсного ввода программы в считывающее устройство обычно сравнивающими устройствами являются реверсивные счетчики, суммирующие поступающие импульсы. Счетчик сравнивает импульсы по заданной программе с импульсами, поступающими от датчика обратной связи, и устанавливает величину ошибки выполнения заданной программы. Рядом с реверсивным счетчиком импульсов устанавливают специальный дешифратор, который преобразует разность сигналов (импульсов), фиксируемых счетчиком, в уровень выходного напряжения, пропорционального обнаруженной ошибке. Выходное напряжение, полученное в дешифраторе, служит для корректировки работы следящих приводов исполнительных узлов станка.

На рис. 1.22 изображена схема электронного двоичного суммирующего счетчика, состоящая из отдельных последовательно соединенных триггерных ячеек *I*, *II*, *III*. Триггер — это бесконтактное электронное реле, имеющее два устойчивых состояния. При поступлении каждого отдельного импульса триггер переключается из одного устойчивого положения в другое. Это позволяет применять триггеры в счетных схемах для счета и запоминания в двоичной системе числа импульсов. Каждая триггерная ячейка соответствует одному разряду двоичного числа (*I* — первому, *II* — второму, *III* — третьему). Одно устойчивое положение триггера соответствует нулю, другое — единице. Каждый триггер снабжен неоновой лампой *НЛ<sub>1</sub>*. При нахождении триггера в одном из двух устойчивых положений, например в состоянии нуль, лампа *Л<sub>1</sub>* будет открыта, а лампа *Л<sub>2</sub>* закрыта и неоновая лампа *НЛ<sub>1</sub>* потушена. Во втором устойчивом положении при нахождении триггера

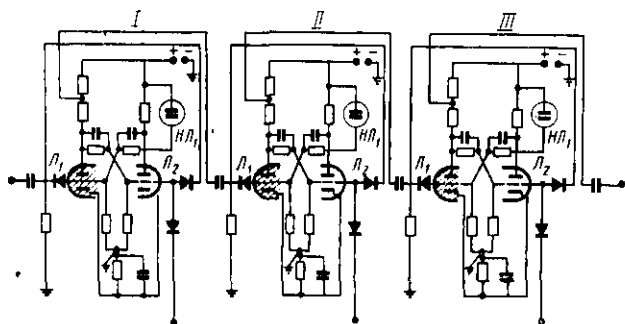


Рис. 1.22. Электронный двоичный суммирующий счетчик

в состоянии единица лампа *Л<sub>1</sub>* закрыта, а лампа *Л<sub>2</sub>* открыта и неоновая лампа *НЛ<sub>1</sub>* зажжется. Выход триггера берется с анода его первой лампы и присоединяется к сетке первой лампы последующего триггера.

При нулевом положении счетчика все левые лампы *Л<sub>1</sub>* открыты, а правые лампы *Л<sub>2</sub>* закрыты. Подача отрицательного импульса на вход системы вызывает переход триггера *I* из одного устойчивого положения в другое; из состояния нуль в состояние единица. При этом лампа *Л<sub>1</sub>* закрыта, а лампа *Л<sub>2</sub>* открыта. В этом положении счетчик зафиксирует цифру *1*. Во время перехода первой триггерной ячейки из нулевого в возбужденное состояние анодное напряжение лампы *Л<sub>1</sub>* повышается и на выходе появляется положительный импульс, который подается во вторую триггерную ячейку, но никакого влияния на нее не производит, так как вторая триггерная ячейка может сработать только при поступлении отрицательного импульса.

Подача второго отрицательного импульса на вход системы вызывает переход триггера *I* в исходное нулевое положение, при этом происходит резкое падение напряжения на аноде лампы *Л<sub>1</sub>*. В этот момент с анода лампы *Л<sub>1</sub>* в триггер *II* подается отрицательный импульс, который переводит его в возбужденное состояние: из состояния нуль в состояние единица. При этом неоновые лампы счетчика показывают двоичное

число 10, соответствующее десятичному 2. В случае подачи третьего импульса триггер *I* вновь переходит в возбужденное состояние, а триггер *II* не меняет своего положения, потому что с анода лампы  $L_1$  во вторую триггерную ячейку поступил положительный импульс. В этом положении триггера счетчик зафиксировал цифру 3. Четвертый импульс возвращает триггеры *I* и *II* в устойчивое положение и переводит триггер *III* в возбужденное состояние.

Следовательно, в счетчике фиксируются в двоичном коде импульсы, подаваемые на выход системы. Для сброса импульсов, зафиксированных счетчиком, и возвращения его в исходное состояние требуется подать на сетки всех, правых ламп  $L_2$  отрицательный импульс.

В схему счетчика включены неоновые лампы  $НЛ_1$ , которые фиксируют состояние триггерных ячеек. В нулевом положении счетчика, когда лампы  $L_1$  открыты, неоновые лампы  $НЛ_1$  не горят. Рассмотренная схема электронного счетчика дает возможность суммировать импульсы.

### § 1.13. Шаговые исполнительные двигатели и гидравлические усилители

**Шаговые исполнительные двигатели.** Шаговая система программного управления работает по разомкнутой схеме без обратной связи и обладает высокой точностью. Основным звеном шаговых систем программного управления является шаговое исполнительное устройство, т. е. шаговый двигатель. Шаговые исполнительные устройства служат для преобразования командного импульса в заданное программой линейное перемещение исполнительного узла станка на определенную величину. Поэтому число команд импульсов определяет длину пути перемещения рабочего узла станка, а их частота — его скорость.

В качестве шаговых исполнительных устройств могут применяться одно-, двух- и трехфазные шаговые двигатели, одно- и полуоборотные муфты и т. д. Шаговые исполнительные устройства имеют существенный недостаток — относительно невысокую частоту срабатывания.

На рис. 1.23 показан электрический шаговый двигатель конструкции ЭНИМСа с высокой частотой срабатывания. Электрический шаговый двигатель используют в системе программного управления фрезерного станка 6Н13 только для угловых шаговых перемещений крана золотника гидравлического усилителя крутящих моментов.

Шаговый электродвигатель (см. рис. 1.23) состоит из ротора 1 и статора 2. На внутренней поверхности статора смонтированы полюсы 3 прямоугольной формы. Полюсы 3 разделены на три равные секции 4, имеющие каждая индивидуальную обмотку с выводами 5, 6, 7. Каждую обмотку можно включить в электрическую цепь независимо от других обмоток. Статор имеет столько полюсов, сколько ротор. Полюсы ротора разделены на три секции *A*, *B*, *C*, но каждая секция смещена по окружности относительно смежной секции на  $1/3$  межполюсного расстояния. Следовательно, полюсы первой секции ротора 1 размеща-

ются точно против полюсов статора, полюсы второй секции ротора смещены относительно полюсов статора на  $1/3$ , полюсы третьей секции — на  $2/3$  межполюсного расстояния. При подводе к первой обмотке статора постоянного напряжения ротор 1 двигателя вращаться не будет, так как он установлен в положение минимального магнитного сопротивления относительно секции, получающей возбуждение. Если приложить к ротору какую-то силу, чтобы повернуть ротор на небольшой угол, а затем снять ее, то ротор под действием магнитных сил вернется в первоначальное положение.

При выключении обмотки первой секции статора и включении обмотки второй его секции ротор будет поворачиваться в направлении, соответствующем уменьшению магнитного сопротивления. Ротор поворачивается до тех пор, пока полюсы его второй секции точно совпадут с полюсами второй секции статора. В этом положении ротор остановится, так как магнитное сопротивление магнитопровода будет минимальным.

Таким образом, при последовательном переключении напряжения с первой обмотки на вторую, затем на третью и с третьей на первую обеспечивается поворот ротора при каждом переключении на величину шага, равную  $1/3$  межполюсного расстояния. Угол поворота шагового двигателя зависит от числа его полюсов и количества поданных командных импульсов. Шаговый двигатель обеспечивает точный угол поворота ротора при подведении к его обмотке постоянного напряжения. Последовательность подачи напряжения к разным секциям статора зависит от требуемого направления поворота ротора двигателя. Угловая скорость вращения ротора зависит от частоты командных импульсов, подаваемых в двигатель.

Шаговый двигатель может работать с частотой срабатывания до 80000 шагов в минуту. Шаговые перемещения двигателя через гидравлический усилитель крутящих моментов передаются на ходовой винт фрезерного станка. Управляется шаговый двигатель электронным устройством, работающим по принципу кольцевой схемы, которая обеспечивает быструю скорость переключения обмоток двигателя.

Гидравлический усилитель. Этот усилитель служит для увеличения крутящих моментов на выходе по сравнению с моментами на входе путем использования энергии масляного потока, поступающего в усилитель. Гидравлический усилитель представляет собой систему с обрат-

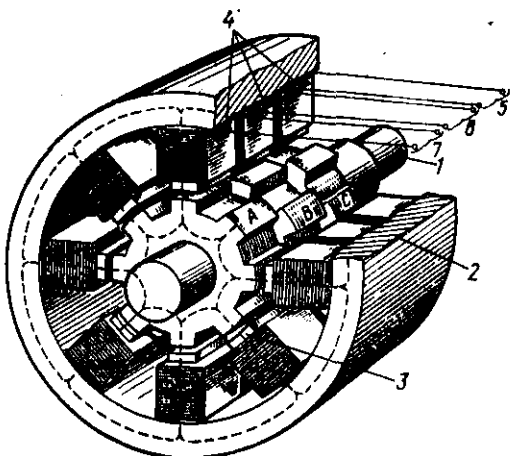


Рис. 1.23. Конструкция электрического шагового двигателя

ной связью, работающую при условии рассогласования в положениях ротора шагового двигателя и вала гидроусилителя.

Гидроусилитель состоит из двух основных узлов: гидродвигателя и управляющего золотника. В ЭНИМСе разработаны конструкции нескольких типов аксиально-поршневых гидродвигателей. Конструкция этих двигателей проста, надежна в работе и имеет высокий к. п. д. По виду конструкции аксиально-поршневые гидродвигатели бывают регулируемые и нерегулируемые.

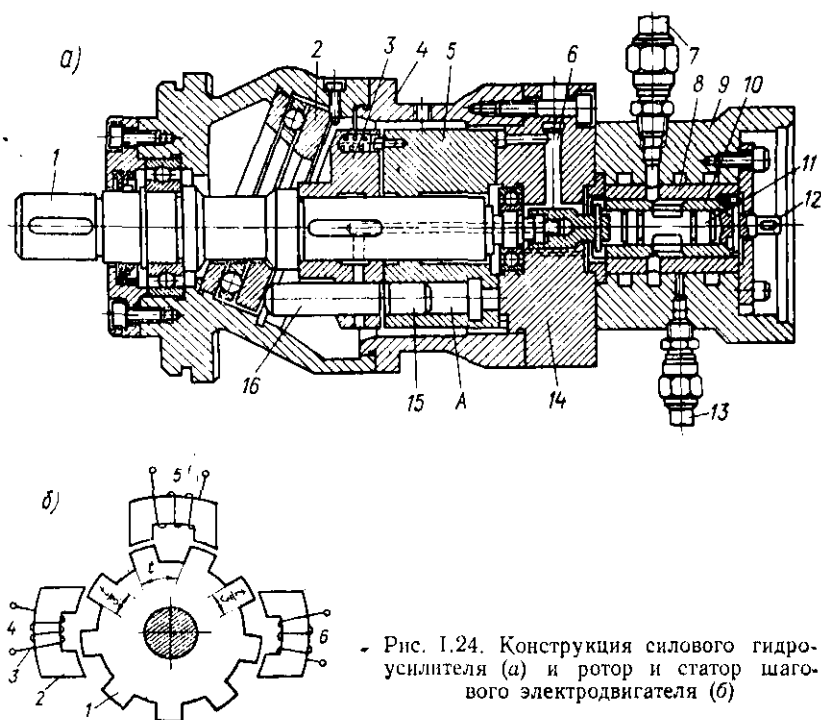


Рис. 1.24. Конструкция силового гидроусилителя (а) и ротор и статор шагового электродвигателя (б)

Рассмотрим работу гидроусилителя типа МГ18-14М конструкции ЭНИМСа, состоящего из шагового гидродвигателя 4 и сервозолотника 9 (рис. 1.24, а), и работу силового шагового гидродвигателя. От входного вала 12 задающий сигнал поступает на золотник 11. Выходной вал 1 двигателя связан с втулкой 10 и образует с ней систему обратной связи. Золотник 11, получив определенный сигнал, поворачивается на соответствующий угол. При этом обеспечивается поступление масла через штуцеры 7 и 13 и втулку 8 в полость А поршней 15. Поршни под давлением масла будут перемещаться влево и через толкатели 16 нажмут на кольцо подшипника 2. Возникающие при этом тангенциальные силы поворачивают барабан 3 с толкателями 16 вала 1 и ротора 5 на угол, равный углу поворота золотника 11. Барабан 3 установлен на валу 1 на шпонке, а ротор 5 сидит на нем свободно, поэтому поворот ротора производится барабаном через поводок. Толкатели 16 передают на



поршни и на ротор только осевые силы. Крутящий момент передается на вал 1 через толкатели 16, установленные в барабане 3. В данной конструкции двигателя ротор самоустанавливается и на его торцовую опорную поверхность не оказывают влияния ни радиальные, ни тангенциальные силы. Отверстие 6 в крышке 14 служит для подачи масла. Многие детали двигателя смазываются маслом, имеющимся в корпусе двигателя, путем его распыления во время работы двигателя.

Ротор 1 и статор шагового двигателя (рис. 1.24, б) состоят из трех секций 4, 5, 6 с одинаковым количеством зубцов. На зубцы статора через один установлены катушки, состоящие из полюсных наконечников 2 с обмотками 3 и питаемые постоянным током от электронного коммутирующего устройства в определенной последовательности, зависящей от расположения контактных щеток по окружности коммутатора.

При вращении диска коммутатора происходит замыкание цепи на щетке и снимается электрический потенциал с сетки тиратрона, включая анодную цепь. Горевший до этого тиратрон запирается через конденсатор. Во время последовательного снятия возбуждения с одной катушки статора и включения другой ротор поворачивается на  $1/3$  шага  $t$  между зубьями. Следовательно, при 36 зубцах ротор имеет 108 устойчивых положений. Двигатели могут работать длительное время только при использовании чистого масла.

#### § 1.14. Разработка программ для обработки деталей на станках с программным управлением

При разработке программы работы станка необходимо знать данные по механической обработке детали на данном станке.

Для получения размеров и формы детали, указанных в чертеже, в процессе обработки ее на станке требуется переместить соответствующие узлы станка с обрабатываемой деталью или режущим инструментом.

В зависимости от формы обрабатываемой детали, например поверхности  $ABCD$ , образованной прямыми линиями (рис. 1.25, а), или прямой  $AC$  и простой кривой  $AB$  (рис. 1.25, б), сложной пространственной кривой (рис. 1.25, в), требуется переместить исполнительные узлы станка по двум или трем взаимно перпендикулярным направлениям. Перемещение рабочих узлов по заданным направлениям можно рассматривать как перемещение по координатным осям. Например, на вертикально-фрезерном станке с цифровым программным управлением перемещение стола станка в продольном направлении происходит по оси  $x$ , в поперечном — по оси  $y$  и в вертикальном — по оси  $z$ . Начало

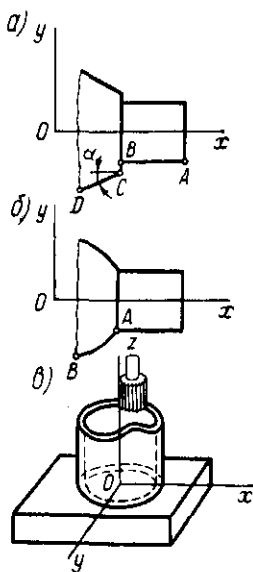


Рис. 1.25. Перемещение исполнительных органов станка в зависимости от формы поверхностей обрабатываемой детали

координат выбирают в определенной точке в зависимости от типа станка.

На чертеже детали точность обработанных поверхностей зависит от размеров с допусками, проставленными между определенными поверхностями или точками. Для возможности обработки деталей на станке с программным управлением технолог должен произвести технологическую подготовку чертежа детали таким образом, чтобы можно было разработать программу обработки детали на станке, записанную на перфокарте, магнитной ленте и т. д.

Технологическая подготовка чертежа детали для разработки программы состоит в следующем: очертание обработанных поверхностей детали и их размеры с допусками описывают с помощью методов аналитической геометрии, на профиле обработанной поверхности детали проставляют ряд опорных точек и дают значения координат для этих точек относительно произвольно выбранного на чертеже начала координат. В итоге получают информацию для работы станка, которая состоит из букв и цифр, причем буквы следует заменить цифрами, так как цифры легко фиксируются на программоносителе.

### § 1.15. Обработка ступенчатых валов на многорезцовом станке с программным управлением

Рассмотрим обработку ступенчатого валика с размерами  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  и  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$ , указанными в чертеже, на токарном многорезцовом станке (рис. 1.26). При разработке операции технолог должен решить вопрос, будут ли шейки валика обработаны за один или за два прохода.

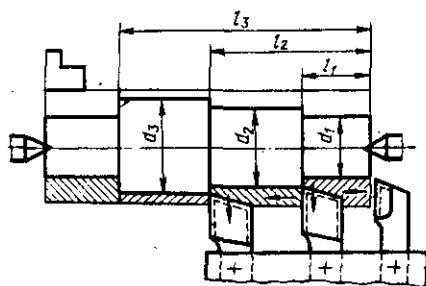


Рис. 1.26. Схема поперечных и продольных перемещений переднего суппорта с резцами при обтачивании шеек ступенчатого вала за один проход на токарном многорезцовом станке

При обработке ступенчатого вала за один проход каждый резец будет обтачивать одну шейку вала. Затем технолог должен произвести технологическую подготовку чертежа, чтобы на этой основе можно было составить программу работы станка.

При обработке ступенчатого валика за один проход программой должно быть предусмотрено перемещение суппорта с резцами в поперечном и продольном направлениях, а также быстрый подвод и быстрый отвод суппорта с резцами. Перемещение суппорта с резцами в попереч-

ном и продольном направлениях при обработке детали задается соответствующими опорными точками. *Опорными точками* называют точки пересечения прямолинейных отрезков, образующих конфигурацию детали. Координаты опорных точек определяют начало и конец каждого линейного размера на шейках вала. Следовательно, координаты опорных точек определяют положение вершины каждого резца относительно

соответствующей поверхности детали в начале и в конце обработки данной шейки вала, т. е. необходимое перемещение суппорта с резцами.

Криволинейный участок  $AB$  (см. рис. 1.25, б) обрабатывают при одновременном перемещении суппорта с резцом в продольном и поперечном направлениях, т. е. осуществляется два движения рабочего органа станка — суппорта с резцом по осям  $x$  и  $y$ , в этом случае скорость перемещения суппорта будет зависеть от формы и размеров криволинейного участка обрабатываемой детали.

### § 1.16. Запись программы при обработке криволинейных поверхностей деталей на фрезерном станке

При обработке криволинейного профиля детали на фрезерном станке с программным управлением опорные точки намечают на траектории движения центра фрезы, которая будет являться эквидистантой заданного профиля, расположенной от обработанной поверхности на расстоянии, равном радиусу фрезы.

Траекторию перемещения центра фрезы можно определить графическим или расчетным путем. Графический способ применяют при обработке криволинейного профиля детали с небольшой точностью. Расчетный способ позволяет определять траекторию перемещения центра фрезы и координаты ее опорных точек с большей точностью, но он очень трудоемок, так как требует большой затраты времени для подсчета координатных точек эквидистанты.

Для упрощения расчетов после вычерчивания траектории перемещения центра фрезы, которая является эквидистантой обрабатываемого профиля, разбивают профиль на ряд участков, при этом криволинейную траекторию перемещения центра фрезы заменяют аппроксимированной ломаной линией, проходящей через опорные точки 1, 2, 3, 4, 5, 6 (рис. 1.27). В пределах каждого из отрезков ломаной линии траектории перемещение центра фрезы происходит по прямой линии путем совмещения двух подач  $\Delta x$  и  $\Delta y$  по осям  $x$  и  $y$ . Опорные точки на траектории движения центра фрезы задаются в декартовых или полярных координатах. При замене аппроксимированной криволинейной траектории центра фрезы ломаной линией (см. рис. 1.25) допускается ошибка, равная максимальному отклонению принятого приближенного профиля от заданного и называемая *ошибкой аппроксимации*. Величина ошибки аппроксимации должна составлять лишь часть общей допустимой ошибки обработки криволинейного профиля детали на фрезерном станке. Допуск на погрешность аппроксимации, называемый *математическим допуском*, составляет 15—25% от допуска на неточность обработки данного профиля детали.

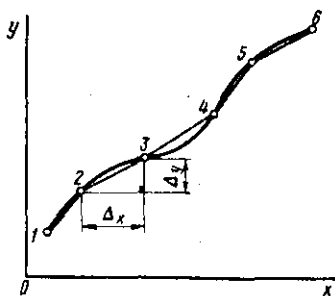


Рис. 1.27. Аппроксимация криволинейной траектории центра фрезы ломаной линией, проходящей через опорные точки 1, 2, 3, 4, ...

После аппроксимации общие точки нового профиля и заданного называют *опорными точками*.

Разработка программы работы фрезерного станка при фрезеровании сложного профиля детали (рис. 1.28) заключается в составлении программы движения узлов станка в соответствии с размерами и формой обрабатываемой криволинейной поверхности детали, размерами режущего инструмента и принятыми режимами резания. При этом требуется дать координаты опорных точек траектории относительного движения центра фрезы и обрабатываемой детали, а также определить параметры кривых, соединяющих эти точки.

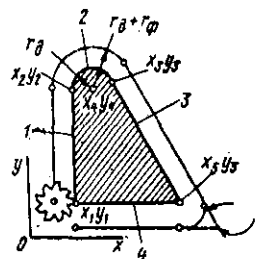


Рис. 1.28. Координаты опорных точек траектории относительного перемещения режущего инструмента и обрабатываемой детали

Затем обрабатывают фасонный профиль 2 до точки с координатами  $x_3, y_3$ ; фасонный профиль детали имеет радиус  $r_d$  с координатами центра радиуса  $x_4, y_4$ . Далее фреза обрабатывает прямолинейный участок 3 до точки с координатами  $x_6, y_6$ , прямолинейный участок 4 и приходит в начальную точку с координатами  $x_1, y_1$ .

После определения опорных точек на детали находят таким же способом опорные точки для траектории движения центра фрезы, которая должна являться эквидистантой к обрабатываемому профилю детали, находящемуся на расстоянии радиуса фрезы  $r_f$ . Если между опорными точками располагаются сложные кривые, то должны быть даны уравнения этих кривых.

По данным табл. 1.1 определяют величины перемещений соответствующих рабочих органов станка и записывают их по соответствующему коду с учетом принятой системы счисления. Затем кодируют разработанную программу работы станка путем пробивки на перфоленте отверстий перфоратором. На перфоленте фиксируют координаты опорных точек и соответствующие размеры или уравнения соединяющих их линий; по этим данным определяют координаты всех промежуточных точек обрабатываемого профиля детали.

Таблица 1.1

Программа  
траектории движения фрезы

Диаметр фрезы  $d$  \_\_\_\_\_

Подача  $s$  \_\_\_\_\_

Начальные координаты  $x_1, y_1$  \_\_\_\_\_

| Характер участка контура детали | Координаты опорных точек контура | Координаты полюсов кривых контура |
|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Прямая                          | $x_2, y_2$                       | —                                 |
| Окружность                      | $x_3, y_3$                       | $x_4, y_4$                        |
| Прямая                          | $x_5, y_5$                       | —                                 |
| Прямая                          | $x_1, y_1$                       | —                                 |

Перфоленту с кодированной программой запускают в вычислительную машину, которая, считывая программу, перерабатывает ее в электрические импульсы, фиксируемые в магнитном запоминающем устройстве.

Во время разработки программы для станков с контурными системами программного управления необходимо выполнить большой объем вычислительных работ, к уменьшению которого следует стремиться. Например, можно пойти на увеличение расстояния между опорными точками по сравнению с минимально допустимым. При увеличении расстояния между опорными точками обрабатываемого профиля детали значительно снижается точность полученного профиля детали, следовательно, этот способ применим при обработке неточных профилей и непригоден для точных профилей.

Для уменьшения объема расчетной работы можно проставлять на профиле обрабатываемой поверхности не все опорные точки, а только часть их. В этом случае значения координат промежуточных между ними опорных точек устанавливают методом интерполяции с помощью счетно-решающего устройства или при составлении программы, или в процессе управления работой узлов станка. Этот метод дает большой эффект, так как значительно снижает время на подготовку программы.

В системе управления «Авро» расстояние между промежуточными опорными точками зависит от кривизны данного отрезка профиля. Например, для криволинейных профилей с радиусом больше 100 мм промежуточные опорные точки находятся на расстоянии 1 мм одна от другой, а для криволинейных профилей с небольшим радиусом — 0,13 мм. Для сокращения времени при разработке программы для станков с контурными системами программного управления целесообразно при определении значений координат опорных точек применять интерполяционные счетно-решающие устройства. С помощью этих устройств на чертеже детали можно проставлять и определять положение меньшего числа опорных точек, находя при этом координаты промежуточных опорных точек путем интерполяции. Наибольший эффект сокращения времени при разработке программы для станков с контурными системами программного управления получается в случае автоматизации программирования с применением электронных вычислительных машин.

Во время ввода в электронно-вычислительную машину программы с необходимыми исходными данными можно составить программу обработки, записанную на ленте, для любого профиля детали. К исходным данным относится требуемое число координат для определенной кривой и т. д.

При разработке программы обработки детали на электронно-вычислительной машине определяют координаты для составления уравнений отдельных участков данной кривой, а затем — координаты опорных точек.

Электронно-вычислительная машина определяет траекторию перемещения центра фрезы и выдает перфорированную ленту с записанной на ней программой по принятому коду. При кодировании информации для записи программ на перфолентах в системах с цифровым програм-

мым управлением применяют цифровой код или код, состоящий из цифр и символов. В настоящее время в различных системах программного управления применяют различные коды.

Запись программы на перфоленте состоит в перфорации ленты соответствующим кодом для выполнения заданных команд в определенной последовательности. Каждая команда должна быть кодирована одной цифрой, буквой или символом, состоящим из нескольких цифр, или букв.

В настоящее время на заводах имеется значительное число различных систем числового программного управления станками, причем в каждой системе применяют соответствующий код для записи программы на перфоленту. Поэтому для станков с различными системами числового программного управления необходима отдельная перфорированная лента с записью программы обработки профиля детали. Она может быть применена только на станке, имеющем заданную систему программного управления. Следовательно, разнообразие кодов записи программы на перфоленту значительно усложняет процесс программирования. Для сокращения времени на программирование необходима унификация кодов записи программы на перфоленте.

Контроль работы по программированию производится путем проверки правильности координат опорных точек и разработки технологической карты обработки детали, а также проверки правильности записи на перфорированной и магнитной ленте.

### **§ 1.17. Фазовая система программного управления станками**

Станки с фазовой системой программного управления получили широкое применение в промышленности. Схема управления станками с фазовой системой является весьма простой и надежной по сравнению с другими системами контурного программного управления, что облегчает эксплуатацию таких станков.

В фазовой системе СПУ значительное применение получили нормализованные устройства: фазовращатели, усилители, фазовые дискриминаторы, которые надежно работают и недорого стоят.

В фазо-импульсных системах управляющий сигнал записывается на магнитную ленту. Сигналы управления в этих системах представляют собой последовательности импульсов, фаза которых относительно опорных импульсов пропорциональна задаваемому перемещению. Использование импульсной модуляции позволяет уменьшить несущую частоту и повысить плотность записи сигналов на магнитную ленту. Магнитная лента с фазо-импульсной модуляцией имеет большую пропускную способность и позволяет работать с небольшой скоростью магнитной ленты — 50 мм/сек.

Следящий фазовый привод, работающий от сигналов с магнитной ленты, имеет все качества следящих приводов и обладает независимостью скорости слежения от приемистости (возможности набирать скорость).

Фазовую систему можно использовать при записи программы на магнитную ленту по первой обработанной детали. При этом на станке

должно быть копирующее устройство и соответствующие переключатели в схеме управления.

Фазовую СПУ применяют на крупногабаритных станках с большим временем обработки детали, шаговую СПУ — на станках средних габаритов и с небольшим временем обработки (30—35 мин).

Наряду с указанными достоинствами фазовая система имеет недостатки. Например, недостатком многорожечной записи на магнитную ленту и воспроизведения сигналов с фазо-импульсной модуляцией являются флюктуации фазы воспроизводимых сигналов, связанные с неточностью и неравномерностью протягивания магнитной ленты, ее перекосов в направляющих лентопротяжного устройства. Для уменьшения флюктуации фазы применяется увеличение расстояния между импульсами, записанными на магнитной ленте, что можно получить путем уменьшения несущей частоты или увеличения скорости протягивания магнитной ленты. Более совершенной системой является контурная фазо-импульсная СПУ с независимым высокочастотным питанием датчика обратной связи, обеспечивающая одновременное управление перемещениями рабочих узлов станка по трем независимым координатным осям по программе, записанной на магнитной ленте.

Фазовыми системами программного управления являются такие СПУ, у которых обработка управляющих сигналов в виде фазомодулированных синусоидальных колебаний, записанных на магнитную ленту, производится следующими приводами фазового типа.

Рассмотрим блок-схему фазовой системы управления одной координатой (рис. 1.29). В схему включен  $n$ -фазовый генератор, одна фаза которого питает датчик обратной связи (ДОС). Выходы многофазного генератора 7 через коммутатор 3 подключаются к одному из входов линейного дискриминатора 4. Коммутатор 3 управляется импульсами опорного 1 и рабочего 2 каналов магнитной ленты 8.

Каждый период записываемого на ленте сигнала состоит из равноотстоящих друг от друга во времени импульсов. Импульс, соответствующий началу периода, является маркерным. На второй вход дискриминатора 4 подается выходной сигнал от датчика обратной связи 6. С дискриминатора 4 сигнал рассогласования поступает на вход привода 5, который поворачивает фазу сигнала датчика и сводит рассогласование к нулю.

Блок-схема работает так. В начальный момент с помощью схемы сброса на выходе коммутатора 3 устанавливается фаза высокочастотного сигнала, зависящая от номера той части периода опорного сигнала с ленты, в момент действия которого поступает маркерный импульс рабочего канала. При поступлении каждого последующего опорного импульса фаза высокочастотного сигнала на выходе коммутатора увеличивается на  $1/n$  периода, а при поступлении

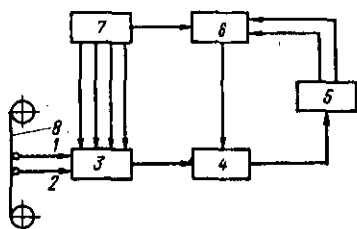


Рис. 1.29. Блок-схема фазовой системы управления одной координатой

каждого импульса рабочего канала фаза на такую же величину уменьшается.

Рассмотренный способ управления применяется в схеме, изображенной на рис. 1.30. На схеме в качестве многофазного опорного генератора используется кольцевой делитель на четыре, на вход которого поступают импульсы от задающего генератора 11. Частота задающего генератора в четыре раза выше рабочей частоты системы, поэтому с каждой ячейки делителя снимаются импульсы рабочей частоты, смещенные относительно друг друга на  $1/4$  периода.

Импульсы четырех фаз используются для работы схемы сброса коммутатора 3.

Один из выходов опорного делителя 9 формирует синусоидальное напряжение, используемое для питания датчика 7 обратной связи. Сформированный из выходного сигнала датчика 7 импульс подается на один из входов дискриминатора 4, в качестве которого применяется симметричный триггер. Выходной сигнал дискриминатора 4 подается на привод 6, перемещающий исполнительный орган системы и связанную с ним подвижную часть датчика обратной связи.

Коммутатором фазы является реверсивный счетчик, на положительный вход которого поступают импульсы задающего генератора и импульсы с опорного канала ленты, а на отрицательный вход — импульсы рабочего канала.

Если импульсы с ленты в реверсивный счетчик не поступают, то поступающие с выхода реверсивного делителя импульсы имеют частоту, равную рабочей частоте системы, и фазу, сдвинутую относительно опорной на постоянную величину, определяемую исходным состоянием обоих делителей. При поступлении каждого импульса с опорной дорожки магнитной ленты реверсивный делитель заполняется раньше на период следования выходных импульсов высокой частоты или на  $1/4$  периода рабочей частоты, т. е. фаза его выходных импульсов увеличивается на  $1/4$  периода. С приходом каждого импульса с рабочего канала ленты из делителя вычитается один импульс, поэтому он заполняется позже и фаза его выходных импульсов уменьшается на  $1/4$  периода. Следовательно, реверсивный делитель выполняет функции коммутатора. Для установки начального сдвига фазы выходных импульсов коммутатора относительно опорных, а также для восстановления нормального состояния после сбоя применяется специальная схема сброса 10. В процессе работы системы фаза коммутатора определяется смещением во времени маркерных импульсов опорного 1 и рабочего 2 каналов. Схема сброса один раз за период низкочастотных импульсов устанавливает коммутатор в требуемое состояние, определяет, в какую четверть периода сигнала опорного канала приходит маркерный импульс рабочего канала и формирует импульс сброса

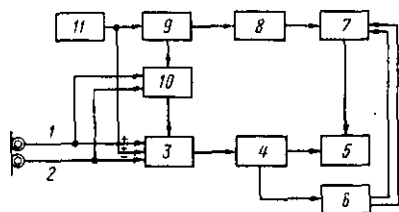


Рис. 1.30. Схема фазовой системы программного управления вертикально-фрезерным станком 6Н13ПУ1



в момент времени, совпадающий с той фазой опорного делителя, которая необходима для установки коммутатора в требуемое положение.

На двух дорожках магнитной ленты записаны синусоидальные сигналы, рабочий и опорный.

В данной системе (см. рис. 1.30) используются линейные фазовые датчики обратной связи, которые питаются от отдельного генератора высокой частоты. На рисунке: 5 — формирователь импульса, 8 — формирователь синусоиды.

Описанная фазо-импульсная система программного управления применяется на вертикально-фрезерном станке 6Н13ПУ1. Исполнительные следящие системы этого станка выполнены на электродвигателях постоянного тока с электромагнитными усилителями. Сигнал рассогласования следящей системы, пропорциональный разности фаз управляющего сигнала и сигнала датчика обратной связи, выделяется на дискриминаторе 4. В качестве дискриминатора в данной системе используют триггер, что обеспечивает высокую линейность и крутизну и расширяет рабочую зону дискриминатора ( $\pm 170^\circ$ ).

Измерительные элементы фазовых следящих приводов, в качестве которых применяют вращающиеся трансформаторы, сельсины, линейно-фазовые датчики при управлении рабочими органами станков, связаны с управляемыми узлами так, чтобы одному обороту фазы, т. е. углу  $\alpha = 360^\circ$ , соответствовало линейное перемещение, равное  $L$  и являющееся ценой оборота фазы,  $L = 1 \div 3$  мм.

Основные погрешности системы программного управления проявляются в виде ухудшения качества поверхности обрабатываемой детали. Накопленные погрешности измерительных элементов датчиков обратной связи или накопленные погрешности кинематических узлов, не охваченных обратной связью, влияют на размеры поверхностей обрабатываемых деталей. Все погрешности, за исключением накопленных, быстро можно снизить до заданных величин путем уменьшения  $L$ , но для применяемого привода это приводит к уменьшению предельной скорости слежения.

В импульсных СПУ начальное положение управляемого рабочего узла необходимо устанавливать с погрешностью, не превышающей цену импульса, установка производится рабочим вручную по индикатору.

Основным преимуществом фазовой СПУ является большая надежность передачи информации с помощью магнитной ленты.

Сбой в работе фазовой СПУ бывает только при «опрокидывании привода», когда случайная ошибка ленты превысит разность между установленной ошибкой привода и допустимой, но это случается очень редко.

В настоящее время имеются фазовые СПУ, в которых применяется магнитная лента с небольшой погрешностью. Уменьшение погрешности магнитной ленты достигается путем применения вспомогательного генератора, опорного сигнала, коммутируемого сигнала с ленты, однако эти системы являются сложными.

Следовательно, фазовые СПУ с магнитной лентой, в том числе фазо-импульсные, являются весьма прогрессивными системами, использующими интерполятор, отделенный от станка.

## **§ 1.18. Агрегатная система программного управления (АСПУ)**

В настоящее время в СССР и зарубежных странах усиленно работают над созданием новых агрегатированных и унифицированных систем программного управления станками, позволяющих компоновать системы программного управления из нормализованных узлов и унифицировать их основные параметры (ввод информации, систему кодирования, способы выдачи информации).

В ЭНИМСе разрабатывается АСПУ, которая будет применяться для программной автоматизации станков различных типов: сверлильных, расточных, фрезерных, токарных, высокоавтоматизированных типа обрабатывающих центров.

Система строится на основе применения нормализованных и унифицированных узлов: ввода интерполяции, позиционирования, накопительной путевой информации, индексации положения. Различной компоновкой перечисленных узлов можно будет изготовить ряд типовых систем числового программного управления станками:

тип И — устройства цифровой индексации для включения в систему программного управления или для использования в качестве измерительных устройств в станках;

тип П — позиционные системы абсолютные и с датчиками приращений для позиционного прямоугольного фрезерования;

тип Н — непрерывные системы приращений, позволяющие производить сложное контурное и объемное формообразование;

тип У — универсальные непрерывные абсолютные, позволяющие производить сложное контурное формообразование, задавать программу как в абсолютных координатах, так и в приращениях.

## **§ 1.19. Токарный гидрокопировальный полуавтомат с программным управлением модели 1712ПА1**

Токарный гидрокопировальный полуавтомат с программным управлением модели 1712ПА1 применяется для обработки цилиндрических шеек и фасонных поверхностей ступенчатых валов. Черновая обработка шеек ступенчатых валов производится по заданной программе.

Чистовой проход обработки фасонного профиля детали производится копировальным суппортом, шуп которого скользит по шаблону, соответствующему профилю обрабатываемой детали. Детали обрабатывают жестким твердосплавным резцом, установленным в гидрокопировальном суппорте. Протачивают канавки и подрезают торцы на детали резцами, установленными на нижнем подрезном суппорте. В СПУ токарного полуавтомата величины перемещений верхнего продольного суппорта с резцом в продольном и поперечном направлениях отсчитывают контактные датчики. Контактный датчик, фиксирующий величину продольного перемещения суппорта с резцом, связан с продольной кареткой суппорта и отсчитывает единицы, десятки и сотни миллиметров. Контактный датчик, контролирующий величину поперечного суппорта, связан с упором шупа и отсчитывает десятые доли, единицы и десятки миллиметров.

В случае достижения гидрокопировальным суппортом с резцом заданного положения датчики подают соответствующий сигнал, при этом срабатывает электрическая схема совпадения, которая подает команду на остановку суппорта до ввода нового заданного размера по длине или диаметру и дальнейшее перемещение суппорта с резцом.

Автоматическая обработка деталей на токарном гидрокопировальном станке по заданной программе обеспечивается соответствующей установкой переключателей на пульте управления в соответствии с размерами, формой и чистотой обработки, указанной в чертеже обрабатываемой детали.

Время, необходимое для набора очередной программы на пульте управления, составляет 1—2 мин. При обработке деталей на гидрокопировальном станке с программным управлением можно получить точность размеров по диаметру  $\pm 0,05$  и по длине  $\pm 0,2$  мм.

Детали, имеющие фасонные поверхности, обрабатывают копировальным суппортом с резцом по копиру с помощью двухкоординатной гидравлической следящей системы, которая обеспечивает постоянную результирующую подачу по обрабатываемому профилю независимо от угла его наклона.

Токарный гидрокопировальный полуавтомат может работать по одному из основных режимов работы: полуавтоматическому и наладочному. При обработке детали на полуавтоматическом режиме продольный и поперечный суппорты могут работать одновременно или последовательно один за другим.

Можно обрабатывать деталь только одним верхним копировальным суппортом. Копировальный суппорт работает с любой подачей, не зависящей от числа оборотов шпинделя. При продольном перемещении копировального суппорта его подача на отдельных участках обрабатываемой детали с помощью кулачков может меняться несколько раз. Во время прохода копировального суппорта над необрабатываемым участком поверхности детали с помощью кулачков ему можно сообщить ускоренную подачу.

Поперечным и продольным перемещениями копировального суппорта управляет гидравлическая панель. Перед обработкой детали копировальному суппорту с резцом сообщают быстрые продольное и поперечное перемещения к детали, далее резец обрабатывает шейки вала, перемещаясь с заданной подачей. После обработки суппорт с резцом быстро отводится от детали в поперечном, а затем в продольном направлении (к задней бабке).

Электрическая схема программного управления станком позволяет работать по автоматическому или наладочному циклу. В автоматическом цикле станок работает по заданной программе, настраивают станок на соответствующую программу переключателями.

В наладочном цикле требуемые перемещения рабочих узлов станка и управление двигателями производятся пакетными переключателями и кнопками.

Соответствующий цикл работы станка устанавливают поворотом ручки тумблера *Наладка АН* в требуемое положение на панели пульта (рис. 1.31). Управляют станком в автоматическом и наладочном цик-

лах от двух пультов: один (см. рис. I.31) служит для установки цикла работы станка, размеров обработки детали, величин подач и управления станком в наладке, второй (оперативный) (рис. I.32) для управления станком при работе в автоматическом цикле.

На оперативном пульте управления имеются десятипозиционные (декадные) переключатели, с помощью которых можно устанавливать диаметральные и линейные размеры обработки. Размеры задаются

в десятичной системе тремя разрядами: для длин — сотни, десятки и единицы миллиметров, для диаметров — десятки, единицы и десятые доли миллиметра.

Наибольшее число ступеней обрабатываемых поверхностей детали, для которых можно задать размеры, равно девяти ( $1 \div IX$ ).

Диаметральные размеры устанавливают девятью рукоятками на каждом ряду по вертикали от ПД-1 до ПД-9, от 1П-1 до 1П-9 и т. д. (см. рис. I.32), линейные размеры обрабатываемых участков детали — рукоятками от 4П-1 до 4П-9, от 6П-1 до 6П-9. Например, для получения диаметрального размера на ступени I программирования обработки детали поворачивают рукоятки ПД-1, 1П-1, расположенные на

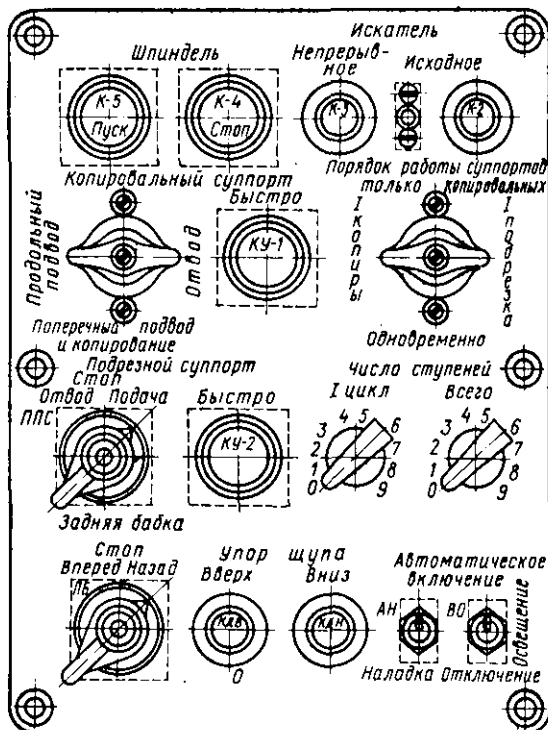


Рис. I.31. Панель пульта управления токарно-копировального полуавтомата мод. 1722П

пульте управления (см. рис. I.32), по горизонтали на соответствующее заданному размеру число (от 0 до 9) сотен, десятков, единиц и десятых долей миллиметра; по диаметру — соответственно рукоятки ПД-1, 1П-1, 2П-1, 3П-1. Для получения линейного, например, размера на ступени I программирования обработки детали поворачивают рукоятки 4П-1, 5П-1, 6П-1, расположенные на пульте управления (см. рис. I.32), по горизонтали на соответствующее заданному размеру число сотен, десятков, единиц миллиметра. Требуемые величины подач устанавливают с помощью рукояток ПП-1 ÷ ПП-9 на оперативном пульте, который используют для управления станком в автоматическом цикле.

Копировальный суппорт с резцом можно переместить в исходное положение к задней бабке после обработки любой шейки ступенчатого вала с помощью тумблера этой шейки. Следовательно, перед обработкой детали суппорт с резцом находится у задней бабки, т. е. в верхнем правом положении.

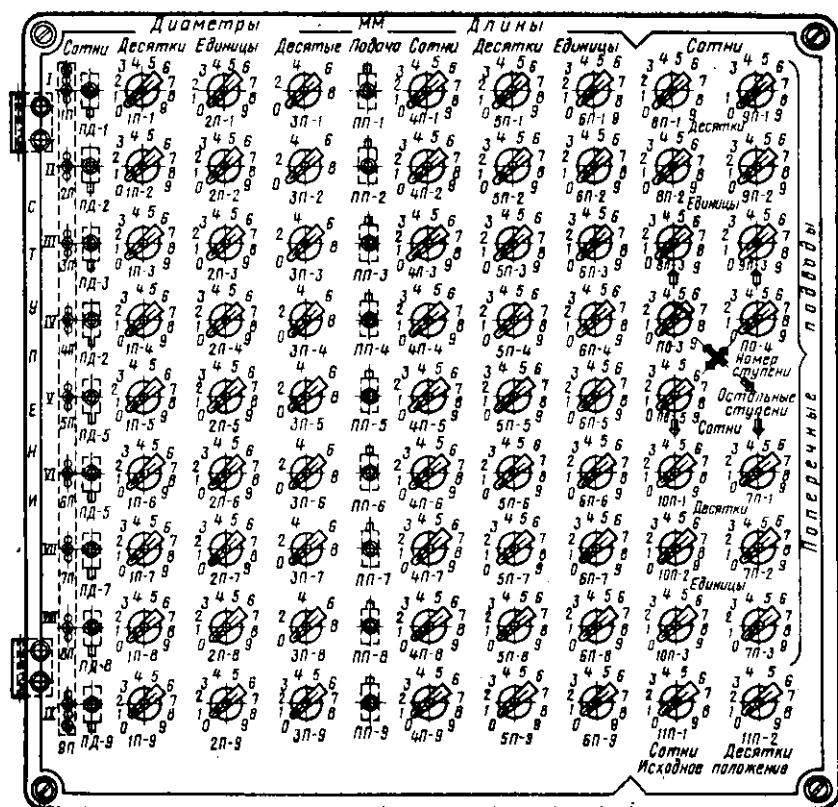


Рис. 1.32. Пульт задания размеров обрабатываемых деталей токарно-копировального полуавтомата мод. 1722П

Суппорт с резцом работает по следующей схеме (рис. 1.33). Нажатием кнопки включают в работу двигатель *Д*, который через червячную и винтовую пару перемещает упор-копир *Б* вниз, пока последний не придет в положение, соответствующее диаметральному размеру первой шейки обрабатываемого ступенчатого вала. Это положение упора будет зафиксировано сигналом датчика *ДИ1*, и упор не будет перемещаться. При этом суппорт с резцом с помощью щупа и системы слежения установятся в положение, соответствующее диаметральному размеру первой шейки ступенчатого вала. Затем включается привод продольного перемещения суппорта от гидроцилиндра.

Суппорт с резцом, обтачивая первую шейку вала, перемещается с заданной продольной подачей на длину этой шейки. Конечное положение резца зафиксировано переключателями на пульте размеров для первого продольного прохода и оно контролируется датчиком исполнения ДИ2. Затем суппорт с резцом автоматически отводится от детали.

Для обтачивания второй шейки ступенчатого вала шаговый искатель в системе управления переходит на один шаг и включает в работу второй ряд десятипозиционных переключателей, расположенных на пульте управления, а первый ряд переключателей отключается.

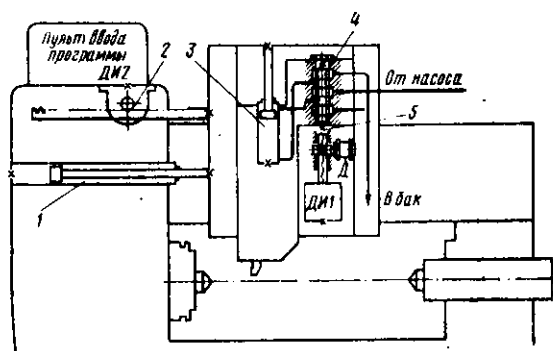


Рис. 1.33. Схема управления суппортом станка мод. 1712П:

1 — гидроцилиндр для продольного перемещения суппорта с резцом; 2 — реечная передача; 3 — гидроцилиндр для поперечного перемещения суппорта с резцом; 4 — следящий золотник; 5 — упор-копир

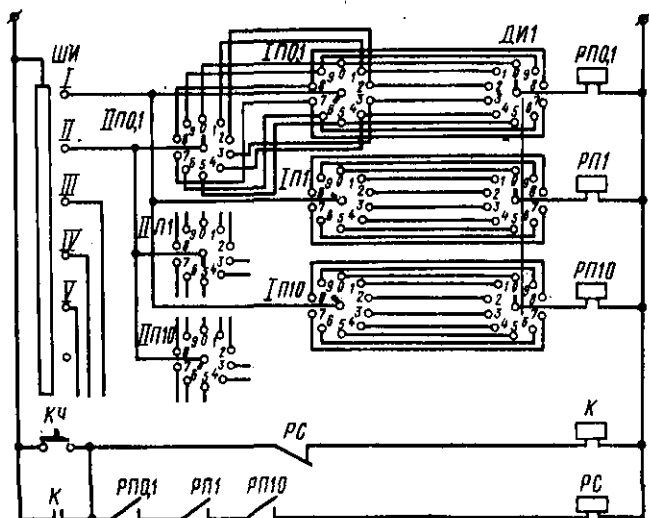
Следовательно, программа обработки второй шейки ступенчатого вала устанавливается десятипозиционными переключателями второго ряда. Суппорт с резцом, переместившись, займет положение, соответствующее диаметральному размеру второй шейки вала, и обточит эту шейку, продвигаясь с рабочей подачей на заданную длину. На станке можно обрабатывать пятиступенчатые валики с различной длиной шеек.

Копировальный суппорт с резцом имеет следующие циклы работы: быстрый продольный подвод, ускоренный поперечный подвод, копирная обточка с заданной рабочей подачей и быстрый отвод в поперечном и продольном положениях.

Управление процессом копирования и дистанционным перемещением суппорта с резцом производится гидравлической панелью, которая работает по системе двухкоординатного копирования.

Электрическая схема программного управления, имеющаяся при станке, обеспечивает возможность работать на автоматическом или наладочном цикле. В автоматическом цикле резец с суппортом обрабатывают детали по требуемой программе, воспроизводимой с помощью переключателей. В наладочном цикле резец с суппортом перемещается при соответствующей установке пакетных переключателей и кнопок.

Рассмотрим работу станка на автоматическом цикле. Для включения станка в работу необходимо включить рубильник и двигатель гидросистемы, установить верхний копировальный и нижний суппорты



КУ — кнопка начала цикла; К — контактор электродвигателя; ШИ — шаговый искатель на 1, II, III и т. д. положениях; ИПО, I, II, IIP, IIP0, IIP0I, IIP1 и IIP10 — десятипозиционные переключатели пульта управления для разных разрядов и разных проходов; ДИ1 — датчик исполнения поперечного перемещения суппорта с резцом с контактами десятых долей, целых и десятков мм; РПО, I, РР1 и РР10 — реле промежуточных десятых долей, целых и десятков мм; РС — реле совпадения

На рис. 1.34 дана сокращенная электрическая схема управления поперечным перемещением суппорта с резцом. После подготовки станка к автоматическому циклу нажимают кнопку *КУ Цикл*, при этом срабатывает контактор *К*, включающий двигатель (на рисунке не показан) привода упора в сеть. Положение упора через каждый 0,1 мм контролируют датчиком исполнения *ДИ1*. В конструкцию датчика входят контактные диски и щетки, перемещающиеся по контактам. Датчик имеет контакты десятков, единиц и десятых долей миллиметров.

При расположении упора-копира в положении, соответствующем нахождению вершины резца на оси центров станка, все щетки датчика *ДИ1* будут занимать на контактах положение 0. При движении упора-копира щетки датчика *ДИ1* перемещаются между контактами до тех пор, пока щетки не встанут на контакты, включенные в цепь управления в соответствии с заданной программой, установленной переключателями *1П*, расположенными на пульте управления (см. рис. 1.32).

При одновременном включении трех реле *РП0,1*, *РП1*, *РП10* включится реле совпадения *РС*. Когда размыкающий контакт *РС* будет выключен, цепь питания катушки контактора *К* разомкнется и электродвигатель *Д* остановится (см. рис. 1.33). В этот момент упор-копир будет находиться в положении, соответствующем числу, установленному на переключателях для получения заданного диаметрального размера на первой шейке ступенчатого вала. Обтачивание второй шейки вала копировальным суппортом с резцом происходит на автоматическом цикле.

Величину продольной подачи копировального суппорта при обтачивании шеек вала устанавливают ручками тумблера подач в требуемое положение. Линейные размеры детали считают от базового торца патрона станка, в который упирается левый торец обрабатываемой детали.

Конструктивно электрическая схема для управления продольным перемещением гидросуппорта с резцом имеет такое же устройство, как и схема для поперечного перемещения гидросуппорта с резцом.

Контроль за продольным перемещением гидросуппорта с резцом осуществляется электроконтактным датчиком. Датчик имеет три десятичных разряда: сотни, десятки и единицы миллиметра. Он через промежуточные звенья связан с копировальным суппортом и при перемещении суппорта на 1 мм щетка разряда единиц переместится на одно деление.

Для перевода электрической схемы станка с автоматического цикла в наладочный на пульте управления тумблер *АН* устанавливают в положение *Наладка* (см. рис. 1.31).

## **§ 1.20. Вертикально-фрезерный станок с программным управлением модели 6Н13-ПР**

ЭНИМСом и Горьковским заводом фрезерных станков на базе вертикально-фрезерного станка модели 6Н13 разработана модель станка 6Н13-ПР с цифровым программным управлением. Вертикально-фрезерный трехкоординатный станок применяют для обработки фасонных поверхностей детали. На станке используют разомкнутую систему цифрового программного управления с импульсным (шаговым) приводом подач. Программу работы станка записывают на магнитной ленте в виде ряда последовательных импульсов. Каждый импульс обеспечивает перемещение стола или пиноли на один шаг.

Управление работой станка производится по трем осям координат *x*, *y*, *z*. Программа работы станка, записанная на магнитной ленте, определяет направление и величины перемещений стола в продоль-



ном направлении по оси  $x$ , в поперечном направлении по оси  $y$  и перемещение пиноли в вертикальном направлении по оси  $z$ .

Программу разрабатывают по чертежу детали или по математическому выражению профиля. Программу трехкоординатной обработки деталей сложного фасонного профиля рассчитывают на электронно-вычислительной машине. Результаты вычисления представляют собой расстояния между опорными точками, записанные на перфоленте. Программу с перфоленты на магнитную ленту записывают на линейном интерполяторе в виде унитарного кода на шести дорожках. Шестиканальная головка считывает записи программы с магнитной ленты. Структурная схема системы программного управления вертикально-фрезерным станком одной из последних моделей (6Н13-ЭГ) дана на рис. 1.35. Схема включает в себя следующие элементы: лентопротяжное устройство для перемещения магнитной ленты 1, считывающую магнитную головку 2, усилители импульсов 3, формирователи импульсов 4, узлы распределения 5, усилители 6, шаговые электродвигатели ЭШД, гидравлические усилители крутящих моментов ГУ.

В зависимости от типа применяемого пульта программу работы станка записывают на магнитную ленту шириной 19 или 35 мм; на первую ленту программу записывают в виде импульсов, а на вторую — в виде частотно-модулированного сигнала. Длина магнитной ленты в одной бобине равна 500 м. При скорости считывания 100 мм/сек лента такой длины обеспечивает непрерывную работу станка в течение 1,5 ч. На магнитной ленте имеется шесть дорожек, следовательно, на каждую управляемую координату  $x$ ,  $y$ ,  $z$  приходится по две дорожки, одну из которых используют для записи числа шаговых перемещений ротора двигателя по часовой стрелке, а другую — для записи числа шаговых перемещений ротора двигателя против часовой стрелки.

Программу на магнитную ленту записывают импульсами с помощью линейного интерполятора с вводом от перфоленты. Длительность импульсов составляет 50 мксек с амплитудой 10—12 в. С выхода интерполятора сигнал поступает на одновибратор записи, а затем на обмотку магнитной головки для считывания. Магнитная головка имеет шесть катушек. В катушках головки наводятся сигналы по импульсам, записанным на магнитной ленте. Сигналы, возникающие в обмотках катушек, имеют синусоидальную форму с амплитудой 1,5—2 мв. Эти сигналы подаются на усилитель 3 (см. рис. 1.35) и после усиления направляются в формирователь импульсов 4. Каждая дорожка

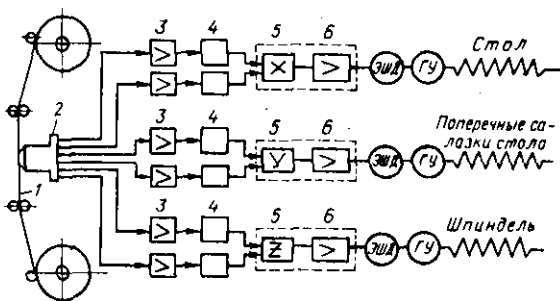


Рис. 1.35. Структурная схема системы программного управления вертикально-фрезерным станком мод. 6Н13-ЭГ

ленты имеет свой усилитель и формирователь импульсов. Формирователь выдает импульсы прямоугольной формы с амплитудой 10 в и длительностью 200 мксек.

Сформированные импульсы подаются на вход узла 5, распределяющего импульсы по фазам шагового электродвигателя ЭШД. Шаговый электродвигатель обеспечивает требуемое перемещение исполнительного органа станка через золотник гидравлического следящего устройства, которым является гидравлический усилитель крутящих моментов ГУ. Выходной вал первого гидравлического усилителя связан с ходовым винтом для продольной подачи стола, второго усилителя — с ходовым винтом поперечной подачи стола и третьего усилителя — с винтом вертикальной подачи. Каждый импульс, считанный с магнитной ленты, вызывает перемещение исполнительного органа станка на 0,025 мм.

Количество импульсов, записанных на соответствующей дорожке магнитной ленты, определяет величину перемещения исполнительного органа станка, а их частота — скорость его движения.

Система программного управления станком является разомкнутой, без датчиков контроля исполнения. Система цифрового программного управления станком построена на полупроводниковых элементах с применением блочного монтажа, что обеспечивает удобство обслуживания и надежность в эксплуатации. Отклонения от величины заданного перемещения по координатам  $x$ ,  $y$  находятся в пределах 0,01 мм, погрешности обработки деталей — 0,05 мм для деталей квадратной формы и 0,1 мм для деталей, имеющих форму цилиндра.

Рассмотрим электрическую структурную схему вертикально-фрезерного станка модели 6Н13-ПР (рис. 1.36). Запись с магнитной ленты считывает шестиканальная магнитная головка. Когда запись считывается с одной или с нескольких дорожек магнитной ленты, то в соответствующих катушках магнитной головки возникают импульсы э. д. с., которые для усиления направляются в трехкаскадный электронный усилитель, состоящий из ламп Л9 — Л11. Такой усилитель имеет каждый из шести каналов магнитной головки. Импульсы синусоидальной формы поступают в узел формирования, где они формируются одновибратором, представляющим собой триггерное устройство, состоящее из ламп Л7 и Л8. В триггерном устройстве при отсутствии импульсов лампа Л7 открыта, а лампа Л8 закрыта. Во время поступления импульса с выхода усилителя триггер срабатывает, при этом лампа Л7 закрывается, а лампа Л8 открывается и затем триггер возвращается в исходное состояние, в котором он находился до поступления импульса. В результате срабатывания и последующего перехода триггера в первоначальное состояние на его выходе (точка А) образуется импульс прямоугольной формы. При срабатывании триггера несколько раз на его выходе появляется серия импульсов прямоугольной формы с определенной амплитудой и длительностью. Импульсы из узла их формирования поступают на выход кольцевой электронной схемы, управляющей включением обмоток I, II, III электрического шагового двигателя.



Основу кольцевой схемы составляют шесть ламп: *Л1* — *Л6*, из них лампы *Л1*, *Л3*, *Л5* служат для переключения обмоток шагового двигателя в одном направлении, а лампы *Л2*, *Л4*, *Л6* — для переключения обмоток двигателя в другом направлении.

Напряжение отрицательного смещения, подводимое к сеткам электронных ламп этой схемы, снимается с выпрямителя *В* в точке *О*. К выпрямителю *В* подключена в точках *М* и *Н* вторичная обмотка трансформатора *Т*, а его первичная обмотка на схеме отсутствует.

При переключении обмоток шагового двигателя изменяется направление вращения ротора, а следовательно, и перемещение исполнительного органа станка, с которым связан данный шаговый двигатель. Три электрических шаговых двигателя ЭШД-х, ЭШД-у, ЭШД-г через гидравлические усилители крутящих моментов передают движение ходовым винтам для продольного и поперечного перемещений стола и перемещения пиноли суппорта станка.

В основном вертикально-фрезерный станок 6Н13-ПР с программным управлением применяется в серийном и мелкосерийном производствах для обработки фасонных поверхностей различных деталей. Станок можно быстро перенастраивать при переходе к обработке последующих деталей.

### **§ 1.21. Автоматическая смена инструмента на станках с программным управлением**

Программное управление станком обеспечивает быструю его переналадку при переходе к обработке очередной партии деталей. При этом важным является быстрая смена режущего инструмента. В настоящее время зарубежные фирмы начали выпускать станки с СПУ, имеющие устройства для автоматической смены различных инструментов.

Специальные устройства для автоматической смены инструментов имеются на сверлильных, фрезерных, токарных, агрегатных и других станках с СПУ. Наиболее широкое применение автоматическая смена инструментов получила на сверлильных и расточных станках с СПУ.

Для автоматической замены инструмента на сверлильных и расточных станках можно применять три группы механизмов:

1) в которых при смене инструмента заменяется шпиндельный узел; 2) в которых производится смена инструментов по заданной программе на одном рабочем шпинделе; 3) комбинированные.

Механизмы первой группы изготавливают в виде поворотной многопозиционной револьверной головки с несколькими шпинделями и автоматической индексацией по заданной программе либо в виде магазина, в котором размещены в определенном порядке шпиндельные узлы, подаваемые специальным механизмом к рабочей позиции и отводимые от нее.

Механизмы второй группы имеют магазин с установленными в определенном порядке инструментами и автомеханическим механизмом

для замены инструментов в шпинделе станка по заданной программе. Магазин с инструментами можно устанавливать на станке, столе станка или около станка.

Автоматическая смена инструментов при комбинированных устройствах на станках с двухшпиндельной револьверной головкой. При обработке детали одним шпинделем автоматизированная рука производит смену инструментов во втором шпинделе, находящемся вне рабочей зоны. После обработки детали двухшпиндельная головка поворачивается на  $180^\circ$  и инструменты меняются позициями. Комбинированные устройства применяются в основном для сверлильных станков.

Магазины для инструментов бывают следующих типов: стационарный многорядный, круглый и цепной. Наибольшее применение имеют круглые поворотные магазины (рис. 1.37), в которых инструменты размещаются по кругу параллельно оси магазина и под углом к ней. Цепной инструментальный магазин используют при большом количестве инструментов, до 100 и больше.

В магазинах с установленными в определенном порядке инструментами смена их происходит после поворота магазина, когда соответствующий инструмент будет находиться перед рабочей позицией. В этом положении механизм автоматической замены инструмента снимает со шпинделя один инструмент и устанавливает в него другой.

В магазинах с кодированными гнездами каждый инструмент установлен в определенном гнезде и можно любой инструмент использовать несколько раз в течение рабочего цикла обработки детали. В этом случае магазин поворачивается в двух направлениях.

Применяются магазины, в гнездах которых инструменты могут располагаться в любой последовательности. При этом каждый инструмент должен быть закордирован и на его державке установлены кодовые кольца, команда на замену инструмента подается через считывающее устройство.

Механизмы автоматической замены инструмента служат для съема одного инструмента из патрона шпинделя и установки в него другого. Эти устройства изготавливают в виде одно- или двухзахватных автооператоров. Однозахватный оператор работает следующим образом: перемещается к шпинделю с инструментом и зажимает его, вынимает инструмент из патрона шпинделя, переносит его к магазину и устанавливает в гнездо. Далее автооператор отходит от магазина, магазин поворачивается на один шаг, автооператор подходит к магазину и

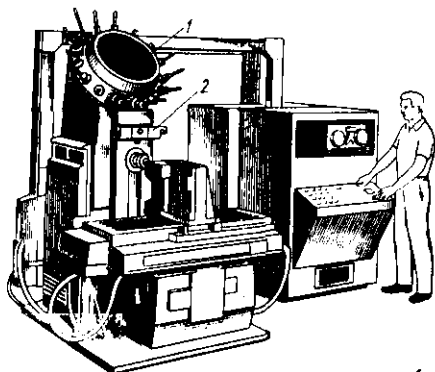


Рис. 1. 37. Общий вид станка фирмы «Керней энд Треккер»

захватывает требуемый инструмент из гнезда магазина, переносит инструмент к шпинделю и устанавливает его в патрон шпинделя, затем автооператор отходит в исходное положение.

Двухзахватный автооператор сокращает время на смену инструмента, так как захват инструментов в шпинделе и магазине, вывод их из шпинделя и магазина, поворот автооператора и установка требуемого инструмента в шпиндель, а заменяемого — в гнездо магазина производятся одновременно.

При установке магазина вне станка применяются транспортные устройства, служащие для передачи инструмента от магазина к автоматическому загрузочному устройству (автооператору).

Автоматический зажим и разжим инструмента в шпинделе станка производится различными механизмами: винтовыми, байтными и т. д.

На рис. 1.37 показано специальное устройство для автоматической смены инструмента на станке «Милвоки-Мэтик» серии Е. На верхней части станины под углом  $45^\circ$  установлен крупный поворотный магазин на 15 инструментов.

Автоматическая смена инструмента производится поворотным двухзахватным автооператором 2, установленным между магазином и шпинделем станка. После обработки детали автооператор поворачивается из горизонтального положения на  $90^\circ$  и одновременно захватывает инструменты в шпинделе и гнезде магазина; затем автооператор поворачивается на  $180^\circ$  и вводит один инструмент в шпиндель станка, а другой — в гнездо магазина. Инструмент, установленный в шпиндель станка, автоматически зажимается, а автооператор, повернувшись на  $90^\circ$ , занимает исходное положение.

В магазине 1 инструменты установлены в определенном порядке в соответствии с технологическим процессом обработки детали. На смену инструмента затрачивается 5 сек. Инструменты автоматически крепятся в цанговом патроне, установленном в корпусе шпинделя станка. В магазине можно размещать фрезы диаметром до 100 и длиной до 178 мм, сверла и расточные оправки длиной до 254 мм.

Станки «Милвоки-Мэтик» с программным управлением и автоматической сменой инструмента работают на заводе фирмы Джeneral Продакт США. На станках производится сверление, зенкерование, развертывание, растачивание, фрезерование плоскостей и т. д. в деталях 23 типоразмеров, с максимальными размерами  $686 \times 475 \times 406$  мм.

На станках с ПУ и автоматической сменой инструмента резко повышается производительность, концентрация операций, сокращается брак и увеличивается коэффициент использования оборудования. Основное время на данных станках составляет 70—75% от штучного. По производительности станки типа «Милвоки-Мэтик» заменяют 3—4 обычных универсальных станка.

Для успешной работы станков с программным управлением необходимо:

- 1) участок станков с ПУ отделить от остального цеха;
- 2) всю документацию к станкам содержать в строгом порядке;

3) на станках с ПУ выполнять только чистовые точные виды обработки деталей;

4) стандартный инструмент затачивать на высокоточных заточных станках, так как точность обработанной поверхности детали в основном зависит от качества инструмента.

Для экономии времени программирования и унификации наладок для каждого станка с ПУ необходимо иметь каталог режущего инструмента и типовых вариантов его наладок с указанием необходимых размеров и допусков.

В настоящее время при проектировании станков с ПУ повышаются требования к жесткости и точности станков, к надежности систем программного управления и качеству инструментальной оснастки.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗАГРУЗКИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

### § II.1. Классификация автоматических загрузочных приспособлений для металлорежущих станков

Загрузка различных металлорежущих станков производится автоматически с помощью загрузочных приспособлений, разделяющихся на две группы: для штучных заготовок и бунтового материала (проволока, лента и т. д.).

*Классификацией автоматических загрузочных приспособлений* называют распределение их узлов и деталей по классам, группам, рядам в зависимости от общих признаков. В качестве признаков выбирают конструктивный элемент, принцип действия, назначение, вид движения. Классификация автоматических загрузочных приспособлений позволяет дать им оценку с конструктивной, технологической и экономической точек зрения, провести унификацию узлов и деталей автоматических загрузочных приспособлений, установить систему обозначений, индексацию и терминологию.

В автоматических загрузочных приспособлениях запас штучных заготовок деталей, находящихся в емкости (таре), размещается тремя способами: магазинным, штабельным и бункерным. При магазинном способе детали в емкости (таре) размещаются в один ряд с промежутками (в разрядку) или вплотную (рис. II.1, а), при штабельном способе — в несколько рядов враскладку (в один слой) или внакат (в несколько слоев) (рис. II.1, б), при бункерном способе — беспорядочно, навалом или россыпью (рис. II.1, в).

По классификации автоматических загрузочных приспособлений для штучных деталей, разработанной ЭНИМСом, все загрузочные приспособления разделяют на три типа: магазинные, штабельные и бункерные.

В магазинных загрузочных приспособлениях (рис. II.2, а) запас деталей 4 в емкости 1 (лотке) размещается в один ряд. Деталь, выйдя из лотка, захватывается питателем 3 и подается к станочному приспособлению, установленному в рабочей зоне станка. Для увеличения емкости 1 магазинное загрузочное приспособление имеет форму зигзагообразного лотка.

В штабельных загрузочных приспособлениях (рис. II.2, б) запас заготовок деталей 4 в емкости 1 (таре) размещается штабелем враскладку или штабелем внакат; детали из лотка 5 в станочное приспособление передаются питателем 3.

В бункерных загрузочных приспособлениях (рис. II.2, в) запас



заготовок деталей в емкости 1 (бункере) размещается (сосредотачивается) беспорядочно (навалом). Эти приспособления имеют сбрасыватель 7 и захват 2. Захват совершает возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости. Находясь в нижнем положении, захват забирает из кучи несколько деталей и, перемещаясь с ними вверх, подносит их к сбрасывателю 7, который правильно ориентированные детали пропускает в лоток 5, а неправильно ориентированные сбрасывает в бункер 1. Из лотка 5 питатель 3 захватывает по одной детали и переносит их к станочному приспособлению, размещенному в рабочей зоне станка. На лотке 5 установлен отсекающий 6 для отделения от общего потока одной детали, поступающей в питатель 3.

Из трех типов автоматических загрузочных приспособлений менее совершенным является магазинное, а более совершенным — бункерное. Это объясняется тем, что магазинное загрузочное приспособление менее автоматизировано, чем бункерное. В связи с большим разнообразием форм и размеров заготовок деталей, применяемых в машиностроении, для автоматической загрузки деталями металлорежущих станков применяются

все три типа загрузочных приспособлений. В производственных условиях один тип приспособления может применяться в комбинации с другими, например бункерный тип может применяться в комбинации с магазинным или со штабельным.

Анализ конструкций трех типов автоматических загрузочных приспособлений показывает, что они состоят из нескольких целевых механизмов (узлов), которые являются общими для трех типов загрузочных приспособлений. В ЭНИМСе было установлено, что каждый из трех типов загрузочных приспособлений конструктивно может быть выполнен в нескольких вариантах, от наиболее простой до самой сложной конструкции. Получение различных вариантов конструкций загрузочных устройств подчиняется определенной закономерности. Эта закономерность состоит в том, что все типы загрузочных приспособлений проектируют путем компоновки двух основных (постоянных)

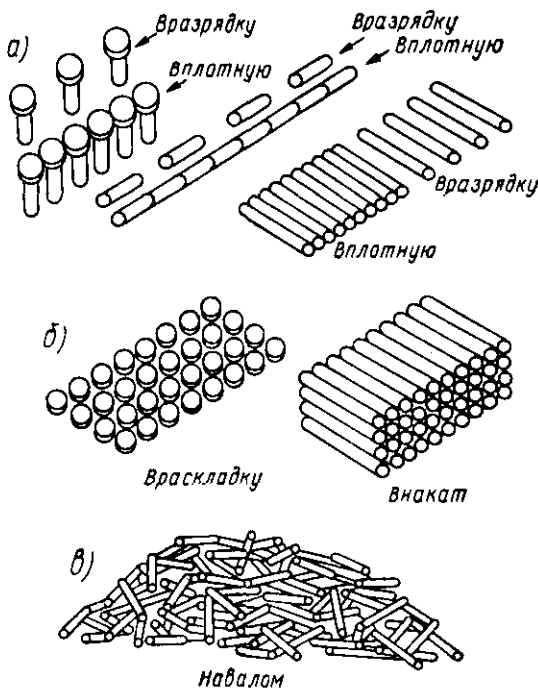


Рис. II.1. Способы сосредоточения (размещения) деталей в емкости (таре)

узлов (элементов) — емкости и привода — с одним или несколькими из шести переменных узлов целевого назначения.

К узлам целевого назначения загрузочного приспособления относятся емкость, захват, накопитель, отсекающий, питатель, сбрасыватель, ворошитель и привод. В табл. II.1, разработанной ЭНИМСом, даны различные варианты конструкций для трех типов автоматических

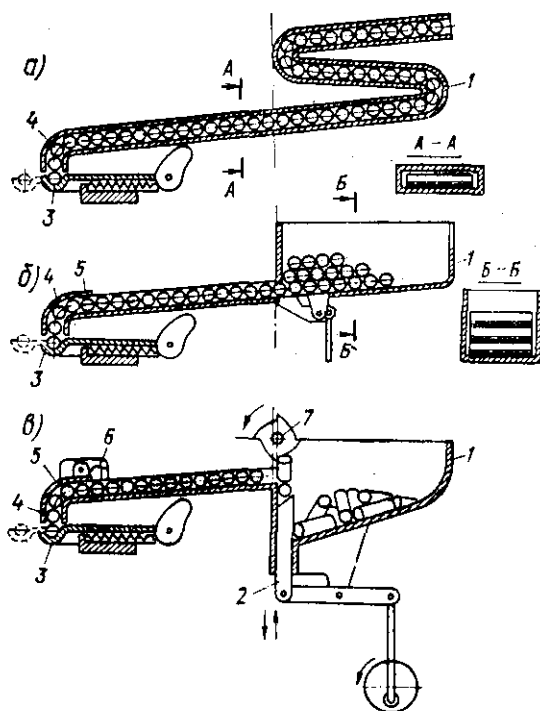


Рис. II.2. Схемы основных типов автоматических загрузочных приспособлений для штучных заготовок деталей

загрузочных приспособлений. При разработке новой конструкции загрузочного приспособления конструктор, пользуясь этой таблицей, может получить 65 вариантов проектируемой им конструкции загрузочного приспособления. Из табл. II.1 следует, что наиболее развитая форма конструкции загрузочного приспособления — вариант № 65 — состоит из восьми узлов (целевых механизмов); наименее развитая форма — вариант № 1 — из одного узла (целевого механизма) — емкости.

В табл. II.2а дана классификация магазинных автоматических загрузочных приспособлений, в табл. II.2б — штабельных автоматических загрузочных приспособлений, в табл. II.2в — бункерных автоматических загрузочных приспособлений. В этих таблицах схематично представ-

лены лишь некоторые разновидности загрузочных приспособлений в форме простых конструктивных схем. Классификация загрузочных приспособлений позволяет проводить постоянную систематизацию всех трех типов по установленным признакам.

В зависимости от способа перемещения деталей магазинные, штабельные и бункерные загрузочные приспособления разделяют на следующие виды: самотечные, полусамотечные, принудительные и комбинированные (см. табл. II.2а, II.2б, II.2в).

В самотечном загрузочном приспособлении движение детали происходит под действием силы тяжести перемещаемых деталей; в полусамотечном загрузочном приспособлении — под действием силы тяжести деталей при искусственном уменьшении силы трения между плоскостью детали и поверхностью приспособления; в принудительных

## Варианты автоматических грузоочных приспособлений

| № | Наименование<br>узлов загрузочных<br>приспособления | Номера существующих и возможных вариантов автоматических загрузочных приспособлений и количество<br>входящих в них узлов |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|   |                                                     | 1                                                                                                                        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 |
| 1 | Емкость                                             | 1                                                                                                                        | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 2 | Захват                                              |                                                                                                                          | 2 |   |   |   |   | 2 | 2 | 2 | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |
| 3 | Накопитель                                          |                                                                                                                          |   | 3 |   |   |   | 3 |   |   |    |    |    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| 4 | Отсекатель                                          |                                                                                                                          |   |   | 4 |   |   |   | 4 |   |    |    |    | 4  |    |    | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  |
| 5 | Питатель                                            |                                                                                                                          |   |   |   | 5 |   |   |   |   | 5  |    |    |    |    | 5  |    | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  |
| 6 | Сбрасыватель                                        |                                                                                                                          |   |   |   |   | 6 |   |   |   |    | 6  |    |    |    | 6  |    | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  |
| 7 | Воршитель                                           |                                                                                                                          |   |   |   |   |   | 7 |   |   |    |    | 7  |    |    |    | 7  |    | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  |
| 8 | Привод                                              |                                                                                                                          | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  |

Продолжение табл. 11.1

Продолжение табл. II.1

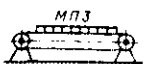
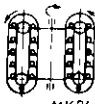
| № | Наименование узлов грузоочных приспособлений | Номера существующих и возможных вариантов автоматических грузоочных приспособлений и количество входящих в них узлов |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|   |                                              | 34                                                                                                                   | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 |
| 1 | Емкость                                      | 1                                                                                                                    | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 2 | Захват                                       | 2                                                                                                                    | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |
| 3 | Накопитель                                   | 3                                                                                                                    | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| 4 | Отсекатель                                   | 4                                                                                                                    | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  |
| 5 | Питатель                                     | 5                                                                                                                    | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  |
| 6 | Сбрасыватель                                 | 6                                                                                                                    | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  |
| 7 | Воршитель                                    | 7                                                                                                                    | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  |
| 8 | Привод                                       | 8                                                                                                                    | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  |

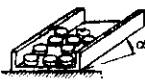
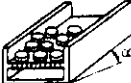
Примечание. Вариант № 1 — наименее развитая форма исполнения грузоочного приспособления; вариант № 65 — наиболее развитая форма исполнения грузоочного приспособления.

|                                                                                                  |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                       |                                                                                     |                       |                |              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|--------------|
| Типы загрузочных приспособлений (по способу укладки деталей в емкости)                           | Магазинные (изделия укладываются в емкости)                                         |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                       |                                                                                     |                       |                |              |
| Виды загрузочных приспособлений (по способу перемещения деталей)                                 | Самотечные                                                                          |                                                                                     |                                                                                     | Полусамотечные                                                                                        |                                                                                     |                       |                |              |
|                                                                                                  | МС                                                                                  | МСП                                                                                 |                                                                                     | МПС                                                                                                   |                                                                                     |                       |                |              |
| Группы загрузочных приспособлений (по виду движения транспортных органов емкостей)               | Транспортные органы неподвижны                                                      | Транспортные органы совершают движение                                              |                                                                                     | Транспортные органы неподвижны                                                                        | Транспортные органы совершают поперечное движение                                   |                       |                |              |
|                                                                                                  |                                                                                     | поступательное                                                                      | вращательное                                                                        |                                                                                                       | возвратно-поступательное                                                            | возвратно-качательное | поступательное | вращательное |
| Подгруппы загрузочных приспособлений (по взаимному расположению деталей)                         | Вплотную                                                                            | Вразрядку                                                                           |                                                                                     | Вплотную                                                                                              | Вплотную                                                                            |                       |                |              |
| Разновидности                                                                                    | МС1                                                                                 | МСП1                                                                                | МСП2                                                                                | МПСО                                                                                                  | МПС1                                                                                | МПС2                  | МПС3           | МПС4         |
| Примерные схемы загрузочных приспособлений в наименее развитых формах исполнения (без питателей) |  |  |  |                    |  |                       |                |              |
|                                                                                                  | Детали движутся под действием собственного веса самотеком                           |                                                                                     |                                                                                     | Детали движутся самотеком на воздушной прослойке или на плоскости, совершающей поперечное перемещение |                                                                                     |                       |                |              |

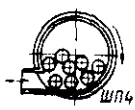
агрузочных приспособлений для штучных изделий

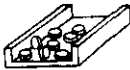
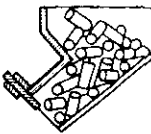
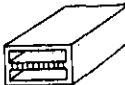
емкости в один ряд вплотную или вразрядку)

| Принудительные                                                                      |                       |                |              |                              | Комбинированные                                                                     |                       |                |              |                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|--------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|--------------|------------------------------|
| МП                                                                                  |                       | МПР            |              |                              | МК                                                                                  |                       | МКР            |              |                              |
| Транспортные органы совершают движение                                              |                       |                |              |                              | Транспортные органы совершают движение                                              |                       |                |              |                              |
| возвратно-поступательное                                                            | возвратно-качательное | поступательное | вращательное | колебательное (вибрационное) | возвратно-поступательное                                                            | возвратно-качательное | поступательное | вращательное | колебательное (вибрационное) |
| возвратно-поступательное                                                            | возвратно-качательное | поступательное | вращательное | колебательное (вибрационное) | возвратно-поступательное                                                            | возвратно-качательное | поступательное | вращательное | колебательное (вибрационное) |
| Вплотную                                                                            |                       | Вразрядку      |              |                              | Вплотную                                                                            |                       | Вразрядку      |              |                              |
| МП1                                                                                 | МП2                   | МП3            | МП4          | МП5                          | МПР1                                                                                | МПР2                  | МПР3           | МПР4         | МПР5                         |
| МК1                                                                                 | МК2                   | МК3            | МК4          | МК5                          | МКР1                                                                                | МКР2                  | МКР3           | МКР4         | МКР5                         |
|   |                       |                |              |                              |  |                       |                |              |                              |
| Детали движутся принудительно фрикционной поверхностью                              |                       |                |              |                              | Детали движутся принудительно захватами                                             |                       |                |              |                              |
|  |                       |                |              |                              |  |                       |                |              |                              |
| Детали движутся разными способами                                                   |                       |                |              |                              |                                                                                     |                       |                |              |                              |

|                                                                                                  |                                                                                     |        |                                                                                     |                                                                                                       |                                                                                      |                |              |                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|------------------------------|
| Типы загрузочных приспособлений (по способу укладки деталей в емкости)                           | Штабельные (изделия укладываются в емкости)                                         |        |                                                                                     |                                                                                                       |                                                                                      |                |              |                              |
| Виды загрузочных приспособлений (по способу перемещения деталей)                                 | Самотечные                                                                          |        | Полусамотечные                                                                      |                                                                                                       |                                                                                      |                |              |                              |
|                                                                                                  | ШС                                                                                  | ШСН    | ШПС                                                                                 |                                                                                                       |                                                                                      |                |              |                              |
| Группы загрузочных приспособлений (по виду движения транспортных органов емкостей)               | Транспортные органы или емкости неподвижны                                          |        | Транспортные органы неподвижны                                                      | Транспортные органы совершают поперечное движение                                                     |                                                                                      |                |              |                              |
|                                                                                                  |                                                                                     |        |                                                                                     | возвратно-поступательное                                                                              | возвратно-качательное                                                                | поступательное | вращательное | колебательное (вибрационное) |
| Подгруппы загрузочных приспособлений (по взаимному расположению деталей)                         | Враскладку                                                                          | Внакат | Враскладку                                                                          | Враскладку                                                                                            |                                                                                      |                |              |                              |
| Разновидности                                                                                    | ШС1                                                                                 | ШСН1   | ШПС0                                                                                | ШПС1                                                                                                  | ШПС2                                                                                 | ШПС3           | ШПС4         | ШПС5                         |
| Примерные схемы загрузочных приспособлений в наименее развитых формах исполнения (без питателей) |  |        |  |                    |  |                |              |                              |
|                                                                                                  | Детали движутся самотеком (под действием собственного веса)                         |        |                                                                                     | Детали движутся самотеком на воздушной прослойке или на плоскости, совершающей поперечное перемещение |                                                                                      |                |              |                              |

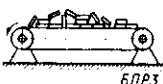
в несколько рядов штабелем, внакат или враскладку)

| Принудительные                                                                                                                                      |                       |                |              |                              | Комбинированные                                                                                                                        |                       |                |              |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|--------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|--------------|------------------------------|
| ШП                                                                                                                                                  |                       | ШПН            |              |                              | ШК                                                                                                                                     |                       | ШКН            |              |                              |
| Транспортные органы совершают движение                                                                                                              |                       |                |              |                              | Транспортные органы совершают движение                                                                                                 |                       |                |              |                              |
| возвратно-поступательное                                                                                                                            | возвратно-качательное | поступательное | вращательное | колебательное (вибрационное) | возвратно-поступательное                                                                                                               | возвратно-качательное | поступательное | вращательное | колебательное (вибрационное) |
| возвратно-поступательное                                                                                                                            | возвратно-качательное | поступательное | вращательное | колебательное (вибрационное) | возвратно-поступательное                                                                                                               | возвратно-качательное | поступательное | вращательное | колебательное (вибрационное) |
| Враскладку                                                                                                                                          |                       |                |              |                              | Внакат                                                                                                                                 |                       |                |              |                              |
| ШП1                                                                                                                                                 | ШП2                   | ШП3            | ШП4          | ШП5                          | ШПН1                                                                                                                                   | ШПН2                  | ШПН3           | ШПН4         | ШПН5                         |
| Враскладку                                                                                                                                          |                       |                |              |                              | Внакат                                                                                                                                 |                       |                |              |                              |
| ШК1                                                                                                                                                 | ШК2                   | ШК3            | ШК4          | ШК5                          | ШКН1                                                                                                                                   | ШКН2                  | ШКН3           | ШКН4         | ШКН5                         |
| <br>ШП4<br>Детали движутся принудительно фрикционной поверхностью |                       |                |              |                              | <br>ШПН4<br>Детали движутся принудительно захватами |                       |                |              |                              |
| Варианты отсутствуют                                                                                                                                |                       |                |              |                              |                                                                                                                                        |                       |                |              |                              |

|                                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Типы загрузочных приспособлений (по способу укладки деталей в емкости)                              | Бункерные (изделия укладываются)                                                    |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |
| Виды загрузочных приспособлений (по способу перемещения деталей)                                    | Самотечные                                                                          |                                                                                     |                                                                                     | Полусам.                                                                            |                                                                                     |
|                                                                                                     | БСР                                                                                 | БС                                                                                  | БСРР                                                                                |                                                                                     | БПСР                                                                                |
| Группы загрузочных приспособлений (по виду движения транспортных органов емкостей)                  | Транспортные органы емкости неподвижны                                              |                                                                                     | Транспортные органы совершают движение                                              |                                                                                     | Транспортные органы неподвижны                                                      |
|                                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     | поступательное                                                                      | вращательное                                                                        |                                                                                     |
| Подгруппы загрузочных приспособлений (по взаимному расположению деталей)                            | Навалом-россыпью                                                                    | Навалом-кучей                                                                       | Навалом-россыпью                                                                    |                                                                                     | Навалом-россыпью                                                                    |
| Разновидности                                                                                       | БСР1                                                                                | БС1                                                                                 | БСРР1                                                                               | БСРР2                                                                               | БПСР0                                                                               |
| Примерные схемы загрузочных приспособлений в наименее развитых формах использования (без питателей) |  |  |  |  |  |
|                                                                                                     | Детали движутся самотеком (под действием собственного веса)                         |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     | Детали движутся на воз-<br>слойке или на<br>вершающей пере-<br>ме                   |



в емкости навалом-россыпью или кучей)

| мотечные                                                                           |                       |                |              |                              | Принудительные                                                                      |                       |                |              |                              | Комбинированные                                                                     |                       |                |              |                              |                      |      |      |      |      |               |     |     |     |     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|--------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|--------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|--------------|------------------------------|----------------------|------|------|------|------|---------------|-----|-----|-----|-----|
|                                                                                    |                       |                |              |                              | БПР                                                                                 |                       | БП             |              |                              | БКР                                                                                 |                       | БК             |              |                              |                      |      |      |      |      |               |     |     |     |     |
| Транспортные органы совершают поперечное движение                                  |                       |                |              |                              | Транспортные органы совершают движение                                              |                       |                |              |                              | Транспортные органы совершают движение                                              |                       |                |              |                              |                      |      |      |      |      |               |     |     |     |     |
| возвратно-поступательное                                                           | возвратно-качательное | поступательное | вращательное | колебательное (вибрационное) | возвратно-поступательное                                                            | возвратно-качательное | поступательное | вращательное | колебательное (вибрационное) | возвратно-поступательное                                                            | возвратно-качательное | поступательное | вращательное | колебательное (вибрационное) |                      |      |      |      |      |               |     |     |     |     |
| БПСР1                                                                              | БПСР2                 | БПСР3          | БПСР4        | БПСР5                        | БПР1                                                                                | БПР2                  | БПР3           | БПР4         | БПР5                         | БП1                                                                                 | БП2                   | БП3            | БП4          | БП5                          | БКР1                 | БКР2 | БКР3 | БКР4 | БКР5 | БК1           | БК2 | БК3 | БК4 | БК5 |
| Навалом-россыпью                                                                   |                       |                |              |                              | Навалом-россыпью                                                                    |                       |                |              |                              | Навалом-кучей                                                                       |                       |                |              |                              | Навалом-россыпью     |      |      |      |      | Навалом-кучей |     |     |     |     |
|  |                       |                |              |                              |  |                       |                |              |                              |  |                       |                |              |                              |                      |      |      |      |      |               |     |     |     |     |
| жуются самодушной проп-поскости, со-поперечное движение                            |                       |                |              |                              | Детали дви-жуются принуди-тельно фрикции-онной поверх-ностью                        |                       |                |              |                              | Детали дви-жуются из бу-лкера принуди-тельно с по-мощью захватов                    |                       |                |              |                              | Варианты отсутствуют |      |      |      |      |               |     |     |     |     |

загрузочных приспособлениях — принудительно под действием приводных механизмов; в комбинированных загрузочных приспособлениях — непрерывно или периодически под действием приводных устройств.

Загрузочные приспособления в зависимости от вида движения их транспортных (несущих, захватных) устройств разделяют на возвратно-поступательные, поступательные, возвратно-качательные, вращательные, вибрационные.

Все три типа загрузочных приспособлений в зависимости от конструктивных признаков различают по видам. При этом учитывают только те конструктивные признаки, которые относятся к данному виду загрузочного приспособления. К конструктивным признакам загрузочного приспособления с самотечным перемещением деталей относится, например, форма лотка (прямая, спиральная); с полусамотечным передвиганием детали — конструкция направляющих и несущих органов приспособления, например одно-, многовалковые и т. д.; с принудительным передвиганием деталей — конструкция несущих и тяговых органов (цепные, ленточные); с комбинированным видом перемещения деталей — конструкции устройств для перемещения узлов загрузочных приспособлений, например цепные, барабанные, карусельные и т. д.

В разработанной ЭНИМСом классификации автоматическим загрузочным приспособлениям присвоены определенные мнемонические обозначения (см. табл. II.2а, II.2б, II.2в):

типы: магазинные — М; штабельные — Ш; бункерные — Б;

виды: самотечные — С; полусамотечные — ПС; принудительные — П; комбинированные — К.

По типам и видам загрузочных приспособлений приняты следующие обозначения: МС — магазинные самотечные; МСП — магазинные самотечные с деталями, расположенными вразрядку; МПС — магазинные полусамотечные; МПСР — магазинные полусамотечные с расположением деталей вразрядку (в таблице их нет); МП — магазинные принудительные; МПР — магазинные принудительные с размещением деталей вразрядку; МК — магазинные комбинированные; МКР — магазинные комбинированные с расположением деталей вразрядку; ШС — штабельные самотечные; ШСН — штабельные самотечные с расположением деталей внакат; ШПС — штабельные полусамотечные; ШПСН — штабельные полусамотечные с расположением деталей внакат (в таблицах их нет); ШП — штабельные принудительные; ШПН — штабельные принудительные с расположением деталей внакат; ШК — штабельные комбинированные; ШКН — штабельные комбинированные с расположением деталей внакат; БС — бункерные самотечные; БСП — бункерные самотечные с расположением деталей россыпью; БСПР — бункерные самотечные с расположением деталей россыпью вразрядку; БПС — бункерные полусамотечные (в таблице их нет); БПСР — бункерные полусамотечные с расположением деталей россыпью; БП — бункерные принудительные; БПР — бункерные принудительные с расположением деталей россыпью; БК — бункерные комбинированные; БКР — бункерные комбинированные с расположением деталей россыпью.

В классификации автоматических загрузочных приспособлений группы оставлены без мнемонического знака. Это объясняется тем, что групповые признаки для всех трех типов загрузочных приспособлений общие и характеризуются разновидностями, которым присвоены порядковые номера (1, 2, 3 и т. д.).

Магазины применяются в загрузочных устройствах для перемещения в них деталей. В зависимости от способа транспортирования в них деталей магазины разделяют на два класса: самотечные и принудительные. В самотечных магазинах детали перемещаются под действием силы тяжести и располагаются вплотную, значительно реже — вразрядку. В принудительных магазинах перемещение деталей происходит под действием приложенной силы или под действием силы тяжести и приложенной силы; располагаются перемещаемые детали вплотную или вразрядку.

## § II. 2. Лотки загрузочных приспособлений

**Типы лотков.** Применяются следующие типы лотковых магазинных загрузочных приспособлений (рис. II.3):

прямые простые лотки (рис. II.3, а) в качестве скатов и склизов для перемещения деталей между станками;

прямые роликовые лотки (рис. II.3, б) в тех же случаях, что и прямые простые, но детали перемещаются на них под действием силы тяжести при небольших углах наклона лотка ( $3-5^\circ$ );

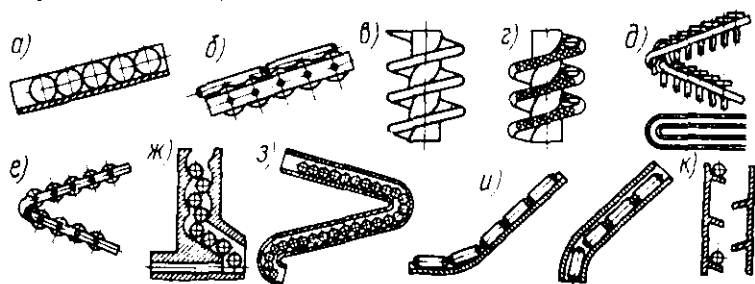


Рис. II.3. Схемы основных типов магазинных самотечных загрузочных приспособлений с однорядным размещением деталей

винтовые простые лотки (рис. II.3, в) как емкости в загрузочных приспособлениях для катушечных деталей и перемещения деталей между станками;

винтовые роликовые лотки (рис. II.3, г) как емкости в загрузочных приспособлениях для некатучих деталей и перемещения деталей между станками;

спирально-овальные лотки (рис. II.3, д) в качестве емкостей для деталей с головкой;

спирально-овальные роликовые лотки (рис. II.3, е) как емкости, а также для перемещения некатучих деталей;

змейковые лотки (рис. II.3, ж) как емкости и как транспортные устройства для деталей, имеющих плохую проходимость;

зигзагообразные лотки (рис. II.3, з) как емкости, а также для транспортирования деталей;

дугообразные вогнутые и выпуклые лотки (рис. II.3, и) как емкости: вогнутые — для подачи деталей в горизонтальном, а выпуклые — в вертикальном положении стержневых деталей в рабочую зону станка;

каскадные лотки (рис. II.3, к) для перемещения деталей вниз.

На рис. II.4, а—м даны типовые конструкции одноручьевых лотков закрытого и открытого типов для стержневых и дисковых деталей.

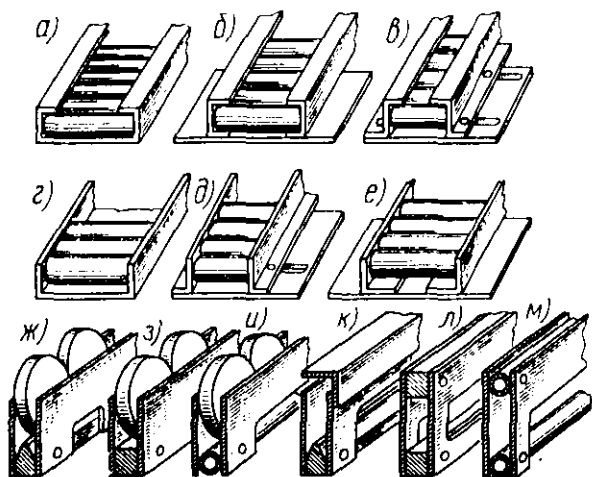


Рис. II.4. Типовые конструкции одноручьевых открытых и закрытых лотков:

а ÷ в — лотки для валков, втулок; г ÷ м — лотки для дисков, колец

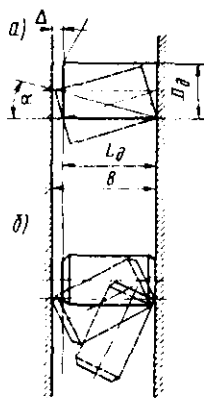


Рис. II.5. Способы ориентации деталей с различной формой торцов в лотке

Лотки закрытого типа (рис. II.4, а—в) имеют сверху уголки и применяются для перемещения деталей при угле наклона лотка больше  $10^\circ$ , лотки открытого типа (рис. II.4, г—е) не имеют сверху уголков.

Лотки открытого типа изготавливают из листового металла или из сортового проката. Такой лоток пригоден для перемещения в нем деталей одной длины, но разных диаметров. Лоток открытого типа (рис. II.4, д) смонтирован из двух уголков, установленных на плите, правый уголок в зависимости от длины детали может перемещаться вправо или влево по плите. Лотки открытого типа (рис. II.4, ж—и) смонтированы из двух листовых полос и основания пирамидального, прямоугольного или круглого сечения. Лотки закрытого типа (рис. II.4, к—м), смонтированные из двух полос, основания пирамидального, прямоугольного или круглого сечения и верха из углового железа прямоугольного или круглого сечения предназначены для перемещения дисковых деталей.

**Расчет основных геометрических параметров лотков.** При проектировании лотков для перемещения деталей рассчитывают их геометрические параметры по формулам, выведенным В. П. Бобровым. Рас-

четная ширина (мм) прямолинейного лотка (рис. II.5, а, б и рис. II.6) для нормальной проходимости стержневых деталей любого сечения (круглого, квадратного и т. д.) при их перемещении в лотке качением или скольжением

$$B = L_d + \Delta,$$

где  $L_d$  — длина детали, мм;  $\Delta$  — зазор между деталью и стенкой лотка, мм.

Для деталей цилиндрических гладких или с фасками и сферой на торцах (см. рис. II.5, а, б) предельный зазор

$$\Delta = (\sqrt{D_d^2 + L_d^2} / \sqrt{1 + f^2}) - L_d,$$

где  $D_d$  — диаметр перемещаемых деталей, мм;  $f$  — коэффициент трения детали о борт лотка;  $f = (0,1 \div 0,25)$ ,  $\operatorname{tg} \alpha = f$ .

При перемещении детали длиной  $L_d$  и диаметром  $D_d$  (см. рис. II.6), имеющей на левом конце сферу радиуса  $R$  (мм), в лотке шириной  $B$  она может перекошиться при зазоре  $\Delta$  на угол  $\alpha$ . Для этого случая зазор

$$\Delta = [s \sin(\delta + \alpha)] / f - L_d,$$

где  $\alpha$  — угол заклинивания детали, град;  $s = \sqrt{q^2 + (D_d/2)^2}$  — расстояние от точки 0 поворота детали до точки, из которой проводится радиус сферы  $R$ , мм;  $q = L_d - R$  — расстояние между торцом детали и точкой для проведения радиуса  $R$  сферы, мм.

Наибольший зазор между стенкой лотка и перемещаемой деталью

$$\Delta_{\max} = \Delta L_d + \Delta B + \Delta_{\min},$$

где  $\Delta L_d$  — допуск на длину детали, мм;  $\Delta B$  — допуск на ширину лотка (принимают конструктивно в зависимости от длины деталей);  $\Delta_{\min}$  — наименьший зазор между стенкой лотка и деталью, мм.

Если  $\Delta < 0$ , то проходимость детали в лотке невозможна.

Минимальный зазор для сравнительно чистых деталей принимают по 3-му классу точности, для грязных деталей — по 4—7-му классам точности.

Наибольшие расчетные зазоры  $\Delta_{\max}$  должны быть меньшими или равными предельным зазорам, т. е. должно соблюдаться условие  $\Delta_{\max} \leq \Delta$ .

На рис. II.7 даны детали различной формы, перемещаемые в лотках. Предельный зазор  $\Delta$  между деталями с различной формой

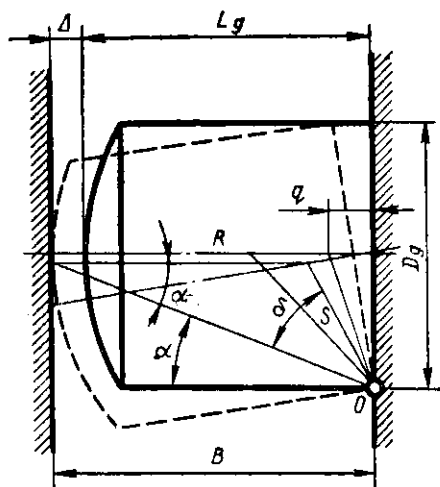


Рис. II.6. Схема для определения зазора между стенкой лотка и сферическим торцом детали

торца и стенок лотка определяют по формулам (соответственно рис. II.7, а, б, в, г, д, е):

а)  $\Delta = (\sqrt{D_n^2 + L_n^2} / \sqrt{1 + f^2}) - L_n$ ;  $\sin \delta = R \sin \alpha / s$ ;

б)  $\Delta = [s \sin (\delta + \alpha) / f] - L_n$ ;  $s = \sqrt{q^2 + (D_n / 2)^2}$ ;

в)  $\Delta = [s \sin (\delta + \alpha) / f] - L_n$ ;  $s = \sqrt{q^2 + D_n^2}$ ;

г)  $\Delta = [s \sin (\delta + \alpha) / f] - L_n$ ;  $s = (1/2) \sqrt{q^2 + D_n^2}$ ;

д)  $\Delta = [s \sin (\delta + \alpha) / f] - L_n$ ;  $s = \sqrt{L_n^2 + (D_n / 2)^2}$ ;

где  $D_n$  — расчетный диаметр детали (изделия), мм;

е) детали не направляются боковыми стенками лотка.

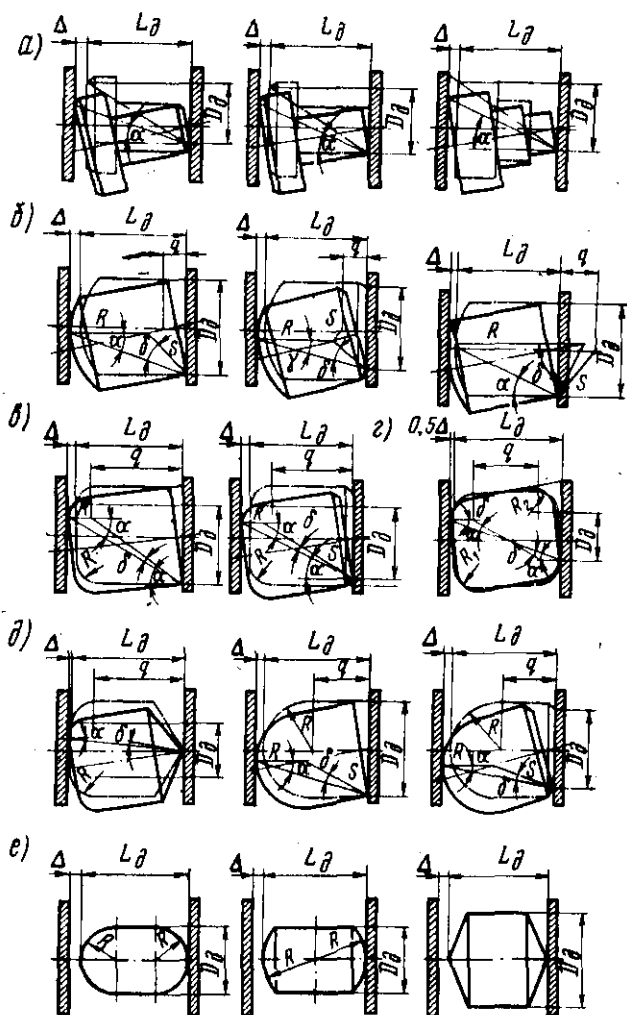


Рис. II.7. Схемы для определения зазора  $\Delta$  между стенкой лотка и деталями с различной формой поверхности

Формулы для расчета высоты бортов лотков

| Тип лотка                                                              | Эскиз | Формулы                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Угловой                                                                |       | $\beta = 45^\circ$ для заготовок весом до 5 кг;<br>$\beta = 60^\circ$ для заготовок весом более 5 кг;<br>Длина борта (стороны) лотка $B = (0,7 \div 0,8) d$ |
| Открытый коробчатый                                                    |       | $H = (0,3 \div 0,4) d$ для шара;<br>$H = (0,25 \div 0,3) d$ для цилиндра;<br>$H = 0,3d$ для колец и дисков                                                  |
| Открытый коробчатый для заготовок с односторонней полостью (колпачков) |       | $H = (0,35 \div 0,4) d$                                                                                                                                     |
| Коробчатый с экранами                                                  |       | $H = 0,4d; H_1 = d + \Delta$                                                                                                                                |
| Закрытый коробчатый (заготовка направляется лотком снизу и сверху)     |       | $H = 0,5d + \sqrt{0,5d^2 \left( \frac{1 \pm \operatorname{tg} \beta}{2} \right)^2};$<br>$\operatorname{tg} \beta < f$                                       |
| Открытые для заготовок с цапфами                                       |       | При транспортировании на цапфах<br>$H = \frac{D-d}{2} + \Delta,$<br><br>При транспортировании на средней части<br>$H = \frac{D-d}{2} - \Delta$              |

Расчет высоты бортов лотков производится по формулам табл. II.3.

**Типы двухвалковых транспортно-загрузочных приспособлений с гладкими валками.** Двухвалковые транспортно-загрузочные приспособления применяют для перемещения колец, пальцев, втулок и т. д. вдоль оси в рабочую зону станка. Двухвалковое приспособление сообщает деталям одновременно два движения: поступательное и вращательное. Валковые приспособления бывают с двумя цилиндрическими валками (рис. II.8, а), с одним цилиндрическим и вторым коническим валками (рис. II.8, б), с двумя коническими валками с углом конуса при вершине до  $2^\circ$  (рис. II.8, в), с одним коническим, а вторым криволинейным валком (рис. II.8, г). Независимо от сочетания оба валка устанавливают так, чтобы образующая одного из них в продольном направлении занимала строго горизонтальное положение, а ось второго валка и его

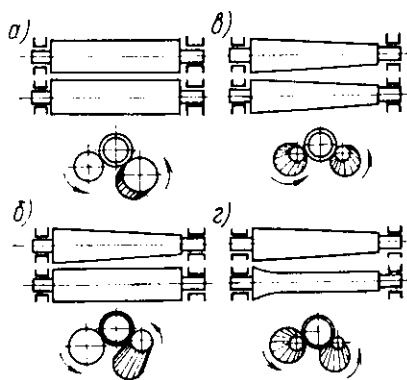


Рис. II.8. Схемы расположения двух валков в загрузочных приспособлениях

образующая размещались под некоторым углом как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. Такое расположение валков необходимо, чтобы сообщать транспортируемым на валках деталям вращательное и поступательное движения. Валок, расположенный горизонтально, поддерживает детали, а валок, расположенный под углом, перемещает их.

Из всех четырех типов двухвалковых приспособлений наилучшим является приспособление с коническим и криволинейным валками (см. рис. II.8, г) независимо от того, один или оба валка являются ведущими. Диаметры валков выбирают в зависимости от габаритных размеров перемещаемых деталей.

Из всех четырех типов двухвалковых приспособлений наилучшим является приспособление с коническим и криволинейным валками (см. рис. II.8, г) независимо от того, один или оба валка являются ведущими. Диаметры валков выбирают в зависимости от габаритных размеров перемещаемых деталей.

### § II.3. Бункерные загрузочные приспособления и расчет их параметров

В бункерных загрузочных приспособлениях запас деталей размещается в емкостях (бункерах) коробчатой формы. Из емкости (бункера) детали поступают в накопитель в ориентированном положении. Бункерные загрузочные приспособления применяют для загрузки станков различными деталями: поршневыми пальцами, шкворнями, втулками, кольцами, клапанами, болтами, винтами, гайками, колпачками и т. д.

Бункер — это емкость (тара), служащая для размещения штучных деталей. В емкостях бункерных загрузочных устройств имеется плоскость  $DK$  обрушения (рис. II.9), которая пересекает поверхность  $AB$  в зоне бункера под некоторым углом  $\beta$ . *Плоскостью обрушения* назы-



вают такую плоскость, по которой происходит обрушение материала при удалении стенки  $AD$  бункера. Расстояние между точками  $A$  и  $K$

$$x = h / \operatorname{tg} \beta,$$

где  $\beta = (\varphi/2) + 45^\circ$  — угол, заключенный между плоскостью обрушения  $DK$  и дном  $DC$  емкости бункера, град;  $\varphi$  — угол между плоскостью естественного откоса  $DM$  и дном  $DC$  емкости бункера, град;  $h$  — высота емкости бункера для загрузки штучными деталями металлорежущих станков; принимают  $h = m/4$  ( $m$  — длина емкости бункера), мм.

В емкости бункера имеется плоскость  $DM$  естественного откоса. *Плоскостью естественного откоса* называют плоскость, по которой располагают детали, загружаемые в емкость кучей (навалом).

Детали, размещаемые между плоскостью обрушения  $DK$  и вертикальной стенкой  $AD$  емкости бункера, образуют клин  $ADK$ , который давит на стенки бункера.

Вертикальное давление  $p_y$  (см. рис. II.9) на горизонтальную плоскость, находящуюся на расстоянии  $y$  от верхней плоскости  $AB$  загрузки бункера сыпучими материалами, определяется как гидростатическое давление:

$$p_y = qy,$$

где  $q$  — давление сыпучего материала,  $\text{кг/см}^2$ .

Горизонтальное (боковое) давление на вертикальную плоскость емкости бункера на расстоянии  $y$  от верхней плоскости  $AB$  определяется как результат действия клина, нагруженного весом  $Q$ :

$$p_x = R p_y = R q y.$$

Следовательно, горизонтальное давление  $p_x$  пропорционально вертикальному давлению  $p_y$  на определенной высоте и составляет его часть, определяемую коэффициентом  $R$ :

$$R = (1 - \sin \varphi) / (1 + \sin \varphi).$$

Полное давление  $[ \text{кг(н)} ]$ , действующее на вертикальную стенку бункера,

$$N = 0,5 h^2 R q.$$

Толщина стенок бункера

$$\delta = 0,15 Q + 1 \text{ мм},$$

где  $Q$  — вес загруженных деталей, находящихся в плоскости клина  $ADK$ ,  $\text{кг}$ .

По конструкции бункера бывают с одной емкостью для размещения и выдачи запаса деталей (рис. II.10, а, г, д) и двумя емкостями, соеди-

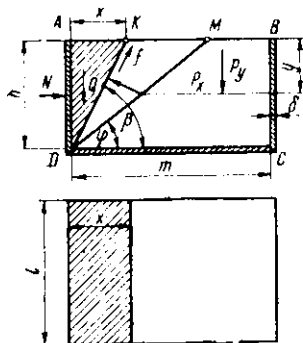


Рис. II.9. Схема расположения сил, действующих на стенки корпуса бункера

ненными между собой (рис. II.10, б, в). Одну емкость — предбункер — используют для размещения основного запаса деталей, а вторую — собственно бункер — для выдачи деталей на станок. Детали из предбункера в бункер перемещаются под действием собственного веса.

Обычно емкость бункерного загрузочного приспособления во время работы неподвижна, но встречаются бункерные загрузочные устройства с вращающимися бункерами.

Бункера изготавливают литыми из чугуна и алюминия или сварными из листовой стали. Объем бункера (его емкости) ( $\text{см}^3$ ) зависит

от количества деталей, требуемых для бесперебойной работы загрузочного устройства в течение заданного промежутка времени:

$$V_6 = V_d T / t_{шт} q \text{ или } V_6 = V_d T Q / q,$$

где  $V_d$  — объем одной детали,  $\text{см}^3$ ;  $T$  — промежуток времени непрерывной работы бункерного загрузочного устройства между двумя очередными загрузками, мин;  $t_{шт}$  — штучное время обработки одной детали на станке, мин;  $q = 0,4 \div 0,6$  — коэффициент объемного заполнения емкости бункера в зависи-

мости от формы загружаемых деталей;  $Q = V_6 q / V_d T$  — средняя производительность бункерного загрузочного устройства, шт/мин.

**Бункера с ножевыми захватами.** Ножевой захват расположен последовательно по отношению к лотку-накопителю (рис. II.11, а—в) или параллельно к лотку-накопителю (рис. II.11, г—е). В бункерах с параллельным ножевым захватом может быть один или два ножевых захвата. Бункера с последовательным ножевым захватом имеют небольшую производительность и применяются редко. В этих бункерах ножевой захват, находясь в нижней части бункера, захватывает небольшое количество деталей и поднимает их вверх до уровня лотка-накопителя. В верхнем положении захват задерживается на небольшое время, чтобы детали, находящиеся на нем, последовательно перемещались и смогли соскользнуть в лоток-накопитель.

Бункера с параллельным расположением ножевого захвата относительно лотка-накопителя более производительны. В таких бункерах ножевой захват, захватив в нижней части бункера детали, поднимает их вверх к лотку-накопителю. В верхнем положении захвата все детали одновременно соскальзывают с его плоскости на лоток-накопитель, расположенный параллельно захвату. Затем захват движется вниз, снова захватывает небольшое количество деталей, поднимает вверх и сбрасывает в лоток-накопитель и т. д.

Производительность бункеров с последовательным расположением ножевого захвата относительно лотка-накопителя примерно  $90 + 110$

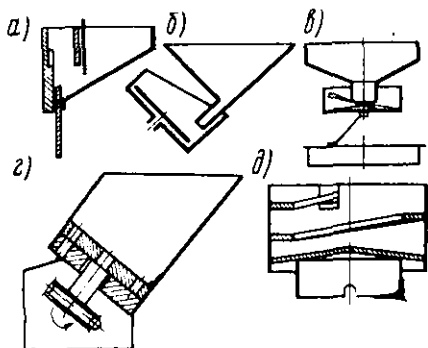


Рис. II.10. Различные схемы емкости бункеров

деталей в минуту; с параллельным расположением захвата —  $450 \div 550$  деталей в минуту (деталей типа винтов, болтов, гаек). Ножевые захваты в бункерах движутся от кривошипного вала с кулачками, расположенными под углом  $180^\circ$ , или от других устройств.

Детали, поданные из бункера в лоток-накопитель, перемещаются дальше самотечным, полусамотечным или принудительным способами транспортирующими устройствами, которые также являются и накопителями.

Самотечные транспортные устройства применяются для перемещения деталей, допускающих удары, полусамотечные и принудительные

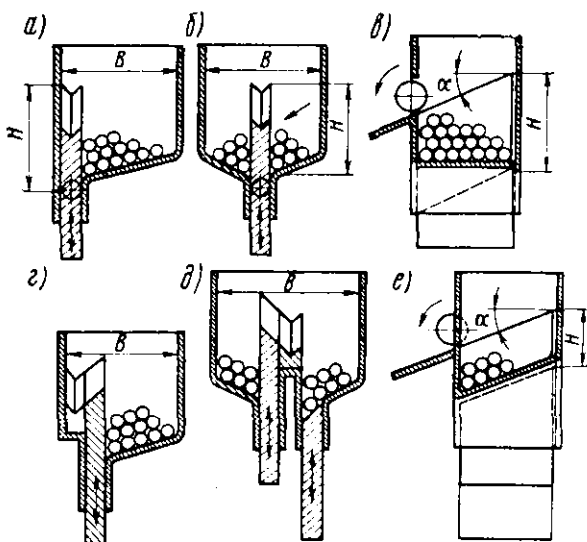


Рис. II.11. Схемы емкостей бункеров с различным расположением ножевых захватов деталей

транспортные устройства — для деталей, между которыми удары недопустимы и их движение должно быть равномерным.

В бункерах последовательного действия рабочая площадь ножа располагается под углом  $\alpha$  к горизонтальной плоскости. Если детали с поверхности ножа движутся в лоток качением, то угол  $\alpha \leq 20^\circ$ , а если скольжением, то  $\alpha = 45^\circ$  ( $H$  — ход ножа бункера).

Ширину  $B$  бункера с ножевым захватом принимают в зависимости от наибольшего размера загружаемых в бункер деталей.

Для бункеров последовательного и параллельного действия с боковым ножевым захватом ширина  $B = (8 \div 10) l$ ; с ножевым захватом, расположенным в центре,  $B = (12 \div 15) l$  (где  $l$  — длина детали, мм).

Глубина бункера зависит от длины  $L$  рабочей поверхности ножа, для загружаемых деталей  $h = (1/4 \div 1/3) L$ .

Длина рабочей поверхности ножа зависит от длины загружаемых деталей:  $L = (7 \div 10) l$ .

Число двойных ходов в минуту ножа-захвата  $n_x = v/(Lp)$ .

Производительность ( $\text{шт/мин}$ ) бункера с ножевым захватом

$$Q = n_x L p z / l,$$

здесь  $v$  — скорость перемещения деталей в рабочей зоне станка, обслуживаемого бункером,  $\text{м/мин}$ ;  $p = 0,5 \div 0,7$  — коэффициент вероятности захватывания ножом деталей из бункера, зависящий от формы и размеров деталей;  $z = 1$  или  $2$  — число ножей в бункере.

Мощность ( $\text{квт}$ ) электродвигателя для перемещения ножа-захвата

$$N = 0,008L.$$

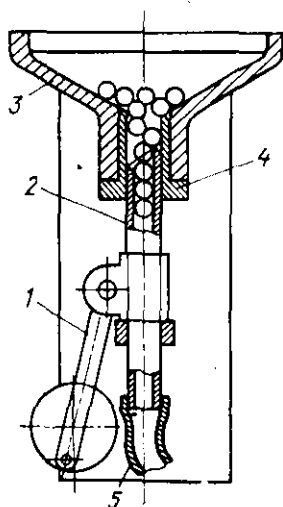


Рис. II.12. Бункер с подвижным трубчатым захватом деталей

**Бункера с трубчатыми захватами.** Такие бункера применяются для захвата и ориентации мелких деталей трубкой бункера.

На рис. II.12 показан трубчатый бункер с возвратно-поступательно движущимся трубчатым захватом и неподвижным корпусом 3 бункера. В нижней части корпуса 3 бункера запрессована втулка 4, внутри которой свободно движется трубчатый захват 2, получающий движение от кривошипного механизма 1, приводимого во вращение от электрического привода. Детали из трубчатого захвата 2 поступают в лоток 5 и затем в питатель или на станок.

Для нормального захвата деталей с отношением  $L/d = 1,0 \div 1,25$ , где  $L$  — длина детали, а  $d$  — диаметр детали, на верхней части захвата 2 имеется скос под углом  $30-45^\circ$ , чтобы не получилось перекрытия отверстия трубчатого захвата деталями. Для длинных деталей конец трубки изготавливают без скоса.

Коэффициент производительности трубчатого бункера

$$K = \sqrt{H_0/l},$$

где  $H_0$  — высота слоя деталей в корпусе бункера;  $l$  — длина или ширина деталей (наибольший размер).

Диаметр корпуса бункера зависит от длины или ширины  $l$  детали

$$D = (10 \div 15)l.$$

Глубина бункера  $h = (0,3 \div 0,5)D$ .

Производительность ( $\text{шт/мин}$ ) бункера

$$Q = n_x p \sqrt{H_0/l} = n_x p K.$$

Мощность ( $\text{квт}$ ) электродвигателя бункера  $N = 0,005l$ .

Трубчатые бункера имеют простую конструкцию, надежны в работе, легко переналаживаются на другие типоразмеры деталей. На производстве трубчатые бункерные загрузочные приспособления не по-

лучили широкого распространения, так как они могут нормально работать только при определенных оптимальных соотношениях размеров загружаемых деталей и их геометрических форм.

**Бункера с двумя полувтулками.** Конструкция бункера с захватно-ориентирующими двумя полувтулками, движущимися возвратно-поступательно вдоль оси, дана на рис. 11.13. Бункер укреплен на кронштейне 1 втулкой 4, на верхнем конце которой на резьбе закреплена втулка 3, являющаяся основанием сварного корпуса 2 бункера. Внутри втулки 4 во вкладышах 5 движутся возвратно-поступательно две полувтулки 6, которые приводятся в движение от рычагов 9, качающихся на осях 10.

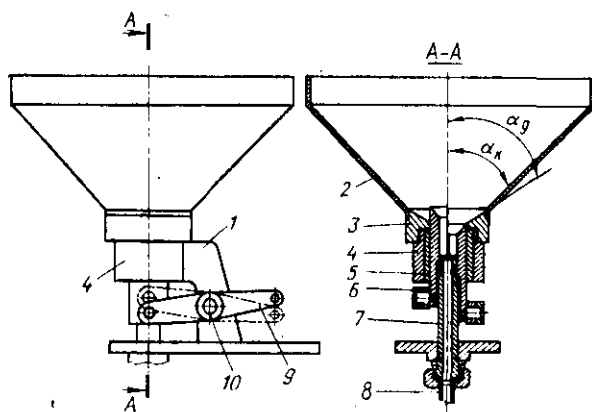


Рис. 11.13. Конструкция бункера с захватно-ориентирующими двумя полувтулками

Загруженные в бункер детали ворошатся движущимися полувтулками 6 и западают в отверстия между ними. Затем детали проходят по неподвижной втулке 7 в трубчатый лоток 8, по которому детали перемещаются в рабочую зону станка.

При конструировании бункера с полувтулками определяют целый ряд величин.

Величина хода полувтулок бункера

$$H = (0,8 \div 1) l.$$

Максимальное число двойных ходов полувтулок в минуту  $n_{\max} = 4000/H$ . Число двойных ходов полувтулок больше 300 брать не следует, так как производительность бункера снижается.

Угол наклона стенок корпуса бункера  $\alpha_k = 45 \div 55^\circ$ .

Угол конуса дна корпуса бункера  $\alpha_d = 55 \div 65^\circ$ .

Угол конуса верхней части движущихся полувтулок принимают  $45^\circ$ .

Диаметр отверстия полувтулок при  $l/d > 1,7$

$$D = 2dn_1 \sqrt{1 + f^2},$$

где  $d$  — диаметр загружаемых деталей;  $f$  — коэффициент трения;  $n_1$  — число двойных ходов полувтулок в минуту.

Средняя скорость возвратно-поступательного движения полувтулок  $v = 70 \div 100$  мм/сек.

Минимальный диаметр корпуса бункера в его верхней части  $D = (10 \div 12) l$ .

Глубина (высота) бункера  $h = D/4$ .

Зависимость между длиной  $l$  и диаметром  $d$  деталей, загружаемых в бункер, следующая:  $l = (1 \div 10) d$ .

Производительность (шт/мин) бункера  $Q = n_x p$ , где  $n_x$  — фактическое число двойных ходов полувтулок в минуту;  $p \approx 0,7$  — коэффициент вероятности захватывания деталей, зависящий от отношений  $l/d$  загружаемых деталей, числа двойных ходов в минуту и величины хода полувтулок.

Средняя производительность бункера примерно 200 деталей в минуту.

Мощность (квт) электродвигателя привода бункера  $N = 0,006l$ .

Бункер с двумя полувтулками служит для подачи на станок небольших стержневых, дисковых или шариковых деталей. Бункер должен загружаться очищенными деталями. В этом бункере не требуется блокировочных устройств; при переполнении трубки или трубчатого

лотка 9 бункер прекратит подачу деталей на станок.

Коэффициент равномерности работы бункера  $\mu_p = 0,7 \div 0,8$ .

**Барабанные бункера.** В загрузочных бункерных приспособлениях (рис. II.14) с вращающимся барабаном на его внутренней поверхности имеются жестко закрепленные захваты 2 (лопасти). Лоток-накопитель или транспортер размещается внутри барабана. Такие приспособления применяются для загрузки станков деталями небольших размеров различной формы.

Детали, находящиеся в нижней части бункера, захватываются лопастями 2 вращающегося барабана 1 (рис. II.14, а, б) и перемещаются вверх, где выпадают из лопастей в лоток-накопитель 3. Детали, занявшие правильное положение в лотке 3, перемещаются по лотку самотеком или принудительно в питатель; детали, занявшие неправильное положение в лотке 3, сбрасываются в барабан бункера. Лоток относительно оси вращения барабана располагают в соответствии с траекторией падения деталей при соскальзывании их с лопастей в лоток. Вращение барабана 1 бункера с лопастями бывает непрерывным и прерывистым.

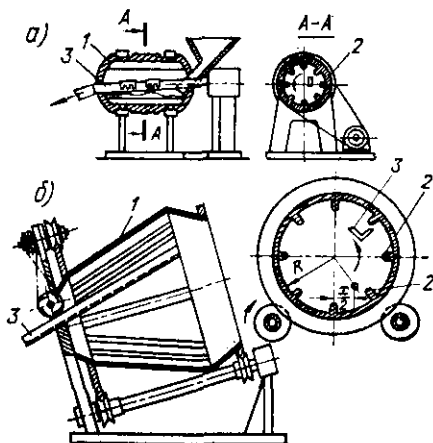


Рис. II.14. Бункерные загрузочные приспособления с барабаном:

а — цилиндрическим; б — коническим

Максимальная производительность барабанных бункеров с непрерывно вращающимся барабаном зависит от величины центробежной силы, которая может так прижать детали к внутренней поверхности барабана, что они перестанут падать с лопастей 2 в лоток-накопитель 3. Коэффициент равномерности подачи деталей из барабанного бункера на станок при постоянном уровне размещения деталей в бункере  $\mu_p = 0,8$  и при переменном  $\mu_p = 0,6 \div 0,7$ .

Диаметр (мм) барабана бункера зависит от длины загружаемых деталей:  $D = (8 \div 10)l$ .

Длина (мм) барабана бункера зависит от длины  $l$  загружаемых деталей и производительности:  $L = (5 \div 7) l$ .

Детали размещаются в нижней части вращающегося барабана бункера. Высота слоя деталей в барабане  $h \approx 3/4R$ , где  $R$  — радиус барабана бункера, мм.

Во время работы бункера центр тяжести массы деталей, находящихся в барабане, смещается в сторону на величину  $x = 0,525$ .

Крутящий момент, необходимый для преодоления момента от действия веса деталей, находящихся внутри барабана,

$$M_{кр} = 0,525Q_1R,$$

где  $Q_1$  — вес деталей, находящихся внутри вращающегося барабана.

Производительность (шт/мин) барабанных бункеров

$$Q = nz (L/l) p,$$

где  $n$  — число оборотов барабана в минуту;  $z$  — число захватов;  $L$  — длина захватов, мм;  $l$  — длина загружаемой детали, мм;  $p$  — вероятное количество захватываемых деталей одним захватом.

Мощность (квт) электродвигателя для вращения барабана с деталями  $N = 0,001 D$ , где  $D$  — диаметр барабана, мм.

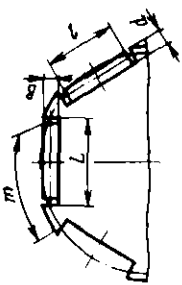
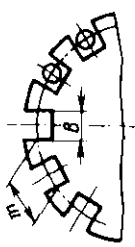
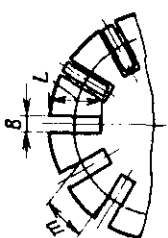
Максимальная скорость вращающегося барабана  $v_{max} = 12$  м/мин.

**Дисковые карманчиковые бункера.** Эти бункера имеют наибольшее практическое применение вследствие высокой производительности. Дисковые карманчиковые бункера используют для загрузки станков стержневыми гладкими деталями с головкой, дисками, кольцами и плоскими деталями. В карманчиковых бункерах (табл. II.4) в дисках пазы для захвата деталей располагаются по хорде диска перпендикулярно плоскости диска и по радиусу диска. Эти бункера разделяют также по виду ориентации деталей в один или два приема.

На рис. II.15 представлен дисковый карманчиковый бункер, применяемый для захвата и ориентации стержневых деталей в один прием. Он имеет неподвижный диск 1, закрепленный на корпусе 4 червячного редуктора 5. Внутри бункера 6 вращается диск 2 с открытыми пазами Б для захвата деталей. На оси 3 червячного колеса редуктора 5 установлен и закреплен диск 2; на наружной поверхности вращающегося диска 2 — жестко лопасти 7 для перемещения деталей и для лучшего заполнения деталями пазов диска 2.

Цилиндрический бункер 6 из листовой стали крепится под углом 30—45° на неподвижном диске 1. Детали загружаются в бункер на поверхность диска 2. Во время вращения диска 2 лопасти 7 захваты-

Размеры (мм) пазов вращающегося диска

| Расположение деталей на диске   | Принципиальная схема                                                               | $L$       | $B$                                                                                                        | $H$              | $m$                  |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------|
| По хорде диска                  |  | $l + 0,5$ | $1,2d$                                                                                                     | $(0,9 \div 1) d$ | $L + (1 \div 1,5) d$ |
| Перпендикулярно плоскости диска |  | —         | $0,9l \left( \text{при } \frac{l}{d} < 1,6 \right)$<br>$1,6d \left( \text{при } \frac{l}{d} > 1,6 \right)$ | $(0,9 \div 1) l$ | $B + (1 \div 1,5) d$ |
| По радиусу диска                |  | $l + 0,5$ | $1,2d$                                                                                                     | $(0,9 \div 1) d$ | $B + (1,5 \div 2) d$ |



вают детали из нижней части бункера и переносят их в зону В. Из зоны В часть деталей, скатываясь вниз, западает в пазы Б вращающегося диска 2 и поднимается вверх, где под действием собственного веса через приемное окно Г в неподвижном диске 1 выпадает в лоток-накопитель.

Правильность захвата и ориентации, а также поштучная выдача деталей зависят от размеров и формы пазов вращающегося диска 2.

Дисковые бункера устанавливают под углом, чтобы загружаемые детали размещались в нижней части бункера и соприкасались с вращающимся диском 2 примерно на  $2/3$  его радиуса.

При поддержании в дисковом бункере постоянного уровня расположения деталей коэффициент равномерности  $\mu_p \approx 0,9$ . Если уровень расположения деталей в бункере изменяется и зависит от промежутка времени загрузки дискового бункера, то при работе до полной выдачи деталей из бункера коэффициент равномерности  $\mu_p \approx 0,7$ .

Диаметр дискового бункера выбирают в зависимости от длины деталей и сил трения, возникающих в бункере при перемещении в нем деталей вращающимся диском 2 с открытыми пазами (захватами). Размеры пазов вращающегося диска даны в табл. II.4.

Диаметр (мм) дисковых бункеров  $D = (16 \div 20) l$ .

Производительность (шт/мин) дисковых карманчиковых бункеров

$$Q = nzk,$$

где  $n$  — число оборотов диска в минуту;  $z$  — число пазов (захватов) во вращающемся диске;  $k = 0,4 \div 0,6$  — коэффициент вероятности захвата вращающимся диском деталей, т. е. отношение фактической производительности бункера к теоретической производительности.

Производительность (шт/мин) дисковых карманчиковых бункеров можно определять и по другой формуле:

$$Q = 1000vk/m,$$

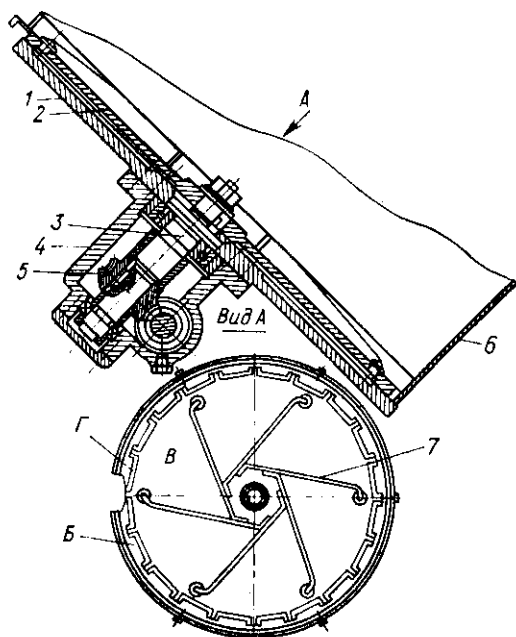


Рис. II.15. Дисковый карманчиковый бункер для захвата, ориентации и подачи деталей

где  $m$  — шаг пазов диска, мм (см. табл. II.4);  $v$  — окружная скорость деталей, перемещаемых в бункере вращающимся диском, м/мин (табл. II.5).

Таблица II.5

Окружная скорость диска и деталей

| Расположение деталей<br>в пазах вращающегося диска | Примерные значения окруж-<br>ной скорости диска и деталей<br>$v_{\text{тах}}$ , м/мин |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| По хорде диска . . . . .                           | 4                                                                                     |
| Перпендикулярно плоско-<br>сти диска . . . . .     | 1,8                                                                                   |
| По радиусу диска . . . . .                         | 13                                                                                    |

Мощность (квт) электродвигателя привода дисковых карманчиковых бункеров

$$N = 2M_{\text{кр}}n/97\,500\eta_m,$$

где  $M_{\text{кр}}$  — крутящий момент, н·м (кГ·см);  $n$  — число оборотов диска в минуту;  $\eta_m \approx 0,85$  — коэффициент полезного действия.

Величина крутящего момента

$$M_{\text{кр}} \approx GR,$$

где  $G$  — вес деталей, загруженных в бункер, н (кГ);  $R$  — радиус вращающегося диска бункера, см.

Максимальная мощность (квт) электродвигателя для привода дисковых карманчиковых бункеров

$$N = 0,005D,$$

где  $D$  — диаметр вращающегося диска, мм.

**Дисковые фрикционные бункера.** Бункерные загрузочные приспособления с фрикционным диском применяют для загрузки станков плоскими деталями типа дисков, колец, фланцев и небольших валиков. На рис. II.16, а дано бункерное загрузочное приспособление с фрикционным вращающимся диском, а на рис. II.16, б—д — различные формы бункеров.

В бункере 1 (см. рис. II.16, а) детали типа колец загружаются навалом на поверхность вращающегося диска 2. За счет силы трения между поверхностью деталей и диском 2 они перемещаются в лоток-накопитель 3, из которого непосредственно или питателем подаются в рабочую зону станка.

При перемещении деталей в фрикционном коническом бункере (см. рис. II.16, б) возникает сила трения между вращающимся диском 2 и деталями, а также между стенками бункера 1 и деталями. Перемещение деталей диском 2 из бункера 1 в лоток-накопитель происходит при условии, что сила трения между вращающимся диском 2 и деталями будет больше силы трения между стенками бункера 1

и деталями; в противном случае подача деталей диском в лоток либо прекращается, либо будет происходить с перебоями.

В бункерных загрузочных приспособлениях применяются различные формы бункеров (см. рис. II.16, б—д), которые выбирают в зависимости от формы и размеров загружаемых деталей.

Более приемлемой в отношении уменьшения величины силы трения является форма бункера (см. рис. II.16, а) при загрузке его обработанными деталями. Для необработанных деталей следует применять формы бункера, показанные на рис. II.16, г и д. В этой форме бункера имеется зона А, над которой находится горизонтальная или наклонная стенка В бункера, уменьшающая нагрузку на детали в зоне А от силы веса всех деталей, загруженных в бункер. Если моменты от силы трения деталей о стенки бункера и поверхность вращающегося диска равны (см. рис. II.16, в), то

$$PR = Gr,$$

где  $P$  — равнодействующая сил давления со стороны загруженных деталей на стенки бункера, кг;  $R$  — расстояние от оси диска до стенки бункера, мм;  $G$  — вес загруженных деталей, непосредственно оказывающих давление на вращающийся диск бункера, кг;  $r$  — расстояние от оси диска до точки сосредоточения веса загруженных деталей, мм.

Чтобы детали из бункера подавались вращающимся диском в лоток, необходимо соблюдать неравенство

$$PR < Gr.$$

Форма вращающегося диска бункера бывает цилиндрической или конической с углом наклона  $30\text{--}40^\circ$  и кольцевым диском с углом наклона  $3\text{--}6^\circ$ .

Число оборотов диска бункера в минуту

$$n = cd' / \eta_0 \pi D_{\text{ср}},$$

где  $c$  — число деталей, которое требуется подавать на станок за определенное время;  $d'$  — диаметр или поперечный размер загруженных деталей, мм;  $D_{\text{ср}}$  — средний диаметр вращающегося диска, на котором размещаются детали, мм;  $\eta_0 = (8 - a) / (10 + a)$  — коэффициент, учитывающий проскальзывание, заторы и другие ненормальности в работе бункера;  $a$  — количество слоев деталей, загруженных в бункер.

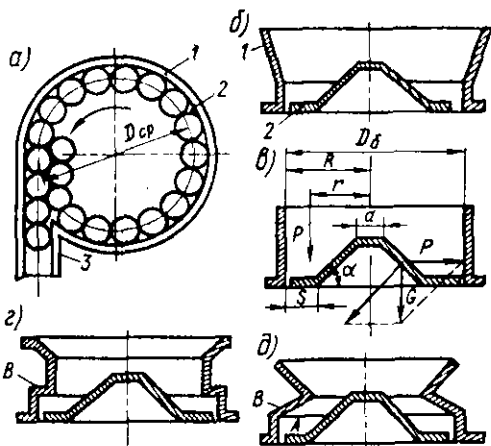


Рис. II.16. Схема бункерного загрузочного приспособления с фрикционным диском для подачи деталей

В бункерах небольшой производительности, до 70 шт/мин, поверхность подающего диска изготавливают конической. В бункерах большой производительности, до 150—900 шт/мин, поверхность подающего диска изготавливают плоской или конической с углом конуса  $\alpha = 20 \div 25^\circ$ .

Мощность (квт) электродвигателя привода бункера

$$N = \frac{2\pi R f [2G'3 + P] n}{75 \cdot 60 \cdot 1,36 \eta_n \cdot 1000},$$

где  $f$  — коэффициент трения загруженных деталей о стенки бункера;  $\eta_n$  — коэффициент полезного действия привода бункера.

Принимают следующие размеры бункера (см. рис. II.16, в): диаметр бункера  $D_b = (10 \div 12) d'$ ;

ширину горизонтальной части вращающегося конусного диска бункера  $s = (1,5 \div 2) d'$ ;

диаметр верхней конической части вращающегося диска бункера  $d = 0,75d'$ ;

высоту загрузки деталей в бункере  $h = (1,5 \div 2)d'$ .

**Вибрационные бункера.** Вибрационные бункера по типам конструкции бывают плоские, круглые и винтовые.

Вибрационные плоские бункера применяются для перемещения деталей сплошным потоком или по нескольким желобам, вибрационные круглые и винтовые бункера — для перемещения деталей вверх по одному винтовому лотку. Движение деталей вверх по лотку вибробункера может происходить безотрывно от поверхности лотка и с периодическим отрывом. Из вибробункера детали подаются для обработки на станок. Вибробункера по сравнению с бункерами других типов имеют следующие преимущества: возможность их применения для подачи на станок разнообразных по форме и размерам мелких деталей, быстрая переналадка вибробункера при переходе с одного типоразмера деталей на другой, простота его регулирования для увеличения производительности, надежность в работе, отсутствие кинематической связи со станком.

Вибробункер имеет привод и состоит из емкости (бункера) с закрепленным внутри лотком, по которому перемещаются и ориентируются детали.

Вибробункера изготавливают по нормальям машиностроения (МН-4234-63) и ВНИТИприбора (Москва) (ОНЗЯ164-68, ОНЗЯ171-68). Наибольшее применение в машиностроении получили вибробункера с электромагнитным приводом.

Вибробункера с электромагнитным приводом изготавливают с одним вертикальным или с несколькими тангенциальными вибраторами. На рис. II.17 представлен вибробункер конструкции ВНИТИприбора с вертикальным электромагнитным вибратором. Он состоит из бункера 1, на внутренней поверхности которого закреплен спиральный лоток, а к наружной поверхности прикреплен лоток для деталей, выходящих из бункера 1.

Нижняя часть 2 вибробункера установлена и закреплена на трех наклонных цилиндрических подвижных стержнях 3 и к ней прикреплен

якорь 4 электромагнита 5, закрепленного на массивной плите 6. Зазор между якорем 4 и электромагнитом 5 можно изменять подъемом или опусканием электромагнита с помощью винтов 7. От величины этого зазора зависит скорость перемещения деталей по спиральному лотку бункера 1. Для виброизоляции вибробункер установлен на резиновых амортизаторах 8. Электромагнитный привод вибробункера закрыт кожухом 9. Питание электромагнита производится от сети

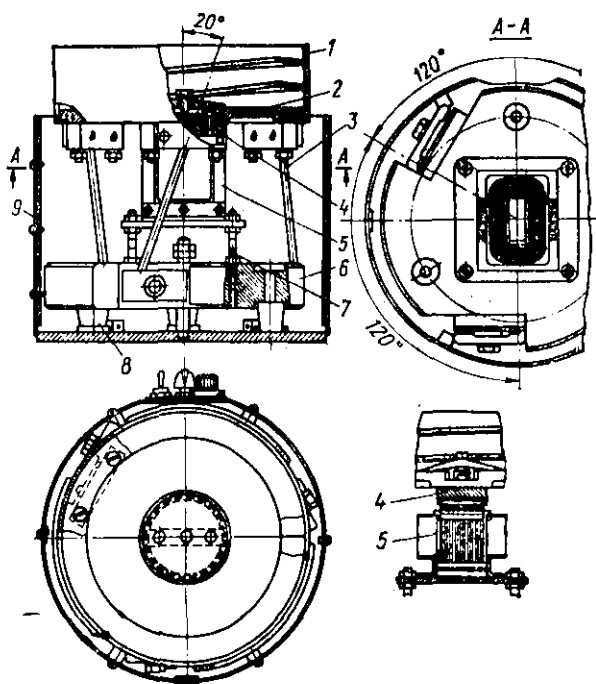


Рис. 11.17. Вибробункер для перемещения деталей вверх с вертикальным электромагнитным вибратором

переменного тока напряжением 220 в. К катушке электромагнита 5 подаются импульсы электрического тока.

Под действием изменяющегося магнитного поля якорь 4 с бункером 1, загруженным деталями, совершает крутильные вибрационные колебания с небольшой амплитудой, равной долям миллиметра. Величина амплитуды, от которой зависит скорость перемещения деталей по винтовому лотку внутри бункера, а следовательно, и производительность бункера, может регулироваться реостатом путем изменения силы тока, поступающего в катушку электромагнита, или в небольших вибробункерах изменением величины воздушного зазора между якорем и электромагнитом.

В крупногабаритных вибробункерах применяют автотранспортеры. Частоту собственных колебаний вибробункера при постоянной

силе тока регулируют изменением рабочей длины наклонных цилиндрических стержней. Следовательно, от рабочей длины цилиндрических стержней зависит резонансная настройка вибробункера.

Способы ориентации деталей типа ступенчатых дисков в вибробункерах. На рис. 11.18 справа показаны небольшие детали типа ступенчатых дисков, получающих заданную ориентацию при перемещении по винтовому лотку вибробункера. На рис. 11.18 представлены четыре различных положения, которые могут занимать ступенчатые

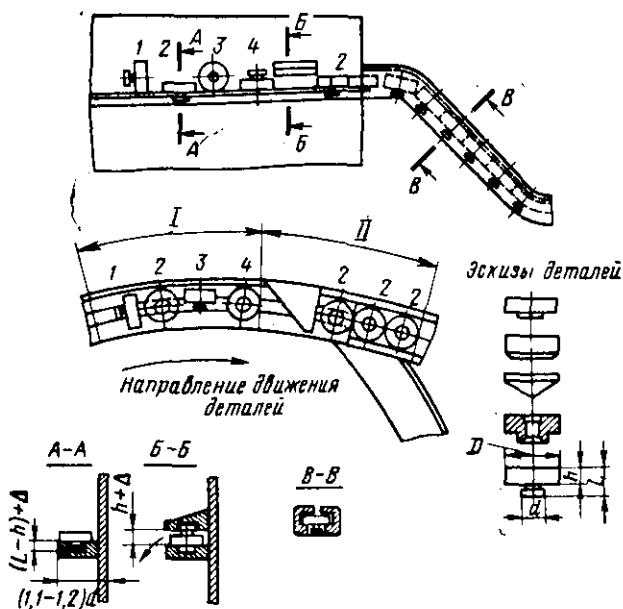


Рис. 11.18. Ориентация небольших ступенчатых дисков при их перемещении по лотку вибробункера

диски при движении на участке I винтового лотка вибробункера. В положении 1 деталь размещается на лотке цилиндрической поверхностью с направлением малого уступа вперед или назад и осью детали параллельно направлению ее движения в лотке. В положении 2 деталь размещается на лотке торцом малого уступа вниз, а торцом большого уступа вверх от лотка, в положении 3 — на спиральном лотке цилиндрической поверхностью большого уступа с расположением малого уступа справа или слева относительно направления движения детали. При этом ось детали располагается перпендикулярно направлению ее движения в спиральном лотке. В положении 4 деталь размещается на спиральном лотке торцом большого уступа вниз, а торцом малого уступа вверх. Расположение оси детали вертикально, но параллельно направлению ее движения в лотке.

Деталь в лотке вибробункера должна быть ориентирована в положении 2 и в таком виде подана к питателю. Чтобы все детали, проходя-

щие по лотку вибробункера, занимали положение 2, в винтовом лотке по всей длине имеется паз глубиной  $(L - h) + \Delta$  и шириной  $(1,1 + 1,2)d$  (сечение А—А). Все детали, перемещающиеся по лотку в неправильно ориентированном положении 1, 3 и 4, отсекателем сбрасываются на дно вибробункера. Отсекатель установлен над плоскостью лотка на высоте  $h + \Delta$  (сечение В—В). Следовательно, по участку II винтового лотка детали перемещаются только в положении 2. Далее с участка II детали в положении 2 попадают в изогнутый выходной лоток, пройдя который, они поступают к питателю. Профиль выходного лотка показан на рис. II.18 (сечение В—В).

Способы ориентации деталей типа ступенчатых и конических валиков в вибробункерах. На рис. II.19 справа показаны детали не-

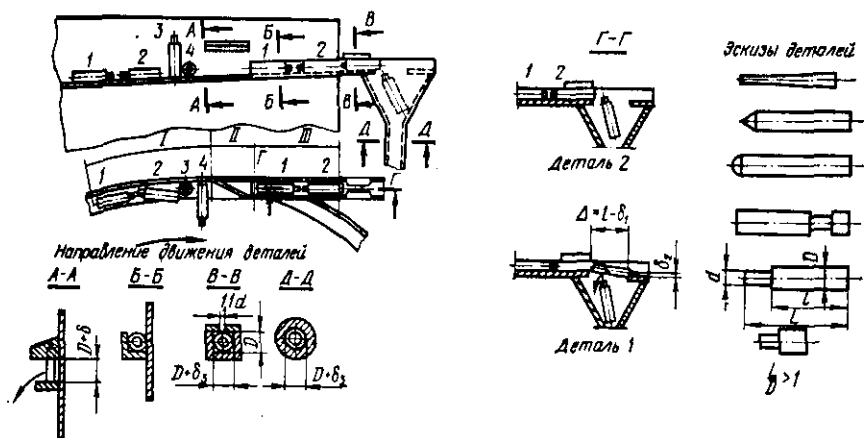


Рис. II.19. Ориентация небольших ступенчатых и конических валиков при перемещении по винтовому лотку вибробункера

больших размеров типа ступенчатых и конических валиков, получающих заданную ориентацию при перемещении по винтовому лотку вибробункера.

При ориентации деталей, имеющих форму тел вращения, большое значение имеет смещение центра тяжести деталей. В случае перемещения таких деталей с небольшими размерами и весом влияние расположения центра тяжести на ориентацию значительно уменьшается. На рис. II.19 показаны четыре различных положения, которые могут занимать ступенчатые и конические валики при перемещении на участке I винтового лотка вибробункера.

В положении 1 деталь размещается на лотке цилиндрической поверхностью большого диаметра, а цилиндрической поверхностью меньшего диаметра — вперед в направлении движения деталей по лотку. При этом ось детали располагается или параллельно или под небольшим углом к направлению движения детали в лотке. В положении 2 деталь располагается на лотке цилиндрической поверхностью большого диаметра, а цилиндрической поверхностью меньшего диаметра — назад относительно направления перемещения деталей по лотку. При

этом ось детали располагается или параллельно или под небольшим углом к направлению движения детали по лотку. В положении 3 деталь размещается на лотке торцом цилиндрической поверхности большого диаметра, а цилиндрической поверхностью меньшего диаметра — вверх от поверхности лотка. В этом случае ось детали располагается вертикально. В положении 4 деталь размещается на спиральном лотке частью цилиндрической поверхности большого диаметра с расположением цилиндрической поверхности меньшего диаметра к оси бункера. При этом ось детали располагается перпендикулярно направлению движения детали.

Детали в лотке вибробункера должны быть ориентированы в положении 2. Из вибробункера к питателю ступенчатые валики необходимо подавать в вертикальном положении торцом цилиндрической поверхности большого диаметра вниз.

На участке II над лотком вибробункера на высоте  $D + \delta$  установлен отсекаТЕЛЬ. ОтсекаТЕЛЬ сбрасывает с лотка все детали, перемещающиеся в положении 3 и 4 (сечение А—А). Следовательно, на участке III (сечение Б—Б) детали перемещают в положении 1 или 2. Пройдя участок III лотка вибробункера, детали поступают в вертикальный лоток, имеющий на верхнем конце конус, внутри которого находится ориентирующий порог. Он пропускает без изменения ориентации детали, идущие цилиндром большого диаметра вниз, и поворачивает их на  $180^\circ$ , если они идут цилиндром малого диаметра вниз.

**Расчет параметров вибробункера с электромагнитным приводом.** Габаритные размеры вибробункеров в основном зависят от формы и размеров загружаемых деталей:

глубина (мм) вибробункера  $h = (0,2 \div 0,3) D$ ;

внутренний диаметр (мм) вибробункера зависит от длины перемещаемых деталей (большие величины коэффициентов принимаются для меньших диаметров вибробункера):  $D = (6 \div 12) l$ , где  $l = (25 \div 250)$  — длина загружаемых деталей, мм.

Коэффициент проходимости деталей в вибробункере

$$\eta_{пр} = (G - W_0)/G,$$

где  $G$  — вес детали, перемещаемой в вибробункере, кг;  $W_0$  — сопротивления, встречающиеся на пути детали при перемещении ее в вибробункере, в виде неровностей поверхности (шероховатость и кривизна стенок вибробункера и т. д.), кг.

Практически  $\eta_{пр} = (0,7 \div 0,97) l$  (большие значения  $\eta_{пр}$  принимают для загружаемых деталей большей длины).

Одновременное движение лотка вибробункера и детали определяется неравенством

$$F_{тр} \geq F_c,$$

где  $F_{тр}$  — сила трения между поверхностью лотка вибробункера и перемещаемой в бункере деталью, кг;  $F_c$  — сила сопротивления перемещению детали по поверхности лотка вибробункера, кг;

шаг спирального лотка вибробункера  $s = 1,5h_d + \delta$ , где  $h_d$  — высота перемещаемой детали в плоскости, перпендикулярной ее движению



по лотку вибробункера, мм;  $\delta = 1,5 \div 2$  — толщина стенки лотка, мм;

угол подъема лотка вибробункера  $\operatorname{tg} \alpha = s/\pi D$ , принимают угол  $\alpha = 2 \div 4^\circ$ ;

ширина (мм) лотка вибробункера  $B = b_d + (2 \div 3)$ , где  $b_d$  — ширина перемещаемой детали, мм;

средняя скорость (мм/сек) перемещения деталей в лотке вибробункера

$$v_{cp} = Ql/60k,$$

где  $Q$  — производительность вибробункера, шт/сек;  $k = 0,5 \div 0,8$  — коэффициент заполнения вибробункера;

производительность (шт/сек) вибробункера при установившемся режиме работы

$$Q = v_{cp}pk/l,$$

где  $p = 0,33$  — вероятность ориентации деталей в лотке вибробункера;  $l$  — длина перемещаемой детали в направлении ее движения вдоль лотка, мм.

Колебания вибробункера осуществляются с помощью электромагнитных вибраторов, работающих с частотой 50 и 100 гц. Частота 100 гц применяется у вибробункеров для перемещения небольших деталей с диаметром бункера до 250 мм, частота 50 гц — для вибробункеров с диаметром бункера до 500 мм.

На основании наблюдения за работой вибробункеров можно сделать вывод, что их целесообразно использовать для перемещения мелких деталей. При перемещении средних и более крупных деталей вибробункера сильно шумят. Вибрационные бункера нормализованы.

#### § II.4. Питатели автоматических загрузочных приспособлений

Питатели — это механизмы, служащие для перемещения штучных деталей из емкости бункера или накопителя в ориентированном положении в рабочую зону или на транспортную систему станка.

Конструкция питателей, их форма, размеры и привод подвижных частей для перемещения деталей зависят от типа станка, взаимного расположения подаваемой детали и инструмента, а также от формы и размеров подаваемых на станок деталей.

Перемещение питателя жестко связано с кинематикой станка и входит в цикл его работы. Каждое автоматическое загрузочное устройство имеет питатель соответствующей конструкции.

По виду движения звена, перемещающего деталь, питатели разделяются на следующие четыре типа: с возвратно-поступательным (рис. II.20, а), возвратно-качательным (рис. II.20, б), вращательным (рис. II.20, в) и комбинированным (рис. II.20, г) движением.

Питатель наиболее совершенной конструкции состоит из корпуса, захвата для зажима детали, механизма перемещения и привода. Питатель наименее совершенной конструкции не имеет захвата для детали. Следовательно, он не может захватывать и переносить деталь, а может только проталкивать ее. Такой питатель состоит из корпуса, толкателя и привода.

Все типы питателей в зависимости от вида привода для звена, подающего деталь на станок, разделяются на механические, пневматические, гидравлические, электромеханические.

Питатели с захватами применяются для перемещения таких деталей, которые должны сохранить неизменным свое первоначальное положение.

Захваты питателя бывают жесткие, полужесткие и нежесткие.

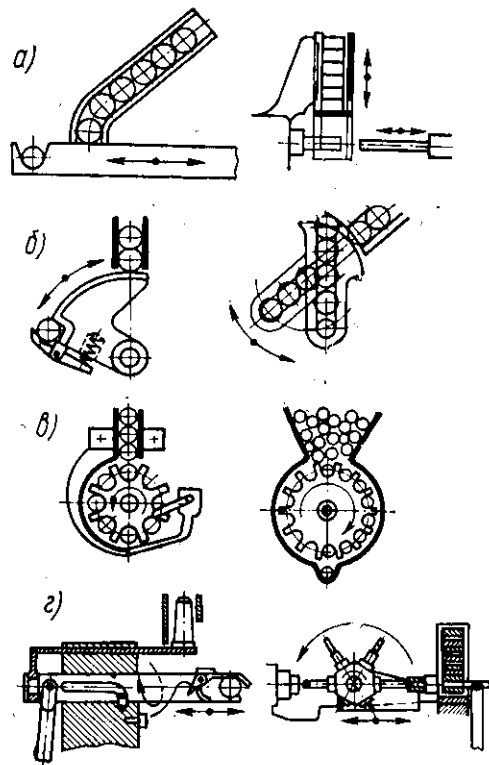


Рис. 11.20. Схемы питателей автоматических загрузочных приспособлений

Одновременно сжатый воздух будет выпущен из нижней полости пневмокамеры 3 в атмосферу и пружина переместит зажим 4, шток 2 и диафрагму вниз и деталь будет разжата.

Когда толкатель 7 находится в крайнем правом положении, то под действием силы тяжести из лотка 9 накопителя перемещается вниз очередная деталь, которая размещается перед толкателем. Далее цикл повторяется.

На рис. 11.22, а, б дана схема питателя движкового типа с возвратно-поступательным движением ползуна 1, гнездом (захватом) для установки детали 5 и подпружиненной губкой для зажима детали.

На рис. 11.21 дана схема питателя с возвратно-поступательным движением толкателя 7 (штока) пневмоцилиндра 11. При подаче тока в обмотку электромагнита золотника 12 его плунжер 13 поднимается и сжатый воздух из сети, пройдя через золотник, по трубопроводу поступает в правую полость пневмоцилиндра 1. Под давлением воздуха поршень 10 со штоком 7 будет перемещаться влево и шток вытолкнет из лотка 9 деталь 8 и переместит ее в рабочую зону станка, или в станочное приспособление 6. В это же время сжатый воздух из золотника 12 по трубопроводу 1 поступает в нижнюю полость пневмокамеры 3. Диафрагма, прогибаясь, переместит шток 2 с зажимом 4 вверх и деталь 5 будет зажата в приспособлении. При опускании плунжера 13 воздух подается в левую полость пневмоцилиндра 11, поршень 10 со штоком 7 переместится вправо в исходное положение.

The diagram illustrates a pneumatic control system. At the top, a valve assembly (1) is shown with a vertical stem (2) and a horizontal actuator arm (5). The actuator arm is connected to a horizontal pipe (6) that leads to a stack of horizontal tubes (8). A vertical pipe (9) connects the top of the tube stack to a horizontal pipe (10) that enters a cylindrical chamber (11). Inside this chamber, there are four horizontal arrows pointing to the right, indicating the direction of air flow. A vertical pipe (7) connects the bottom of the tube stack to the bottom of the chamber (11). A curved pipe (1) leads from the bottom of the chamber (11) to a solenoid valve (12). The solenoid valve has two ports: one labeled "Ток от цепи управления" (Current from the control circuit) and another labeled "Воздух из сети" (Air from the network). The solenoid valve is connected to a network of pipes (13) that leads back to the top of the chamber (11), completing the loop.

Высоту гнезда выбирают такой, чтобы ось перемещаемой детали располагалась ниже центров станка на 2 мм, тогда при установке на центры станка деталь не будет упираться в нижнюю плоскость гнезда ползуна питателя. После закрепления детали на центрах станка ползун перемещается в исходное положение, при этом подпружиненная губка 4 *а)* деталью отклоняется вниз и проходит под ней, а затем под действием пружины 2 снова прижимается к ползуну питателя.

питателя, а не на откидной его губке 4. Верхняя плоскость ползуна питателя при перемещении детали в зону обработки станка должна быть заподлицо с нижней точкой поверхности очередной детали (см. рис. II.22, а). Это условие будет выполнено, если верхняя плоскость ползуна 1 будет располагаться ниже верхней точки перемещаемой детали на величину  $a$ . Если верхняя плоскость ползуна питателя не будет заподлицо с очередной деталью, находящейся в лотке 6, то

деталь опустится на величину  $a$  (см. рис. II.22, б). При перемещении ползуна влево деталь может заклинить между передней стенкой лотка 6 и наклонной плоскостью ползуна 1 и вызвать нарушение работы питателя.

Поверхность сопряжения верхней плоскости ползуна 1 питателя и наклонной стенки его приемного гнезда должна быть закруглена по радиусу  $R \geq 0,15d$  и тщательно обработана (см. рис. II.22, а).

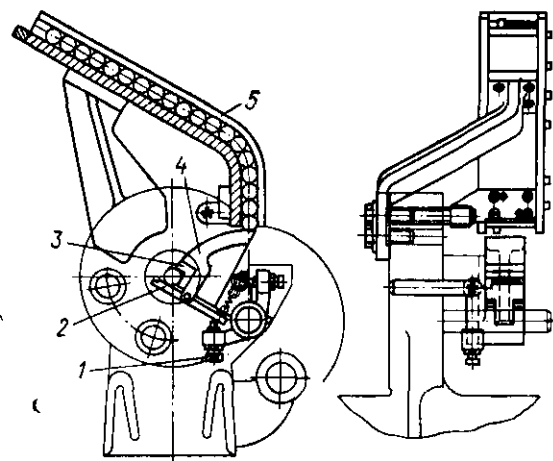


Рис. II.23. Схема механического питателя автоматического загрузочного приспособления

Передняя часть ползуна питателя, где находится приемное гнездо, может быть сменной. В маятниковом механическом питателе (рис. II.23) перемещение детали из лотка 5 в рабочую зону станка производится рычагом 4, совершающим возвратно-качательное движение на оси. Когда рычаг 4 находится в исходном верхнем положении, его приемное гнездо размещается против отверстия

лотка 5, подпружиненная губка 2 упирается в стенку лотка 5 и, отжимаясь, пропускает из лотка в приемное гнездо очередную деталь. При движении рычага 4 с деталью в рабочую зону станка деталь зажата губкой 2. Во время перемещения детали отверстие в лотке перекрывается сектором рычага 4 и детали не могут выпасть из лотка.

Когда питатель с деталью переместится в рабочую зону станка, то его подпружиненная губка 2 будет отжата упором 1 и деталь освободится от зажима. При этом деталь будет установлена на центрах станка или в станочном приспособлении.

Для перемещения деталей разных размеров и формы питатель имеет сменный захват 3.

По конструкции маятниковые питатели проще питателей с возвратно-поступательным движением. Маятниковые механические питатели перемещаются с помощью кулачков с рычагами или рейкой с зубчатым колесом.

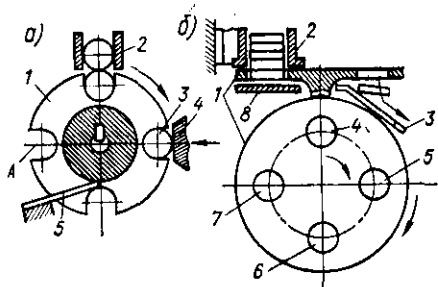


Рис. II.24. Схемы поворотных питателей автоматического загрузочного приспособления

На рис. II.24, а дана схема барабанного питателя. На вращающемся барабанном питателе размещается несколько одинаковых приемных гнезд *А* для транспортировки деталей. Барабан *1* питателя совершает периодические вращательные движения в направлении, указанном стрелкой. При очередном повороте барабана *1* одно из его приемных гнезд точно устанавливается против выходного отверстия лотка *2* и в него западает деталь. Затем барабан поворачивается на четверть окружности и переносит деталь в рабочую зону *3*, где она зажимается прижимом *4* и обрабатывается на станке. После обработки деталь разжимается, барабан поворачивается на четверть оборота и переносит деталь вниз, где она выпадает из гнезда под действием силы тяжести или выбрасывается упором *5* и попадает в тару.

На рис. II.24, б дана схема дискового питателя. На вращающемся диске *1* питателя имеются несколько одинаковых приемных позиций *4* — *7* для перемещения деталей. Под вращающимся диском *1* установлен неподвижный диск *8*, на который опираются детали, находящиеся в гнездах диска *1*. Диск *1* питателя установлен на вертикальной оси и периодически поворачивается на четверть окружности. При очередном повороте диска одна из его позиций, например *7*, совпадает с выходным отверстием лотка *2* и нижняя деталь западает в позицию *7* диска *1*, опираясь торцом на неподвижный диск *8*. Затем диск *1* с деталью поворачивается на четверть окружности в направлении, показанном стрелкой, и деталь переместится из позиции *7* на позицию *4*, на которой она зажимается и обрабатывается. После обработки деталь разжимается и диск *1*, поворачиваясь на четверть окружности, переместит обработанную деталь с позиции *4* на позицию *5*. В этой зоне неподвижный диск *8* имеет вырезанный сектор; деталь, лишенная опоры диска *8*, из отверстия диска *1* упадет на лоток *3* и, скользя по лотку, попадет в тару.

Комбинированные питатели имеют различные виды движений при перемещении детали из лотка накопителя в рабочую зону станка.

## **§ II.5. Отсекатели автоматических загрузочных приспособлений**

Отсекатели применяются в загрузочных приспособлениях для отделения детали (или нескольких) от общего потока деталей, находящихся в лотке-накопителе, при этом она самотеком перемещается в захват питателя загрузочного приспособления или в зону обработки станка.

Необходимость установки отсекателя в загрузочных приспособлениях определяется в зависимости от габаритных размеров детали и ее формы, от конструкции лотка-накопителя. Отсекатели применяются также для изменения направления движения перемещаемых деталей. В некоторых конструкциях загрузочных приспособлений отсекаТЕЛЬ заменяет питатель, а в других загрузочных приспособлениях имеются и отсекаТЕЛЬ, и питатель.

Перемещение (качение, вращение) отсекателя осуществляется от собственного привода или от других механизмов загрузочного приспособления. Отсекатели работают синхронно с питателем загрузоч-

ного приспособления. По конструкции отсекатели бывают движковые, штифтовые, кулачковые, барабанные, дисковые.

Движковый отсекатель для поштучной выдачи деталей (рис. II.25, а) имеет шток 1, который, перемещаясь влево, выталкивает одну деталь из лотка 3 в лоток 2, удерживая все детали, находящиеся в лотке 3. Из лотка 2 деталь перемещается в питатель или рабочую зону станка.

Отсекатель штифтовой двойного действия (рис. II.25, б) для поштучной выдачи деталей состоит из двух штифтовых отсекателей 1 и 3, которые последовательно заходят в отверстия лотка 2. Отсекатель 1, выйдя из отверстия лотка, пропускает очередную (нижнюю) деталь из лотка 2, в захват питателя, а отсекатель 3, находясь в лотке, удерживает от перемещения вниз все детали, находящиеся в лотке 2.

Штифты-отсекатели 1 и 3 подвижно закреплены на осях в рычаге 5. Этот рычаг через отросток 6 получает качательное движение около оси 4 и сообщает возвратно-поступательное движение отсекателям 1 и 3.

На рис. II.25, в дан штифтовой качающийся отсекатель для поштучной выдачи деталей. Штифтовые отсекатели 1 и 5 размещены с разных сторон лотка 2 и закреплены на качающемся вильчатом рычаге 4, установленном на оси 3. При нажиме подвижной части станка на горизонтальное плечо рычага 4 последний поворачивается около оси 3 и отсекатель 5, войдя в лоток, задерживает детали, а отсекатель 1, выйдя из лотка, пропускает из него одну деталь в питатель.

На рис. II.25, г показан кулачковый отсекатель. В нем имеются два кулачка 1 и 2, установленные на оси 4 со смещением одного кулачка относительно другого на некоторый угол. При возвратно-качательном вращении кулачков 1 и 2 на оси 4 кулачок 2, пропустив очередную (нижнюю) деталь в питатель, удерживает все заготовки в лотке 3. При последующем качательном вращении кулачков 1 и 2 на оси 4 кулачок 1 отделит одну очередную деталь от остальных и она упадет в питатель. В это время кулачок 2 выведен из лотка 3 и поэтому не будет удерживать деталь от перемещения из лотка в питатель.

На рис. II.25, д даны барабанные отсекатели. Они имеют барабан или диск 1 с гнездами, форма которых зависит от формы перемещаемых деталей. Барабанный или дисковый отсекатель 1 при перемещении деталей вращается от привода. При очередном повороте барабанного или дискового отсекателя 1 на некоторый угол одна деталь, западая из

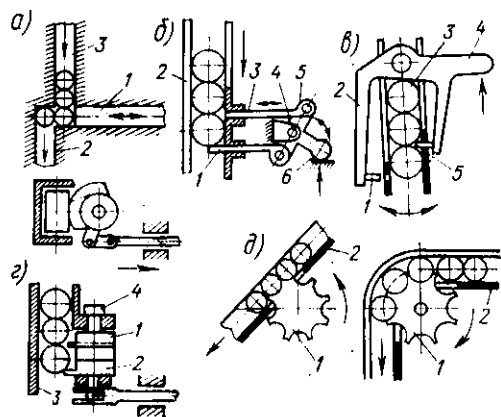


Рис. II.25. Схема отсекателей для поштучной выдачи деталей из лотков загрузочных приспособлений

лотка 2 в его гнездо, отделяется от остальных деталей и передается в питатель, а остальные детали удерживаются отсекателем 1 в лотке 2.

Барабанные и дисковые отсекатели имеют большую производительность, чем штифтовые. Для успешной работы отсекателей всех разновидностей должно быть хорошее перемещение деталей в лотках. Подача деталей к отсекателям может быть принудительная и самотечная.

## **§ II.6. Типовые конструкции автоматических загрузочных приспособлений для загрузки станков штучными деталями**

Магазинное загрузочное приспособление типа 1 МП к токарному многолезцовому станку. Загрузочное приспособление (рис. II.26) применяется для автоматического перемещения и установки заготовки детали в рабочую зону станка, для снятия обработанной детали и перемещения ее из рабочей зоны станка. Загрузочное приспособление можно использовать для загрузки токарного многолезцового станка деталями типа дисков, колец, зубчатых цилиндрических колес. Примерная форма и габаритные размеры загружаемых деталей показаны на рис. II.26 внизу.

Обрабатываемые детали автоматически устанавливаются базовым отверстием на разжимной оправке и снимаются. Оправка расположена в конусе шпинделя станка.

Автоматическое загрузочное приспособление состоит из лотка-накопителя для хранения запаса заготовок; питателя для подачи и установки заготовок на оправку станка, съема и перемещения обработанных деталей из рабочей зоны станка; отводящего лотка, в который питатель сбрасывает обработанные детали и они, перемещаясь в лотке самотеком, скатываются в тару, и привода разжимной оправки.

Заготовки деталей 15 размещаются в наклонном лотке 14 и под тяжестью собственного веса периодически самотеком перемещаются справа налево. Очередная заготовка детали, находящаяся на левом конце наклонного лотка 14, пропускается отсекателем 16 и, скатываясь вниз под действием собственного веса, попадает в приемную часть патрона 12 на призму 11 и поддерживается двумя кулачками 9. Затем заготовка детали подается питателем в рабочую зону станка и устанавливается на разжимной оправке для обработки. После обработки питатель снимает с разжимной оправки обработанную деталь и перемещает ее из рабочей зоны станка к отводящему лотку. Возвратно-поступательное движение питателя производится от пневмопривода. Пневмопривод состоит из пневмоцилиндра 6, в котором перемещается поршень 7 со штоком 8. Шток 8 соединен с патроном (питателем) для установки и зажима заготовок и перемещения патрона с заготовками к оправке и для съема с оправки обработанных деталей и перемещения их к отводящему лотку.

Патрон имеет два диска 3 и 4, соединенных между собой подвижными рычагами, закрепленными на осях. Вследствие подвижного соединения диски 3 и 4 могут сближаться или расходиться. Они находятся

в сближенном состоянии, когда питатель подает заготовку в рабочую зону станка для установки на оправке. В сближенном положении диски 3 и 4 патрона удерживаются фиксирующим механизмом 1, а кулачки 9 сдвинуты к центру.

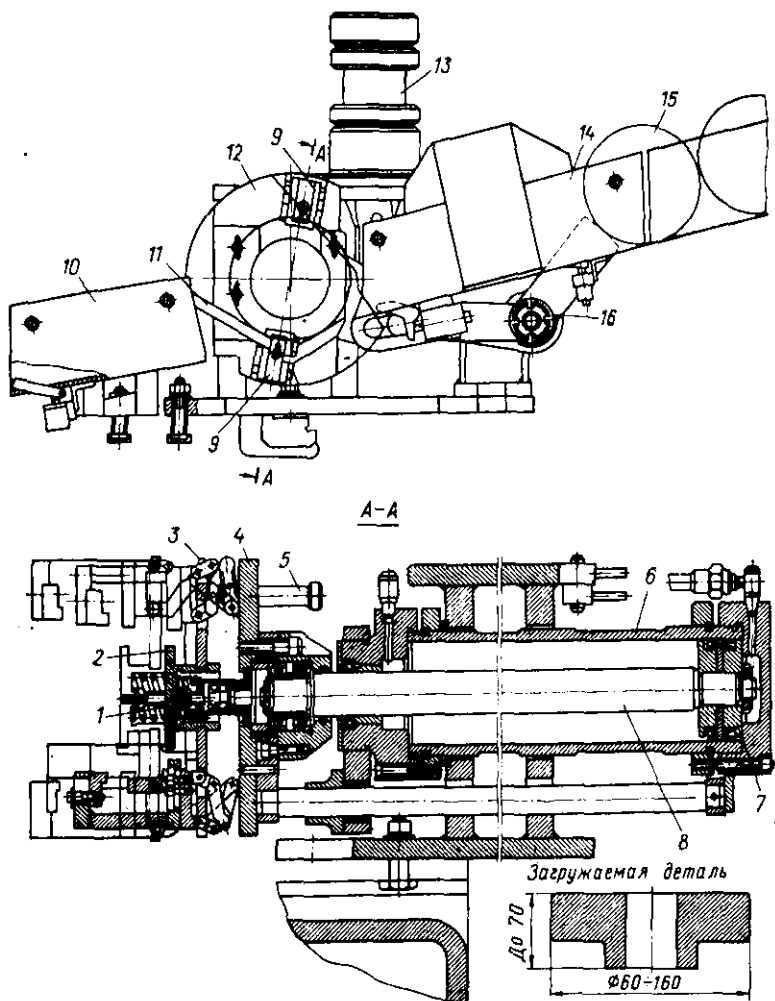


Рис. II.26. Магази́нное загрузочное приспособление типа 1 МП к токар-ному станку

В раздвинутом положении диски 3 и 4 патрона находятся, когда питатель перемещается к передней бабке станка для снятия с оправки обработанной детали и перемещения ее в отводящий лоток 10.

Штыри 5 являются направляющими для параллельного перемещения дисков 3 и 4 патрона при их сближении или удалении. Кулачки 9 сходятся к центру или расходятся при нажиме на упор 2.



При перемещении поршня со штоком в пневмоцилиндре 13 вверх шток через рычаг поворачивает патрон 12 с обработанной деталью на небольшой угол и деталь скатывается из патрона в отводящий лоток 10, а очередная заготовка из лотка 14 закатывается в зев отсекавателя 16. Во время перемещения поршня со штоком в пневмоцилиндре 13 вниз шток через рычаг поворачивает патрон 12 около оси на небольшой угол и одна заготовка из отсекавателя 16 под действием собственного веса скатывается на призму 11 патрона 12.

Подача заготовок из лотка 14 в патрон 12, перемещение заготовок к передней бабке станка, установка заготовок и снятие деталей с оправки и перемещение деталей к отводящему лотку производятся пневмоприводами.

По пневмоцилиндрам приводов сжатый воздух распределяется командоаппаратом, управляемым путевыми переключателями.

#### Основные технические данные приспособления

|                                                      |       |
|------------------------------------------------------|-------|
| Диаметр обрабатываемых деталей, мм:                  |       |
| наибольший . . . . .                                 | 160   |
| наименьший . . . . .                                 | 60    |
| Длина обрабатываемых деталей, мм . . . . .           | до 70 |
| Время загрузки обрабатываемых деталей, сек . . . . . | 9—10  |

**Магазинное загрузочное приспособление типа 1МВ к токарному многорезцовому станку.** На рис. II.27, а дано загрузочное приспособление для автоматической загрузки токарных многорезцовых станков деталями, представленными на рис. II.27, б. Конструкция загрузочного приспособления состоит из магазина 1 и питателя с пневмоцилиндром 8, поршнем 9 и штоком 2. Корпус магазина (лотка) 1 крепится к задней части станины станка. Одна из двух направляющих стенок магазина 1 может передвигаться по его пазам для изменения расстояния между стенками магазина в зависимости от длины заготовки вала. На конце штока 2 пневмоцилиндра питателя закреплен захват 3 с рычагами 4, поддерживающими заготовку, переместившуюся из магазина 1 на захват 3 в его исходном положении.

Деталь после обработки перемещается по двум наклонным направляющим (на рисунке показана одна правая направляющая 5) как по лотку. Каждая из направляющих крепится на кронштейне, установленном на поворотном валу 7. На поворотном валу рядом с кронштейнами закреплены зубчатые секторы 6, находящиеся в зацеплении с двумя рейками, установленными на нижней плоскости направляющих 5. С кронштейнами зубчатые секторы 6 связаны подпружиненными шариковыми фиксаторами. Вал 7 поворачивается вертикальной рейкой от копира, установленного на задней стенке суппорта станка. После обработки детали суппорт находится в крайнем левом положении и направляющие 5 подняты. При движении суппорта станка к задней бабке вертикальная рейка перемещается копиром вниз, поворачивая вал 7 с зубчатыми секторами 6. Зубчатые секторы через рейки поворачивают кронштейны с двумя направляющими 5 и обработанной деталью вниз.

На рис. II.28 показана пневматическая схема работы загрузочного приспособления 1МВ. При нажатии кнопки *Пуск* срабатывает

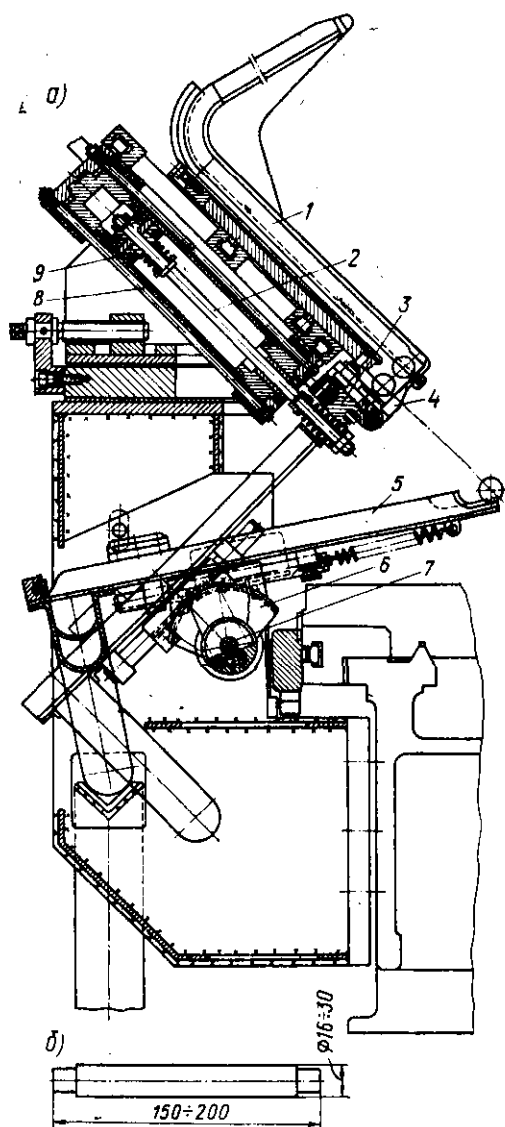


Рис. II.27. Магазинное загрузочное приспособление типа 1МВ к токарному многорезцовому станку

электромагнит 1Э воздухо-распределителя 7. Сжатый воздух, пройдя через обратный клапан 5, поступает в верхнюю полость пневмоцилиндра 4. При этом поршень 9 со штоком 2 (см. рис. II.27, а) и захватом 3 питателя, захватив заготовку вала из магазина 1, перемещаются вниз и подают заготовку вала на линию центров станка.

На корпусе захвата 3 (см. рис. II.27, а) питателя закреплена тяга 3 (см. рис. II.28) с двумя упорами А и Б. Когда шток питателя переместит заготовку вала на линию центров станка, упор А включает путевого выключатель 1ПВ, подающий команду на электромагнит 2Э воздухо-распределителя 8. В этом положении воздухо-распределитель 8 подает воздух в правую полость пневмоцилиндра 9 задней бабки. В этом случае пиноль задней бабки с центром перемещается влево и обрабатываемая деталь устанавливается на центрах станка. Во время перемещения пиноли 11, в крайнее левое положение тяга, закрепленная на пиноли, упором 10 нажимет на путевого выключатель 2ПВ, включающий электромагнит 3Э воздухо-распределителя 7. При этом сжатый воздух по трубопроводу 6 поступает в нижнюю полость пневмоцилиндра 4 и поршень со штоком и закрепленным на нем захватом питателя воз-

вращаются в исходное положение. В верхнем исходном положении из магазина 1 на захват 3 питателя с подпружиненными рычагами 4 (см. рис. II.27, а) западает одна заготовка вала. В это же время нижний

упор *Б* тяги *З* (см. рис. II.28) включает путевой переключатель *ЗПВ*, включающий в работу главный электродвигатель *1* станка, и происходит обработка детали. После обработки детали подвижная тяга *14* упирается в жесткий упор *15* и включает путевой переключатель *5ПВ*. В результате этого суппорт *13*, на котором установлен копир с упором, быстро перемещается к задней бабке станка в исходное положение.

В исходном положении суппорта упор на его копире *12* включает путевой переключатель *4ПВ*, который воздействует на электромагнит *4Э* воздухохораспределителя *8*. При этом воздух подается в левую полость

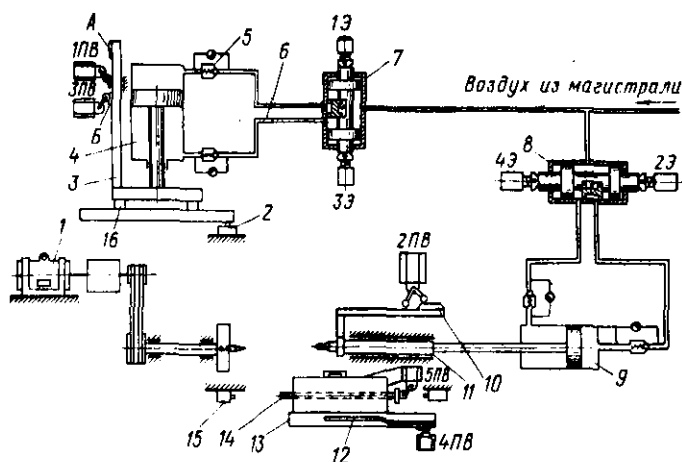


Рис. II.28. Пневматическая схема магазинного загрузочного приспособления типа I MB

пневмоцилиндра *9*, поршень со штоком и пинолью с центром перемещаются вправо и обработанная деталь освобождается от установки на центрах, падает на направляющие лотки и скатывается вниз и, попадая на склиз, самотеком перемещается в тару.

При перемещении пиноли *11* задней бабки в крайнее правое положение тяга упором *10* нажимает на путевой переключатель *2ПВ*; он срабатывает и подает команду на перемещение питателя с очередной заготовкой вала на линию центров станка. Далее цикл работы станка повторяется.

Наличие заготовок в магазине контролируется микропереключателем *2*. Станок может работать на автоматическом цикле при наличии в магазине заготовок вала: если заготовки в магазине отсутствуют, то станок останавливается.

#### Основные технические данные приспособления

Диаметр обрабатываемого вала, мм:

|            |    |
|------------|----|
| наибольший | 30 |
| наименьший | 16 |

Длина обрабатываемого вала, мм:

|                                                           |       |
|-----------------------------------------------------------|-------|
| наибольшая . . . . .                                      | 260   |
| наименьшая . . . . .                                      | 150   |
| Емкость магазинного приспособления, шт. . . . .           | 20—40 |
| Время загрузки и разгрузки станка деталями, сек . . . . . | 5—6   |

**Магазинное загрузочное приспособление к токарному многорезцовому гидрокопировальному полуавтомату.** На рис. II.29 показан общий вид станка с магазинным загрузочным приспособлением для автоматической установки на центры и снятия с центров станка обрабатываемых ступенчатых валов. Узлы загрузочного приспособления установлены на гидрокопировальном станке и около него. Приспособление может загружать станок ступенчатыми валами различных размеров.

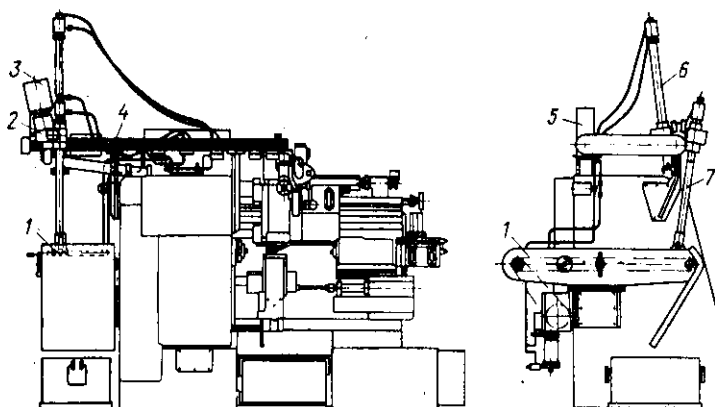


Рис. II.29. Общий вид загрузочного приспособления к токарному многорезцовому гидрокопировальному полуавтомату

Загрузочное устройство имеет цепной транспортер 1 с пневматическим приводом, расположенный с левой стороны станка, два автооператора (питателя) 6 и 7 с пневмоприводом. Автооператоры 6 и 7 установлены в корпусе 2, который перемещается по шлицевому валу 4 вправо при переносе заготовки вала с цепного транспортера 1 к рабочей зоне станка и влево при переносе обработанного вала от рабочей зоны до цепного транспортера 1.

Перемещение корпуса 2 с автооператорами производится от винтовой пары, вращаемой клиноременной передачей от электродвигателя 5. Каждый автооператор может перемещаться вниз и вверх от индивидуального электромотора 3.

Управление циклом работы каждого узла загрузочного приспособления производится с помощью конечных выключателей, которые дают команду на начало последующего движения соответствующего узла.

На рис. II.30 представлено устройство автооператоров 1 и 7. Перемещение автооператора 1 с заготовкой вала из верхнего исходного положения вниз производится для установки заготовки вала на цент-

рах станка; вверх автооператор 1 перемещается без заготовки. Автооператор 7 вниз идет один, в рабочей зоне станка он захватывает обработанный вал и перемещается с ним вверх.

Рассмотрим кинематику перемещения автооператоров 1 и 7 вниз и вверх. От вала электродвигателя 6, установленного на каждом автооператоре, вращение передается через дисковую фрикционную муфту 8, на вал четырехзаходного червяка 9, вращающего червячное колесо 4. Последнее установлено на одном валу с зубчатым цилиндрическим колесом 3, находящимся в зацеплении с рейкой, имеющейся на пустотелом корпусе автооператора.

При вращении цилиндрического колеса 3 по часовой стрелке или против оно, находясь в зацеплении с рейкой пустотелого корпуса автооператора 1, будет перемещать его вверх или вниз. На конце пустотелых корпусов автооператоров 1 и 7 установлены клещевые захваты для зажима заготовки и готовой детали. На верхнем конце пустотелого корпуса автооператора 1 расположен пневмоцилиндр 5. Во время подачи сжатого воздуха в верхнюю полость пневмоцилиндра 5 его поршень и шток 13 перемещаются вниз, при этом палец 14, закрепленный на нижнем конце штока 13, перемещается в закрытых пазах клещей и губки 15 раскрываются, освобождая заготовку детали от зажима в случае установки ее на центрах. Во время подачи сжатого воздуха в нижнюю полость пневмоцилиндра 5 его поршень и шток 13 с пальцем 14 перемещаются вверх, при этом палец 14, перемещаясь в закрытых пазах клещей, сводит губки 15 и деталь будет зажата и снята с центров.

Перемещение корпуса 2 с двумя автооператорами 1 и 7 вдоль шлицевого вала производится двухзаходным винтом 12 и гайкой 10, установленной на планке корпуса. Винт вращается через клиноременную передачу от привода загрузочного приспособления, состоящего из электродвигателя и электромагнитного тормоза.

Рассмотрим цикл работы автоматического загрузочного приспособления. В исходном левом положении корпус 2 с автооператорами находится над транспортером 1 (см. рис. II.29). В этом положении автооператор 1 (см. рис. II.30) готов для захвата заготовки вала, а автооператор 7 с обработанной деталью находится в верхнем поло-

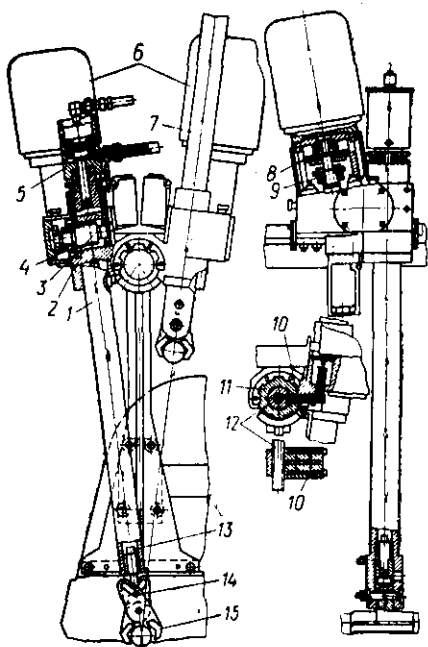


Рис. II.30. Конструкция автооператора загрузочного приспособления к многорезцовому гидрокопировальному полуавтомату

жении. Получив команду, автооператор 1 перемещается вниз и губками клещевых захватов зажимает заготовку, лежащую на цепном транспортере, затем с заготовкой быстро перемещается в верхнее исходное положение. Далее получает команду на перемещение вниз к транспортеру автооператор 7. В нижнем положении губки клещевых захватов автооператора 7 разжимаются, обработанная деталь падает на цепной транспортер, и автооператор 7 с раскрытыми клещевыми захватами быстро поднимается вверх. Затем корпус 2 (см. рис. II.30) с двумя автооператорами 1 и 7 перемещается ходовым винтом 12 вдоль шлицевого вала 11 к передней бабке и, дойдя до середины шлицевого вала, корпус 2 останавливается. В это время в рабочей зоне станка обрабатывается заготовка вала. После обработки детали корпус 2 с автооператорами 1 и 7 получит команду на перемещение по шлицевому валу 11 вправо до рабочей зоны станка.

При положении корпуса 2 с автооператорами 1 и 7 над рабочей зоной станка автооператор 7 получает команду на перемещение вниз. В нижнем положении губки клещевых захватов автооператора 7 зажимают обработанную деталь. В это время пиноль задней бабки с центром отходит вправо и освобождает обработанную деталь. После этого корпус 2 с автооператорами и обработанной деталью перемещается к задней бабке на 30—40 мм, для того чтобы вывести левый конец вала из кулачков патрона. Затем подается команда, и автооператор 7 с зажатой обработанной деталью быстро перемещается вверх. Далее автооператор 1 с зажатой заготовкой вала перемещается вниз до совмещения оси заготовки с осью центров станка и передвигается вдоль оси станка к передней бабке на 30—40 мм, чтобы завести левый конец заготовки в кулачки патрона и установить ее на передний центр. Затем пиноль задней бабки с центром перемещается к валу, центр пиноли входит в центровое отверстие вала, и последний устанавливается на центрах станка и зажимается кулачками патрона. Далее губки клещевых захватов автооператора 1 разжимают заготовку, после чего автооператор поднимается вверх. После съема обработанной детали и установки заготовки на центры станка корпус 2 с автооператорами 1 и 7 перемещается винтом 12 по шлицевому валу 11 справа налево до цепного транспортера, освобождая рабочую зону станка; включается станок, суппорты с резцами подходят к заготовке вала и производят ее обработку. В момент работы автооператоров по съему готовой детали и установке заготовки на центры станка, цепной транспортер перемещается на один шаг и обработанная деталь выпадает из призм цепи транспортера в отводящий лоток, а вместо нее в призмы устанавливается очередная заготовка вала. Цепь транспортера перемещается на один шаг от пневмопривода.

Корпус 2 с двумя автооператорами, придя в крайнее левое положение, установится над цепным транспортером. Автооператор 7, опустившись вниз, разожмет обработанную деталь и установит ее на призмы цепного транспортера и переместится вверх, затем автооператор 1 переместится вниз, зажмет заготовку, находящуюся в призмах цепного транспортера, и поднимается с нею вверх. Далее цикл работы загрузочного устройства и станка будет повторяться.

Все перемещения узлов загрузочного устройства производятся от электрической путевой системы с помощью кулачков, действующих на конечные выключатели. Конструкция загрузочного устройства разработана станкозаводом «Красный пролетарий».

**Магазинное загрузочное приспособление к вертикально-сверлильному станку.** На рис. 11.31, а дано магазинное приспособление для автоматической загрузки заготовками зубчатого цилиндрического колеса вертикально-сверлильного станка, на рис. 11.31, б — форма и размеры заготовки зубчатого колеса. На станке установлено пнев-

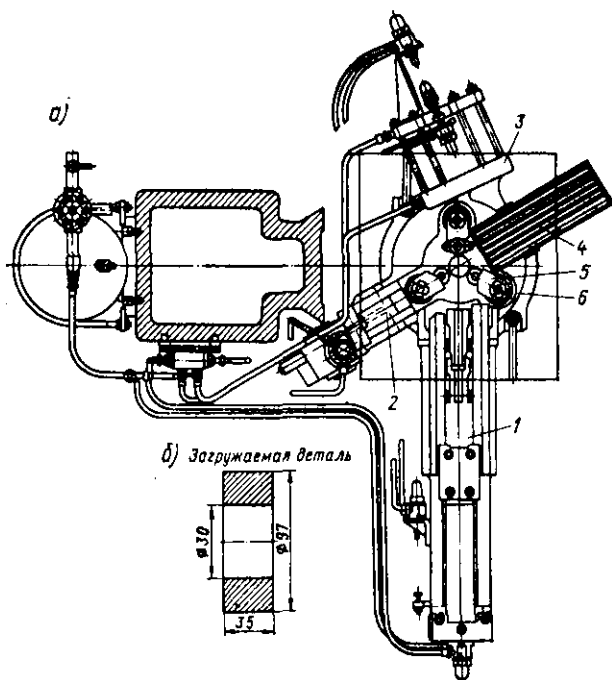


Рис. 11.31. Магазинное загрузочное приспособление к вертикально-сверлильному станку

матическое приспособление 6 с тремя кулачками 5 для зажима обрабатываемой детали от пневмопривода 3 и механизмом 2 для выталкивания обработанной детали на отводящий лоток 4. Механизм 1 подает заготовки в приспособление 6.

Вертикально-сверлильный станок с загрузочным приспособлением показан на рис. 11.32. Заготовка детали специальным подающим механизмом 2 устанавливается в приспособлении 6 и зажимается кулачками 5, поворачиваемыми через промежуточные звенья от пневмопривода.

Автоматическая подача шпинделя станка с режущим инструментом 4 при обработке отверстия в детали производится от пневмогидропривода 1. После обработки детали пневмопривод приспособ-

ления 6 через промежуточные звенья поворачивает кулачки 5 и обработанная деталь разжимается. При этом шпindel с режущим инструментом 4 поднимается пневмогидроприводом 1 вверх, а обработанная деталь специальным механизмом 3 выталкивается из приспособления в отводящий лоток 7.

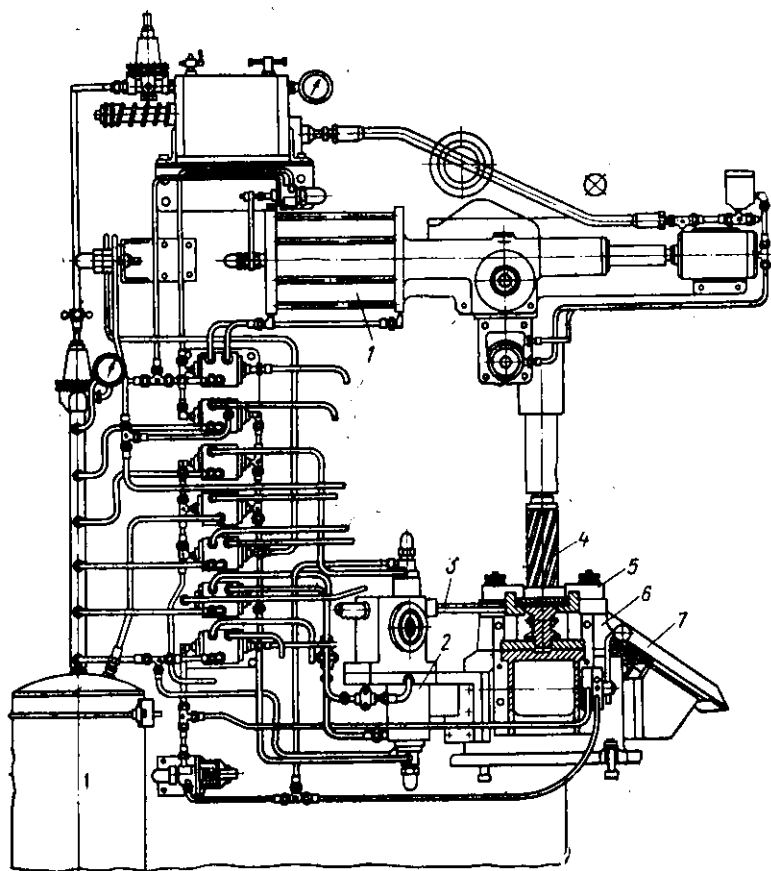


Рис. II.32. Вертикально-сверлильный станок с автоматическим загрузочным приспособлением

Работа приспособления с пневмоприводом показана на рис. II.33. Во время подачи сжатого воздуха в левую полость пневмоцилиндра 4 поршень 5 со штоком-рейкой 3 перемещается вправо. При этом шток-рейка, находящаяся в зацеплении с большим цилиндрическим зубчатым колесом 6, поворачивает его около оси на небольшой угол. В этом случае зубчатое колесо 6, находясь в зацеплении с тремя малыми зубчатыми цилиндрическими колесами 2, изготовленными за одно целое с валами, поворачивает их также на небольшой угол.

На верхнем конце валов-колес 2 закреплены кулачки 1, которые, поворачиваясь вместе с ними, зажимают заготовку детали в приспособ-



собрании. Во время подачи сжатого воздуха в правую полость пневмоцилиндра 4 поршень 5 со штоком-рейкой 3 перемещается влево. При этом шток-рейка через большое зубчатое колесо 6 поворачивает

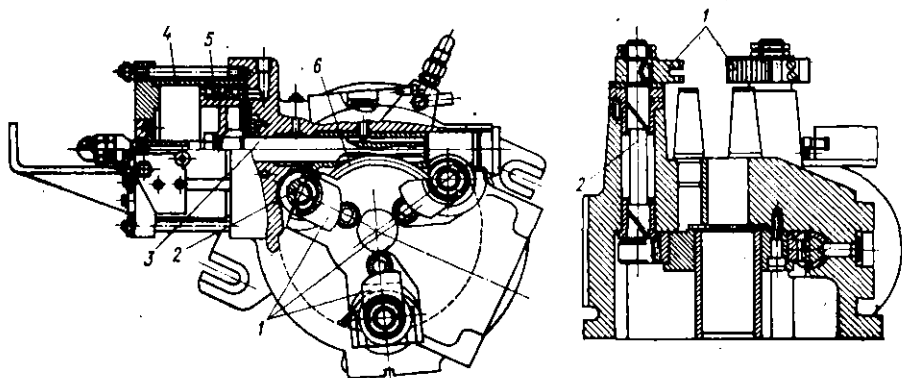


Рис. 11.33. Конструкция зажимного приспособления с пневмоприводом

валы колеса 2 с кулачками 1, которые разжимают обработанную деталь.

На рис. 11.34 дана конструкция выталкивателя деталей из приспособления. Во время подачи сжатого воздуха в нижнюю полость

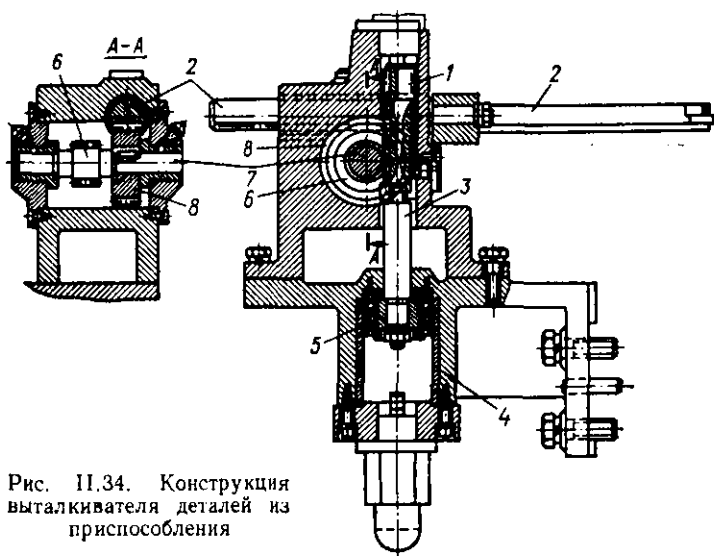


Рис. 11.34. Конструкция выталкивателя деталей из приспособления

пневмоцилиндра 4 поршень 5 со штоком 3 перемещается вверх. При этом рейка 1, закрепленная на верхнем конце штока 3, будет поворачивать зубчатое цилиндрическое колесо 6 с валом 7, на котором закреплено цилиндрическое зубчатое колесо 8, находящееся в зацеплении

с рейкой выталкивателя 2. Правый конец выталкивателя 2, упираясь в наружную поверхность обработанной детали, вытолкнет ее из станочного приспособления в отводящий лоток.

В случае подачи сжатого воздуха в верхнюю полость пневмоцилиндра 4 поршень 5 со штоком 3 перемещается вниз. При этом рейка 1 поворачивает зубчатое колесо 6 с валом 7 и колесом 8 по часовой стрелке. Во время поворота колесо 8, находясь в зацеплении с рейкой выталкивателя 2, переместит его в левое исходное положение. Приспособление разработано Московским автозаводом им. Лихачева.

**Магазинное загрузочное приспособление типа ПИ1-105К к вертикально-протяжному станку.** Загрузочное приспособление применяется для автоматической подачи заготовок деталей на станок и съема со станка обработанных деталей. Загрузочное приспособление может подавать для обработки на станок цилиндрические детали типа втулок, дисков, шестерен диаметром от 80 до 260 мм и высотой до 100 мм.

Схема загрузочного приспособления (рис. 11.35) состоит из магазинов 14 и 16 с тремя стойками 15. В магазине 16 на трех стойках 15 размещаются стопкой заготовки, а в магазине 14 на трех стойках 15 — стопкой обработанные детали. Загрузочное приспособление имеет две подвижные плиты 2 и 13 для поддержания постоянного уровня стопки заготовок и стопки готовых деталей в магазинах 14 и 16.

После каждого цикла работы станка подвижная плита 2 перемещается с заготовками вверх на высоту заготовки, а подвижная плита 13 — с готовыми деталями вниз на ту же высоту. При подаче масла в верхнюю полость гидроцилиндра 4 его шток-рейка 5, опускаясь, будет вращать зубчатое колесо 6, передающее вращение верхней звездочке 3, которая через цепь 1 вращает нижнюю звездочку 3. При этом площадка 2, закрепленная на цепи 1, поднимает заготовки, установленные отверстием на штыре магазина 16, вверх на величину, равную высоте заготовки. После прекращения подачи масла в гидроцилиндр 4 площадка 2 вместе с заготовками удерживается давлением масла в трубопроводе на определенной высоте.

Вращение от звездочек 3 через промежуточные звенья, расположенные внизу (см. рис. 11.35), передается двум звездочкам 11, соединенным цепью 12, на которой закреплена плита 13, поддерживающая обработанные детали, установленные на штыре. Плита 13 опускается на расстояние, равное подъему плиты 2, т. е. на высоту заготовки.

После перемещения плит 2 и 13 подается масло в соответствующую полость гидроцилиндра 8. Поршень со штоком 10 гидроцилиндра 8 не перемещается, а корпус гидроцилиндра 8 с закрепленными двумя захватами 7 и 9 перемещается вправо или влево. При подаче масла в правую полость гидроцилиндра 8 он с двумя захватами 7 и 9 будет перемещаться вправо. Захват 7 перемещает заготовку от магазина 16 на рабочую позицию, а захват 9 — обработанную деталь до магазина 14. При подаче масла в левую полость гидроцилиндра 8 он с захватами 7 и 9 перемещается в левое исходное положение, включается станок и в детали протягивается отверстие. После израсходования всех заготовок с одного штыря магазина 16 полностью заполнен готовыми деталями один штырь магазина 14. Подвижная плита 2 будет

находиться в исходном положении, а подвижная плита 13 — в крайнем нижнем положении, станок автоматически выключается.

Во время подачи масла в нижнюю полость цилиндра 4 шток-рейка 5, перемещаясь вверх, вращает зубчатое колесо 6 и звездочки 3 с цепью 1 в другую сторону. При этом плита 2 опускается, а плита 13 поднимается в исходное положение; далее магазины 16 и 14 поворачиваются и в паз плиты 2 входит штырь с заготовками, а в паз плиты 13 — штырь без деталей; после этого станок включается на автоматический цикл работы.

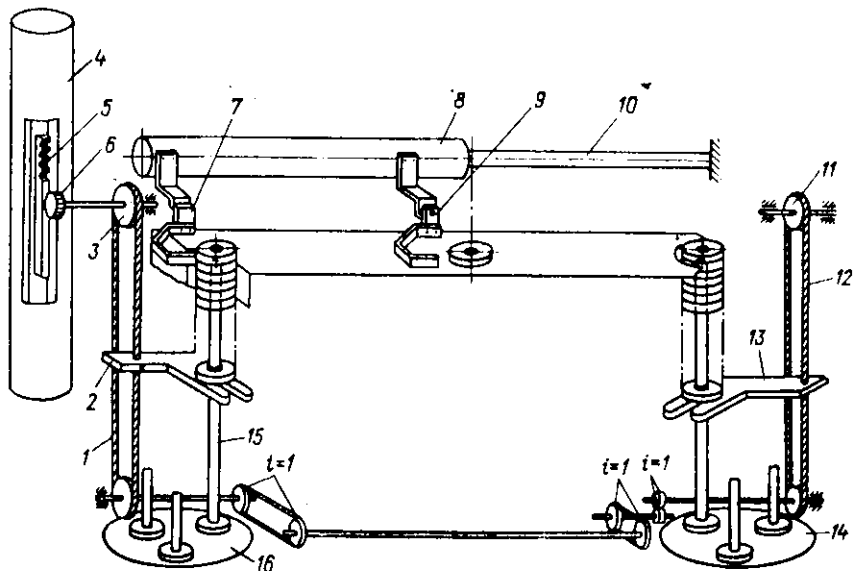


Рис. П.35. Схема загрузочного приспособления к вертикально-протяжному станку ПИ1-105К

**Магазинное загрузочное приспособление типа 5П23А-43 к зуборезным станкам.** На рис. П.36 дано загрузочное приспособление, применяемое для автоматической загрузки зуборезных станков заготовками конических зубчатых колес со спиральными зубьями. Загрузочное приспособление состоит из нескольких узлов: дискового магазина 5 с пальцами 6, на которые рабочий вручную устанавливает заготовки колес; механизма для периодического поворота дискового магазина 5 с запасом заготовок; питателя с захватом (автооператора) для подачи заготовок колес со штырей дискового магазина в приспособление станка; цангового приспособления для установки и зажима заготовки; устройства для зажима и разжима цанги и механизма для удаления обработанной детали из цанги.

На пальцы 6 дискового магазина 5 отверстиями устанавливаются 20 заготовок колес. В зависимости от габаритных размеров заготовок колес дисковый магазин с пальцами меняется. Магазинный диск 5 с запасом заготовок на пальцах 6 периодически поворачивается около

оси и фиксируется. При подаче масла в верхнюю полость гидроцилиндра 8 его поршень 7 со штоком-рейкой 9, перемещаясь вниз, поворачивает зубчатое колесо 11, находящееся в зацеплении с рейкой на сухаре 12, и перемещает сухарь. На сухаре 12 имеются два наклонных выступа А и Б со скосами, направленными в разные стороны. Выступы А и Б производят поворот и фиксацию диска 13 с зубьями на торцах.

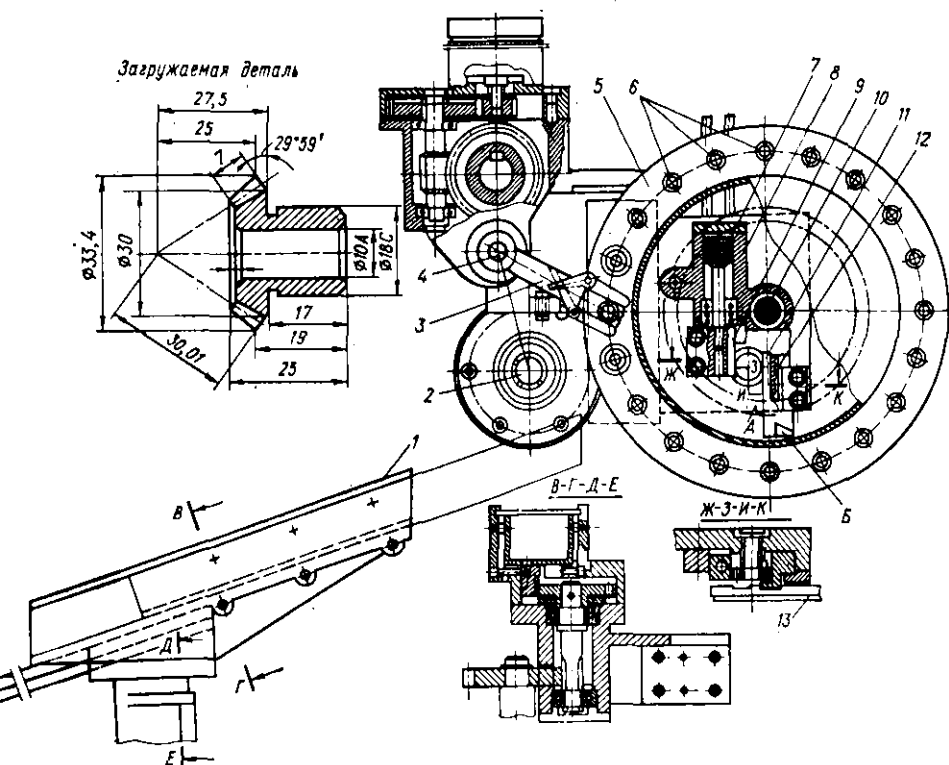


Рис. 11.36. Магазинное загрузочное приспособление типа 5П23А-43 для загрузки зуборезных станков

Диск 13 установлен и закреплен на одной оси 10 с дисковым магазином 5. Когда сухарь 12 от поршня 7 и штока-рейки 9 перемещается вниз, его наклонный выступ А запирает, т. е. фиксирует, положение диска 13, а следовательно, и дисковый магазин 5 с заготовками.

При движении сухаря 12 от поршня 7 и штока-рейки 9 вверх его наклонный выступ Б скосом поворачивает диск 13 и дисковый магазин 5 на угол, соответствующий расстоянию между осями двух смежных пальцев. Питатель 3 загрузочного устройства установлен на валу 4, на нижнем конце питателя закреплены две подпружиненные губки 2. Питатель 3 подпружиненными губками, зажав очередную заготовку зубчатого колеса, снимает ее с пальца дискового магазина 5, переносит в рабочую зону станка и устанавливает в цанговую оправку, где

деталь зажимается. Затем питатель 3 возвращается к дисковому магазину, который поворачивается на одну позицию. Далее стол станка с зажатой в цанге заготовкой колеса перемещается к режущему инструменту, станок включается на рабочий цикл и производится нарезание спиральных зубьев на заготовке конического колеса. После нарезания зубьев на колесе стол станка с обработанной деталью от-

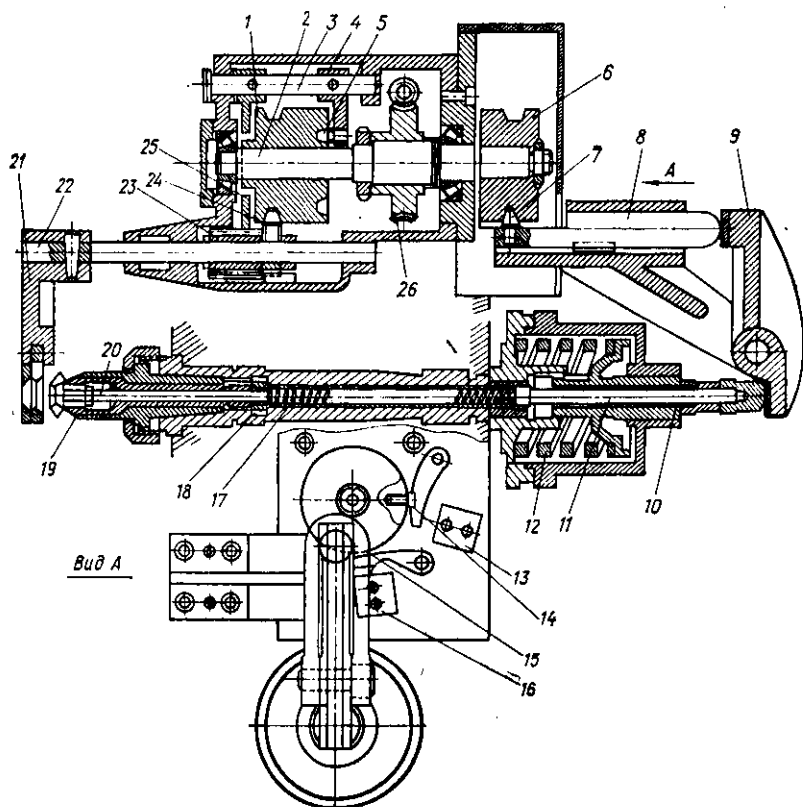


Рис. 11.37. Продольный разрез загрузочного приспособления типа 5П23А-43 к зуборезным станкам

ходит в исходное положение и цанговая оправка разжимает зубчатое колесо. Затем зубчатое колесо выталкивается из цанговой оправки и падает в отводной лоток 1.

На рис. 11.37 дан продольный разрез загрузочного приспособления. На распределительном валу 2 установлен копирный барабан 1. Поворот питателя 21 с губками около оси 22 производится от зубчатого колеса 23, находящегося в зацеплении с зубчатым сектором 25. На левом конце валика 3 закреплен зубчатый сектор, а на правом его конце — рычаг 4, на нижнем конце которого закреплен ролик 5. Ролик перемещается по пазу на торце копирного барабана 1. Продольное перемещение питателя 21 с губками при установке колеса в цангу

19 производится роликом 24, перемещающимся в пазу на цилиндрической поверхности копирного барабана 1.

Заготовка колеса зажимается по наружной поверхности ступицы колеса лепестками цанги 19. Сжатие лепестков цанги при зажиме заготовки происходит под действием упругих сил пружины 12 через втулку 10 и две тяги 11 и 18. После нарезания зубьев производится разжим цангой зубчатого колеса от копирного барабана 6, закрепленного на распределительном валу 2. Во время поворота барабана 6 около оси в его пазу перемещается ролик 7, закрепленный в пол-

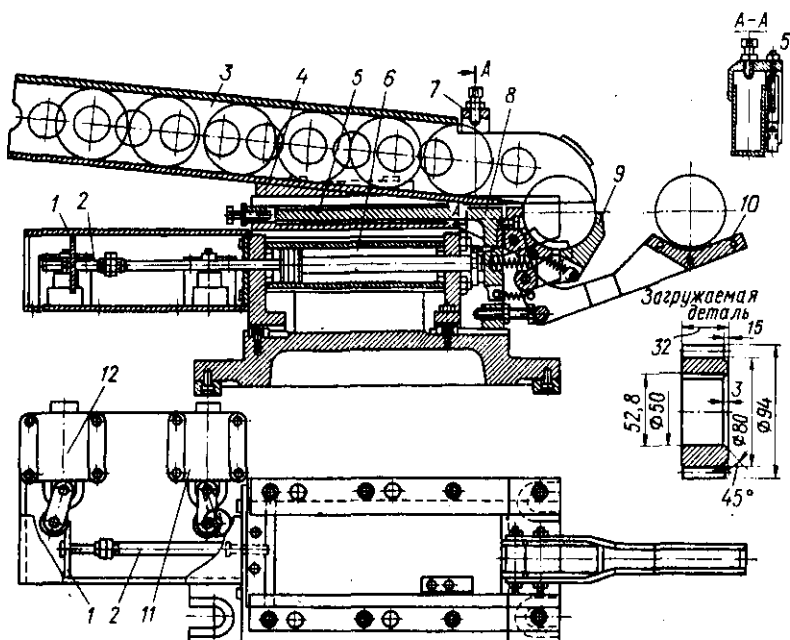


Рис. 11.38. Магази́нное загрузочное приспособление для загрузки зубо-швинтовального станка

зуне 8. При этом ползун, перемещаясь вправо, нажимает на верхний конец рычага 9, поворачивает его на оси, а нижний конец рычага 9 через втулку 10 сжимает пружину 12 и перемещает влево тяги 11 и 18, которые, нажимая на цангу 19, также перемещают ее влево. В этом случае лепестки цанги 19 разжимаются и освобождают деталь, пружина 17 стержнем 20 выбрасывает обработанное зубчатое колесо из цанги в отводящий лоток.

Распределительный вал 2 с копирными барабанами 1 и 6 поворачивается от отдельного электромотора через цилиндрические зубчатые колеса и червячную пару 26. Команда на поворот диска 13 вместе с дисковым магазином 5 и вращение шпинделя станка производятся под действием упоров 14 и 15, установленных на барабане 6, на путевые выключатели 13 и 16.

Конструкция загрузочного приспособления разработана ЭНИМСом.

## Основные технические данные приспособления

|                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Продолжительность рабочего цикла, сек                                        | 4   |
| Максимальный диаметр загружаемых конических колес со спиральными зубьями, мм | 120 |
| Наибольшая ширина зубчатого венца, мм                                        | 20  |

**Магазинное загрузочное приспособление к зубошвинговальному станку.** Загрузочное приспособление (рис. II.38) применяется для автоматической загрузки зубошвинговального станка цилиндрическими зубчатыми колесами (см. рис. II.38 справа).

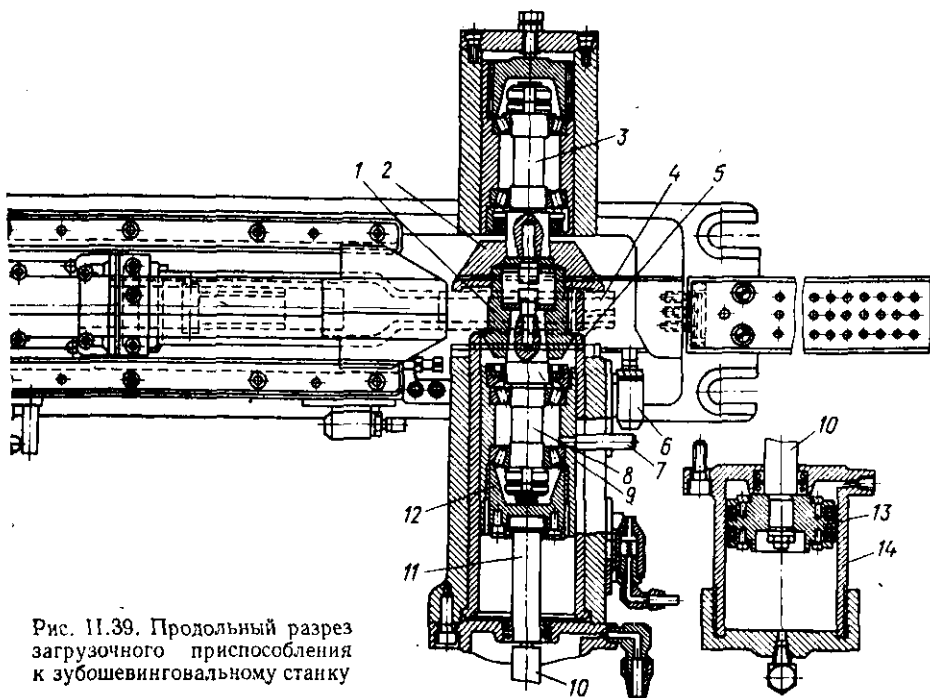


Рис. II.39. Продольный разрез загрузочного приспособления к зубошвинговальному станку

Запас заготовок зубчатых колес размещается в магазине 3 с отсекателем 7, который из магазина 3 пропускает по одной заготовке колеса на опорные поверхности питателя 8. В питателе заготовка колеса поддерживается подпружиненным захватом 9. Подъем и опускание отсекаателя 7 производится клином 4, установленным на ползуне 5 питателя.

При подаче сжатого воздуха в левую полость пневмоцилиндра 6 поршень со штоком перемещают питатель 8 с заготовкой в рабочую зону станка. Длина продольного перемещения питателя 8 контролируется конечными выключателями 11 и 12 при нажиме на их ролики упора 1, установленного на тяге 2, соединенной с поршнем пневмоцилиндра 5.

Заготовка зубчатого колеса 4, поданная питателем 8 в рабочую зону станка, базовым отверстием устанавливается на оправке 1 (рис.

II.39) и зажимается между торцом конусного конца оправки и опорной шайбой 2. Оправка 1 конусным отверстием установлена на вращающемся валике 8 и закреплена винтом, а опорная шайба 2 — на вращающемся валике 3. При подаче сжатого воздуха в нижнюю полость пневмоцилиндра 14 его поршень 13 со штоком 10 перемещается вверх и через тягу 11 и втулку 12 перемещают вверх пиноль 9 с валиком 8, оправкой 1 и заготовкой колеса 4, которая шайбой 2 зажимается. При подаче сжатого воздуха в верхнюю полость пневмоцилиндра 14 его поршень 13 и шток 10 перемещаются вниз вместе с тягой 11, втулкой 12, пинолью 9 с валиком 8 и оправкой 1 с обработанной деталью, которая разжимается. Обработанная деталь 4 снимается с оправки 1 при упоре нижнего торца колеса во втулку 5. Снятая с оправки обработанная деталь падает на подпружиненный рычаг 10 (см. рис. II.38). При перемещении ползуна 5 питателя вправо рычаг 10 переносит обработанную деталь из рабочей зоны станка на разгрузочный лоток. Автоматический цикл загрузки производится при последовательном нажиме движущимися упорами 7 (см. рис. II.39), закрепленными на пиноли 9 и ползуне питателя, на воздушные конечные выключатели 6. Конечные выключатели 6 подают команду на переключение золотников, регулирующих подачу воздуха в соответствующие полости пневмоцилиндров. При перемещении ползуна 5 питателя упор 7 нажмет на конечный выключатель и через промежуточное реле включит станок на рабочий цикл.

Магазинное загрузочное приспособление применяется на Горьковском и Московском автозаводах.



### Глава III

## АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

---

### § III.1. Задачи автоматического контроля. Классификация средств автоматического контроля

Разработка новых высокопроизводительных методов и все шире внедряющаяся автоматизация технологических процессов обработки деталей машин привели к существенному снижению трудоемкости их изготовления. Производительность процессов контроля пока растет медленнее. Увеличивается количество контролеров. Контроль становится фактором, сдерживающим рост производительности труда на машиностроительных заводах.

Повышение требований к качеству продукции, точности изготовления деталей машин вызывает необходимость повышения точности их измерений (контроля). Следовательно, задача роста производительности труда и качества продукции в машиностроении неразрывно связаны с повышением производительности и точности процессов контроля. Решение этих задач возможно лишь путем автоматизации контроля.

В устройствах автоматического контроля процесс получения и обработки информации об объекте контроля автоматизирован, т. е. совершается по заданной программе без участия человека. Результаты контроля используются для приведения в действие исполнительных органов автоматических систем. Внедрение автоматического контроля наряду с повышением производительности и сокращением количества контролеров приводит к устранению субъективных погрешностей, что повышает объективность, точность контроля и качество продукции.

Контроль является неотъемлемой и важной частью технологического процесса. Основное назначение технического контроля во всех его разновидностях — следить за ходом технологического процесса, регулируя качество продукции. Контроль выявляет нарушения нормального хода процесса, проявляющиеся в выходе контролируемых параметров объектов контроля за установленные границы. На основе информации, полученной по результатам контроля, производится подналадка, т. е. регулируется ход процесса.

Рабочий на токарном или шлифовальном станках периодически проверяет текущий размер детали при работе методом пробных проходов и в зависимости от результатов контроля устанавливает инструмент для получения заданного окончательного размера.

При работе по методу настроенного станка рабочий и наладчик периодически проверяют размеры обработанных на станке деталей и при необходимости вносят изменения в его настройку.

Контрольные операции, предписанные технологическим процессом, производятся персоналом отделов технического контроля в контрольных пунктах либо после выполнения данной операции (операционный контроль), либо после окончательного изготовления детали (окончательный контроль). В зависимости от стабильности технологического процесса и предъявляемых требований контроль может быть стопроцентным или выборочным.

Информация, полученная в результате контроля параметров процесса, передается для осуществления подналадки процесса через различные промежутки времени в зависимости от формы и места контроля в технологическом процессе. Промежуток времени, протекающий от момента выхода параметра детали, обрабатываемой на станке, за установленные пределы до момента наладки станка по результатам информации, полученной при контроле, назовем *периодом подналадки*  $T^*$ :

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad (\text{III.1})$$

где  $t_1$  — время, затраченное на транспортирование детали от станка до места контроля;  $t_2$  — время, затраченное на процесс контроля;  $t_3$  — время на передачу сигнала о необходимости подналадки от места контроля до исполнительного органа станка;  $t_4$  — время на производство подналадки.

Величина  $T$  может изменяться в очень широких пределах. Например, при обработке деталей на токарном автомате с контролем на контрольном пункте сдвига во времени между окончанием процесса обработки и началом процесса контроля, а также между окончанием процесса контроля и началом регулирования процесса обработки являются весьма значительными.

Повышение уровня автоматизации оборудования и контроля привело к созданию металлорежущих станков с автоматической подналадкой по результатам контроля детали сразу после прекращения обработки. В этих станках регулирование процесса обработки производится автоматически и период подналадки становится минимальным, так как  $t_1 \approx 0$ , а  $t_2, t_3, t_4$  весьма малы.

В рассмотренных примерах расположение средств контроля в технологическом процессе и способ передачи информации, полученной в результате контроля и использования ее для регулирования процесса, различны.

По указанным признакам автоматические средства контроля можно разделить на средства пассивного (приемочного) и активного (управляющего) контроля.

Средства пассивного автоматического контроля производят приемку и разбраковку (рассортировку) деталей с большим сдвигом во времени после их изготовления. Они отделяют бракованные детали, не допуская их проникновения на сборку, и обеспечивают таким способом качество продукции. Средства пассивного контроля не воз-

---

\* В и х м а н В. С. Электроавтоматика технического контроля изделий в машиностроении. Машгиз, 1957.

действуют непосредственно на ход технологического контроля. Полученная информация используется для регулирования процесса при значительной величине периода подналадки. Пассивный контроль не предупреждает появление брака.

Средства активного автоматического контроля непосредственно связаны с ходом технологического процесса и активно в него вмешиваются, регулируя параметры обрабатываемых деталей. Они управляют движениями исполнительных органов станков по результатам контроля обрабатываемых размеров деталей в процессе, до или после обработки.

Активный контроль предупреждает появление брака. Оператор и наладчик освобождаются от непрерывного наблюдения за ходом технологического процесса, становится возможным многостаночное обслуживание. Повышается производительность труда за счет сокращения вспомогательного времени и точность обработки.

Активный автоматический контроль является прогрессивным; однако при внедрении его возникает ряд трудностей. Подавляющее большинство станков действующего парка основано на ручном управлении и не может быть включено в систему активного контроля без существенной модернизации, которую трудно провести силами завода-потребителя.

Применение автоматов пассивного контроля экономически наиболее оправдано при необходимости рассортировки деталей на группы внутри поля допуска для селективной сборки.

Весьма рационально также встраивание контрольных автоматов в автоматические станочные линии. В этом случае контрольный автомат непосредственно воздействует на ход технологического процесса, т. е. превращается в средство активного контроля.

Средства контроля по степени автоматизации можно разделить на неавтоматические, полуавтоматические, автоматические.

Механизированные средства контроля — контрольные приспособления — относятся к классу неавтоматических. Они применяются для последовательного (одномерные) или одновременного (многомерные) контроля различных параметров качества (отклонений размеров, геометрической формы, расположения поверхностей и др.) деталей. Загрузка, выгрузка и раскладка деталей по соответствующим ячейкам производятся контролером вручную. Информацию о результатах контроля он получает по показаниям шкальных или светосигнальных приборов.

В полуавтоматических средствах процесс контроля и сортировки осуществляется автоматически. Не автоматизирована лишь загрузка деталей.

Автоматические и полуавтоматические средства контроля представляют собой измерительные системы. *Измерительной системой* называют совокупность средств измерения (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей) и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи и предназначенных для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и использования в автома-

тических системах управления. *Измерительный прибор* — это средство измерений, вырабатывающее сигналы измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. *Измерительным преобразователем* называют средство, вырабатывающее сигналы измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки или хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

Автоматические системы в зависимости от выполняемой ими задачи могут быть разделены на системы автоматического контроля, автоматического управления и автоматического регулирования технологических процессов. Они представляют собой сложные устройства, состоящие из различных механических, гидравлических, электрических и других звеньев. Однако все звенья, составляющие автоматическую систему, по выполняемым ими функциям могут быть разделены на типовые функциональные элементы, тогда системы — представлены в виде функциональных блок-схем (рис. III.1), характеризующих последовательность воздействий в их структурной цепи. Элемент *В* воспринимает измерительный сигнал от объекта контроля *ОК* и реагирует на изменение измеряемой величины. Воспринимающими элементами измерительных систем для контроля размеров деталей являются измерительные стержни, измерительные губки, рычаги и др.

Задающий элемент *З* служит для установки значения величины, характеризующей управляемый процесс, закона ее изменения или порядка воздействия на управляемый процесс. Задающими элементами автоматических измерительных систем являются, например, регулировочные винты неподвижных контактов преобразователей, определяющие предельные размеры контролируемой детали или заданную величину окончательного размера детали, обрабатываемой на станке, и др.

Элемент сравнения *С* осуществляет сравнение величин воздействия, полученных от воспринимающего и задающего элементов, и передает сигнал на преобразующий элемент.

Преобразующий элемент *П* (преобразователь) осуществляет преобразование воздействия (сигнала), полученного от элемента сравнения, из одного вида энергии в другой, определяет величину и характер управляющего воздействия и передает его на измерительный *Из* и исполнительный *И* элементы. Преобразующим элементом системы, например, является электрическая цепь датчика, вырабатывающая сигнал о достижении деталью предельного или заданного размера.

Измерительный элемент воспринимает преобразованные воздействия контролируемого объекта и фиксирует числовые значения изменений контролируемой величины на показывающем, регистрирующем или цифровом отсчетном устройстве.

Исполнительный элемент воздействует на рабочие органы управляемого объекта, осуществляя конечное преобразование энергии, получаемой от преобразующего элемента. Например, электромагнит преобразует электрическую энергию в механическую, перебрасывая

заслонку сортировочного устройства, или переключает золотники гидравлической системы, управляющей рабочим органом станка *РОС*.

Автоматические средства пассивного контроля выполняют задачу автоматического контроля. Они подразделяются на контрольные автоматы, осуществляющие после ряда вспомогательных операций автоматический контроль и сортировку изделий на годные и брак, и контрольно-сортировочные автоматы, выполняющие кроме указанных функций сортировку годных изделий на две и более группы. Функциональная блок-схема контрольных и контрольно-сортировочных автоматов имеет разомкнутую цепь воздействий от контролируемого объекта (рис. III.1, а) без обратной связи. Обратной связью называют дополнительную связь, направленную от выхода ко входу процесса.

Системы активного автоматического контроля в процессе обработки выполняют задачу управления процессом. Контролируется размер обрабатываемой детали и в зависимости от его значения путем передачи воздействий от исполнительного элемента на рабочий орган станка переключаются режимы и прекращается обработка. Функциональная блок-схема системы активного контроля в процессе обработки также имеет разомкнутую цепь воздействий (рис. III.1, б), так как функции регулирования размера выполняются наладчиком. Рабочий орган станка *РОС* работает на основе внешних воздействий от программного устройства *Пр*.

Система активного контроля с автоматической подналадкой станка выполняет задачу регулирования процесса. Контролируется размер обработанной детали и в зависимости от его значения, при необходимости, путем передачи воздействий от исполнительного элемента на корректирующий блок *КБ* осуществляется подналадка станка. Функциональная блок-схема такой системы имеет замкнутую цепь воздействий с обратной связью и является схемой простой системы автоматического регулирования по отклонению размера (рис. III.1, в).

Выходная (регулируемая) величина  $x(t)$  воздействует на воспринимающий элемент *В*, который передает ее на элемент сравнения *С*, где она сравнивается с заданной величиной  $x_0$  и определяется величина отклонения  $x_w(t)$ . Последняя через преобразователь *П* и исполни-

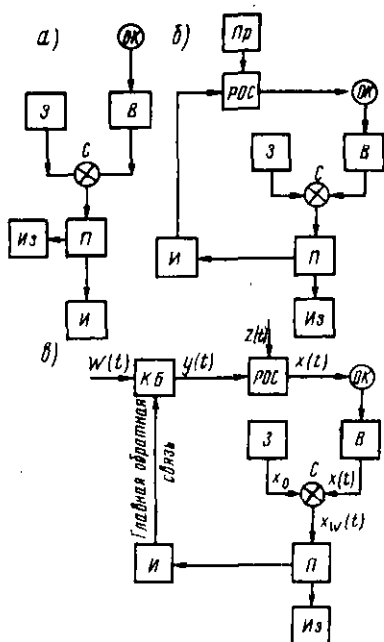


Рис. III.1. Функциональные блок-схемы автоматических систем:

а — контрольного и контрольно-сортировочного автомата; б — устройства активного автоматического контроля в процессе обработки; в — устройства активного контроля с автоматической подналадкой станка

тельный элемент  $I$  передается на вход процесса, где в корректирующем блоке  $KB$  производится сложение или вычитание величины  $W(t)$ , заданной программой на входе, с величиной отклонения  $x_w(t)$ . Регулирующая величина  $y(t)$  (подналадочный импульс) подается на рабочий орган станка, на который действуют и возмущающие воздействия  $z(t)$ .

### § III. 2. Погрешности измерения

*Погрешностью измерения* называют отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Погрешность измерения зависит от воздействия ряда независимых факторов: погрешности применяемых измерительных средств, внешних условий измерения, погрешности формы объекта измерения и др.

Погрешности измерения классифицируются на систематические, случайные и грубые. *Систематической* называют составляющую погрешности измерения, остающуюся постоянной или закономерно изменяющуюся при повторных измерениях одной и той же величины. К числу постоянных систематических погрешностей можно отнести погрешность градуировки шкалы прибора, на котором производится измерения.

*Случайной* называют составляющую погрешности измерения, изменяющуюся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. К таким погрешностям, например, относятся вариация показаний измерительного прибора, т. е. наибольшая разность показаний прибора при многократном измерении одной и той же величины и неизменных внешних условиях, а также погрешности округлений при отсчете показаний измерительного прибора.

Систематическая погрешность может быть исключена из результатов измерений, если ее природа известна и величина может быть определена, путем внесения поправок в результаты измерений. В технических измерениях метод внесения поправок используется редко. Для устранения систематических погрешностей в процессе измерения чаще прибегают к их переводу в случайные. Например, систематическая ошибка может возникнуть при измерении диаметра цилиндрической детали из-за ее овальности. Она будет зависеть от величины овальности детали и направления измерения. Эту систематическую погрешность можно перевести в случайную, измерив диаметр детали в разных направлениях и определив среднее арифметическое измерений.

Определить случайную погрешность результатов измерения можно лишь вероятностным способом, так как случайные погрешности подчиняются вероятностным законам распределения. Случайные погрешности измерений образуются в результате совместного влияния ряда независимых факторов, среди которых нет преобладающих. Рассеивание таких случайных величин, согласно теореме Ляпунова, подчиняется нормальному закону распределения (закону Гаусса).

Случайные погрешности определяются как отклонения результатов измерения от истинного значения измеряемой величины. Прак-

тически рассматривают отклонения результатов измерения от среднего арифметического  $L$  из ряда измерений  $l_i$ .

Среднее арифметическое из ряда измерений рассматривается как наиболее достоверное значение измеряемой величины, которое при числе измерений  $N \rightarrow \infty$  стремится к истинному значению этой величины. Среднее арифметическое из случайных погрешностей при отсутствии систематических погрешностей равно нулю.

Для характеристики величины случайных отклонений результатов измерений нужно задавать доверительные границы отклонений или доверительный интервал и величину доверительной вероятности, или коэффициента надежности  $*$ ,

$$P(\bar{X} - \Delta x < x < \bar{X} + \Delta x) = \alpha. \quad (\text{III.2})$$

Доверительными границами случайных отклонений результатов измерений называют верхнюю и нижнюю границы интервала значений от  $\bar{X} - \Delta x$  до  $\bar{X} + \Delta x$ , накрывающего с заданной вероятностью случайные отклонения результатов измерений. Доверительный интервал выражается через среднее квадратическое отклонение, доверительная вероятность определяется по таблицам интеграла Лапласа (для закона нормального распределения) или, задаваясь доверительной вероятностью, определяют доверительные границы. Так, например, задаваясь 95%-ной вероятностью, считают доверительный интервал равным  $4\sigma$ , где  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение результата измерения. При небольшом числе измерений доверительные интервалы и доверительную вероятность определяют, пользуясь распределением Стьюдента.

Параметры рассеивания случайных погрешностей измерения определяют путем обработки результатов измерений одной и той же величины.

Результаты ряда измерений обрабатывают обычно следующим образом [1]:

определяют среднее арифметическое из ряда измерений:

$$L = \sum_{i=1}^n l_i / N \quad (\text{III.3})$$

и случайные (остаточные) погрешности:

$$x_i = l_i - L.$$

Систематическую погрешность результата измерений определяют как разность между средним арифметическим из ряда измерений и действительным значением измеряемой величины.

Определяют среднюю квадратическую погрешность однократного измерения

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 / N}, \quad (\text{III.4})$$

где  $N$  — число измерений.

\* З а й д е л ь А. Н. Элементарные оценки ошибок измерений. «Наука», 1969.

Предельная случайная погрешность одного измерения

$$\Delta_{\text{lim}} = 3\sigma.$$

Средняя квадратическая погрешность среднего арифметического из ряда измерений

$$M = \sigma/\sqrt{N}, \quad (\text{III.5})$$

предельная погрешность среднего арифметического

$$M_{\text{lim}} = 3M = 3\sigma/\sqrt{N}.$$

Эту величину можно рассматривать как предельную погрешность аттестации среднего арифметического размера  $L$ , т. е. при повторной аттестации размера теми же средствами и в тех же условиях погрешность аттестации  $\Delta L$  будет находиться в пределах

$$\pm M_{\text{lim}} = \pm 3\sigma/\sqrt{N}.$$

*Грубой погрешностью* называют погрешность измерений, существенно превышающую ожидаемую при данных условиях. Она может появиться, например, в результате неправильного отсчета показаний прибора.

Существует ряд критериев для исключения грубых погрешностей при математической обработке результатов измерений. Чаще всего применяется критерий Райта (правило  $3\sigma$ ): значения  $x_i$ , превышающие  $3\sigma$  после определения величины  $\sigma$  с учетом всех отклонений, должны быть исключены. После исключения грубых погрешностей снова производится математическая обработка ряда измерений.

Определение случайной составляющей суммарной погрешности метода измерения, которая зависит от ряда независимых ошибок, производится по закону сложения независимых случайных величин:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum (\sigma_i)^2}, \quad (\text{III.6})$$

где  $\sigma_{\Sigma}$  — средняя квадратическая погрешность суммы случайных величин (метода измерения);  $\sigma_i^2$  — дисперсия  $i$ -й случайной величины, т. е. отдельной составляющей суммарной погрешности метода.

Учитывая, что распределение составляющих случайных погрешностей — погрешностей измерительных средств, температурных, образцовых мер, по которым настраиваются измерительные средства, вследствие колебаний измерительных усилий, отсчета и т. д., — подчиняется, как правило, закону нормального распределения, можно написать

$$\Delta_{\text{lim } \Sigma} = \sqrt{\Delta_{\text{lim } 1}^2 + \Delta_{\text{lim } 2}^2 + \dots + \Delta_{\text{lim } n}^2} \quad \bullet \quad (\text{III.7})$$

где  $\Delta_{\text{lim } \Sigma}$  — предельная случайная погрешность метода измерения;  $\Delta_{\text{lim } 1}, \Delta_{\text{lim } 2}, \dots, \Delta_{\text{lim } n}$  — предельные случайные составляющие погрешности измерения  $\pm \Delta_{\text{lim } i} = \pm 3\sigma_i$ .



С учетом систематических и случайных составляющих погрешностей измерений суммарная погрешность метода измерения \*

$$\Delta_{\Sigma} = \Sigma \Delta_{\text{сист}} \pm \Delta_{\text{пл}, \Sigma}, \quad (\text{III.8})$$

где  $\Sigma \Delta_{\text{сист}}$  — алгебраическая сумма систематических погрешностей, взятых со своими знаками.

Работа систем автоматического контроля связана с сортировкой контролируемых деталей на годные (находящиеся внутри допустимых предельных размеров) и брак (выходящие за пределы допуска), с рассортировкой деталей на размерные группы внутри поля допуска или с дачей команд на управление станком при достижении деталью какого-то заданного размера.

Шкала в системах активного контроля используется, как правило, для наблюдения за ходом съема припуска и настройки контактов или других командных элементов преобразователя (датчика). В контрольно-сортировочных автоматах наличие шкалы облегчает настройку автомата и наблюдение за его работой. Погрешность показаний шкалы оказывает существенное влияние на точность автоматического контроля только в том случае, когда настройка команд автомата (настройка датчика) производится по шкале отсчетного устройства, а не по образцовым деталям (эталонам). При настройке контрольного автомата по образцовым деталям этот показатель не оказывает влияния на точность автомата.

Погрешность обратного хода (разность между показаниями прибора при движении измерительного наконечника в прямом и обратном направлениях) возникает вследствие ряда причин: гистерезиса упругих элементов, колебаний сил трения в подвижных частях систем, колебаний зазоров и т. д. Эта погрешность оказывает существенное влияние на точность устройств автоматического контроля, которые работают обычно в динамическом режиме.

Погрешность обратного хода измерительной системы может быть рассмотрена на примере [6] измерительного прибора (рис. III.2, а). При движении измерительного стержня прибора вверх измерительное усилие

$$P_{\text{н}} = P_{\text{пр}} + G_{\text{с}} + F_{\text{д}}, \quad (\text{III.9})$$

где  $P_{\text{пр}}$  — сила натяжения пружины;  $G_{\text{с}}$  — вес стержня;  $F_{\text{д}}$  — сила трения движения.

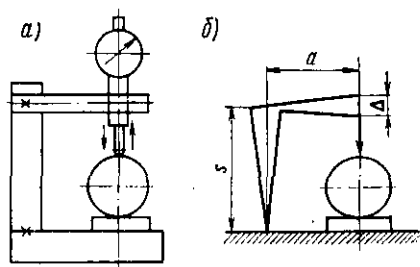


Рис. III.2. Погрешность обратного хода измерительного прибора

\* Я ку ш е в А. И. Основы взаимозаменяемости и технические измерения. «Машиностроение», 1968.

При движении измерительного стержня вниз сила трения изменяет знак и действует против силы натяжения пружины и веса стержня:

$$P_{\text{н}} = P_{\text{пр}} + G_{\text{с}} - F_{\text{н}}, \quad (\text{III.10})$$

где  $F_{\text{н}}$  — сила трения покоя (при изменении направления движения).

Возникает изменение измерительного усилия  $\Delta P_{\text{н}} = F_{\text{д}} + F_{\text{н}}$  при одном положении измерительного стержня в зависимости от направления его движения. Этот перепад измерительного усилия вызывает изменение величин силовых деформаций звеньев цепи, что служит одной из основных причин погрешности обратного хода.

Погрешность обратного хода

$$\Delta = (F_{\text{н}} + F_{\text{д}})/k, \quad (\text{III.11})$$

где  $k$  — приведенная жесткость системы.

Погрешность обратного хода системы (рис. III.2, б)

$$\Delta = (\Delta P_{\text{н}} a^2 / E) [s / J_{\text{ст}} + a / 3 J_{\text{к}}]^3, \quad (\text{III.12})$$

где  $J_{\text{ст}}$  — момент инерции стойки;  $J_{\text{к}}$  — момент инерции кронштейна;  $s$  — высота стойки;  $a$  — длина кронштейна;  $E$  — модуль упругости.

Важной характеристикой точности средств автоматического контроля является нестабильность срабатывания, т. е. разность между наибольшим и наименьшим значениями измеряемой величины, в пределах которой возможно как получение, так и неполучение выходного сигнала при постоянном уровне настройки прибора [13].

*Уровнем настройки* называют значение величины, соответствующей центру распределения показаний прибора при неизменной его настройке. Под настройкой прибора следует понимать приведение его в такое состояние, когда при измерении установочной меры он дает требуемый результат.

Погрешность (нестабильность) срабатывания определяется полем рассеивания случайных отклонений средства автоматического контроля подобно вариации показаний универсальных измерительных приборов. Нестабильность срабатывания автоматических измерительных систем зависит от изменения характеристик сил трения элементов системы, зазоров в кинематической цепи прибора, изменения параметров электрической схемы включения датчика и др.

Погрешность настройки и смещение уровня настройки являются также важными составляющими суммарной погрешности средств автоматического контроля.

Под *смещением уровня настройки* понимают самопроизвольное изменение уровня настройки показаний или срабатываний прибора при измерении постоянной линейной величины.

Существенной характеристикой средства автоматического контроля является также *порог чувствительности* — наименьшее изменение измеряемой величины, на которое оно реагирует.

В зависимости от условий работы (испытаний) автоматических измерительных систем различают их статические и динамические погрешности. *Статической погрешностью* называют погрешность средства измерения при измерении постоянной величины. *Динамической*

*погрешностью* называют разность между погрешностью средства измерения в динамическом режиме, т. е. при измерении переменной во времени величины, и его статической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент. Статическая погрешность характеризуется предельной погрешностью средства измерений при установившемся состоянии его элементов, динамическая погрешность — погрешностями средства измерений с учетом движения его элементов, действующих на них сил, изменения параметров при неустановившемся состоянии его элементов.

Рассматривая измерительное устройство как преобразователь входного сигнала  $x$  в выходной сигнал  $y$ , где под входным сигналом понимается измерительный импульс, т. е. изменение измеряемой величины, а под выходным сигналом — сигнал устройства, соответствующий определенной величине входного сигнала, можно считать, что в статическом режиме эта зависимость  $y = f(x)$  не изменяется во времени, а в динамическом режиме  $y = \varphi(x, t)$ , т. е. зависит от времени.

Для определения динамических погрешностей измерительных устройств предложен ряд характеристик: собственная круговая частота колебаний подвижных частей  $\omega_0$ ; амплитудно-частотная характеристика  $\Delta A(\omega)$ , выражающая зависимость амплитуды  $A$  динамической погрешности от частоты  $\omega$  изменения контролируемой величины, и переходная функция  $\Delta s(t)$  — динамическая погрешность показаний при внезапном изменении контролируемой величины.

Увеличение передаточного отношения (чувствительности) средств автоматического контроля, если это не связано с усложнением кинематической схемы, за счет увеличения количества механических передаточных звеньев, и ростом инерционности системы ведет в общем случае к уменьшению нестабильности срабатывания и снижению погрешностей настройки. Облегчается настройка и работа контрольно-сортировочных автоматов при сортировке на большое количество групп.

### **§ III.3. Измерительные преобразователи (датчики) и измерительные системы автоматического контроля размеров**

Основной составной частью автоматической измерительной системы является измерительный преобразователь (датчик). Датчик является устройством, включающим воспринимающий, задающий, сравнивающий и преобразующий элементы системы (см. рис. III.1). По типу воспринимающих элементов датчики делятся на контактные и бесконтактные.

По типу задающих элементов датчики делятся на предельные и амплитудные, а по числу команд — на одно-, двух- и многокомандные. Предельные датчики служат для фиксации выхода отклонений размера из поля допуска; амплитудные датчики ограничивают колебание отклонений геометрической формы и взаимного расположения поверхностей. Количество команд зависит от назначения автоматической системы. Однокомандные (однопредельные) датчики сортируют детали по одному пределу или дают одну команду на управление станком. Они применяются редко. Двухкомандные (двухпредельные) датчики

сортируют детали на годные, брак «+» и брак «—» или дают две команды на управление станком. Многокомандные датчики применяются для сортировки деталей на группы внутри поля допуска и управления сложными автоматическими циклами станков.

По типу преобразующих элементов датчики можно разделить на датчики с прямым и промежуточным преобразованием.

Датчики с прямым преобразованием включают только один преобразователь измеряемой величины. Например, электрические датчики могут быть построены на преобразовании линейных перемещений измерительного наконечника в переменное активное сопротивление электрической цепи  $R_x$ , в переменное индуктивное сопротивление  $L_x$  и в переменную емкость  $C_x$ .

Датчики с промежуточным преобразованием имеют промежуточный преобразователь для преобразования линейных перемещений в промежуточную величину, которая затем трансформируется во втором преобразователе. К ним принадлежат, например, пневмоэлектроконтактные датчики, в которых изменение размера преобразуется в изменение давления в пневматической измерительной цепи, а затем — в изменение активного сопротивления электрической цепи.

### Системы с прямым преобразованием

**Электроконтактные преобразователи (датчики).** Электроконтактные преобразователи широко применяются в СССР и за рубежом в автоматическом контроле благодаря простоте их конструкции, схемы включения и обслуживания. Это преобразователи дискретного действия.

Перемещение измерительного стержня преобразуется в электрический сигнал путем замыкания или размыкания пары контактов.

По назначению электроконтактные преобразователи делятся на предельные и амплитудные, по конструкции — на безрычажные и рычажные.

На рис. III.3, а показана схема безрычажного однопредельного датчика. Измерительный стержень 4 датчика перемещается в направляющих 3. Стержень несет подвижный контакт 2, который замыкает неподвижный регулируемый контакт 1, если деталь 5, установленная на столике 6, имеет размер выше предельного. Измерительное усилие создается пружиной 7.

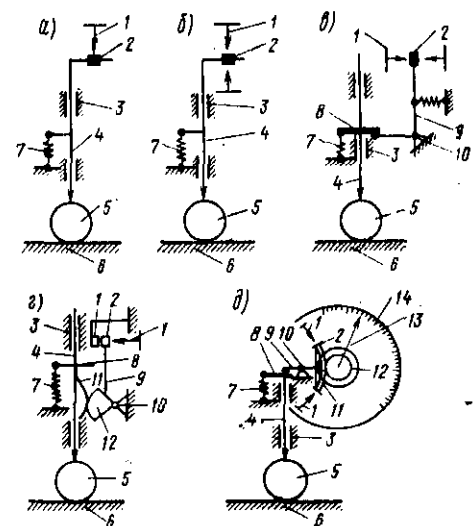


Рис. III.3. Схемы некоторых типов электроконтактных преобразователей (датчиков)

лируемый контакт 1, если деталь 5, установленная на столике 6, имеет размер выше предельного. Измерительное усилие создается пружиной 7.



щен измерительным съемным наконечником 4, буртик которого используется для арретирования. С помощью гайки 3 микроподачи перемещают измерительный стержень при настройке датчика. Хомутик 5, закрепленный на стержне, имеет паз, в котором при движении стержня перемещается штифт, запрессованный в корпусе и предохраняющий стержень от поворота. Измерительное усилие создается пружиной 6, которая одним концом прикреплена к хомутику 7, закрепленному на стержне, а вторым концом — к корпусу. Планка 8, на которой смонтированы передаточный и настроечный механизмы датчика, крепится к корпусу 1. Контактный рычаг 13 с подвижными контактами подвешен на крестообразном пружинном шарнире к колодке 14. В малое плечо рычага запрессован изолирующий корундовый штифт 12, контактирующий с твердосплавным наконечником хомутика 7. Рычаг разгружен от ударов при движении стержня вверх. Нижний подвижный контакт подвешен к рычагу 13 на плоской пружине 15. При ходе стержня вниз после замыкания этого контакта пружина отходит от рычага, который имеет возможность продолжать поворот. Настроечные контакты запрессованы в концы регулируемых настроечных винтов 9 с барабанами 10. Возможность самоотвинчивания настроечных винтов устраняется осевым натягом, который создается пластинчатыми пружинами 16 и звездчатыми гайками 18, размещенными под барабанами. Положение гайки фиксируется пружинным стопором 17. Контакты

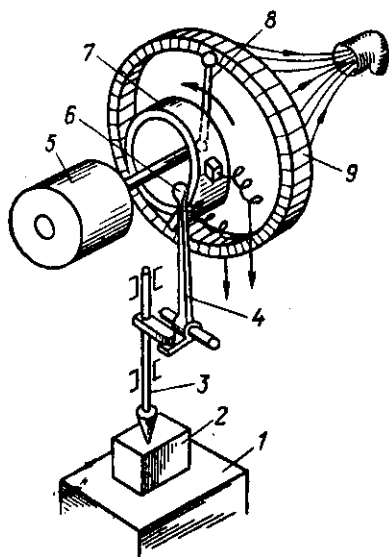


Рис. III.5. Датчик для многодиапазонной сортировки мод. И-29

датчика имеют независимые выводы к штырям, которые служат для присоединения розетки 11. Корпус закрыт с двух сторон крышками из оргстекла. Предел измерения датчика 1 мм, передаточное отношение рычага 5 : 1, измерительное усилие  $2,5 \div 3,5$  н, цена деления настроечных лимбов 0,002 мм. Предельная допустимая погрешность не более  $\pm 1$  мкм. Погрешности датчиков мод. 228 были исследованы в бюро взаимозаменяемости (БВ). Ток на контактах составлял 0,1—0,2 ма, измерительное усилие  $1 \div 3$  н. В результате исследований установлено, что нестабильность срабатывания контактов при 60 циклах составляет 0,1 мкм, при 300 циклах — 0,4 мкм (по техническим условиям  $\pm 1$  мкм). Смещение настройки после 25000 замыканий равно 1,6 мкм (по техническим условиям  $\pm 1$  мкм).

Электроконтактный датчик НИЭЛ мод. И-29 (рис. III.5) предназначен для многодиапазонной сортировки деталей до 50 групп с интервалом 1—2 мкм.

Отличительные особенности конструкции состоят в том, что один из контактов датчика выполнен в виде торцового кулачка 7 с архимедовой спиралью. На одной оси с кулачком 7 расположена круговая контактная система 9, по которой перемещается ползун 8, связанный с валом сервомотора 5. На измерительный столик 1 вводится контролируемая деталь 2. Измерительный стержень 3, рычаг 4 и контакт 6 устанавливаются в положение, зависящее от размера детали. Сервомотор 5 начинает вращать кулачок 7 и ползун 8. Счетная схема ведет отсчет количества контактов контактной системы 9, пройденных ползуном 8.

При определенном угле поворота, зависящем от размера детали, т.е. положения рычага 4, происходит замыкание контактов 6 и 7. Вращение сервомотора 5 прекращается и на счетную схему подается импульс. Счетная схема выдает номер сортировочной группы, который определяется числом контактов, пройденных ползуном 8 от нулевого положения до момента замыкания контактов 6 и 7. Вращение контактного кулачка 7 осуществляется синхронным электродвигателем СД-60, продолжительность периода измерения до 1 сек, предел измерения до 1 мм, предельная погрешность  $\pm 0,3$  мкм, измерительное усилие 2,5—3,5 н, габариты датчика  $155 \times 133 \times 120$  мм.

Решающее значение для стабильности и надежности работы электроконтактных датчиков имеют правильный электрический режим работы (сила тока и напряжение), конструкция и материал контактов, а также динамический режим работы датчиков в условиях эксплуатации.

Чаще всего контактные пары изготавливают из вольфрама. Они обладают высокой твердостью, износостойкостью, при малых величинах тока и напряжения на контактах электроэрозия их незначительна. Однако сопротивление этих контактов во времени возрастает из-за образования окислительных пленок, хотя пленки окислов вольфрама имеют относительно высокую электропроводимость. При применении вольфрамовых контактов рекомендуются усилия от 0,3 н и выше.

Для снижения электроэрозионного износа контактов стремятся уменьшить величину электрического тока и напряжения на контактах, применяя специальные схемы включения.

Наибольшее влияние на динамическую точность работы датчика оказывают внешние факторы: вибрации и удары.

С увеличением частоты вибраций и ускорений систематические погрешности датчиков растут\*. Так, при  $f \approx 200$  гц и  $\omega = 0,5$  г погрешность датчика мод. 228 составляет 1 мкм, а при  $\omega = 3$  г возрастает до 4,5 мкм. Еще быстрее растут погрешности датчиков мод. 231.

Для уменьшения влияния этих факторов нужно выбирать частоту собственных колебаний подвижной системы датчика  $\omega_0$  так, чтобы она превышала частоту возмущающих воздействий (угловую скорость вращающейся детали) [6].

---

\* Миронов Ю. С. [и др.]. Точность контроля линейных размеров электроконтактными приборами в условиях вибраций. «Вестник машиностроения», 1969, № 9.

Период собственных колебаний подвижной системы

$$T = 2\pi \sqrt{m/k}, \quad (\text{III.13})$$

где  $m$  — масса подвижной системы,  $k$  — жесткость пружины, действующей на подвижную систему; для плоской пружины

$$k_{\text{пл}} = 24EJ/l^3, \quad (\text{III.14})$$

здесь  $E$  — модуль упругости первого рода,  $\Gamma/\text{мм}^2$ ;  $J$  — момент инерции сечения пружины,  $\text{мм}^4$ ;  $l$  — длина пружины,  $\text{мм}$ .

Для спиральной пружины

$$k_{\text{сп}} = Gr^4/16R^3h, \quad (\text{III.15})$$

где  $G$  — модуль упругости второго рода,  $\Gamma/\text{мм}^2$ ;  $r$  — радиус проволоки,  $\text{мм}$ ;  $R$  — радиус пружины,  $\text{мм}$ ;  $h$  — число витков пружины.

Повысить частоту собственных колебаний подвижной системы датчика можно увеличением жесткости пружины и уменьшением массы системы.

**Индуктивные преобразователи (датчики) и измерительные системы.** Индуктивные датчики основаны на преобразовании линейных перемещений в изменение индуктивности катушки. Преимуществами индуктивного метода измерений являются: непрерывность измерения; возможность регистрации непрерывно изменяющихся величин, что необходимо при контроле параметров зубчатых колес, перемещений узлов станков и др.; возможность отсчета действительных отклонений измеряемой величины по шкале прибора; дистанционность измерений; высокая чувствительность и простота конструкции датчиков. Недостатками метода являются сравнительная сложность электрических схем включения датчиков и влияние отклонений параметров схемы на результаты измерения.

Индуктивный метод контроля может быть бесконтактным и контактным. В бесконтактных индуктивных измерительных системах контролируемая деталь (только из ферромагнитных материалов) непосредственно включена в магнитную цепь, образуя участок магнитопровода. За последние годы разработаны экспериментальные образцы бесконтактных индуктивных датчиков [3] с высокой чувствительностью. Однако бесконтактный метод не нашел пока применения.

В контактных индуктивных датчиках положение измерительного стержня, зависящее от контролируемого параметра, определяет взаимное положение якоря и катушек датчика и индуктивность системы. Контактные индуктивные датчики могут быть простыми или дифференциальными. Верхний торец измерительного стержня 1 воздействует на якорь 2, подвешенный на плоской пружине 3. Изменение положения якоря, определяемое размером контролируемой детали 6, вызовет изменение воздушного зазора между якорем 2 и катушкой 5 простого датчика (рис. III.6, а) или перераспределение воздушного зазора между катушками 5 и 7 и якорем 2 дифференциального датчика (рис. III.6, б): При уменьшении зазора между якорем и катушкой 5 зазор между якорем и катушкой 7 увеличивается. Изменяется одновременно индуктивность обеих катушек, поэтому чувствительность



дифференциального датчика вдвое выше, чем простого. Измерительное усилие создается пружиной 4.

На рис. III.6, в изображена принципиальная схема дифференциального индуктивного датчика плунжерного типа с экранирующими кольцами. На измерительном стержне 1 датчика, перемещающемся в направляющих 3, закреплены ферритовый якорь 2 и два медных экранирующих кольца 8 и 9. Этот датчик обладает высокой чувствительностью, так как изменение индуктивности  $L_1$  и  $L_2$  обеих катушек зависит от совместного действия двух факторов: положений сердечника и колец. Датчик питается высокочастотным напряжением 50—100 кГц.

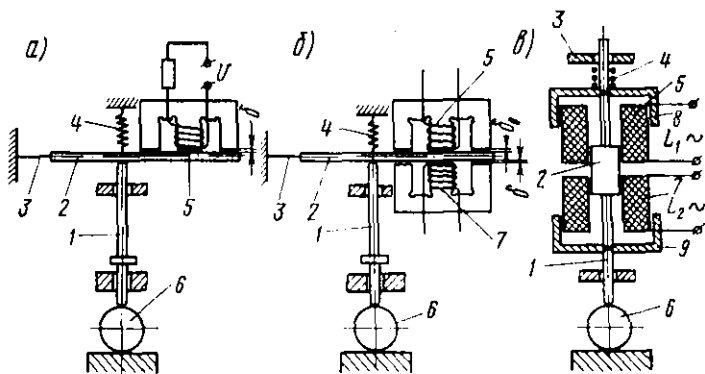


Рис. III.6. Принципиальные схемы индуктивных преобразователей

Сила магнитного притяжения в простом датчике может быть значительной и измерительному стержню, перемещающему якорь, приходится ее преодолевать, что вызывает необходимость увеличения измерительного усилия и является одним из недостатков простого индуктивного датчика [8].

В дифференциальном датчике силы магнитных притяжений в воздушных промежутках уравниваются и измерительный стержень должен преодолевать лишь силу тяжести подвижной системы датчика и усилие в пружинном шарнире.

В индуктивных датчиках переменной величины является индуктивное сопротивление

$$x = \omega L_x, \quad (\text{III.16})$$

где  $\omega$  — частота переменного тока;  $L_x$  — переменная индуктивность датчика.

Индуктивность (гн) катушек датчика при ненасыщенном магнитопроводе

$$L_x = (4\pi \cdot 10^{-9} \omega^2 s) / \delta, \quad (\text{III.17})$$

где  $\omega$  — число витков катушки;  $s$  — площадь поперечного сечения воздушного зазора,  $\text{см}^2$ ;  $\delta$  — переменная длина воздушного зазора,  $\text{см}$ .

Преобразователь ДИ1-М (рис. III.7, а) с пультом ПИ8-М (рис. III.7, б) является дифференциальным [4]. Якорь 2 датчика выполнен в виде диска, расположенного между катушками 6. Датчик является безрычажным, и изменение величины воздушного зазора равно перемещению измерительного стержня 5 в направляющих втулках. Повышение чувствительности достигается за счет электрической схемы. Магнитопроводами датчика служат обоймы 1 и 3. Измерительное усилие в пределах рабочего хода создается пружиной 4, свободный ход измерительного стержня — пружиной 7. Индуктивные катушки  $K_1$  и  $K_2$  (см. рис. III.7, б) включены в плечи дифференциального моста; двумя другими плечами его являются сопротивления  $R_1$  и  $R_3$ . В диагональ моста включен селеновый выпрямитель СВ, питающий постоянным током цепь микроамперметра М-24. Схема питается от сети

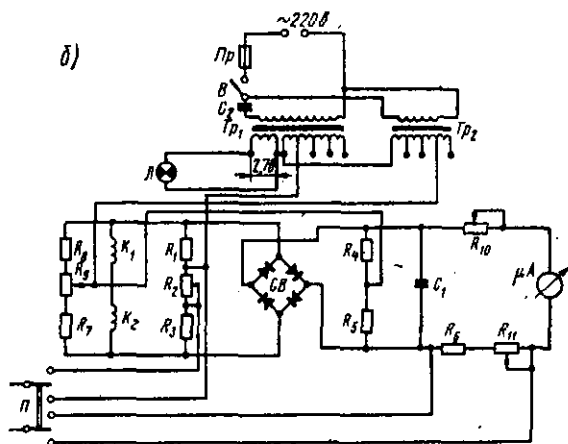
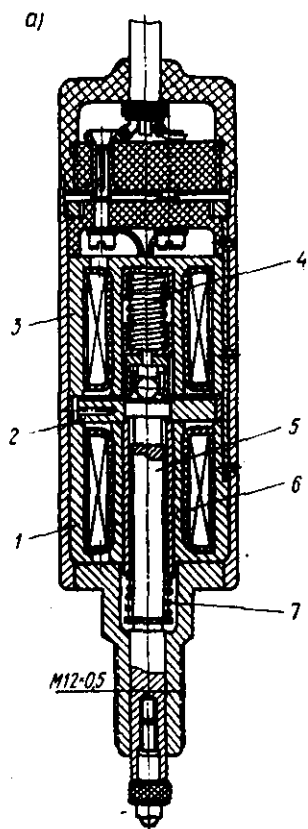


Рис. III.7. Индуктивный преобразователь ДИ1-М

переменного тока с напряжением 220 в. Через предохранитель Пр, тумблер-выключатель В и феррорезонансный стабилизатор, состоящий из конденсатора  $C_2$ , стабилизирующего  $Tr_1$  и компенсационного  $Tr_2$  трансформаторов, напряжение подается на мост. Общая точка катушек  $K_1$  и  $K_2$  датчиков соединена с общей точкой сопротивлений  $R_4$  и  $R_5$ , что обеспечивает падение напряжений в этих сопротивлениях, примерно равное падению напряжений в катушках датчика. Сопротивления  $R_4$  и  $R_5$  служат для дополнительного питания селенового выпрямителя СВ, что дает возможность получить высокую чувствительность и приемлемую линейность шкалы показывающего прибора  $\mu A$ . Прибор имеет две шкалы для грубого и точного отсчетов.

Переход с одной шкалы на другую осуществляется переключателем  $\Pi$ , который шунтирует реостаты  $R_2$  и  $R_{11}$  и сопротивление  $R_6$ , что повышает чувствительность схемы. При исходном положении якоря индуктивности катушек равны, сила тока в диагонали моста равна нулю, что соответствует нулевому показанию гальванометра. Смещение якоря из нулевого положения вызывает разбаланс моста и в диагонали его протекает ток, сила и направление которого соответствуют величине и направлению смещения якоря.

Датчик имеет рабочий ход измерительного стержня 0,6—0,8 мм при свободном ходе 4 мм. Пределы измерения по шкале  $\pm 50$  мкм при предельной погрешности измерения  $\pm 2$  мкм.

Емкостные преобразователи (датчики) и измерительные системы. Емкостный метод измерений основан на преобразовании линейных перемещений в изменение электрической емкости конденсатора. По изменению емкости судят об изменении размера. Емкостный метод измерения может быть бесконтактным или контактным. При бесконтактном методе измерения контролируемая деталь непосредственно включается в электрическую цепь в качестве одной из пластин конденсатора.

Схемы некоторых типов контактных емкостных преобразователей изображены на рис. III.8. Простой емкостный преобразователь (рис. III.8, а) имеет две пластины конденсатора: подвижную 4, которая закреплена на измерительном стержне 1, перемещающемся в направляющих 3, и неподвижную 5. Изменение зазора  $\delta$  между пластинами преобразуется в изменение емкости конденсатора  $C$ . В дифференциальном емкостном преобразователе (рис. III.8, б) подвижная пластина 4, закрепленная на измерительном стержне 1, перемещается между двумя неподвижными пластинами 5 и 8, образуя два конденсатора  $C_1$  и  $C_2$ , что значительно увеличивает чувствительность датчика. Измерительное усилие создается пружиной 2.

Переменным электрическим параметром емкостного преобразователя является емкость конденсатора [12,8]

$$C = (\epsilon S) / 4\pi\delta, \quad (\text{III.18})$$

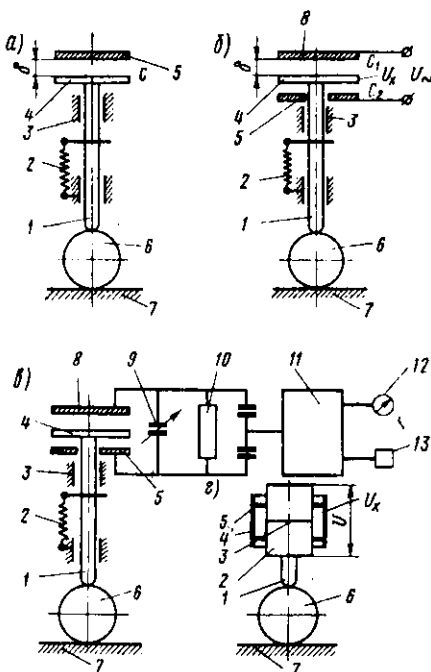


Рис. III.8. Схемы некоторых типов емкостных преобразователей

где  $\epsilon$  — относительная диэлектрическая проницаемость среды между пластинами конденсатора;  $S$  — площадь пластин,  $\text{см}^2$ ;  $\delta$  — воздушный зазор между пластинами,  $\text{см}$ .

При смещении пластины конденсатора на некоторую величину  $x$

$$C = \epsilon S / 4\pi (\delta - x) = \epsilon S / 4\pi \delta [1 - (x/\delta)]. \quad (\text{III.19})$$

Умножая и деля последнее выражение на  $[1 + x/\delta]$  и считая член  $(x/\delta)^2$  в знаменателе величиной второго порядка малости, получим

$$C = \frac{\epsilon S}{4\pi \delta} \left(1 + \frac{x}{\delta}\right) = C_0 + C_0 \frac{x}{\delta}, \quad (\text{III.20})$$

т. е. зависимость емкости конденсатора от величины перемещения измерительного стержня будет приблизительно линейной.

Принципиальная схема устройства, в котором применен дифференциальный емкостный преобразователь с двумя неподвижными пластинами, включенными в мостовую схему, показана на рис. III.8, а. Изменение положения стержня 1, на конце которого закреплена подвижная пластина 4, при измерении диаметра детали 6, установленной на столе 7, влечет за собой изменение емкости двух конденсаторов, образованных пластинами 4—5 и 4—8. Эти конденсаторы и регулировочный конденсатор 9 включены в мостовую схему, которая питается от высокочастотного генератора 10. Выходное напряжение преобразователя через усилитель 11 подается на отсчетный прибор 12 и исполнительное реле 13.

На рис. III.8, б изображена принципиальная схема цилиндрического емкостного датчика, разработанного ХСЗ \*. На измерительном стержне 1 закреплены две цилиндрические задающие втулки 2, разделенные изоляционным промежутком 3, которые вместе со стержнем перемещаются в строго соосной ему съемной втулке 4. При подаче на задающие втулки напряжения  $U$  повышенной частоты на съемной втулке создается напряжение  $U_x$ , амплитуда которого является приблизительно линейной функцией положения съемной втулки относительно задающих:

$$U_x = \Delta U (x/l), \quad (\text{III.21})$$

где  $\Delta U$  — перепад напряжения между задающими втулками;  $x$  — координата конца съемника относительно стыка задающих втулок;  $l$  — длина съемной втулки.

Установка охранных колец 5, которые находятся под напряжением, соответствующим заданному положению, позволяет устранить краевые эффекты на съемной втулке.

Расчет этого датчика показывает, что, задаваясь относительной погрешностью  $\delta = 10^{-5}$  и конструктивными параметрами [отношением  $\Delta/h = 0,04 \div 0,05$ , где  $\Delta$  — зазор между задающими втулками,  $h$  — радиальный рабочий зазор конденсатора ( $h = 1 \text{ мм}$ ) и  $l = 60 \text{ мм}$ ], можно получить диапазон линейности в пределах 93% интервала перемещений.

\* Тартаковский В. И. [и др.]. Прибор активного контроля размеров ГОСИНТИ № 14—68—440/50, 1968.

Емкостные датчики обладают малой инерционностью ( $< 0,04$  сек), высокой чувствительностью, весьма малым измерительным усилием, так как силы электростатического притяжения между пластинами очень малы. Несмотря на эти достоинства, они не получили пока достаточного распространения из-за сложности и недостаточной стабильности электронных схем включения. С усовершенствованием электронных приборов можно ожидать развития емкостного метода измерений.

### Электронные преобразователи (механотроны).

Электронные датчики представляют собой электронные лампы с механическим управлением электронными и ионными токами. Изменение размера (линейное перемещение) преобразуется в них непосредственно в изменение анодного тока и одновременно усиливает этот ток\*.

На рис. III.9, а изображена принципиальная схема электронного диодного датчика. Подвижный плоский анод 4 закреплен на рычаге 5, заделанном в эластичной стенке 1 колбы 2. Накаленный плоский катод 3 неподвижен. Измерительный стержень 6 датчика, контролирующий размер детали 7, воздействует на рычаг 5 и анод 4.

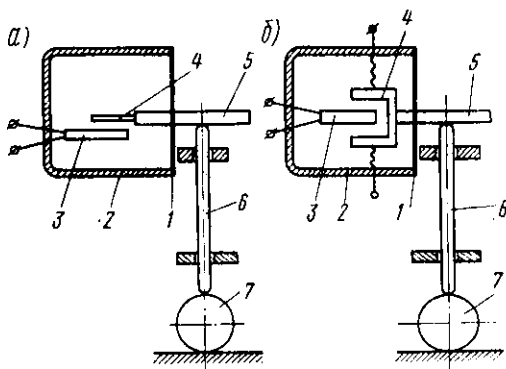


Рис. III.9. Принципиальные схемы электронных преобразователей (механотронов)

Анодный ток датчика

$$I_a = A s U_a^{3/2} / \delta^2, \quad (\text{III.22})$$

где  $A$  — коэффициент, равный  $2,34 \cdot 10^{-6}$ ;  $s$  — активная площадь катода;  $U_a$  — анодное напряжение;  $\delta$  — расстояние между электродами.

При изменении расстояния между электродами на величину  $\Delta\delta$  приращение анодного тока

$$\Delta I_a = (2 A s U_a^{3/2} / \delta^2) \Delta\delta. \quad (\text{III.23})$$

Основными параметрами датчика являются статические дифференциальные чувствительности датчика соответственно по току и напряжению:

$$S_I = (\partial I_a / \partial \delta)_{dU_a=0} = -2 A s U_a^{3/2} / \delta^2; \quad (\text{III.24})$$

$$S_U = (\partial U_a / \partial \delta)_{dI_a=0} = -4 U_a / 3 \delta. \quad (\text{III.25})$$

Недостатком диодного датчика является нелинейность его характеристик. В двоядных диодных датчиках (рис. III.9, б), предназна-

\* Автоматизация и механизация процессов производства в приборостроении. Под ред. А. И. Гаврилова. Машгиз, 1958.

ченных для работы в мостовых схемах, нелинейность характеристик сглаживается [8].

Электронные датчики обладают высокой чувствительностью, практически безынерционны.

БВ применило механотроны в серии шкальных долемикронных приборов для контроля отклонений геометрической формы и взаимного расположения поверхностей колец прецизионных подшипников качения. В ОКБ разработан ряд шкальных приборов и автоматов контроля с применением механотронов. Применяется серийно выпускаемый в СССР двоянный диодный малогабаритный механотрон 6МХ1С с общим неподвижным катодом косвенного канала и двумя подвижными анодами. Характеристики его: предельные перемещения рычага  $\pm 100$  мкм, напряжение анода 15 в; напряжение накала 6 в; ток анода 10 ма; чувствительность по току 30 мка/мкм; сила, приложенная к концу штоля, 0,3 н.

К числу недостатков электронных датчиков следует отнести продолжительность их нагрева до установления стабильных показаний, сравнительную сложность схем, недостаточную прочность.

#### Системы с промежуточным преобразованием

Фотоэлектрические преобразователи и измерительные системы. В фотоэлектрических преобразователях происходит промежуточное преобразование линейных перемещений в изменение энергии светового тока с помощью оптической системы. Энергия светового потока затем преобразуется в электрический сигнал с помощью фотоэлемента. Оптические схемы фотоэлектрических измерительных систем строятся на диафрагмировании или отражении светового потока.

Основной характеристикой фотоэлемента является зависимость выходного тока  $I_\Phi$  от величины светового потока  $\Phi$  при неизменных внешних условиях, т. е. при постоянной длине световой волны  $\lambda = \text{const}$  и постоянном напряжении  $U = \text{const}$ ,

$$I_\Phi = f(\Phi); \quad (\text{III.26})$$

Для некоторых фотоэлементов эта зависимость линейна:

$$I_\Phi = S\Phi, \quad (\text{III.27})$$

где  $S$  — чувствительность фотоэлемента.

Если свет, падающий на фотоэлемент, является монохроматическим (имеет одну длину волны  $\lambda$ ), то характеристикой фотоэлемента является спектральная чувствительность

$$S_\lambda = I_\Phi / \Phi_\lambda. \quad (\text{III.28})$$

Если световой поток имеет разные длины волн, то интегральная чувствительность

$$S = I_\Phi / \Phi. \quad (\text{III.29})$$

Фотоэлементы с внешним фотоэффектом типа ионных приборов (рис. III.10, а) бывают вакуумные и газонаполненные. Последние

имеют более высокую чувствительность. Анод фотоэлементов выполняется в виде плоской пластины, катод — в виде фоточувствительного слоя элемента на внутренней поверхности колбы. Чувствительность фотоэлемента зависит от температуры, при значительном повышении температуры нормальная его работа нарушается за счет возникновения термоионной эмиссии фотокатода. Газонаполненные фотоэлементы более инерционны и применяются лишь в случае малой интенсивности светового потока [10,8]. При росте его интенсивности характеристика газонаполненных фотоэлементов с внешним эффектом становится нелинейной. Фотоэлементы с внешним фотоэффектом типа фотоумножителей (рис. III.10, б) дают многократное повышение чувствительности за счет эффекта вторичной эмиссии. Несколько электродов ( $D_1 \div D_6$ ) располагаются последовательно, и поток электронов направляется с первого анода на второй, со второго на третий

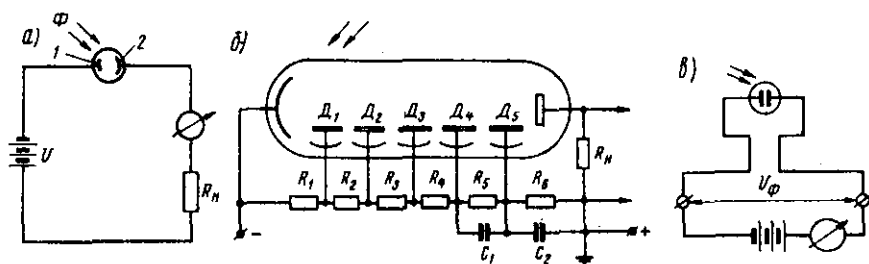


Рис. III.10. Принципиальные схемы фотоэлектрических датчиков:

1 — анод; 2 — катод;  $U$  — батареи;  $\Phi$  — световой поток;  $R_N$  — сопротивление нагрузки

и т. д. с помощью внешнего электростатического или магнитного поля. В этом случае поверхности анодов излучают вторичные электроны. При  $n$  электродах отношение числа вторичных электронов к числу первичных будет

$$\eta = I_n/I_1 = (I_2/I_1) (I_3/I_2) \dots (I_n/I_{n-1}) = a_1 a_2 a_3 \dots a_n = a^n. \quad (\text{III.30})$$

Электроды ФЭУ ( $D_1 - D_6$ ) находятся под возрастающим потенциалом, подающимся от делителя напряжения, состоящего из цепи последовательно соединенных сопротивлений  $R_1 - R_6$ . Стабильность коэффициента усиления  $\eta$  зависит от постоянства распределения напряжений. Поэтому последние сопротивления делителя шунтируются конденсаторами  $C_1, C_2$ .

Обычно принимают величину отношения  $a = 4-6$ . Фотоумножители имеют чувствительность  $S = 0,5 \text{ а/лм}$  и малый порог чувствительности  $\Phi_{\min} = 10^{-8} \text{ лм}$ .

Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом — фотосопротивления — имеют высокую чувствительность в видимой части спектра и инфракрасных лучах. Недостатки фотосопротивлений: нелинейность их характеристик, инерционность, зависимость от температуры, нестабильность и значительный темновой ток.

Фотосопротивления могут быть выполнены в виде монокристалла (например,  $\text{CdS}$ ), в который вмонтирован тонкий проводник

(рис. III.10, в). При освещении полупроводника между ним и проводником возникает э. д. с. Полупроводниковые фотосопротивления очень просты по конструкции, имеют малые габариты, очень высокую чувствительность, линейную характеристику при больших величинах светового потока. Инерционность их несколько выше, время запаздывания  $\tau = (5 \div 25) \cdot 10^{-3}$  сек.

Фотоэлектрические измерительные системы для непрерывного измерения размера по изменению величины светового потока, падающего на катод фотоэлемента, применяются редко. Причиной этого является нестабильность характеристик фотоэлементов во времени. Фотодатчики широко применяются в дискретных измерительных системах с отражением светового потока (см. § III.6), в счетных схемах, в оптических системах для измерения перемещений и др.

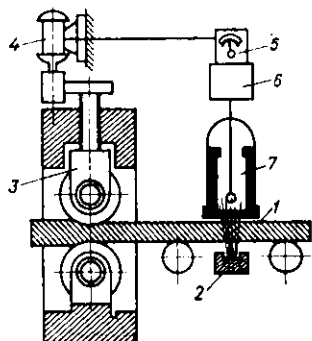


Рис. III.11. Схема измерительного устройства с радиоактивными изотопами для контроля толщины ленты

Измерительные системы с радиоактивными изотопами. В основе этих систем лежит преобразование отклонений размера детали в изменение интенсивности ядерного излучения, которое воспринимается приемными устройствами, где преобразуется в электрический сигнал.

Радиоактивность источников излучения оценивается обычно в милликюри:  $1 \text{ мкюри} = 3,7 \cdot 10^{-7}$  распадов в секунду.

Интенсивность излучения во времени уменьшается с падением активности источника излучения:

$$A = A_0 e^{-\lambda \tau}, \quad (\text{III.31})$$

где  $A$  — активность через время  $\tau$ ;  $A_0$  — начальная активность;  $\lambda$  — постоянная радиоактивного распада.

Основная характеристика источников излучения — это период полураспада  $T_{1/2}$ , т. е. время, в течение которого активность источника уменьшается вдвое:

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda. \quad (\text{III.32})$$

Интенсивность излучения радиоактивных изотопов измеряется с помощью приемников. Чаще всего применяются ионизационные камеры и счетчики Гейгера. Наиболее надежным из приемных устройств является ионизационная камера.

Измерительные системы с радиоактивными изотопами построены на методах поглощения или отражения излучения.

Схема бесконтактного контроля толщины металлической полосы в процессе проката, основанная на методе поглощения излучения, изображена на рис. III.11. Контейнер 2 с источником излучения помещен под прокатываемой полосой металла 1, а ионизационная камера 7 — над этой полосой на одной оси с источником излучения. В зависимости от изменения толщины полосы металл поглощает боль-



шее или меньшее число частиц, что вызывает изменение электрического сигнала, вырабатываемого камерой. После усиления в усилителе 6 сигнал передается на серводвигатель 4 и показывающий прибор 5. Серводвигатель, изменяя положение валков 3, регулирует толщину прокатываемой полосы.

Измерительные системы с радиоизотопными преобразователями для контроля размеров в машиностроении применяются в тех случаях, когда использование других систем невозможно. Этот метод бесконтактный, что является его преимуществом; недостатки — значительная инерционность систем (время стабилизации показаний прибора при использовании излучения  $\text{Sr}^{90}$  10 мкюри составляет 12 сек) и необходимость осуществления специальных мер по технике безопасности.

**Пневматические преобразователи (датчики) и измерительные системы.** В основе пневматического метода измерения размеров лежит зависимость расхода воздуха через контролируемое отверстие или зазор между торцом измерительного сопла и поверхностью контролируемой детали от величины этого зазора или площади поперечного сечения отверстия.

По способу измерения расхода воздуха все пневматические измерительные устройства делятся на устройства, в которых измеряется изменение давления (манометрические), и устройства, измеряющие изменение скорости воздушного потока (ротаметры). Большинство пневматических измерительных устройств принадлежит к первой группе.

Весовой расход воздуха через измерительный зазор устройства зависит от избыточного давления и площади проходного сечения зазора:

$$G = \varphi(p, f_2), \quad (\text{III.33})$$

где  $p$  — избыточное давление воздуха;  $f_2$  — площадь поперечного сечения выходного зазора (отверстия).

Давление воздуха, подводимого к пневматической измерительной системе, должно быть постоянным, тогда расход воздуха будет зависеть только от изменения измеряемой величины.

Принципиальные схемы пневматических измерительных устройств с измерением давления изображены на рис. III.12. Воздух под постоянным давлением  $H = \text{const}$  подается по трубопроводу 2 через входное сопло 1 в измерительную камеру 4 и вытекает из нее в атмосферу через выходное, или измерительное, сопло 5, которое в первой схеме (рис. III.12, а) является отверстием контролируемого жиклера. Измерительное давление  $h$  в камере 4 определяется соотношением площадей проходных сечений входного  $f_1$  и измерительного  $f_2$  сопел и давлением  $H$  на входе:

$$h \approx H / [1 + (\alpha_2/\alpha_1)^2 (f_2/f_1)^2], \quad (\text{III.34})$$

где  $\alpha_1$  — коэффициент расхода входного сопла;  $\alpha_2$  — коэффициент расхода измерительного сопла.

Считая  $\alpha_2/\alpha_1 \approx 1$ , получим

$$h \approx H / [1 + (f_2/f_1)^2]. \quad (\text{III.35})$$

При  $H = \text{const}$  и  $f_1 = \text{const}$  измерительное давление  $h = \varphi_1(f_2)$ , т. е. оно является функцией переменной площади проходного сечения контролируемого жиклера 5. Давление отсчитывается по манометру 3, подключенному к камере 4. Если против измерительного сопла 5 расположена поверхность контролируемой детали 6 (рис. III.12, б), то площадью проходного сечения будет площадь кольцевого зазора между торцом измерительного сопла и поверхностью контролируемой детали

$$f_2 = \pi d_2 z,$$

где  $d_2$  — внутренний диаметр измерительного сопла;  $z$  — измерительный зазор — зазор между торцом измерительного сопла и контроли-

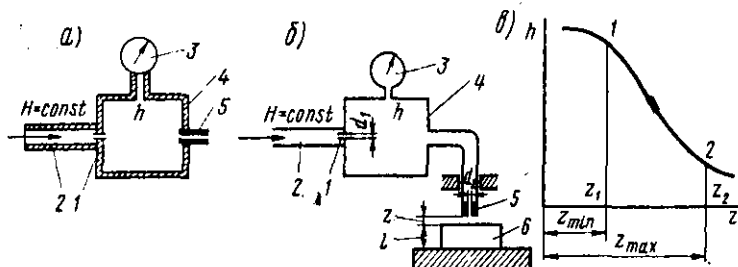


Рис. III.12. Принципиальные схемы и характеристика пневматической измерительной системы с измерением давления

руемой деталью, величина которого определяет отклонение действительного размера  $l$  детали. В этом случае

$$h = \varphi_1(z). \quad (\text{III.36})$$

Графически эта зависимость изображена на рис. III.12, в, ее называют *статической характеристикой пневматического измерительного устройства*.

Крутизна (тангенс угла наклона) кривой, т. е. производная от функции  $\varphi_1(z)$  по  $z$ , является передаточным отношением устройства

$$K = dh/dz, \quad (\text{III.37})$$

которое характеризует изменение измерительного давления  $h$  при изменении измерительного зазора на определенную величину.

Обычно для работы пневматических измерительных устройств используется часть характеристики, близкая к прямолинейной с максимальной крутизной, ограниченная точками 1 и 2. Тогда отрезок по оси абсцисс  $z_2 - z_1$  определяет предел измерения системы. Предел измерения и крутизна прямолинейного участка характеристики пневматического измерительного устройства с измерением давления зависят в основном от диаметров входных и измерительных сопел и в меньшей степени от рабочего давления  $H$ . С увеличением диаметра входного сопла  $d_1$  при  $d_2 = \text{const}$  и  $H = \text{const}$  предел измерения увеличивается и передаточное отношение падает. Таким образом, предел измерения и передаточное отношение пневматического измерительного устройства

с измерением давления могут изменяться в широких пределах сменной сопел.

Максимальный зазор, при котором теоретически сохраняется зависимость  $h$  от  $z$ , определяется неравенством

$$\pi d_2 z \leq \pi d_2^2 / 4, \quad (III.38)$$

следовательно,  $z_{\max} = 0,25 d_2$ .

Пневматические дифференциальные сильфонные датчики конструкции БВ (мод. 235) серийно выпускаются заводом «Калибр» (рис. III.13). Чувствительным элементом этих датчиков являются сильфоны (металлические гофрированные пружины) 1 и 8. Внутренние торцы сильфонов заделаны в воздухораспределителе 7 датчика, жестко закрепленном в его корпусе 14, внешние образуют подвижную систему датчика, будучи связаны тягами 12, заделанными в пластинах 13, которые подвешены к корпусу 14 на плоских пружинах 11. Очищенный воздух стабилизированного давления  $H$  подается по каналу 21 к входным соплам 5 и поступает далее в сильфоны 1 и 8. При работе по дифференциальной

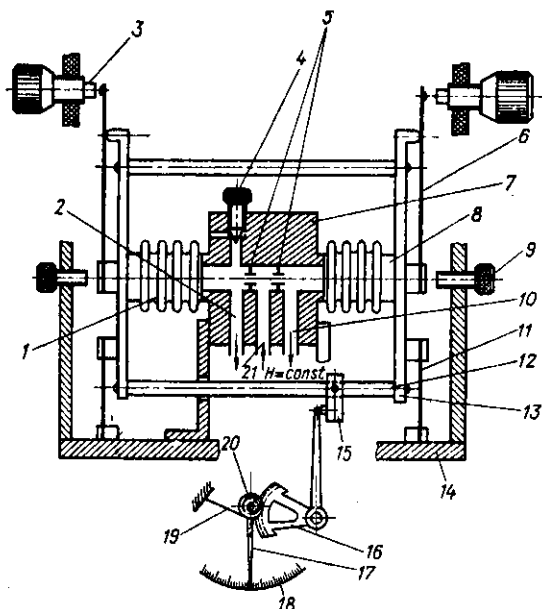


Рис. III.13. Схема дифференциального сильфонного датчика БВ

схеме к обоим каналам 10 и 2 присоединяется измерительная оснастка, с помощью которой определяются отклонения контролируемых размеров. При работе по схеме с противодавлением канал 2 заглушается и к сильфону 1 подключается узел противодавления 4, измерительная оснастка — к каналу 10 и сильфону 8. Разность давлений в сильфонах 1 и 8 приводит к перемещению их внешних торцов и всей подвижной системы. На тяге 12 крепится поводок 15, связанный с рычажно-зубчатой передачей 16, 20 и стрелкой 17 показывающего устройства. Волосок 19 устраняет мертвый ход в зубчатой передаче. С подвижной системой датчика связаны пластины 6 с электрическими подвижными контактами. Неподвижные регулируемые контакты 3 закреплены в корпусе 14. При достижении предельных размеров детали подвижная система датчика замыкает соответствующую пару контактов. Отсчет действительных размеров производится по шкале 18 датчика. Ход сильфонов ограничен упо-

рами 9. В этом датчике установлено шесть контактов; число делений шкалы  $\pm 40$ , рабочее давление  $(1 \div 2) \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$ . Цена деления зависит от настройки датчика и может изменяться от 0,0002 до 0,002 мм; предельная погрешность прибора  $\pm 10 \text{ мм вод. ст.}$

В самобалансирующемся пневмоэлектроконтактном мембранном датчике применена дифференциальная самобалансирующаяся пневматическая система нулевого перепада, принципиальная схема которой изображена на рис. III.14, а. Система представляет собой самобалансирующийся уравновешенный пневматический мост, работающий следующим образом: очищенный и стабилизированный по давлению воздух поступает к входным соплам 13 и 14 системы и далее в измеритель-

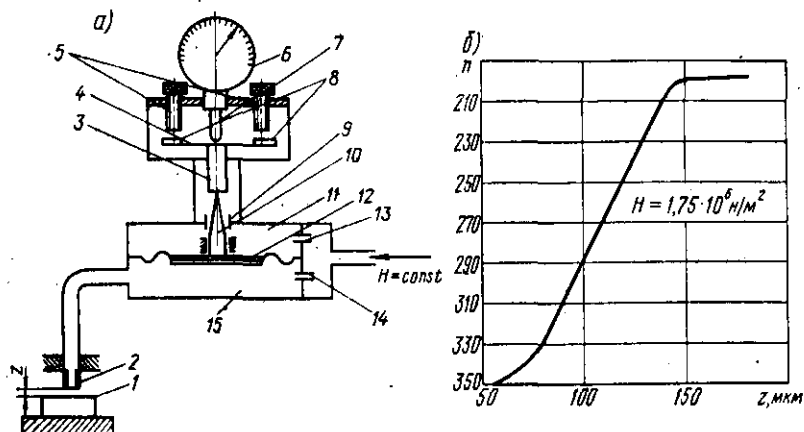


Рис. III.14. Самобалансирующийся дифференциальный датчик

ную 15 и компенсационную 11 камеры, которые разделены мембраной 12. На мембране закреплена коническая игла 10, которая во время перемещения изменяет площадь проходного сечения компенсационного сопла 9. Измерительное сопло 2 связано с измерительной камерой 15. При данном измерительном зазоре  $z$  мембрана 12 занимает такое положение, при котором расход через измерительное сопло 2 системы равен расходу через зазор между конической иглой 10 и соплом 9. В этом случае давления в камерах 15 и 11 равны.

Колебание размера детали 1 вызывает изменение измерительного зазора  $z$  и давления в измерительной камере 15. При этом равенство давлений в камерах нарушается и мембрана 12 вместе с конической иглой 10 начинает перемещаться в направлении равнодействующей до тех пор, пока давление в компенсационной камере не станет равным величине давления в измерительной камере. Величина перемещения мембраны и конической иглы пропорциональна величине изменения размера контролируемой детали (измерительного зазора  $z$ ), оно измеряется с помощью индикатора 6 часового типа, измерительный стержень 7 которого опирается через промежуточный штифт 3 на коническую иглу. Штифт 3 несет контактную пластину 4, на которой

расположены подвижные контакты 8 датчика. В верхней крышке датчика закреплены настроечные винты 5 с регулируемыми контактами.

Чувствительность самобалансирующейся системы при заданном диаметре измерительного сопла и равных диаметрах входных сопел зависит только от угла конуса иглы 10 и не зависит от величины зазора.

Системы, основанные на принципе самобалансирующегося моста, имеют более высокую точность, чем устройства с чувствительными упругими элементами (трубки Бурдона, сильфоны и др.), так как явления упругого последействия и гистерезиса этих элементов вносят дополнительные погрешности в результаты измерений. Передаточное отношение системы может меняться в широких пределах путем изменения угла конуса иглы компенсационного клапана. Время срабатывания (инерционность) приборов, основанных на принципе самобалансирующегося моста, значительно меньше, чем других приборов с измерением давления благодаря возможности работы на больших измерительных зазорах и малому объему камеры. Из-за нулевого перепада давлений и мостовой схемы нестабильность рабочего давления оказывает незначительное влияние на погрешность прибора. Неравномерность распределения зазоров при двухсопловой измерительной оснастке (калибр — пробка и др.) в меньшей мере сказывается на погрешности измерений, чем в других дифференциальных пневматических устройствах.

Конструкция приборов и датчиков проста и технологична. Существуют две модификации датчиков мод. 244 и 245, выпущенных заводом «Калибр». Они различаются числом контактных пар. Первый имеет три, а второй — шесть контактов.

Статическая характеристика датчика мод. 244 с ценой деления  $i = 0,5$  мкм, исследованного в МАМИ, изображена на рис. III.14, б. Датчик имеет прямолинейный участок характеристики при  $z_{\max} = 140$  мкм,  $z_{\min} = 75$  мкм и  $z_{\text{ср}} = 107,5$  мкм при пределе измерения 65 мкм. По оси ординат графика отложены деления  $n$  шкалы прибора, а по оси абсцисс — зазор  $z$ .

Одним из основных условий надежной работы пневматических измерительных устройств является обеспечение их тщательно очищенным сжатым воздухом постоянного давления. Источником питания служит, как правило, заводская пневматическая сеть, реже применяются индивидуальные компрессоры. Воздух, поступающий от источников питания, содержит большое количество пыли, частицы и пары влаги и масла.

Фильтры разнообразных конструкций очищают воздух, поступающий в пневматические приборы, от влаги, масла и пыли, предохраняя входные и измерительные сопла, а также регуляторы противодавления от засорения. Завод «Калибр» серийно выпускает фильтр мод. ТФ-17-11, разработанный БВ и КБ завода. Расход воздуха через фильтр при давлении в сети  $3 \cdot 10^5$  н/м<sup>2</sup> составляет 8 м<sup>3</sup>/ч, величина твердых частиц в воздухе после фильтрации не превышает 0,2 мкм, габариты фильтра 98 × 150 мм, вес его 9,3 н.

Наряду с индивидуальными фильтрами БВ разработаны также групповые фильтры, рассчитанные на очистку воздуха для группы приборов. ОКБ созданы комплексные установки (станции) подготовки воздуха для группы приборов и автоматов [9].

В БВ были проведены широкие исследования точности стабилизаторов давления воздуха. В результате исследований БВ и заводом «Калибр» разработана новая конструкция стабилизатора с усилителем ТФ-17-12.

#### **Сравнительная характеристика измерительных преобразователей (датчиков) и систем автоматического контроля**

В средствах автоматического контроля наиболее широко применяются электроконтактные, пневматические и индуктивные измерительные системы.

Электроконтактные преобразователи (датчики) имеют наиболее простую конструкцию и схему включения, удобны в наладке и в обслуживании и наиболее дешевы. Время срабатывания электроконтактных датчиков очень незначительно, и они пригодны для высокопроизводительных измерений деталей с допусками более 10 мкм. Производительность контроля может достигать 6000 измерений в час. Наименьший допуск группы сортировки 2,5 мкм.

К числу недостатков серийно выпускаемых электроконтактных датчиков следует отнести сравнительно большие габариты, что затрудняет их использование в многомерных приспособлениях, необходимость периодической зачистки контактов из-за их подгорания (окисления), чувствительность к вибрациям и ударам и неполную герметичность, что затрудняет их использование в системах активного контроля в процессе обработки на станках, где они подвергаются воздействию вибраций, смазочно-охлаждающей жидкости и т. д. К числу недостатков этих датчиков можно отнести также отсутствие отсчетных устройств, что затрудняет их настройку и не позволяет отсчитывать действительные значения измеряемой величины и наблюдать за ходом процесса. Этот недостаток компенсируют встраиванием механических отсчетных головок, что, однако, увеличивает габариты датчиков и приводит к увеличению измерительных усилий. Электроконтактные датчики наиболее широко применяются в контрольно-сортировочных автоматах и полуавтоматах.

Индуктивные измерительные системы имеют более сложную конструкцию и электросхему, требуют высококвалифицированного обслуживания и настройки и являются более дорогими. К числу преимуществ индуктивных измерительных систем можно отнести: высокую их чувствительность и точность, наличие отсчетных устройств, что дает возможность определять действительные отклонения размеров, непрерывно наблюдать за ходом процесса и применять их в системах непрерывного регулирования; дистанционность отсчетного устройства, т. е. возможность отделить измерительный узел от отсчетного. Индуктивные измерительные системы высокопроизводительны (до 6000 измерений в час). Обладая некоторой инерционностью, индуктивные дат-

чики менее чувствительны к вибрациям, чем электроконтактные, они широко применяются в средствах активного контроля.

Индуктивные измерительные системы имеют широкий диапазон пределов измерений и позволяют осуществлять непрерывную регистрацию измерительного процесса (индуктивные самописцы), а также простые счетные операции. Точность сортировки до 0,5 мкм.

Однако на изменение характеристик индуктивных преобразователей существенно влияют колебания тока и напряжения в цепи, вследствие чего требуется их тщательная стабилизация, а также колебания температуры. Схемы многокомандных датчиков для осуществления многодиапазонной сортировки или управления многоступенчатыми циклами сложны, и настройка их требует применения специальных средств.

В последние годы схемы включения индуктивных датчиков усовершенствованы, и они находят более широкое применение в средствах автоматического контроля.

Пневматический метод измерения получил широкое распространение в нашей стране и за рубежом. Это объясняется рядом характерных преимуществ и свойств пневматического метода. Пневматические измерительные системы обладают высокой чувствительностью (передаточным отношением) при простой схеме и конструкции и удобстве обслуживания. В зависимости от решаемой метрологической задачи они позволяют получить регулируемое передаточное отношение  $2000 \div 20000$ , а при необходимости и до 50 000, соответственно цена деления составляет  $1 \div 0,1$  мкм. Приборы имеют достаточно высокую стабильность и незначительные погрешности измерений. Одной из причин широкого распространения пневматического метода является возможность осуществления бесконтактных измерений. Измерительная оснастка пневматических датчиков имеет малые габариты, и поэтому метод может применяться для измерения в труднодоступных местах, где другие методы неприменимы. Отсчетные устройства отделены от измерительных узлов. Дистанционность измерений, а также нечувствительность к вибрациям позволяют применить пневматический метод в устройствах для контроля в процессе обработки. Пневматический метод измерений позволяет осуществлять простые счетные операции: сложение, вычитание, усреднение измеряемых величин, их запись и запоминание. Пневматические измерительные устройства легко автоматизируются.

К числу факторов, ограничивающих возможности использования пневматического метода измерений, следует отнести прежде всего необходимость наличия особого источника энергии (компрессора), специальных устройств для стабилизации давления и тщательной очистки потребляемого сжатого воздуха, так как нарушение этих условий ведет к значительному росту погрешностей измерения. Пневматические приборы с измерением давления обладают значительной инерционностью, особенно при высокоточных измерениях. Производительность контроля деталей до 3000 шт/ч при допусках  $>5$  мкм. Инерционность пневматических систем иногда используется для усреднения показаний. Применение существующих пневматических

систем ограничивает узкий предел измерений (до 120 мкм). Однако за последние годы разработан ряд пневматических систем с расширенными пределами измерений (инжекторные, с механическими, пневмомеханическими и другими преобразователями).

Емкостные и механотронные измерительные системы являются перспективными для осуществления высокоточных измерений (доле-микронной точности).

За последние годы появились комбинированные системы, в которых сочетаются различные физические принципы преобразования измерительных сигналов, например пневмоиндуктивные, электроконтактно-индуктивные, пневмоэлектронные и др. Это направление развития также следует считать перспективным, так как в комбинированных системах используются преимущества каждого из составных элементов, преодолеваются их недостатки и достигается высокая чувствительность и точность измерений.

### § III.4. Средства активного контроля

Средства активного контроля в зависимости от их места в технологическом процессе могут быть разделены на средства для контроля в процессе обработки, до и после обработки.

Средства автоматического контроля в процессе обработки (рис. III.15) непрерывно следят за изменением размера заготовки и управляют работой станка: изменяют режимы обработки при промежуточных величинах припуска и прекращают обработку после достижения окончательного (заданного) размера.

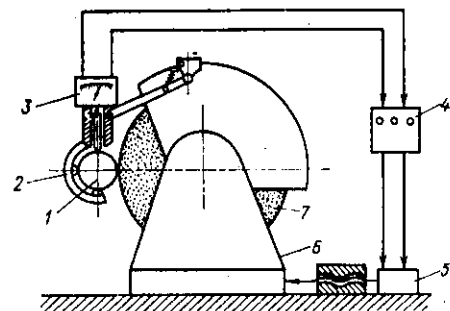


Рис. III.15. Схема активного автоматического контроля в процессе обработки

Деталь 1, установленная в центрах круглошлифовального станка, в процессе шлифования контролируется скобой 2 измерительного устройства. Изменение размера в процессе обработки воспринимается датчиком 3 и преобразуется в нем в электрический сигнал, который усиливается в командно-сигнальном пульте 4 и преобразуется в команду, управляющую механизмом 5 поперечных подач и движением бабки 6 шлифовального круга 7.

К числу средств активного контроля относят также визуальные устройства для наблюдения за ходом технологического процесса. Оператор непрерывно следит за показаниями прибора и прекращает обработку при заданном положении указателя. В этом случае в скобу 2 вместо датчика 3 встраивается универсальная отсчетная головка.

Средства послеоперационного контроля контролируют один или несколько параметров детали непосредственно после ее обработки,



при этом их устанавливают на станке вне его рабочей зоны или рядом со станком (рис. III.16). Деталь 4 после выхода из рабочей зоны бесцентрово-шлифовального станка устанавливается на позицию измерения 8, где контролируется измерительным устройством 7 с датчиком 6. При выходе контролируемого параметра за заданные границы датчик 6 дает сигнал на командно-сигнальный пульт 5, где сигнал усиливается и подается команда на подналадку или останов станка через командо-аппарат 1 привода бабки 2 ведущего круга 3. В первом случае средство послеоперационного контроля называют *подналадчиком*, во втором — *контрольно-блокировочным устройством*.

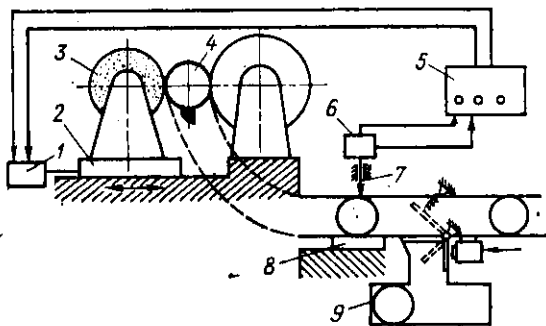


Рис. III.16. Схема активного автоматического послеоперационного контроля

Чтобы исключить возможность управления станком по результатам случайного отклонения

размеров, необходимо импульс на подналадку станка давать по результатам измерения группы деталей, для чего пульт управления должен снабжаться счетно-запоминающей схемой. Устройства послеоперационного контроля могут выполнять также ряд других функций: отсортировывать бракованные детали, направляя их в сборник 9 брака, или рассортировывать их на группы внутри поля допуска для селективной сборки. При появлении брака дается команда на останов станка.

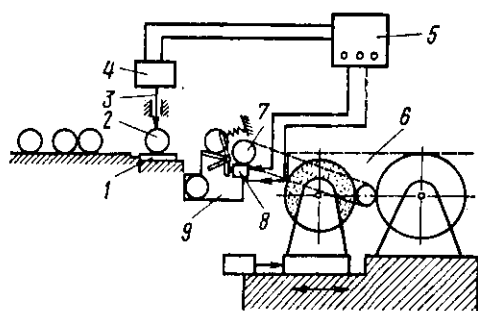


Рис. III.17. Схема активного автоматического контроля до начала обработки

инструмент и механизмы станка от аварий. Эти средства могут давать команду на удаление негодной заготовки из потока или останавливать станок. Оператор в последнем случае удаляет бракованную заготовку вручную.

Деталь 2 устанавливается на измерительную позицию 1 и контролируется измерительным устройством 3, расположенным перед станком 6. Измерительное устройство 3 снабжено датчиком 4. Сигнал дат-

Автоматические средства контроля деталей до их поступления на станок называют *защитно-блокировочными устройствами* (рис. III. 17). Они не допускают попадания на станок заготовок с размерами, выходящими за допустимые пределы, предохраняя

чика при попадании на измерительную позицию негодной заготовки усиливается в командно-сигнальном пульте 5 и воздействует на сортировочный механизм 8, сбрасывающий ее в сборник 9 брака. Годные заготовки 7 поступают на станок.

Средства активного контроля наиболее широко применяются на отделочных операциях: при круглом наружном и внутреннем шлифовании, бесцентровом и плоском шлифовании, хонинговании. Реже они применяются при точении, растачивании, сверлении, зубообработке и др.

Средства активного контроля в процессе обработки чаще основываются на прямом методе измерения, когда непосредственно измеряется контролируемый размер детали или его отклонения от размера установочной меры (см. рис. III.15), реже на косвенном методе измерения, когда измеряется параметр, связанный с контролируемым размером определенным соотношением.

В процессе обработки обычно контролируется один обрабатываемый параметр (размер), на величину которого средство активного контроля воздействует непосредственно. Отклонения формы в процессе обработки обычно не контролируются, так как автоматическое управление этими параметрами не производится.

В устройствах для контроля в процессе обработки обычно применяется контактный способ измерения: губки скобы или наконечники рычагов непосредственно касаются обрабатываемой поверхности.

Разработаны также бесконтактные устройства для контроля в процессе обработки, основанные на пневматическом, индуктивном, фотоэлектрическом и радиационном методах измерения. При достаточных величинах измерительных усилий контактный способ более надежен, несмотря на износ измерительных наконечников и оставление следа на тонко обработанной поверхности детали.

Средства активного контроля, в которых применяется контактный способ измерения, могут иметь контакт с поверхностью детали в одной, двух и трех точках, а также поверхностный контакт. Соответственно они разделяются по типу воспринимающего элемента на одно-, двух-, трехконтактные устройства и устройства с поверхностным контактом. Последние применяются для контроля поверхности в процессах внутреннего шлифования и хонингования с помощью калибров-пробок.

По назначению средства активного контроля делятся на группы по видам технологических процессов и типам управляемых ими станков: средства для активного контроля при круглом, бесцентровом, плоском шлифовании, хонинговании, точении и т. д.

В средствах активного контроля применяются различные измерительные преобразователи и системы. Наиболее широко распространены электроконтактный, пневмоэлектроконтактный и индуктивный методы измерений. В неавтоматических (визуальных) средствах контроля используются рычажно-механические универсальные приборы, пневматические и индуктивные приборы.

**Погрешности систем активного контроля.** Средства активного контроля являются составной частью технологических систем, точность которых определяется характеристиками рассеивания размеров де-

талей, выпускаемых на металлорежущих станках с активным контролем. Погрешности системы зависят как от собственных погрешностей измерительного устройства, так и в значительно большей степени от погрешностей технологической системы, т. е. от погрешностей станка (колебаний зазоров, инерционности, вибрации и др.), приспособления, износа инструмента, выбранных режимов обработки, колебания припусков на обработку, структуры автоматического цикла, условий охлаждения, тепловых и силовых деформаций системы СПИД (станок—приспособление—инструмент—деталь) и др.

Погрешности срабатывания и смещения настройки современных точных средств активного контроля, применяемых на шлифовальных станках, составляют от  $\pm 0,5$  до  $\pm 1$  мкм, рассеивание размеров деталей при применении этих устройств на разных станках и в разных технологических условиях может колебаться в широких пределах и, как правило, значительно превышает величину собственной погрешности прибора.

Погрешность размеров обрабатываемых деталей, так же как и погрешности измерения, делятся на систематические, случайные и грубые (см. § III.2).

Исследование суммарных погрешностей какого-либо технологического процесса производят путем измерения размеров партии обрабатываемых деталей. Величина партии должна достаточно полно характеризовать изучаемый процесс. Статистические характеристики процесса определяются путем математической обработки результатов измерений. Зоной рассеивания (размахом) отклонений  $V$  называют разность между наибольшим и наименьшим значениями отклонений размеров партии деталей:  $V = x_{\max} - x_{\min}$ . Для упрощения математической обработки зона делится на 6—10 интервалов. Среднее значение отклонений (центр группирования)  $\bar{X}$  характеризует систематическую погрешность процесса:

$$\bar{X} = \sum x_i (n_i/N),$$

где  $x_i$  — среднее значение  $i$ -го интервала;  $n_i$  — частота повторений;  $N$  — общее число деталей в партии.

Отношение  $n_i/N$  называют частотой, или эмпирической вероятностью, появления значения  $x_i$ . По значениям  $x_i$  и  $n_i/N$  строят эмпирическую кривую распределения (рис. III.18, а), которую сравнивают с теоретическим законом распределения. Среднее квадратическое отклонение размеров партии деталей  $\sigma = \sqrt{\sum x_i^2 (n_i/N) - \bar{X}^2}$  является характеристикой случайных погрешностей процесса. Эти величины характеризуют как погрешности обработки, так и погрешности измерения размеров [6], т. е.

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{обр}}^2 + \sigma_{\text{изм}}^2}, \quad \bar{X} = \bar{X}_{\text{обр}} + \bar{X}_{\text{изм}},$$

где  $\sigma_{\text{обр}}$  — среднее квадратическое отклонение погрешностей обработки;  $\sigma_{\text{изм}}$  — средняя квадратическая погрешность измерений; соответственно  $\bar{X}_{\text{обр}}$  и  $\bar{X}_{\text{изм}}$  — средние значения отклонений обработки и измерений.

Суммарная кривая распределения и приведенные величины не могут характеризовать тенденцию изменения размеров во времени. Она определяется по точечной диаграмме (рис. III.18, б). По оси ординат диаграммы откладывают отклонения размеров, по оси абсцисс — порядковые номера деталей, т. е. время  $t$ . Эти точки соединяют ломаной прямой 1. Изменение средних значений мгновенного распределения является характеристикой тенденции изменения размеров во времени. Последовательно отложенные отклонения размеров разбивают на небольшие одинаковые группы, в пределах которых

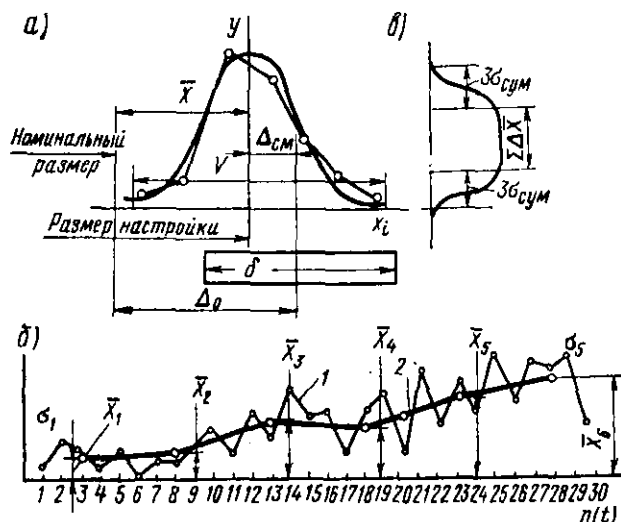


Рис. III.18. Математическая обработка результатов измерений партии деталей:

$\Delta_0$  — координата середины поля допуска;  $\delta$  — допуск на размер;  $\Delta_{\text{см}} = \bar{X} - \Delta_0$ ;  $V$  — зона рассеивания

изменения средних значений незначительны, рассчитывают случайные и систематические погрешности (параметры мгновенного распределения)  $\sigma_{i\text{мгн}}$  и  $X_{i\text{мгн}}$  внутри каждой группы. Затем средние значения  $\bar{X}_{i\text{мгн}}$  наносят на точечную диаграмму (см. рис. III.18, б) и соединяют ломаной прямой 2.

Собственно случайные погрешности мгновенного рассеивания обработки характеризуются значениями  $\sigma_{i\text{мгн}}$ . Кривая 2 характеризует функциональные усредненные погрешности обработки [6]. Одной из основных характеристик функциональных усредненных погрешностей является средняя величина изменения функциональной усредненной погрешности, приходящаяся на одну деталь:

$$a = (\bar{X}_n - \bar{X}_1) / N_1, \quad (\text{III.39})$$

где  $\bar{X}_n$  — значение среднего отклонения последней группы деталей;  $\bar{X}_1$  — значение среднего значения первой группы деталей;  $N_1$  — число деталей между точками, соответствующими  $\bar{X}_n$  и  $\bar{X}_1$ .

В нашем примере  $a = (\bar{X}_0 - \bar{X}_1)/25$ .

Значение величины  $a$  тем больше, чем сильнее проявляется влияние какой-либо функциональной погрешности, например износа режущего инструмента.

Суммарное рассеивание размеров партии деталей зависит как от собственно случайных погрешностей мгновенного распределения, так и от усредненных погрешностей. Под влиянием последних центр группирования суммарной кривой распределения (рис. III.18, в) смещается на величину  $\Sigma \Delta \bar{X} / 2 = (\bar{X}_n - \bar{X}_1)/2$ , а предельная величина суммарного поля рассеивания  $V$ , предполагая, что собственно случайные погрешности мгновенного распределения подчиняются нормальному закону (закону Гаусса), может быть выражена формулой

$$V = \Sigma \Delta \bar{X} + 6 \sigma_{\text{сум}}, \quad (\text{III.40})$$

где  $\Sigma \Delta \bar{X}$  — алгебраическая сумма усредненных (систематических) погрешностей;  $\sigma_{\text{сум}}$  — суммарное среднее квадратическое отклонение собственно случайных погрешностей обработки:

$$\sigma_{\text{сум}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2}. \quad (\text{III.41})$$

Величина допуска на размер  $\delta$  должна превышать величину суммарного поля рассеивания  $V$ . Разность  $\delta - V$  является запасом точности процесса и характеризует его стабильность.

Рациональное применение методов и средств активного контроля позволяет в значительной степени компенсировать систематические, а в ряде случаев и случайные составляющие погрешностей, зависящие от ряда факторов. Возможность компенсации составляющих погрешностей обработки является мерилom качества системы автоматического активного контроля, определяющим в основном ее точностные параметры. Так, средства контроля в процессе обработки могут при правильном их конструировании почти полностью компенсировать погрешности, возникающие вследствие силовых и тепловых деформаций системы. Подналадчики компенсируют лишь систематические погрешности обработки.

Характеристики рассеивания размеров деталей, обработанных на станках, оборудованных системами активного контроля, являются наиболее полными комплексными (суммарными) характеристиками погрешностей этих систем.

Баланс точности системы должен производиться на основе определения составляющих этой суммарной погрешности. Отдельно должны быть определены собственные погрешности средства активного контроля в статических и динамических условиях, а также составляющие суммарной погрешности, вносимые различными технологическими факторами.

Собственные погрешности средств активного контроля играют тем большую роль в суммарной погрешности системы, чем точнее станок и стабильнее технологический процесс обработки.

При контроле валов в процессе обработки (рис. III.19) контролируемым параметром является диаметр  $D$  обрабатываемой детали. Двух- и трехконтактные средства контроля валов (рис. III.19, а и б), основываются на прямом методе измерений. Измерительный подвижный 9 и опорные 6 наконечники этих приборов измеряют непосредственно диаметр  $D$  детали 7. Скобы 5 являются плавающими и подвешены шарнирно на плоской пружине 3 (см. рис. III.19, а) или специальным шарнирном механизме 3 (см. рис. III.19, б). Базой измерений является поверхность обрабатываемой детали, закрепленной в центрах или патроне станка. При применении средств контроля, сконструированных по этим схемам, полностью компенсируются систематические и случайные погрешности системы, зависящие от тепловых и силовых деформаций станка, износа инструмента — шлифовального круга, систематические погрешности, зависящие от силовых деформаций детали.

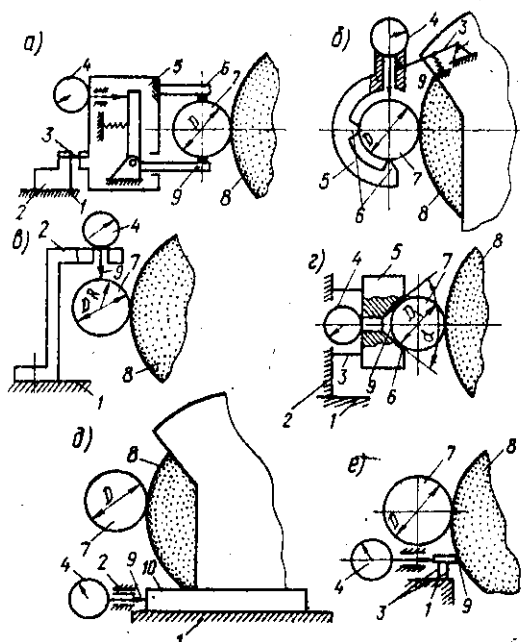


Рис. III.19. Классификация устройств активного контроля валов

Базой измерений в одноконтактных устройствах является стол или станина 1 станка, на которой закреплена стойка 2 устройства. При таком методе измерений компенсируются полностью погрешности, зависящие от износа шлифовального круга 8, в значительной мере — от силовых деформаций детали, и не компенсируются погрешности, зависящие от тепловых и силовых деформаций станка. Суммарная погрешность этого метода активного контроля значительно выше, чем при использовании двух- и трехконтактных устройств.

Устройства, в которых применяются седлообразные скобы (рис. III.19, в), и устройства, осуществляющие контроль по положению поверхности шлифовального круга 8 (рис. III.19, е) или бабки шлифовального круга 10 (рис. III.19, д), основываются на косвенном методе измерения.

При контроле с использованием в качестве воспринимающего элемента плавающей седлообразной скобы 5 (см. рис. III.19, а) между изменением  $\delta D$  диаметра контролируемой детали 7 и изменением показаний  $\delta y$  измерительного прибора 4 существует зависимость [6]

$$\delta y = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\sin \alpha/2} - 1 \right) \delta D. \quad (\text{III.42})$$

Базой измерений является поверхность обрабатываемой детали. При этом методе контроля полностью компенсируются погрешности вследствие тепловых и силовых деформаций станка, износа круга, систематическая составляющая погрешностей от силовых деформаций

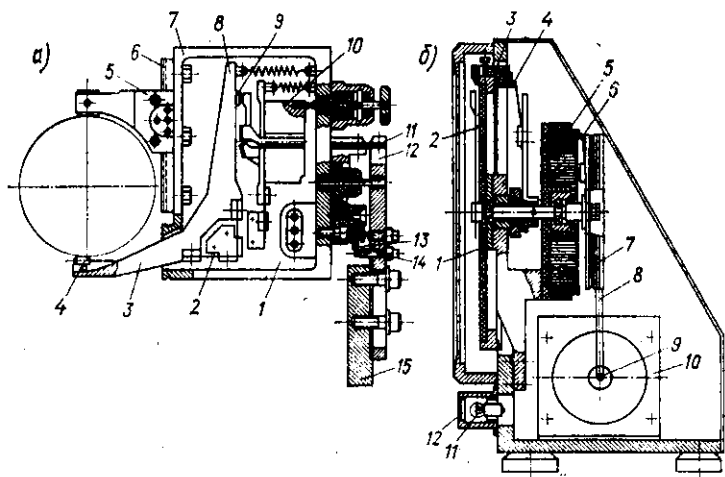


Рис. III.20. Индуктивное устройство активного контроля БВ-1017

детали. Суммарная погрешность метода зависит в значительной степени от угла  $\alpha$  призмы скобы 5 и погрешностей геометрической формы обрабатываемой детали.

О размере детали можно судить также по положению инструмента — шлифовального круга 8 (см. рис. III.19, е) или бабки шлифовального круга 10 (см. рис. III.19, д). Базой измерений является станина 1 станка. При применении этих методов контроля не компенсируются силовые и тепловые погрешности станка, тепловые и силовые деформации детали и лишь в первой схеме (см. рис. III.19, е) — износ шлифовального круга. Суммарные погрешности этих методов активного контроля велики, и применение их целесообразно лишь при больших допусках на обработку.

Двухконтактные устройства наиболее широко применяются в практике активного контроля.

В БВ разработано устройство БВ-1017, основанное на индуктивном методе измерения [5]. Двухконтактная измерительная скоба 1 устройства (рис. III.20, а) крепится с помощью кронштейна 15 к механизму подвода, закрепленному на столе круглошлифовального стан-

ка. На корпусе 7 скобы закрепляется неподвижная губка 5, которая может перемещаться при настройке на размер шлифуемой детали по направляющей 6. Пределы контролируемых диаметров деталей 30—100 мм. Подвижный измерительный наконечник 4 закреплен на рычаге 3, который подвешен к корпусу 7 скобы на крестопружинном шарнире 2. На вертикальном плече 8 рычага закреплен упор 9, связанный с якорем индуктивного датчика 10 (типа БВ-Н-1007А). Корпус скобы подвешен на плоской пружине 11 к планке 12 кронштейна 15. Регулировка усилия прижима верхней губки 5 производится с помощью винта 14 и рессоры 13. Отсчетное устройство прибора (рис. III.20, б) устанавливается на станке в удобном для наблюдения месте и имеет круговую шкалу 1 диаметром 150 мм. На ней нанесено 120 делений с ценой деления 1 мкм. Стрелка 2 отсчетного устройства вращается вокруг оси, на которой закреплена щетка 4. По окружности ободка шкалы устанавливаются контакты 3. На той же оси закреплена щетка 6, скользящая по реохорду 5, включенному в мостовую схему с индуктивным датчиком. Поворот стрелки 2 и щеток 4 и 6 производится электродвигателем 10 с помощью шкивов 9 и 7 и нити 8. В нижней части расположены сигнальные лампочки 11 с цветными колпачками 12, которые зажигаются при замыкании соответствующих контактов, выдающих команды на управление циклом станка.

Погрешность устройства  $\pm 1,5$  мкм; применяется оно при изготовлении деталей 2-го класса точности. Недостатком устройства является возможность растяжения нити 8.

За рубежом и в Советском Союзе применяются индуктивные устройства активного контроля, выпускаемые фирмой «Марпосс» (Италия).

Двухконтактное устройство типа «Микромар» предназначено для контроля гладких валов на круглошлифовальных станках. Скоба автоматически подводится к обрабатываемой детали с помощью гидравлического механизма подвода. Каждая из измерительных губок подвешена независимо на плоскопружинном параллелограмме и воздействует на индуктивный датчик, расположенный в корпусе скобы. Пределы измерений  $6 \div 76$  и  $76 \div 120$  мм. Электронный пульт имеет две шкалы: для грубого и точного отсчета с ценами делений 0,01 и 0,001 мм. Общий предел измерения 0,5 мм. Нестабильность срабатывания не превышает 0,2—0,3 мкм, предельная погрешность, включая смещение настройки за смену, по данным фирмы, не превышает 1 мкм.

Устройство БВ-1096М основано на пневматическом методе измерения. Схема устройства изображена на рис. III.21 [13]. Сжатый воздух поступает от сети под давлением  $(3,9 \div 6) 10^5$  н/м<sup>2</sup> в блок фильтра со стабилизатором 4 и далее через распределитель 7 в измерительную цепь системы, состоящую из входного сопла 23, сильфона 21, шланга 22, измерительного сопла 25 измерительной скобы 26, и в цепь противодействия, состоящую из входного сопла 3, сильфона 5, сопла противодействия 2 и пятки 1.

При изменении зазора  $s$  между соплом 25 и пяткой 27 подвижная система датчика с кареткой 6 перемещается на величину, пропорциональную изменению диаметра детали 32. Перемещение каретки 6 передается с помощью рычажно-зубчатой передачи 16 на стрелку 15 отсчет-



ного устройства. На каретке 6 установлены подвижные контакты 18, 9, а на каретках 17, 10, закрепленных на корпусе прибора, — неподвижные регулируемые контакты 19, 8. При достижении заданных размеров контакты замыкаются, импульс усиливается электросхемой прибора и на исполнительный механизм станка подается соответствующая команда.

Настройка регулируемых контактов 8 и 19 производится путем перемещения кареток 10, 17 с помощью кулачков 11, 14, профили которых выполнены в виде архимедовой спирали так, что величина перемещения контакта равна величине перемещения указателей 12, 13 по шкале прибора. Поворот кулачков 11 и 14 производится кнопкой 20 через зубчатую передачу. Измерительная двухконтактная скоба

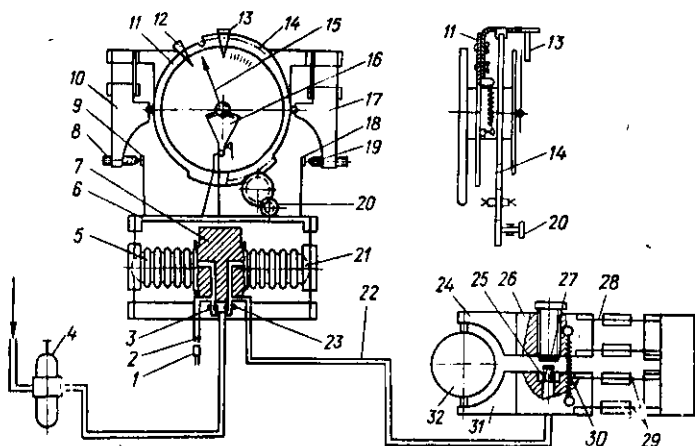


Рис. III.21. Пневматическое устройство активного контроля БВ-1096М

26 имеет две подвижные губки 24, 31, подпружиненные пружиной 30 и подвешенные к корпусу скобы на плоскопружинных параллелограммах 28, 29.

Конструкция скобы изображена на рис. III.22. Измерительные цилиндрические наконечники 1 и 21, выполненные из твердого сплава, закреплены в измерительных губках 2 и 20, подвешенных к колодкам 11 на плоскопружинных параллелограммах 8 и 13. При настройке скобы на заданный размер губки 2 и 20 перемещаются по направляющим 6 и 23 типа «ласточкин хвост» с помощью реечных передач 3, 19 и закрепляются на них винтами 4 и 18. Колодки 11 закреплены на корпусе скобы 9. В губке 2 установлено измерительное сопло 5, а в губке 20 — винт 17, положение пятки которого определяет величину измерительного зазора. Положение пятки фиксируется винтом 16. Измерительное сопло соединяется с пневматическим датчиком с помощью штуцера 10 и шланга. Подвижная система скобы закрыта пластинами 22 и откидной крышкой 15 кожуха. Перемещение губок ограничивается упорами 14. Измерительное усилие создается пружиной 12.

Благодаря инерционности пневматического метода измерений устройство может быть использовано также для контроля при шлифовании прерывистых поверхностей (например, шлицевых валов). Для этой цели над измерительным соплом 5 скобы с зазором 0,1 мм установлен ограничительный колпачок 7. При прохождении измеритель-

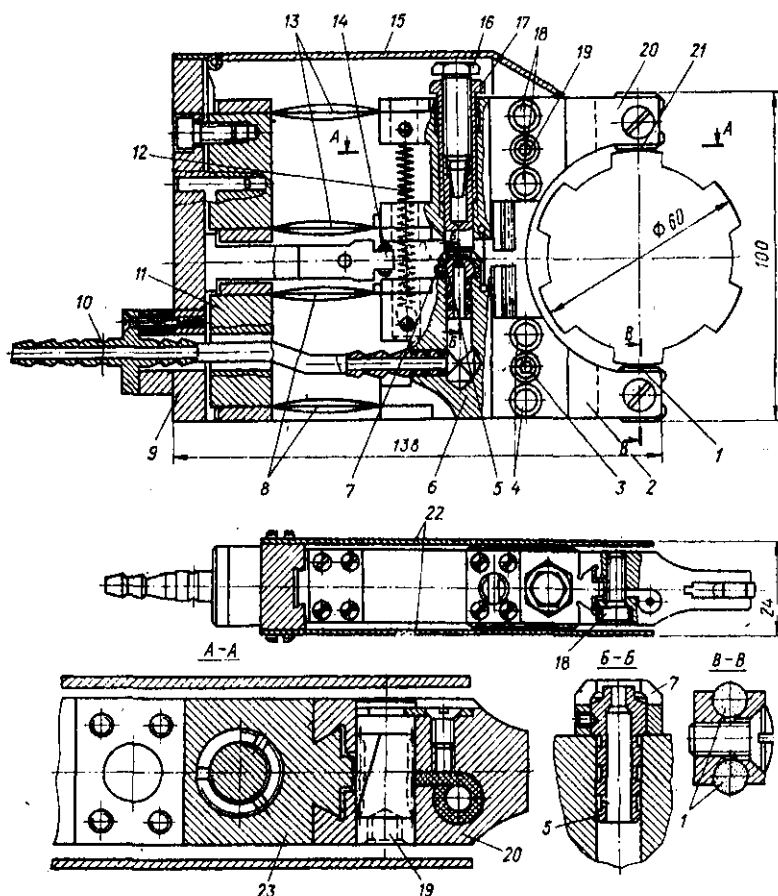


Рис. III.22. Конструкция измерительной скобы БВ-1096-III2

ных наконечников над впадинами между соплом и пяткой устанавливается минимальный зазор, а при их прохождении над выступами — зазор, соответствующий обрабатываемому диаметру детали.

При испытаниях серийно выпускаемых Челябинским инструментальным заводом (ЧИЗ) устройств 1096М в БВ установлено, что нестабильность срабатываний лежит в пределах 0,5 мкм, погрешность настройки контактов составляет 0,4 мкм, смещение настройки при изменении давления с  $3,5 \cdot 10^5$  до  $6,7 \cdot 10^5$  н/м<sup>2</sup> — 0,3 мкм, изменении напряжения на входе электрической схемы — 0,2 мкм. Смещение настройки

после 25000 циклов составило 20 мкм. При обработке на станке 3А 151 небольшой партии (46 шт.) гладких цилиндрических валов с припуском 0,1 мм (припуск на выхаживание 0,03 мм) зона рассеивания размеров составила 4,5 мкм, при обработке прерывистых поверхностей эта зона увеличилась до 7,5 мкм. К числу недостатков устройства следует отнести необходимость его подстройки через каждый час-полтора работы и частые поломки плоских пружин скобы.

Многокомандные устройства МАМИ-3 с двухконтактной скобой [5], основанные на пневмоэлектроконтактном методе измерения, установлены в автоматической линии МАМИ — НИИТракторосельхозмаш для шлифования осей катка трактора ДТ-54 на Саратовском заводе «Серп и Молот». Устройство управляет многоступенчатым автоматическим циклом шлифования МАМИ, состоящим из эталов быстрого врезания, черновой подачи, реверса для снятия натяга в системе и чистовой подачи до достижения окончательного размера. Устройство осуществляет также измерение заготовки до начала обработки; и в случае попадания заготовок с завышенными или заниженными припусками на обработку удаляет их. Внедрение системы автоматизации позволило повысить вдвое производительность станков, обеспечить точность шлифования и получить значительный экономический эффект.

На автомобильных и тракторных заводах страны широко применяются трехконтактные подвесные скобы конструкции ЗИЛ [5], которые отличаются прямоугольной формой сечения измерительного стержня, перемещающегося в плоских направляющих.

В Алтайском научно-исследовательском и проектно-технологическом институте (АНИТИМ) разработаны устройства АК-2 и АК-3 с трехконтактными накладными скобами, основанные на индуктивном методе измерения [5] (рис. III.23). К корпусу 14 прибора на плоскопружинном параллелограмме 12 подвешен измерительный стержень 15, который поджимается к поверхности обрабатываемой детали 2 пружиной 13. К верхней части стержня неподвижно крепится якорь 3, расположенный между верхним 7 и нижним 10 магнитопроводами индуктивного датчика 8, который закреплен в корпусе 14 прибора. Магнитопроводы 7 и 10 жестко скреплены между собой и подвешены к корпусу 14 на двух плоских пружинах 6. Пружина 9 непрерывно поджимает магнитопровод 10 к регулируемому упору 11, закрепленному в корпусе 14. Перемещение стержня 15 с якорем 3 ограничива-

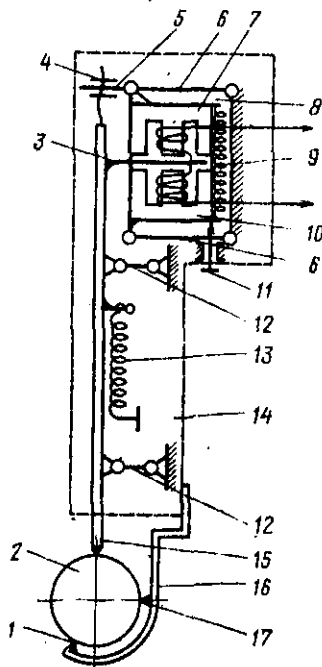


Рис. III.23. Принципиальная схема индуктивного устройства АК-2

ется двумя гайками 4 и упором 5, закрепленным на магнитопроводе 7. К корпусу 14 прикрепляется сменная скоба 16 с неподвижными наконечниками 1 и 17. Устройство настраивается по образцовой детали. Вращением регулируемого упора 11 перемещают магнитопроводы относительно якоря 3 до тех пор, пока стрелка отсчетного прибора не установится на нуль. В начале шлифования, если припуск превышает предельную величину хода якоря, ограничительные гайки 4 упираются в упор 5 и отрывают магнитопроводы от регулируемого упора 11. По мере шлифования диаметр заготовки уменьшается, стержень 15 опускается и магнитопроводы касаются упора 11. С этого момента начинает работать измерительная схема прибора. Шкала прибора позволяет следить за ходом процесса. Прибор АК-2 дает одну

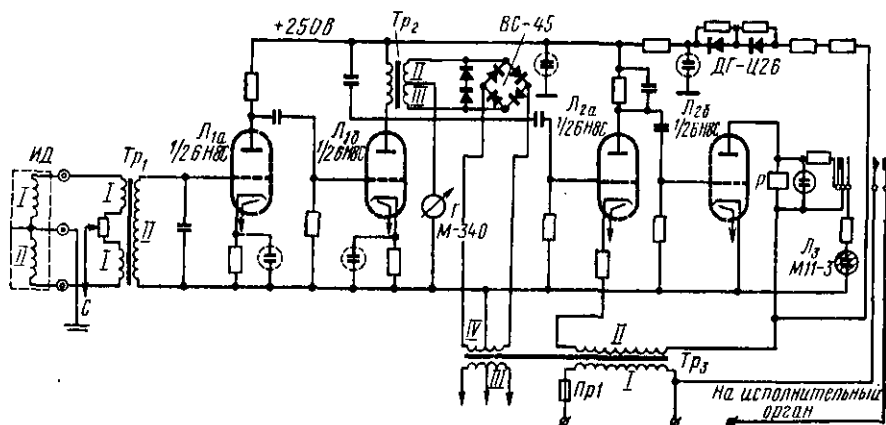


Рис. III.24. Принципиальная электрическая схема устройства АК-2

команду на управление станком и пригоден для управления одноступенчатым циклом, прибор АК-3 дает две команды на управление циклом станка.

Электрическая схема устройства показана на рис. III.24. Сигнал с датчика ИД поступает на дифференциальный трансформатор Тр<sub>1</sub> и усиливается двухкаскадным усилителем на лампах 6Н8С. Выходной трансформатор Тр<sub>2</sub> служит нагрузкой второго каскада усилителя. Показывающий прибор подключен к вторичной обмотке трансформатора Тр<sub>2</sub> через фазочувствительный выпрямитель. Параллельно вторичной обмотке этого трансформатора включены селеновые шайбы, являющиеся нелинейным элементом. Сопротивление селеновых шайб падает с увеличением напряжения на них, что позволяет получить нелинейную шкалу показывающего прибора с широким пределом измерений и защитить его от перегрузок при крайних положениях измерительного стержня. Исполнительная часть схемы питается от анода лампы Л<sub>16</sub>. Напряжение, снятое с анода, усиливается лампой Л<sub>2а</sub> и подается на электронное фазочувствительное реле, собранное на лампе Л<sub>2б</sub>, в анодную цепь которой включено электромагнитное реле Р. В качестве показывающего прибора применяется щитовой вольтметр

М-340. Устройства АК-2 и АК-3 серийно выпускаются Челябинским инструментальным заводом. Они просты в настройке, удобны в эксплуатации, достаточно надежны. Нагрев электросхемы и катушек датчиков оказывает влияние на смещение настройки и статическую ошибку устройств. Смещение настройки при прогреве схемы в течение 1,5 ч составило 3,5 мкм, время запаздывания — 0,18 сек.

Устройство для последовательного контроля шеек ступенчатых валов конструкции Ярославского моторного завода [5] состоит из набора трехконтактных навесных индикаторных скоб, подвешенных шарнирно к общему валику, закрепленному на двух стойках, установленных на станине станка.

Устройство «Фенар» фирмы «Марпосс» предназначено для той же цели и состоит из набора трехконтактных скоб, оснащенных индуктивными датчиками, подключенными к одному стандартному пульта. Переключение скоб производится автоматически.

В качестве примера устройства, в котором используется седлообразная скоба, можно привести быстро перенастраиваемое устройство БВ-3087. Устройство основано на бесконтактном пневматическом методе измерения и предназначено для контроля валов с диаметром  $30 \div 70$  мм в процессе обработки в мелкосерийном производстве.

Наблюдение за изменением размера производится с помощью отсчетного пневматического устройства типа БВ-1096 или другого пневматического датчика. Скоба крепится на механизме подвода, установленном на столе станка, может быть также подвешена на кожухе шлифовального круга. Схема седлообразной пневматической скобы устройства изображена на рис. III.25. На корпусе 1 скобы закреплен наездник 12 с твердосплавными наконечниками 16, которые опираются на поверхность обрабатываемой детали 14. Корпус 1 скобы подвешен к опоре 9 на двух плоскопружинных параллелограммах 8 и 10, что дает скобе возможность самоцентрироваться по контролируемой детали. Щелевидное сопло 15 закреплено на штоке 17, в верхнюю часть которого ввернут установочный винт 3 с микрометрической головкой 4. Винт 3 постоянно прижат к сменной плитке 5, лежащей на опорной планке 2, закрепленной на опоре 9, усилием пружины 18. При изменении диаметра  $D$  обрабатываемой детали измерительный зазор  $s$  между торцом сопла 15 и поверхностью детали меняется, изменяются давление в измерительной цепи и положение подвижной системы пневматического датчика. Усилие прижатия наездника к поверхности

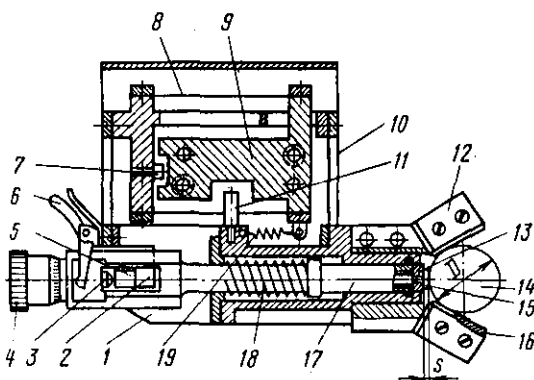


Рис. III.25. Схема седлообразной скобы устройства БВ-3087

детали создается пружиной 19. Перемещение скобы в горизонтальном и вертикальном направлениях ограничивается упорами 7 и 11. Наездник 12 сменный. В комплект прибора входит два наездника: для диаметров  $30 \div 50$  мм и  $50 \div 70$  мм. Настройка скобы при контроле деталей, находящихся в первом интервале размеров, производится с помощью эталона  $\varnothing 40$  мм, во втором — с помощью эталона  $\varnothing 60$  мм. Перенастраивают скобу на размер, находящийся в интервале  $\pm 10$  мм от размера эталона, путем смены установочных плиток 5. Тонкая регулировка измерительного зазора и настройка датчика на нуль производится с помощью винта 3, арретирование штока для замены плитки — рычагом 6. Поверхность сопла защищена от повреждений коронкой 13. Усилие прижатия наездника равно  $5 \pm 1$  н, погрешность прибора при настройке по эталону  $\pm 0,002$  мм, на пределе измерений —  $\pm 0,004$  мм.

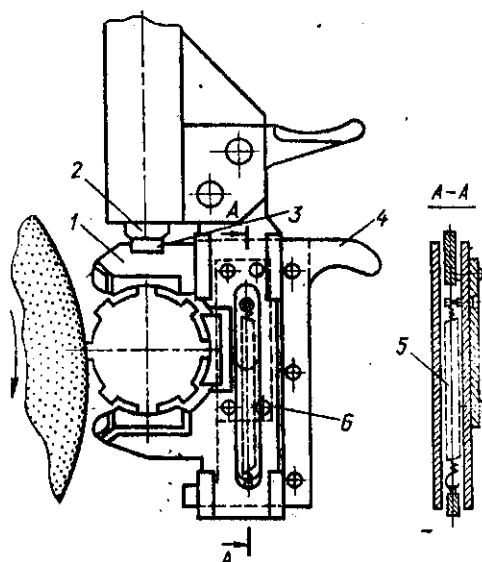


Рис. III.26. Устройство ЗИЛ для контроля прерывистых поверхностей

К серийному производству на ЧИЗ принято пневматическое бесконтактное устройство БВ-4105М с седлообразной скобой для контроля в процессе продольного шлифования.

Валы с прерывистой поверхностью (валы со щпоночным пазом, шлицевые валы) имеют широкое применение в машиностроении. Обычные устройства активного контроля неприменимы для контроля таких валов, так как измерительные наконечники западают во впадины и удары по ним приводят к порче прибора и к нарушению его точности.

Устройства, предназначенные для контроля прерывистых поверхностей в процессе обработки, основываются на применении наконечников специальной формы (дуговые наконечники), перекрывающих разрывы (канавки) на поверхности, и затормаживающихся наконечников или на использовании пневматического метода измерений (см. рис. III.22).

К устройствам первой группы относятся устройства конструкции ЗИЛ с трехконтактными скобами (рис. III.26). Скоба имеет три дугообразных контакта, которые перекрывают места разрывов на поверхности. Верхняя подвижная губка 1 перемещается в направляющих скольжения в корпусе 6 скобы. Измерительный стержень 2 устройства опирается на верхнюю плоскость 3 губки. Измерительное усилие создается спиральной пружиной 5, находящейся в корпусе скобы.

Отвод губки 1 производится с помощью лапки 4. Трение в направляющих губки 1 и демпфирующее влияние пружины 5 уменьшают вибрации измерительного стержня 2 прибора. Радиус дугообразных наконечников должен быть не меньше радиуса заготовки с наибольшим припуском. Погрешности устройств с дугообразными наконечниками велики, и они могут применяться для контроля валов, изготавливаемых по 3-му классу точности.

Из устройств второй группы можно назвать одноконтактное устройство конструкции ОМПИ [5] с затормаживающимся наконечником и двухконтактное устройство «Унивар» фирмы «Марпосс».

При обработке конических деталей требуется выдержать в пределах заданных допусков расчетный диаметр конуса, т. е. диаметр на заданном расстоянии от базы конуса и угол конуса или конусность. Точный контроль конических поверхностей в процессе обработки затруднен, так как база конуса может изменять свое положение по оси станка. Угол конуса в процессе обработки не контролируется, так как этот параметр обычно не регулируется по сигналам устройства.

МАМИ при участии 1-го ГПЗ разработана новая технология и оптимальный автоматический цикл шлифования роликовых дорожек внутренних колец конических роликоподшипников и создана система автоматизации станка мод. 3486, 3А486 (рис. III.27) для его модернизации на основе активного контроля. В устройстве активного контроля МАМИ-16 применены пневматическая двухконтактная скоба БВ-1096 Ш2-125 (см. рис. III.22) и датчик мод. 235 (см. рис. III.13).

Применение системы комплексной автоматизации на основе активного контроля и оптимального автоматического цикла шлифований позволили повысить точность обработки конических поверхностей при высокой производительности. Зона рассеивания снизилась с 0,08 до 0,02 мм. Чистота поверхности повысилась с  $\nabla 7$  до  $\nabla 10$  класса, что позволяет отказаться от операции суперфиниширования. Значительно сокращается количество оборудования и рабочих на участке. Годовая экономия от внедрения одного станка около 3000 руб. в год, окупаемость затрат — около года. Повышение точности и чистоты поверхности колец приводит к значительному повышению долговечности подшипников и дает существенную народнохозяйственную экономию.

**Средства активного контроля на внутришлифовальных станках.** Активный контроль отверстий в процессе шлифования чаще всего основывается на прямом методе измерений с применением одно- и двухконтактных устройств (соответственно рис. III.28, а и б) и устройств с жесткими пробками (рис. III.28, в), реже — на косвенном методе измерений с контролем положения режущей поверхности шлифовального круга (рис. III.28, г) или положения алмаза приспособления для правки круга. Расположение устройств активного контроля зависит от конструкции станка и размеров обрабатываемой детали.

Устройства с жестким калибром-пробкой применяются для контроля сквозных отверстий на внутришлифовальных и хонинговальных станках [5]. Применение этих устройств позволяет получать детали с рассеиванием размеров отверстий  $12 \div 15$  мкм. В результате иссле-

дований канд. техн. наук В. А. Чудова (ИМАШ) установлено, что при усовершенствовании метода жестких калибров: увеличении усилия прижима калибров, замены скользящей шпонки поводком, применения способа полного вхождения калибра, когда второй контакт за-

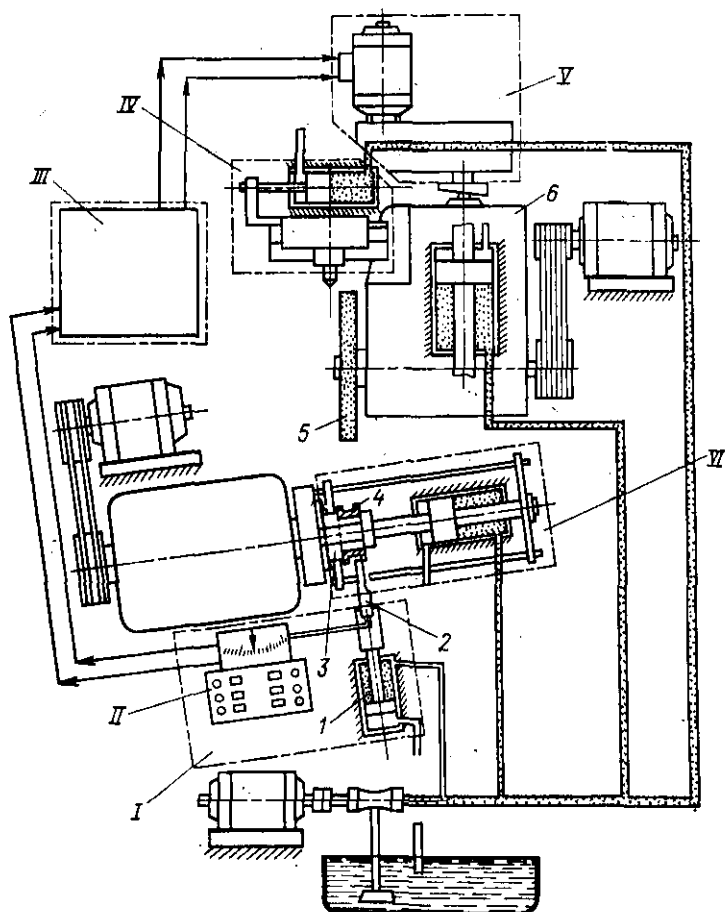


Рис. III.27. Принципиальная схема системы комплексной автоматизации МАМИ-1-й ГПЗ с активным контролем:

*I* — устройство активного контроля; *II* — пульт управления; *III* — электрошкаф; *IV* — механизм автоматической правки; *V* — механизм поперечных подач; *VI* — автооператор; *1* — механизм подвода скобы; *2* — скоба активного контроля; *3* — мембранный патрон; *4* — обрабатываемое кольцо; *5* — шлифовальный круг; *6* — бабка шлифовального круга

мыкается только после полного вхождения калибра в отверстие и др., — можно резко снизить погрешности метода и достигнуть рассеивания размеров отверстий 5—6 мкм. Установлено также, что устройства с жесткими калибрами следует применять только на центровых станках.



На 1-м ГПЗ разработан двухконтактный прибор П-53-М с суммирующим рычагом [5], схема которого часто применяется при конструировании устройств для контроля отверстий в процессе обработки.

Устройство имеет более высокую точность, чем одноконтактные приборы, и обеспечивает рассеивание размеров отверстий в пределах 10—12 мкм.

Устройство для управления внутришлифовальными автоматами 6С69 конструкции ОКБ (ОКБ-6К78) предназначено для контроля посадочных отверстий диаметром 20 ÷ 80 мм внутренних колец подшипников [9]. Принципиальная схема устройства показана на рис. III.29. Измерительные наконечники 16, контактирующие с поверхностью отверстия кольца 17, закреплены на измерительных рычагах 15 и 18, подвешенных на крестопружинных шарнирах 13. Измерительный рычаг 15 через регулируемый упор 5 воздействует на подвижную рамку 4, подвешенную на плоских пружинах 3 к корпусу 7

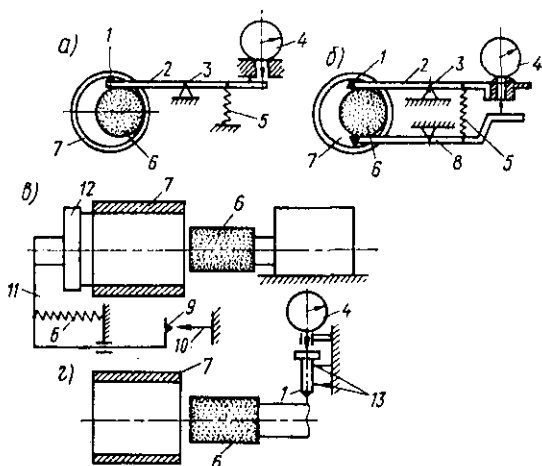


Рис. III.28. Классификация устройств активного контроля отверстий:

1 — измерительный наконечник; 2 — измерительный рычаг; 3 — место закрепления; 4 — отсчетное устройство; 5 — пружина; 6 — шлифовальный круг; 7 — обрабатываемая деталь; 8 — нижний измерительный рычаг; 9 — подвижный контакт; 10 — неподвижный контакт; 11 — рамка; 12 — калибр-пробка; 13 — плоскoprужинная подвеска

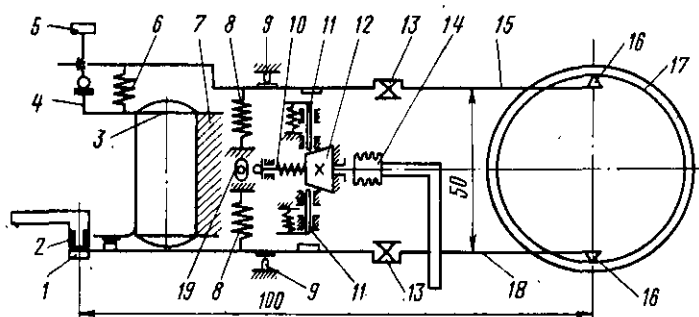


Рис. III.29. Схема устройства ОКБ-6К78 для автоматического контроля отверстий

прибора. К нижней части рамки 4 прикреплено измерительное сопло 2, против торца которого расположена пятка 1, закрепленная на измерительном рычаге 18. Величина измерительного зазора между торцом

сопла и пяткой регулируется с помощью регулируемого упора 5, к которому пружиной 6 прижимается рамка 4. Арретирование измерительных наконечников производится с помощью пневматического сильфонного привода: при подаче воздуха под давлением в сильфон 14 он перемещает влево конус 12 и, воздействуя на рычаги 15 и 18

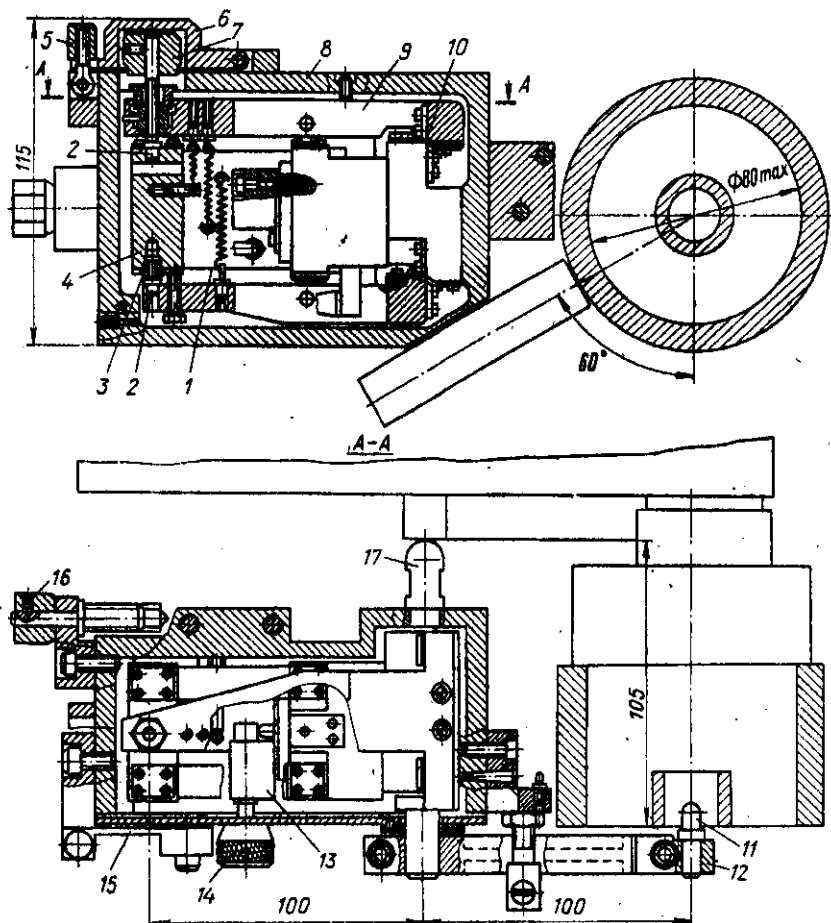


Рис. III.30. Конструкция измерительной головки устройства ОКБ-6К78

через толкатели 11, сводит измерительные наконечники 16. Перемещение рычагов ограничивается упорами 9. Пружина 10 служит для отведения конуса 12 вправо при отсутствии давления в сильфоне 14. Кулачок 19 служит для начальной установки рычагов. Измерительное усилие  $2,9 \pm 0,5$  н ( $300 \pm 50$  Г) создают пружины 8. Измерительное сопло 2 с помощью шланга подсоединяется к пневматическому сильфонному датчику.

Конструкция измерительной головки устройства изображена на рис. III.30. Правые плечи 12 измерительных рычагов закреплены на

цапфах осей, которые подвешены на крестопружинных шарнирах 10 к корпусу 8 головки. На этих же шарнирах подвешены левые плечи 9 измерительных рычагов. Измерительные наконечники 11, оснащенные алмазом, закреплены в отверстиях рычагов 12. Измерительное сопло 3 установлено в подвижной рамке 4, подвешенной на плоскопружинном параллелограмме 1 к корпусу 8 головки. Винт 7 настройки закрывается крышкой 6, которая поворачивается на петлях и запирается откидным болтом 5. В корпусе головки предусмотрено окошко для доступа к пятке 2, соплу 3 и пружинам измерительных рычагов. Окошко закрывается после настройки крышкой 15. Кулачок 13 управляется кнопкой 14. Фиксируется два его положения: настройка и измерение. Корпус головки может перемещаться по направляющим типа ласточкин хвост относительно механизма привода с помощью винта 16. Положение головки относительно торца детали устанавливается с помощью упора 17. Измерительное устройство позволяет также следить за ходом процесса по шкале пневматического прибора с ценой деления 0,001 мм. Предельная погрешность показаний прибора  $\pm 0,001$  мм.

Средства активного контроля при хонинговании. Устройства с жесткими калибрами-пробками [5] широко применяются на хонинговальных станках благодаря простоте конструкции. Для контроля при хонинговании точных отверстий на ЗИЛе применяется пневматическое контактное устройство (рис. III.31). Измерительный узел, состоящий из двух стальных губок 5, оснащенных твердосплавными пластинками 6, и клапанного узла 2; смонтирован в хонинговальную головку 10. Губки 5, подпружиненные четырьмя пружинами 9, касаются поверхности обрабатываемого отверстия пластинками 6. При выходе хонголовки из отверстия разжатие губок ограничивается упорными планками 4, закрепленными в хонголовке 10. На концах губок имеются входные фаски для плавного входа их в отверстие. Клапанный узел 2 состоит из корпуса 12 с упором 13, наружной гильзы 1 с направляющей втулкой 15 и собственно конического клапана 3, который поджимается пружиной 14 к седлу втулки 15. Пружина 8 прижимает клапанный узел, свободно сидящий в корпусе хонголовки, упором 13 в правую губку. Стержень клапана 3 прижат к опорной поверхности винта 7, который служит для регулировки начального зазора между клапаном и седлом втулки. Воздух после стабилизатора

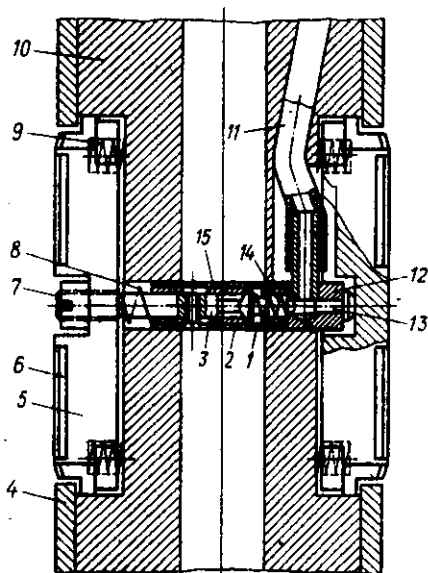


Рис. III.31. Схема пневматического устройства автоматического контроля в процессе хонингования

подается через шланг 11 к клапанному узлу и вытекает через зазор между клапаном и седлом в атмосферу.

Пневмосхема питается воздухом стабилизированного давления  $0,005 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$  ( $0,005 \text{ кг/см}^2$ ). Клапанный узел подключен к пневматическому датчику. По мере снятия припуска измерительный зазор уменьшается, измерительное давление датчика повышается и при достижении заданного размера он дает команду на выключение станка. Погрешность устройства составляет  $\pm 0,002 \text{ мм}$ .

**Средства активного контроля в процессе бесцентрового шлифования.** Устройства для контроля в процессе бесцентрового шлифования при-

меняются редко. Необходимость их использования возникает при врезном шлифовании для управления его циклом. Трудности конструирования устройств определяются загруженностью рабочей зоны станков. В некоторых устройствах измерительная скоба размещается в вырезе (выемке) ведущего круга. Примером такого устройства является пневмоэлектроконтактное устройство ОКБ-1428 к бесцентрово-шлифовальному станку 6С136 [9].

В случае шлифования узких шеек (колец) выемку в ведущем круге сделать невозможно и устройство размещается перед передней бабкой.

Измерительные рычаги 5 и 7 устройства ОКБ-1456 к бесцентрово-шлифовальному станку Л70С1 (рис. III.32) с наконечниками 6 под-

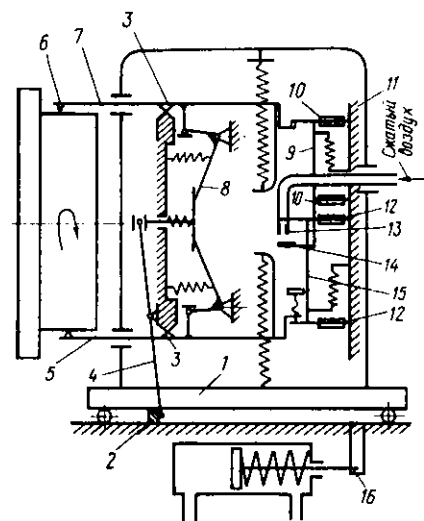


Рис. III.32. Принципиальная схема устройства ОКБ-1456

вешены к корпусу 11 головки на крестопружинных шарнирах 3. Перемещение измерительного рычага 5 передается планке 15, несущей измерительное сопло 13 и подвешенной к корпусу 11 на плоскопружинном параллелограмме 12, а рычага 7 — соответственно планке 9 с закрепленной на ней пяткой 14, подвешенной к корпусу 11 на плоскопружинном параллелограмме 10. Арретирование измерительных рычагов производится путевым упором 2 через рычаги 4 и 8. Измерительная головка устанавливается на каретке 1, перемещающейся на роликовых направляющих механизма подвода 16, который крепится на суппорте станка.

Конструкция измерительной головки показана на рис. III.33. В левых плечах 3 и 14 измерительных рычагов закреплены наконечники 4, снабженные алмазными вставками 5. Измерительные рычаги подвешены на крестообразных пружинных шарнирах 7 и 15 к колодкам 9 и 13, закрепленным на корпусе 2 головки. Правые плечи измерительных рычагов 1 и 16 несут на концах скобы 27 и 20, которые при повороте рычагов перемещают рамки 22 и 25, подвешенные на плоско-

пружинных параллелограммах 30 к корпусу головки. Измерительное сопло 24 закреплено на рамке 22, а пятка 26 — на рамке 25. Воздух

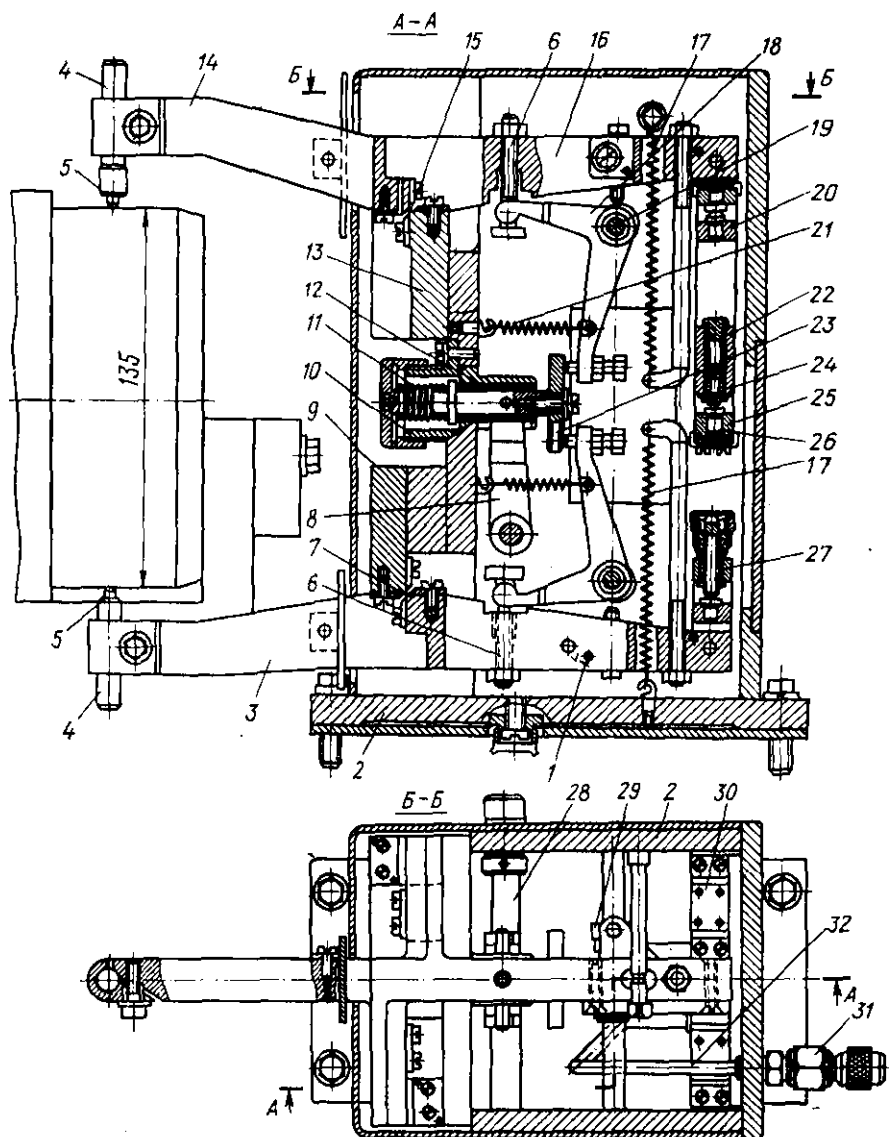


Рис. III.33. Конструкция измерительной головки устройства ОКБ-1456

к соплу подводится от датчика через штуцер 31 и шланг 32. Арретирование измерительных наконечников производится пружиной 11, усилие которой регулируется крышкой 10. Пружина нажимает на шток 12, шайбу 23 и с помощью рычагов 18, верхние концы которых упи-

раются в головки винтов 6, ввернутых в измерительные рычаги, разводит измерительные наконечники. Пружины 21 поджимают рычаги 18 к шайбе 23. На осях 19 рычагов 18 жестко закреплены кулачки 29, которые устанавливают измерительные рычаги в нейтральное положение при переналадке устройства. Измерительное усилие создается пружинами 17. Шток 12 механизма арретирования отжимается вилкой 8, сидящей на валике 28, с помощью рычага, закрепленного на этой же оси. Рычаг приводится в движение жестким упором, в который он упирается при перемещении головки к детали, и измерительные рычаги сводятся.

Устройство предназначено для контроля беговых дорожек внутренних колес железнодорожных подшипников. Визуальное наблюдение

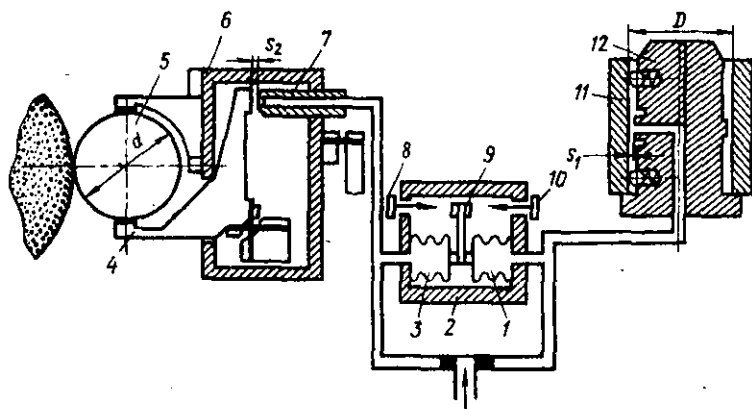


Рис. III.34. Схема устройства БВ для управления станком при шлифовании по «спаренной» детали

производится по шкале пневматического датчика с ценой деления 0,001 мм, диапазон контролируемых размеров  $135 \div 165$  мм, предельная погрешность устройства  $\pm 0,002$  мм.

**Устройство для спаренного шлифования.** В ряде отраслей точного машиностроения предъявляются высокие требования к колебаниям зазоров или натягов в сопряжениях. Они в ряде случаев не должны превышать 1—2 мкм. Такие колебания зазоров не могут быть достигнуты при применении методов полной взаимозаменяемости. В последние годы разработаны круглошлифовальные станки, в которых шлифование вала производится автоматически до получения заданного зазора (натяга) в сопряжении с ранее изготовленным отверстием (втулкой) [5]. Этот метод «спаренного шлифования» заменяет методы пригонки и подбора сопрягаемых пар.

Схема устройства БВ-4009К изображена на рис. III.34. Пневматическая измерительная пробка 12 монтируется вблизи круглошлифовального станка и с ее помощью производится измерение втулки 11 по ранее обработанному диаметру  $D$ .

Устройство 6 устанавливается на круглошлифовальном станке и с помощью двухконтактной пневматической скобы контролируется

размер  $d$  вала 5 в процессе шлифования. Оба измерительных устройства (12 и 6) подключены по дифференциальной схеме к сильфонному датчику 2, причем пневматическая пробка подключена к сильфону 1, а пневматическая скоба — к сильфону 3. Измерительное давление в сильфоне 1 будет зависеть от размера  $D$  втулки, т. е. от зазора  $s_1$  между соплом пробки и стенкой отверстия. Давление в сильфоне 3 датчика зависит от зазора  $s_2$  между пяткой измерительного рычага — губки 4 скобы 6 и измерительным соплом 7. Зазор  $s_2$  уменьшается по мере шлифования вала и уменьшения диаметра  $d$ , а давление в сильфоне 3 растет. В начале шлифования подвижный 9 и неподвижный левый 8 контакты датчика замкнуты — идет черновое шлифование. После съема черного припуска контакты 8 и 9 размыкаются и станок переключается на чистовое шлифование, которое продолжается до замыкания контактов 9 и 10 датчика. Дается команда на прекращение шлифования и отвод круга. Момент замыкания контакта 10 зависит от давления в сильфоне 1, т. е. размера  $D$  втулки.

Настройка устройства производится по образцовым деталям: втулке и валу, разность диаметров которых соответствует требуемой величине зазора или натяга в сопряжении.

При установке на измерительную пробку втулки, размер которой отличается от эталонной, происходит автоматическая подналадка положения подвижного контакта 9. Пусть диаметр  $D$  втулки меньше, чем эталонный, тогда давление в сильфоне 1 будет больше и, для того чтобы замкнуть контакт 10, потребуется увеличить давление в сильфоне 3, т. е. уменьшить зазор  $s_2$  против настроенной величины, следовательно, шлифовать вал до меньшего размера.

Испытания типовых устройств 4009К, проведенные в БВ, показали, что погрешность показаний суммирующего прибора в статических условиях не превышает 1 мкм на участке  $\pm 0,01$  мм и 2,5 мкм на участке  $\pm 0,03$  мм. Нестабильность срабатывания не превышает 0,5 мкм. Погрешности сопряжений (колебания зазора) при шлифовании лежат в пределах от — 2 до  $\pm 1,5$  мкм.

При шлифовании по «спаренной» детали каждый вал должен подаваться на сборку со спаренной с ним втулкой. Приборы для такого шлифования выпускает также ряд зарубежных фирм: «Марпосс» (Италия), «ЕАМ» (Франция), «Мерцёр» (Англия) и др.

Устройства с автоматической компенсацией температурных деформаций деталей в процессе обработки. Как показали исследования, проведенные в МАМИ\*, одной из существенных погрешностей систем автоматического активного контроля является случайная составляющая тепловых деформаций детали в процессе шлифования. При интенсивных режимах шлифования и значительных колебаниях припусков величины погрешности от тепловых деформаций соизмеримы с допусками 2-го класса точности.

---

\* Полянский П. М., Демиденко Г. М. Влияние тепловых деформаций на точность врезного шлифования. «Автомобильная промышленность», 1968, № 6.

За последние годы в СССР (БВ [5], ОКБ, МАМИ и Кр СХИ) разработан ряд устройств с автоматической компенсацией температурных деформаций детали.

В ОКБ (М. Л. Шлейфером и И. М. Цирульниковым) разработана система автоматической компенсации температурных погрешностей в приборах активного контроля, основанная на измерении температурных деформаций размеров необрабатываемых поверхностей детали. Путем пересчета определяют величину температурных деформаций размера обрабатываемой поверхности и вносят соответствующие поправки в результаты измерения.

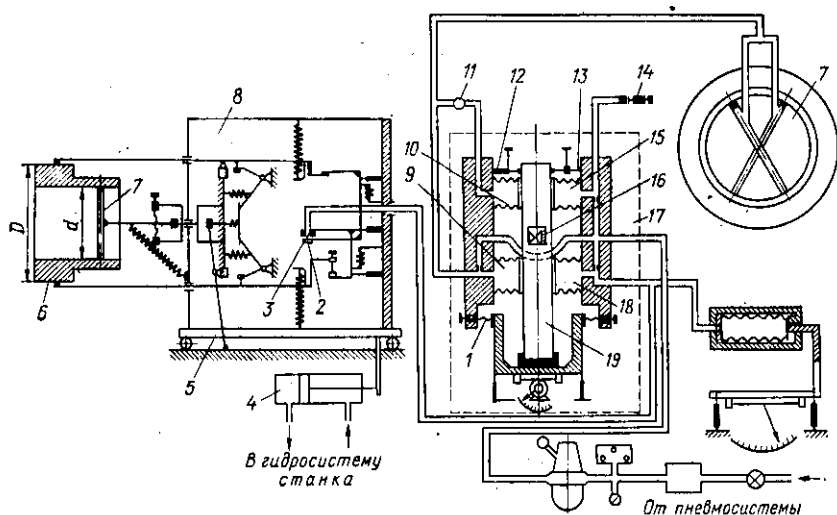


Рис. III.35. Принципиальная схема устройства ОКБ с автоматической компенсацией температурных деформаций

Принципиальная схема устройства с автоматической компенсацией температурных деформаций показана на рис. III.35. Шлифуемая по наружной цилиндрической поверхности диаметра  $D$  деталь 6 имеет отверстие диаметром  $d$ , обработанное ранее с достаточной степенью точности. Измерительная пневматическая головка 8 с кареткой 5, перемещаемой гидроцилиндром 4 (см. рис. III.33), вводится в позицию измерения. Одновременно в отверстие вводится крестообразный пневматический калибр 7 компенсационной измерительной системы.

В процессе шлифования уменьшаются размер  $D$ , зазор между измерительным соплом 3 и пяткой 2 измерительной головки 8, а давление в сильфоне 18 суммирующего пневматического датчика 17 растет. В сильфоне 15 поддерживается постоянное противодавление, устанавливаемое при настройке прибора узлом 14 противодавления.

Компенсационная измерительная система работает следующим образом: после ввода калибра 7 в отверстие детали 6 в зависимости от размера отверстия в сильфонах 9 и 10 суммирующего датчика устанавливается определенное давление  $p$ . Сильфон 10 после этого пере-



крывается клапаном 11, и давление, равное  $p$ , запоминается в сильфоне 10, сохраняясь постоянным до конца цикла обработки детали. В процессе обработки наружного диаметра детали внутренний диаметр ее вследствие температурных деформаций также будет изменяться. Диаметр  $d$  отверстия увеличивается, и давление в сильфоне 9 датчика 17 падает пропорционально увеличению зазора между соплами пневматического калибра и поверхностью отверстия. Подвижная система датчика перемещается в зависимости от разности давлений в сильфонах 18 и 9. Падение давления в сильфоне 9 увеличивает перемещение подвижной части 19 датчика с контактами 1 влево и изменяет момент подачи команды на прекращение обработки, внося таким образом в схему поправку на компенсацию температурной деформации. Соотношение деформаций наружной и внутренней поверхностей детали для данных условий принято приближенно  $1,23 : 1$ , а передаточных отношений основной и компенсационной измерительных ветвей —  $1 : 1,23$ . В суммирующем датчике 17 предусмотрена компенсация колебаний размеров отверстий в пределах поля допуска. Для этого подвижная часть 19 подвешена на крестопружинном шарнире 16 и имеет компенсаторы 12 и 13.

Испытания, проведенные ОКБ, показали, что точность обработки при применении описанного устройства в определенных условиях возрастает на 40%.

Применение устройства ограничено наличием достаточно точно обработанной заранее поверхности, тепловую деформацию которой при обработке другой поверхности можно точно измерить.

В МАМИ (П. М. Полянский и Г. М. Демиденко) разработаны новый метод и устройство \* для автоматической компенсации температурных деформаций детали, основанные на результатах исследований зависимости температурных погрешностей от различных технологических факторов. Установлено, что наибольшее влияние на величину случайных составляющих температурных погрешностей оказывает колебание величины припуска на обработку и режущей способности круга. Метод компенсации основан на автоматическом внесении поправок на величину припуска и изменения режущей способности круга в настройку устройства активного контроля. Устройство выполнено в виде приставки. Оно может быть встроено в любое серийное устройство активного контроля с многокомандным датчиком.

Активный контроль деталей больших размеров. Детали больших размеров обычно контролируют при их обработке на станках. Контроль универсальными средствами требует многократных остановов станка и является весьма трудоемкой операцией. Обычные методы активного контроля для деталей больших размеров неприменимы.

В мировой практике получил распространение метод автоматического контроля деталей больших размеров с помощью измерительного ролика \*\*. Блок-схема устройства, основанного на методе обка-

\* «Измерительная техника», 1972, № 4.

\*\* Трутен В. А. [и др.] Авторское свидетельство № 208287 «Устройство для определения размеров». Опубликовано в марте 1968.

тивания (измерительных роликов), изображена на рис. III.36 \*. Устройство, установленное на токарном станке, состоит из трех узлов: рабочей измерительной головки 9, эталонной головки 6 и электронного пульта 4 с двумя счетчиками 3 и 13 и пультом 14 цифрового отсчетного устройства. Твердосплавный ролик измерительной головки 9 прижимается пружиной к поверхности вращающейся детали 8, установленной в патроне 7. Измерительный ролик второй (эталонной) головки 6 прижимается к поверхности, диаметр которой измерен заранее с высокой точностью. В каждой измерительной головке расположен

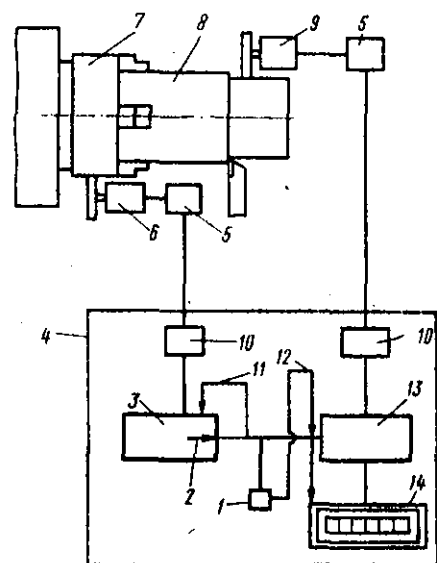


Рис. III.36. Блок-схема устройства с измерительным роликом

генератор импульсов, содержащий две радиальные оптические (дифракционные) решетки. Одна из решеток закреплена на оси ролика и вращается вместе с ней, другая — неподвижно в корпусе головки. В генераторе импульсов используют галлий-арсенидовый источник света. Световые импульсы воспринимает фотозлектрический приемник. В головках размещены также малогабаритные первичные усилители 5, от которых сигналы передаются на основные усилители 10 и к счетчикам 3 и 13. Система производит счет импульсов рабочей головки, а результаты измерения сравниваются с числом импульсов, выработанных эталонным измерительным узлом за тот же период. Этот период выражают заданным числом импульсов эталонного узла, которое устанавливают на панели пульта с помощью десятичных выключателей. В момент достижения заданного числа импульсов производится сравнение, затем сброс отсчетов и начинается новый цикл счета импульсов обеих головок. Система включается пусковым импульсом 2 счетчика 3 эталонной головки при достижении заданного числа импульсов. По этому сигналу фиксируется и преобразуется суммарный отсчет счетчика 13 рабочей головки и производится уточнение цифрового отсчета на панели 14 пульта. Одновременно производится сброс 11 счетчика 3 эталонной головки и начинается новый отсчет. Сброс 12 счетчика рабочей головки и начало нового отсчета ее импульсов производится с небольшим запаздыванием, которое задается реле времени 1 и необходимо для выполнения операции уточнения цифрового отсчета.

Система может работать с точностью измерений 25 и 2,5 мкм.

\* Machinery and Production Engineering. 1969, 115, № 2980.

Системы, производящие автоматическую подналадку станков по результатам контроля размеров деталей непосредственно после их обработки, являются дискретными замкнутыми системами автоматического регулирования размеров (см. рис. III.1, в).

Рассмотрим систему регулирования размеров на примере подналадчика к бесцентрово-шлифовальному станку при шлифовании на проход (рис. III.37, а). Детали 3 при их шлифовании непрерывно перемещаются по ножу 1 вдоль образующих кругов 2 и 4 под действием осевой составляющей усилия резания, возникающей вследствие поворота оси одного из кругов на незначительный угол. После выхода со станка деталь подается на измерительную позицию, где ее диаметр  $D$

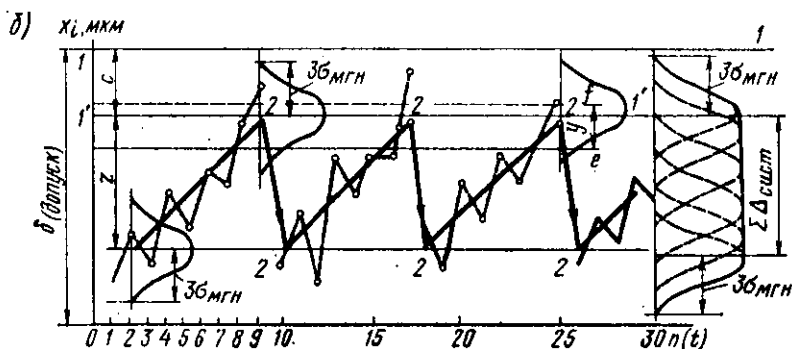
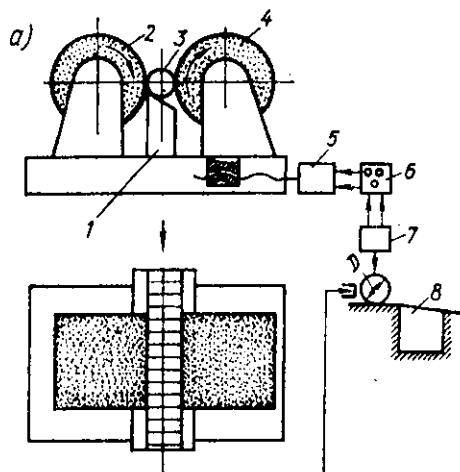


Рис. III.37. Послеоперационный контроль деталей при бесцентровом шлифовании на проход:

а — схема подналадчика; б — схема регулирования размера

контролируется датчиком 7. Средний размер деталей постепенно увеличивается из-за износа круга и влияния других факторов. Кривая 2—2 усредненных погрешностей точечной диаграммы (рис. III.37, б) приближается к верхнему пределу поля допуска 1—1'. Настройка первого контакта (команды) датчика производится по настроенному размеру детали, соответствующему значению подналадочной границы 1'—1', которая смещена внутрь поля допуска на расчетную величину  $c$  относительно верхнего предела. При выходе размера контролируемой детали в зону с подналадки датчик 7 выдает сигнал, который через

усилитель 6 поступает в исполнительный механизм 5, смещающий бабку ведущего круга на заданную величину подналадочного импульса  $z$ .

Средний размер деталей уменьшается на величину подналадочного импульса  $z$ . Начинается новый цикл подналадки. В случае выхода размера детали за пределы поля допуска срабатывает второй контакт (команда) датчика: бракованная деталь направляется в сборник 8 брака, зажигается сигнал брака, и станок останавливается.

Подналадку можно производить по первой детали, имеющей подналадочный размер, по двум или трем деталям, последовательно вызывающим срабатывание датчика, или по средним значениям размеров группы деталей выборки. При монотонном изменении среднего размера последовательно обрабатываемых деталей подналадку осуществляют, как правило, по одному пределу поля допуска, реже встречается подналадка по двум пределам.

Суммарная погрешность подналадочной системы определяется полем рассеивания размеров, обработанных на станке с подналадчиком. Функциональная усредненная погрешность размеров приблизительно выражается прямыми  $2-2$ , собственно случайные погрешности (мгновенное рассеивание) размеров — величиной  $6\sigma_{\text{мгн}}$ . Суммарная кривая является композицией кривых Гаусса и равной вероятности. Величина подналадочного импульса  $z$  представляет собой изменение функциональной усредненной погрешности процесса за период между двумя подналадками. Эту величину можно считать некомпенсируемой функциональной погрешностью, т. е. систематической составляющей погрешности подналадки [6]. С увеличением подналадочного импульса  $z$  частота импульсов уменьшается, с уменьшением величины  $z$  увеличивается. Кроме того, погрешность подналадки включает также величину  $y$ , зависящую от рассеивания точек (моментов) подачи команды на подналадку и определяемую интервалом между точкой  $e$ , где возникает вероятность появления подналадочного импульса, и точкой  $f$ , где эта вероятность равна 1. Точность подналадочных систем подробно анализируется в работе [6]. Показано, что величина  $y$  зависит от отношения  $\sigma/a$ , где  $a$  — величина изменения усредненной функциональной погрешности на одну деталь. При небольших значениях  $a$

$$y = 6\sigma_{\text{мгн}}^{0.75} a^{0.25}. \quad (\text{III.43})$$

Суммарная величина погрешности подналадочной системы, т. е. рассеивания размеров при большом числе подналадок и небольших значениях  $a$

$$V = z + 6\sigma_{\text{мгн}} + y + \Delta_{\text{lim}}, \quad (\text{III.44})$$

где  $\Delta_{\text{lim}}$  — погрешность измерительного устройства.

При подналадке по одной детали оптимальной величиной подналадочного импульса считают \*

$$z_{\text{опт}} = 0,25 + 1,3a_{\text{max}}. \quad (\text{III.45})$$

\* Альтшуллер А. Н. Определение оптимальных условий регулирования текущего среднего размера обрабатываемых деталей. «Автоматизация машиностроительных процессов». Изд. АН СССР, 1959.

При небольшом числе подналадок и больших значениях  $a$  суммарная погрешность системы

$$V \cong z + \sqrt{18\sigma_{\text{мгн}}^2 + f^2 + \Delta_{\text{lim}}^2}. \quad (\text{III.46})$$

Стабильность величины подналадочного импульса в значительной степени зависит от скачков подачи:

$$\Delta_{\text{п}} = (f_{\text{п}} - f_{\text{д}}) G / k^*, \quad (\text{III.47})$$

где  $f_{\text{п}}$  — коэффициент трения покоя;  $f_{\text{д}}$  — коэффициент трения движения;  $G$  — вес перемещаемого узла;  $k$  — жесткость привода.

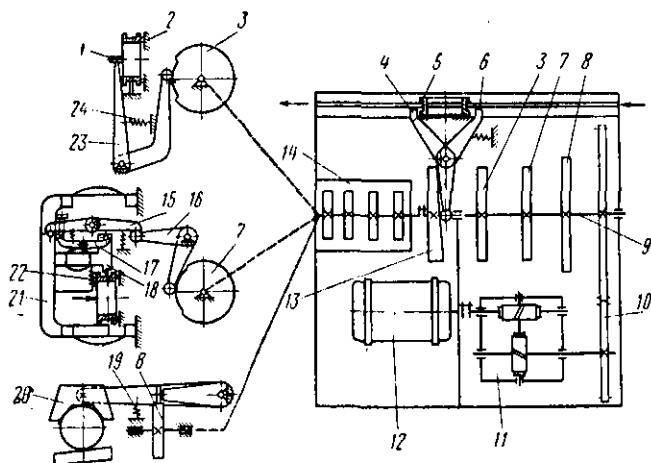


Рис. III.38. Кинематическая схема устройства ОКБ-1111 для подналадки бесцентрово-шлифовального станка

Скачки подачи возникают при скоростях подач меньше критической:

$$v_{\text{кр}} = (f_{\text{п}} - f_{\text{д}}) G / \sqrt{4\pi\theta km}, \quad (\text{III.48})$$

где  $\theta$  — коэффициент затухания;  $m$  — масса перемещаемого узла.

Суммарная расчетная погрешность подналадочной системы сравнивается с величиной допуска. Условием стабильной работы системы является выполнение неравенства  $\delta > V$ .

**Устройство ОКБ-1111 для подналадки бесцентрово-шлифовальных станков.** Это устройство установлено на выходе станка 6С137 и дает команды на подналадку или останов станка по результатам контроля роликовой дорожки внутренних колец конических роликоподшипников на 1-м ГПЗ [9].

Кинематическая схема устройства изображена на рис. III.38. Контролируемая деталь 5 после окончания обработки поступает по наклонному лотку 6 в измерительное устройство. Отсекатель 4, уп-

\* Пуш В. Э. Малые перемещения в станках. Машгиз, 1961.

равляемый кулаком 13, подает кольцо на измерительную станцию. Он может занимать три положения: пропускать деталь на измерительную станцию; передавать проконтролированную деталь на следующую позицию; находиться в нейтральном положении во время измерения.

Перед установкой детали в позицию измерения кулак 7, закрепленный на распределительном валу 9, с помощью рычагов 16 и 15 отводит измерительную скобу 21 вниз, а измерительный наконечник 18 через рычаги 16, 15, 17 — вверх. Поступившее на измерительную станцию кольцо центрирует призма 20, находящаяся под действием пружины 19 и управляемая кулаком 8. Рычаг 23, управляемый кулаком 3, несет ролики 1, которые с помощью пружины 24 прижимают контролируемое кольцо базовым торцом к трем жестким опорам 2. После зажима кольца измерительные наконечники сводятся пружиной 22. Привод распределительного вала 9 осуществляет электродвигатель 12 через двухступенчатый червячный редуктор 11 и цилиндрическую зубчатую передачу 10. Вал командного аппарата 14 приводится распределительным валом с помощью поводка.

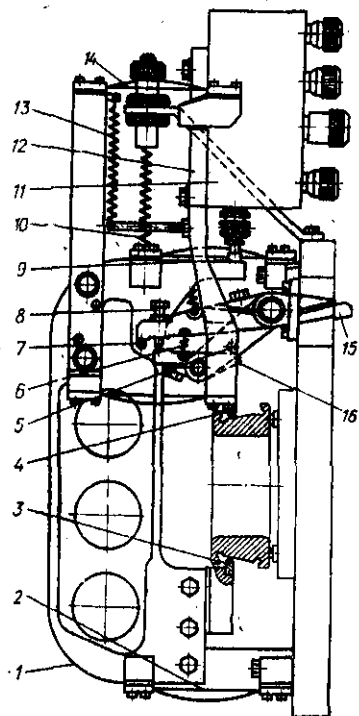


Рис. III.39. Измерительная скоба устройства ОКБ-1111

Измерительная скоба 1 (рис. III.39) подвешена к корпусу устройства на четырех плоских пружинах 2. На скобе закреплены измерительный наконечник 3 и пятка 9, на которую опирается измерительный стержень электроконтактного датчика 11, установленного на рамке 12, несущей измерительный наконечник 4 и подвешенной к скобе 1 на четырех плоских пружинах 14. Измерительное усилие (Ж) создает пружина 13, вес скобы уравновешивает пружина 10.

Арретирование измерительных наконечников осуществляют рычаги 15 и 16. Рычаг 15 под действием кулака распределительного вала, воздействуя на штифт 7, отводит скобу 1 вниз. При этом рычаг 16 поворачивается и через штифт 5 отводит измерительный наконечник 4 вместе с датчиком 11 вверх. Пружина 6 создает постоянный контакт между винтом 8 и рычагом 15. В устройстве использован трехпредельный электроконтактный рычажный датчик мод. 229. При достижении верхнего предельного размера замыкается средний контакт, нижнего предельного размера — верхний контакт и подналадочного размера — нижний контакт. При выходе колец за предельные размеры забракованное кольцо не выгрузится, в это время подается световой сигнал,

и следующее кольцо не включит устройство, пока наладчик не вынет забракованную деталь и не нажмет специальную кнопку на пульте управления *Сброс сигнала брака*.

Предельная погрешность устройства  $\pm 0,003$  мм.

**Самонастраивающиеся системы активного контроля.** Средства контроля в процессе обработки работают в тяжелых условиях — подвергаются воздействию охлаждающей жидкости, абразивных частиц, вибраций системы, ударов, температурных факторов и др. Износ измерительных наконечников и влияние других внешних условий приводят к росту случайных и систематических погрешностей процесса измерения, смещению настройки прибора и, следовательно, смещению центра группирования кривой распределения размеров партии деталей относительно координаты середины поля допуска. Смещение настройки по времени приводит к росту вероятности появления исправимого и неисправимого брака.

Наладчик и шлифовщик вынуждены систематически (выборочно) перепроверять параметры обработанных деталей и при необходимости производить подналадку прибора и станка. Следовательно, использование устройств для контроля в процессе обработки значительно повышает стабильность и точность процесса, однако сохраняется необходимость перепроверки деталей и периодической поднастройки прибора.

Ряд организаций и институтов внутри страны и некоторые зарубежные фирмы ведут поиски самонастраивающейся системы, которая позволила бы автоматически следить за уровнем настройки и производить ее подналадку автоматически [6, 11].

Такие системы можно назвать двухступенчатыми системами активного контроля. Такая система, разработанная МАМИ при участии 1-го ГПЗ, предназначена для управления процессом шлифования точных конических деталей на автоматизированных круглошлифовальных станках [11].

Принципиальная схема автоматического круглошлифовального станка для обработки конусов, автоматический цикл которого управляется двухступенчатой системой активного контроля, изображена на рис. III.40. Деталь 3 до и в процессе обработки измеряется с помощью двухконтактной пневматической измерительной скобы 4, которая контролирует фактическую величину припуска на обработку и следит за изменением диаметра в заданном сечении в процессе обработки. Скоба подается в позицию измерения и арретируется с помощью привода 5. Измерительные импульсы воспринимаются и преобразуются датчиком 8, и после усиления в командном пульте 10 трансформируются в команды, управляющие механизмом 11 непрерывной поперечной подачи бабки 1 шлифовального круга 2. Правка круга производится по команде, поступающей от счетчика циклов или специального датчика на механизм 6 правки круга, закрепленный на бабке 1 шлифовального круга или на его кожухе.

После окончания операции шлифования деталь выгружается оператором и по лотку 19 направляется в подналадчик 18, расположенный рядом со станком. Деталь устанавливается на измерительную позицию 15, где одновременно контролируются два параметра наруж-

ного конуса: расчетный диаметр конической детали с помощью датчика 13 и угол конуса или конусность детали ( $2\alpha$  или  $K$ ) с помощью датчика 14.

При смещении настройки устройства для контроля в процессе обработки первой ступени соответственно смещаются средние диаметральные размеры детали. Достижение подналадочной границы фиксируется датчиком 13 подналадчика. Импульс усиливается в командном пульте 12 и выдается команда на механизм 9 поднастройки, который, смещая настройку устройства первой ступени, компенсирует систематическую погрешность процесса.

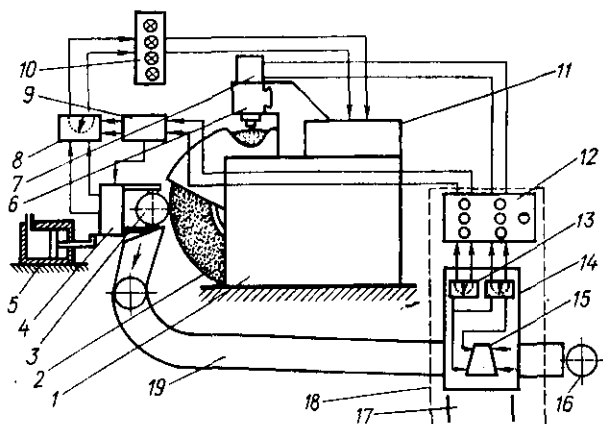


Рис. III.40. Схема круглошлифовального станка с двухступенчатой системой устройств активного контроля МАМИ

Автоматическая подналадка угла конуса производится по команде датчика 14 механизмом 7 подналадки угла, который корректирует настройку угла конуса изменением угла наклона копира механизма 6 правки круга. По копиру этого механизма движется шпиндель алмазного карандаша при его продольном ходе.

Подналадчик производит также отбраковку случайно выпавших деталей и направляет их в сборник 17 брака. Годные детали 16 направляются на последующие операции.

Двухступенчатая система активного контроля превращает шлифовальный станок в автомат, полностью самонастраивающийся по двум параметрам (диаметру и углу конуса), и обеспечивает в условиях оптимального автоматического цикла и рациональной технологии любую заданную точность процесса шлифования конических деталей при устранении необходимости вмешательства наладчика и оператора в процесс.

Внедрение системы дает наибольшую экономическую эффективность при комплексной автоматизации в условиях автоматических линий.



### § III.5. Контрольные приспособления

Контрольно-сортировочные автоматы, типовые схемы и конструкции которых рассматриваются в § III.6, обычно сложны и дороги. Их проектирование, изготовление и отладка трудоемки, а экономическая эффективность их внедрения достигается лишь в массовом производстве при значительных программах выпуска контролируемых деталей.

Повышение производительности и объективности контроля в производственных условиях может быть достигнуто с помощью более простых и дешевых измерительных средств — контрольных приспособлений.

Измерительными элементами контрольных приспособлений часто являются механические шкальные головки или пневматические отсчетные приборы; в этом случае информацию о результатах контроля принимают по шкалам отсчетных устройств. В светосигнальных (светофорных) приспособлениях информацию о результатах контроля принимают по световым сигналам, зажигающимся на сигнальном табло.

Для получения дополнительной информации о действительных размерах (отклонениях) контролируемой детали эти приспособления часто снабжают отсчетными устройствами.

Измерительные приспособления бывают одномерные, когда контролируется один параметр детали, и многомерные — для одновременного контроля ряда параметров детали. Производительность контроля в многомерных приспособлениях значительно выше. Однако при применении многомерных шкальных приспособлений контролеру приходится отсчитывать последовательно по нескольким шкалам, что утомляет его и снижает производительность контроля к концу дня. Этот недостаток устраняется в многомерных светосигнальных приспособлениях.

Повышение производительности контрольных приспособлений достигают также механизацией приводных и зажимных операций.

Механизированное светосигнальное приспособление конструкции НИЭЛ [2] предназначено для контроля плунжеров топливных насосов и сортировки их по диаметру на 50 групп через 0,002 мм внутри поля допуска при неподвижной детали. Контролируемую деталь 1 (рис. III.41) устанавливают на плоскую базу 2, образованную двумя ножевыми наконечниками 3. С другой стороны к детали прижата измерительная рамка 13, измерительный наконечник 15 которой подвижен и касается детали в сечении III—III, а измерительный наконечник 9, касающийся детали в сечении II—II, неподвижен.

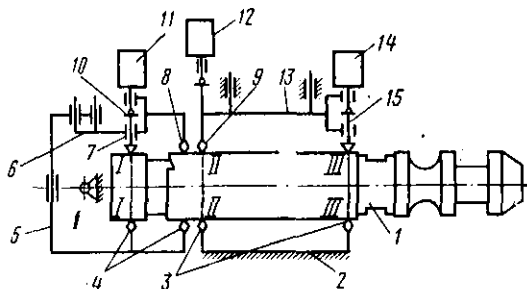


Рис. III.41. Метрологическая схема механизированного светосигнального приспособления для многодиапазонной сортировки плунжеров топливных насосов

Электроконтактный двухпредельный датчик 14 служит для контроля конусности на участках II—II, III—III, а электроконтактный многодиапазонный датчик 12. типа И-29 (см. рис. III.5) — для сортировки плунжеров по диаметру в сечении II—II. Контроль конусности на участках I—I, II—II осуществляется с помощью самоустанавливающегося устройства 5, два базовых ножевых наконечника

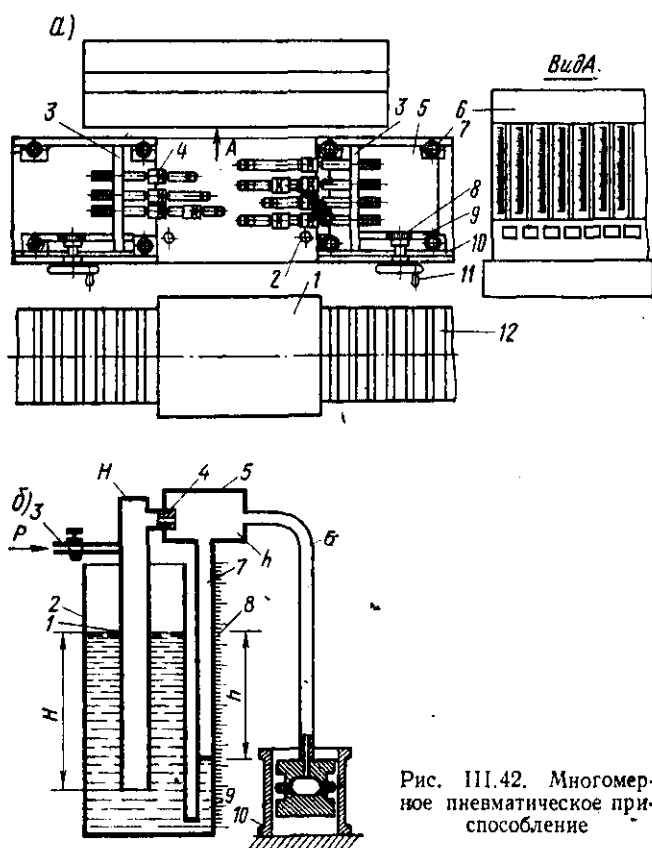


Рис. III.42. Многомерное пневматическое приспособление

4 которого прижимаются к поверхности плунжера. Верхняя рамка 6 своим наконечником 8, жестко скрепленным с ней, опирается на поверхность детали около сечения II—II, а подвижным наконечником 7 — в сечении I—I. Датчик 11 опирается на звено 10 и служит для контроля конусности на участках I—I, II—II.

В зависимости от результатов контроля зажигается сигнал над соответствующей ячейкой приемника, который содержит 53 ячейки. Сигнал указывает контролеру, куда уложить проверенную деталь, и продолжает гореть до нового цикла.

Пневматические измерительные приспособления получили широкое распространение на предприятиях массового и крупносерийного

производств в машиностроении. Измерительная оснастка пневматических систем малогабаритна, что дает возможность осуществлять многомерный контроль. Пневматические датчики наряду со световой сигнализацией обладают отсчетными устройствами и облегчают измерение действительных отклонений.

Схема многомерного пневматического приспособления [7] для контроля диаметров, некруглости и конусности 31 отверстия передней бабки токарного станка, разработанного БВ, изображена на рис. III.42, а. Диаметры контролируемых отверстий находятся в пределах от 22 до 150 мм. Допуски на размеры заданы по 2-му и 1-му классам точности. Проверяемую деталь 1 снимают краном с рольганга 12, подают на приспособление 5 и фиксируют двумя базовыми штифтами 2. Справа и слева установлены измерительные каретки 3, несущие пневматические пробки 4. На правой измерительной каретке установлено 19 пневматических пробок, а на левой — 12. С помощью маховичка 11, на оси которого сидит шестерня 8, и рейки 9 каретки перемещаются по цилиндрическому направляющему 10 на роликах 7, и пневматические пробки вводятся в проверяемую деталь и выводятся из нее. Результаты измерения фиксируются на визуальном отсчетном устройстве 6, расположенном рядом с приспособлением. Отсчетное устройство состоит из семи пятирубных приборов низкого давления с водяным манометром, собранных в один блок.

Схема прибора с водяным манометром (Солекса) дана на рис. III. 42, б. Воздух под давлением  $p$  подается через кран 3 в стабилизатор давления, состоящий из трубки 1, погруженной в балон 2, наполненный водой. Давление на входе входного сопла 4 постоянно и равно высоте столба  $H$ , измерительное давление  $h$  в камере 5 зависит от диаметра входного сопла 4 и измерительных зазоров между соплами пневматической пробки 9, соединенной шлангом 6 с камерой 5, и деталью 10. Отсчет производится по шкале 8 водяного манометра 7. Время, затрачиваемое на контроль детали, не превышает 1 мин.

Прибор установлен в поточной линии на заводе «Красный пролетарий» и значительно повысил надежность и производительность контроля.

### § III.6. Контрольные и контрольно-сортировочные автоматы

Контрольные автоматы предназначены для стопроцентного или выборочного контроля и сортировки деталей на годные и брак при недостаточной стабильности технологических процессов, контрольно-сортировочные автоматы — для контроля и сортировки готовых деталей на размерные группы внутри поля допуска при селективной сборке. Контрольные и контрольно-сортировочные автоматы осуществляют автоматический прием, ориентирование, транспортирование, контроль и сортировку деталей с помощью механических, электроконтактных, индуктивных, пневматических, фотоэлектрических и других измерительных систем. Конструкция автомата зависит в основном от формы контролируемой детали, количества контролируемых параметров, точностных требований, заданной производительности контроля. Сор-

тирующие устройства являются основными исполнительными органами контрольных автоматов.

Контрольные автоматы могут иметь одну или несколько измерительных позиций, на каждой из которых контролируется один или несколько параметров детали.

Примером механического автомата с жестким клиновым калибром является автомат 1-го ГПЗ мод. П-2 [2] для сортировки конических

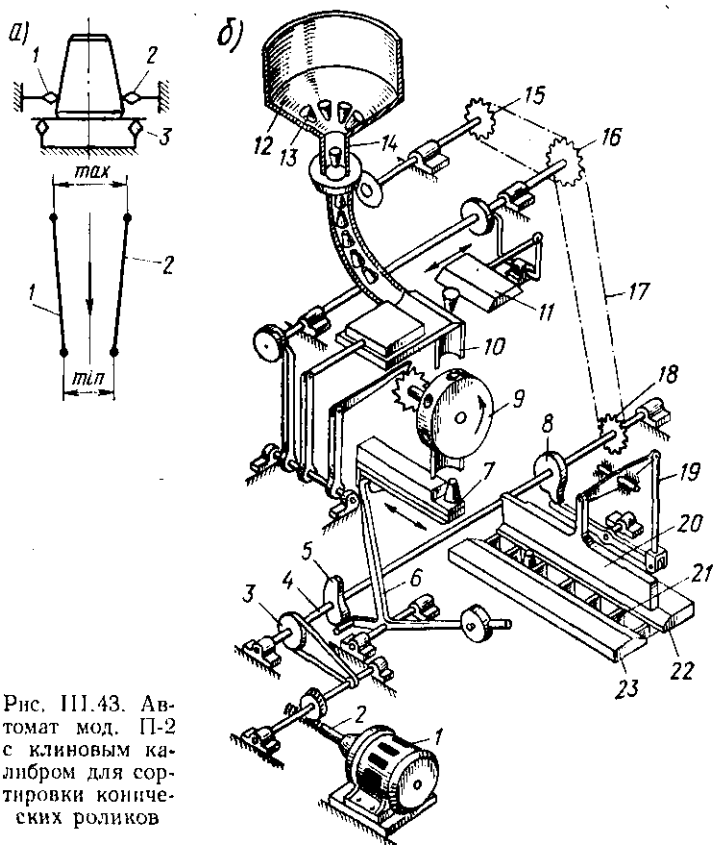


Рис. III.43. Автомат мод. П-2 с клиновым калибром для сортировки конических роликов

роликов по диаметру на 8 групп (брак «+», брак «—» и 6 групп годных внутри поля допуска через 3 мкм).

Измерительным органом автомата служит клиновой калибр, образованный конической щелью между доведенными ножами измерительных линеек 1 и 2 (рис. III.43, а). Размеры щели по концам линеек соответствуют наибольшему и наименьшему предельным размерам роликов. Измерительной базой является плоскость приемной части ползуна 3. Кинематическая схема автомата изображена на рис. III.43, б. Ролики 13 из бункера 12 по лотку 14 поступают в раздвижной приемник 11, где ориентируются малым диаметром вниз,

и по трубке 10 направляются в барабанный питатель 9. Отсюда ролики перемещаются большим диаметром вниз на приемную часть ползуна 7 и вместе с ним движутся между ножами линейек 22 и 23. В точке, где диаметр ролика равен ширине щели, он заклинивается и после отхода ползуна 7 выталкивается толкателем 20 в приемник 21 соответствующей группы. Ползун 7 и толкатель 20 перемещаются кулачками 5 и 8 распределительного вала 4 с помощью рычагов 6 и 19. Привод распределительного вала 4 осуществляется электродвигателем 1 через червячную и ременную передачи 2 и 3. Работа механизма загрузки, приемника 11, питателя 9 и ползуна 7 синхронизируется с помощью цепной передачи 17 от распределительного вала 4 через колеса 15, 16, 18.

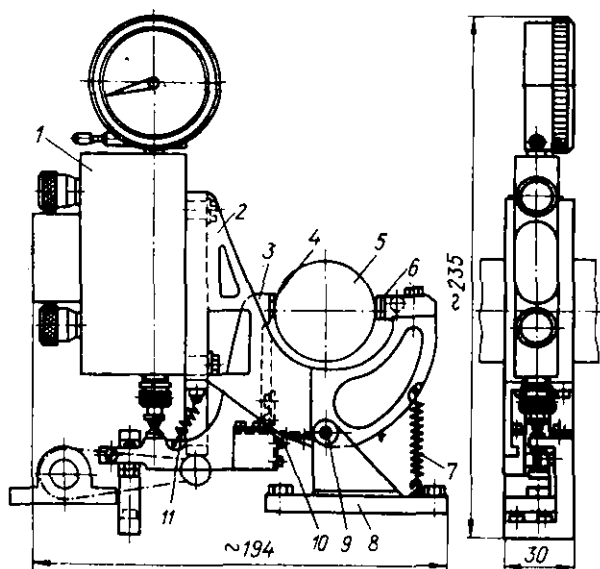


Рис. III.44. Измерительная станция автомата ОКБ-Л45К1 для контроля диаметра шейки оси катка

В качестве примера контрольного автомата, основанного на электроконтактном методе измерения, рассмотрим автомат ОКБ-Л45К1 [9] для контроля осей катков, встроенный в автоматическую линию. Автомат имеет две измерительные позиции, на которых контролируются параметры оси катка с помощью 12 электроконтактных датчиков. На первой измерительной позиции (рис. III.44) ось базируется на жесткие опорные призмы. Диаметр каждой шейки и хвостовика оси 5 контролируется отдельной измерительной скобой 2, которая закреплена на оси 9 в кронштейне 8. На скобе 2 с помощью крестопружинного шарнира 10 крепится измерительный рычаг 3. Твердосплавные измерительные наконечники 4 и 6 закреплены на скобе и правом плече рычага 3. Измерительное усилие создается пружиной 11. Левое плечо рычага 3 воздействует на измерительный шпиндель электроконтактного датчика 1 (мод. 228). Пружина 7 уравнивает измерительную

головку. На второй позиции наряду с диаметрами двух шеек оси контролируется приведенный средний диаметр резьбового хвостовика оси ( $M33 \times 1,5$ ) резьбовыми роликовыми скобами в направлении, перпендикулярном к направлению измерения диаметра шейки (рис. III.45). Деталь устанавливается на ролики и прижимается к ним рычагами. Скоба 12 закрепляется на штоке 5 подъемника 7, который перемещается в направляющих втулках 1. Подъемник приводится от кулачка 10 верхнего распределительного вала через рычаг 11 и пружины 9 и 13, что предохраняет механизм от аварий. Нейтральное положение штанги

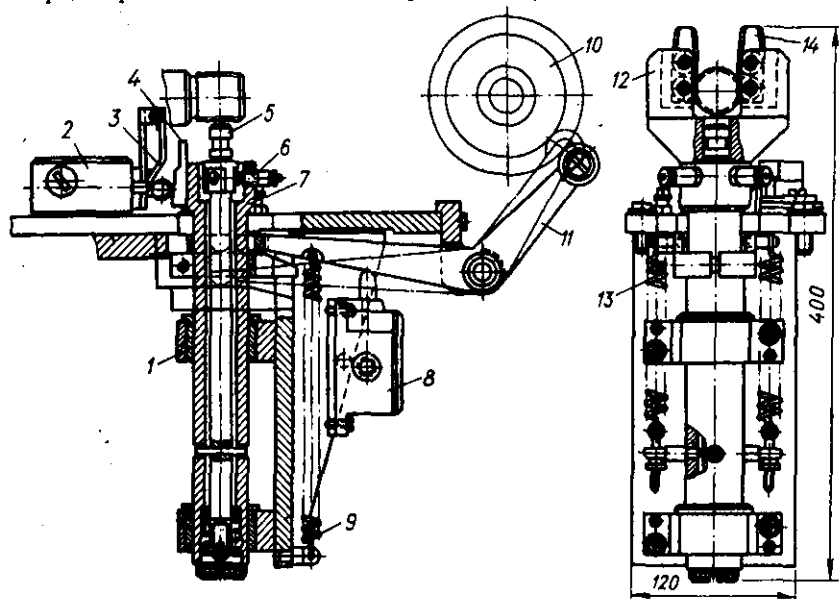


Рис. III.45. Измерительная станция автомата ОКБ-Л45К1 для контроля резьбы оси катка

устанавливается с помощью пружинных плунжеров 6 подъемника. Специальные ловители 14 облегчают вход скобы в резьбу детали. В нижнем (исходном) положении подъемник нажимает на наконечник 8. Если резьба годная, то проходной калибр-скоба входит в витки резьбы и копир 4 через рычаг 3 воздействует на конечный выключатель 2, сигнализирующий о годности резьбы.

Автоматы конструкции БВ для контроля колец шарико- и роликоподшипников встроены в автоматические линии цеха автомата на 1-м ГПЗ [2].

Конструктивная схема одной из измерительных позиций автомата БВ-471 изображена на рис. III.46. На этой позиции производится контроль диаметра, овальности и угла конуса дорожки качения внутреннего кольца конического роликоподшипника. Контролируемое кольцо 11 зажато в магнитном патроне 12 шпинделя 14. Кольцо центрируется по внутреннему диаметру и базируется большим торцом кольца на три твердосплавные базовые опоры 10 маг-

нитного патрона 12. Магнитный патрон центрируется шариком 13, лежащим в центровом отверстии стойки 15, закрепленной на плите-основании 24 измерительной станции, установленной на станине автомата. На этой плите расположены два кронштейна 8 и 22, к которым на плоскoprужинных параллелограммах 3 и 5 подвешены рамки 2 и 4. На рамках установлены измерительные губки 7 и 17 с твердосплавными измерительными наконечниками 16. На верхней рамке 4 расположены два электроконтактных датчика 19 и 20, измерительные стержни которых упираются в опоры кронштейна 18, закрепленного на нижней рамке 2. Предельный электроконтактный датчик 19 служит для контроля диаметра роликoвой дорожки на заданном расстоянии от базового торца, амплитудный датчик 20 — для контроля овальности при

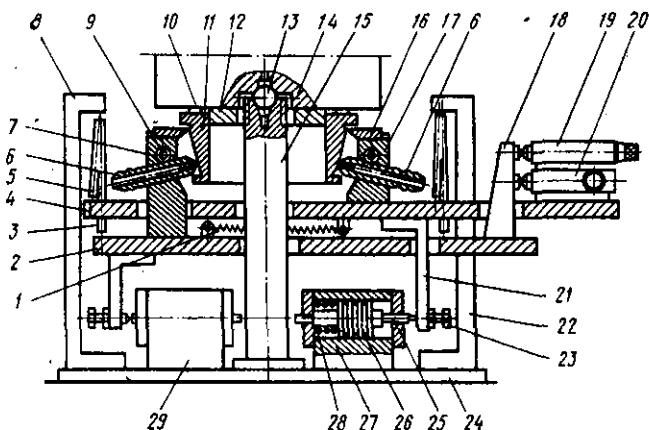


Рис. III.46. Схема измерительной позиции автомата БВ-471

вращения кольца. Угол конуса кольца измеряется пневматическим бесконтактным методом как разность диаметров кольца на заданном расстоянии между ними с помощью двух сопел 6, которые закреплены в губках 7 и 17 винтами 9. Пневматический датчик подсоединен по схеме с противодавлением к общему входу сопел. Измерительное усилие создается пружиной 1, стягивающей подвижные рамки 2 и 4.

При загрузке и выгрузке измерительные наконечники арретируются с помощью двух пневматических цилиндров 27 и 29. При снятом давлении пружина 28 перемещает поршень 26 со штоком 25 вправо. Последний упирается в опорный винт 23, и кронштейн 21 отводит рамку 4 от кольца. В начале цикла измерения в цилиндры подается сжатый воздух; поршень 26, преодолевая сопротивление пружины, движется влево и освобождает рамку 4.

В автоматах ЛИЗ (Ленинградского инструментального завода) для контроля и сортировки деталей подшипников качения и других массовых деталей применяется фотоэлектрический метод измерения с отражением светового потока от поверхности промежуточного зеркала на полупроводниковые фотосопротивления.

Схема измерительного устройства ЛИЗ на фотосопротивлениях ФСК-1 изображена на рис. III.47. Измерительный стержень 12 датчика воздействует на короткое плечо рычага 9, который может поворачиваться вокруг оси 11. На длинное плечо рычага 9 опирается рычаг держателя 8, несущий поворотное зеркало 6. Световой поток от лампы 1 через конденсор 2, диафрагму 3 и объектив 4 падает на поворотное зеркало 6, угол поворота которого зависит от размера контролируемой

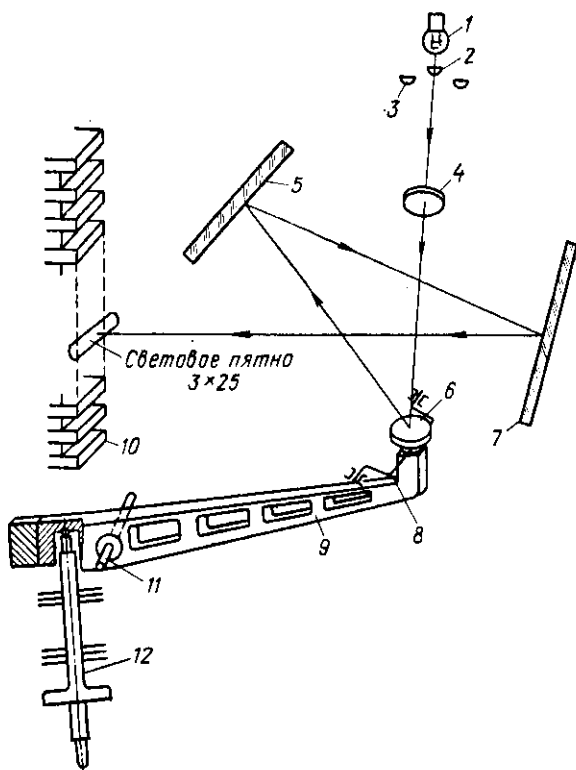


Рис. III.47. Схема фотоэлектрического устройства ЛИЗ

детали, и, отразившись от неподвижных зеркал 5 и 7, попадает на блок фотосопротивлений 10. Луч света освещает одно из фотосопротивлений блока, омическое сопротивление его падает, и резко увеличившаяся величина тока достигает значения, необходимого для срабатывания телефонного реле типа РКН. Ширина фотосопротивления составляет 3 мм. Световое пятно имеет размер  $3 \times 25$  мм. Смещение пятна на 3 мм соответствует изменению размера на 1 мкм. Реле срабатывает при освещении лучом половины ширины фотосопротивления. Погрешность устройства составляет  $\approx 0,5$  мкм. Блок состоит из 59 сопротивлений, т. е. датчик может производить сортировку на 59 групп через 1 мкм.



В ОКБ разработан оригинальный автомат КА-27 для контроля и сортировки игл распылителя топливной аппаратуры. Он основан на применении комбинированных пневмо-механотронных датчиков, которые обеспечивают высокую чувствительность и точность контроля. Метрологическая схема автомата изображена на рис. III.48. Наружный диаметр иглы  $I$  ( $6_{-0,015}^{+0,015}$ ) контролируется в трех сечениях при непрерывном вращении детали на роликах 8, к которым она прижимается роликом 9. Контроль в каждом сечении производится двумя ножевыми соплами  $I-I$ ,  $II-II$  и  $III-III$ , которые попарно присоединены к мембранным пневматическим преобразователям  $МП_I$ ,  $МП_{II}$ ,  $МП_{III}$ . На мембранах каждого из преобразователей закреплены стержни 2, 5, 7, которые воздействуют на рычаги 3, 4, 6 механотронных датчиков  $Д_I$ ,  $Д_{II}$ ,  $Д_{III}$ . Иглы по наружному диаметру сортируются на 30

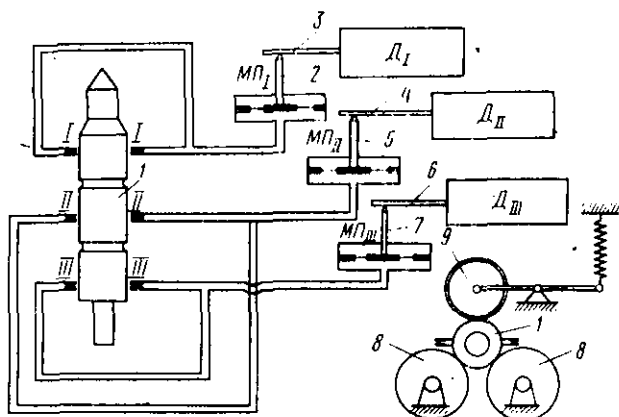


Рис. III.48. Метрологическая схема автомата ОКБ-КА-27

групп (по наибольшему значению) через  $0,5 \text{ мкм}$  внутри поля допуска, брак «+», брак «—» и брак по отклонениям от правильной геометрической формы. Погрешности сортировки по диаметру лежат в пределах  $\pm 0,1 \text{ мкм}$ , по конусности, бочкообразности, корсетности в пределах  $\pm 0,2 \text{ мкм}$ . Производительность автомата  $900 \text{ шт/ч}$ . Время работы без поднастройки 2 ч. Общая погрешность метода при 95%-ной вероятности составляет  $\pm 0,2 \text{ мкм}$ . В автомате использован малогабаритный сдвоенный диодный механотрон 6MX1C (см. § III.3).

Разработаны также специальные автоматы для контроля и сортировки деталей сложной формы (резьб, зубчатых колес и др.).

БВ разработан автомат БВ-538 для контроля резьбы корпусов запальных свечей ( $M18 \times 1,5 \text{ кл. 2}$ ), основанный на пневматическом методе измерений [2]. Приведенный средний диаметр  $D_2$  резьбы контролируется комплексным методом с помощью проходного резьбового калибра, состоящего из двух полуколец (рис. III.49), и по наименьшему собственному среднему диаметру резьбы  $d_2$  — двумя вставками с шаровыми наконечниками, вставленными в отверстия в полукольцах. Деталь автоматически вводится в позицию измерения между двумя полу-

кольцами, затем полукольца подводятся и схватывают деталь, ориентируя ее в пространстве. Для обеспечения вхождения витков резьбы детали во впадины резьбы калибра в автомате предусмотрен вибратор. Величина расхождения полуколец характеризует значение приведенного среднего диаметра резьбы  $D_2$ , измеряемого

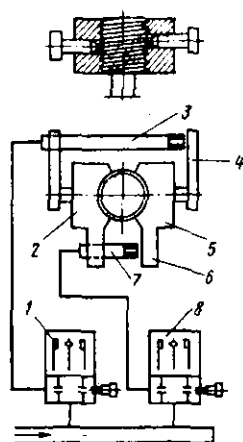


Рис. III.49. Метрологическая схема автомата БВ-538 для контроля резьбы корпусов запальных свечей

пневматическим датчиком 8, подключенным по схеме с противодавлением, по изменению зазора между соплом 7, закрепленным в полукольце 2, и упором 6 полукольца 5. Значение собственного среднего диаметра резьбы  $d_2$  определяется по глубине погружения вставок во впадины резьбы свечи, которое измеряется пневматическим датчиком 1 по зазору между соплом 3 и упором 4. Измерительные полукольца и измерительные вставки закреплены на плавающих каретках, перемещающихся на шариковых направляющих. Детали сортируются на годные и брак. Производительность автомата 900 шт/ч.

Полуавтомат для контроля зубчатых колес БВ-539К установлен в автоматической линии обработки шестерен на заводе «Красный пролетарий» [2]. Измеряется мерительное межцентровое расстояние между контролируемым и измерительным (точным) колесами, находящимися в плотном (двухпрофильном) зацеплении, при их вращении. Контролируются следующие пара-

метры по ГОСТ 1643—56: верхнее  $\Delta_{\text{в}a}$  и нижнее  $\Delta_{\text{н}a}$ , отклонения мерительного межцентрового расстояния (МЦР), колебание мерительного МЦР за полный оборот колеса  $\Delta_{\text{о}a}$  и колебание мерительного  $\Delta_{\text{р}a}$  (последняя проверка производится шесть раз за один оборот колеса). Полуавтомат предназначен для контроля зубчатых колес средней точности (7-й и 8-й степеней точности). Предельная погрешность контроля  $\pm 5$  мкм.

Принципиальная схема полуавтомата изображена на рис. III.50. На станине 1 расположены каретки 10 и 13. Неподвижная каретка 10, положение которой регулируется при установке межцентрового расстояния (при настройке прибора), несет шпиндель 11 привода с установленным на нем контролируемым колесом 9. Измерительное колесо 6 располагают на оправке 7, закрепленной в подвижной каретке 13, перемещающейся на шариковых направляющих 8. Колеса находятся

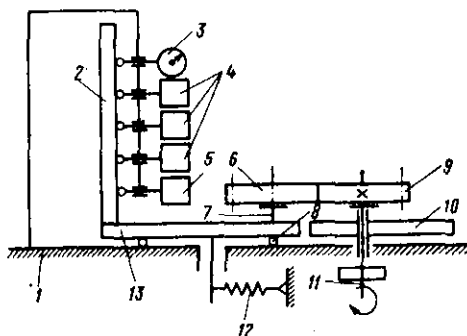


Рис. III.50. Схема полуавтомата для контроля зубчатых колес БВ-539К

в плотном (двухпрофильном) зацеплении. Усилие создается пружиной 12, притягивающей подвижную каретку к неподвижной. Подвижная каретка несет планку 2 с регулируемыми упорами, воздействующими на измерительные шпиндели индикатора 3, электроконтактных датчиков 4 и индуктивного датчика 5.

Предельные отклонения мерительного МЦР контролируются двухпредельным электроконтактным датчиком, колебания мерительного МЦР за полный оборот и на одном зубе — амплитудными электроконтактными датчиками.

Контролируемое колесо 9 надевается на оправку шпинделя 11 вручную при арретировании подвижной каретки 13. Затем нажатием

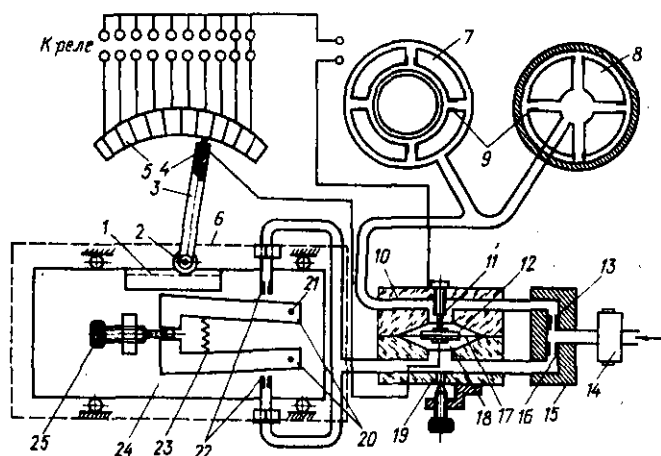


Рис. III.51. Принципиальная схема измерительной части автомата БВ-524 автоматической линии сборки шарикоподшипников

кнопки *Пуск* включается один цикл работы полуавтомата продолжительностью 30 сек. Результаты контроля параметров колеса определяют по пяти сигнальным лампочкам на пульте.

Примером контрольного автомата, встроенного в автоматическую линию сборки, может служить контрольно-сортировочный автомат БВ-524, являющийся основным агрегатом автоматической линии для сборки шарикоподшипников в автоматическом цехе 1-го ГПЗ [2]. Автомат определяет разность диаметров беговых дорожек наружного и внутреннего колец и по этой разности вызывает на сборку шарики соответствующей группы (из пятидесяти групп, на которые шарики рассортированы заранее). В автомате применен разработанный в БВ канд. техн. наук Ю. Г. Городецким пневмоэлектроконтактный дифференциальный датчик компенсационного типа.

Принципиальная схема измерительной части автомата изображена на рис. III.51. Очищенный воздух стабилизированного давления поступает через золотник 14 с электромагнитным управлением к входным соплам 13 и 16 воздушораспределителя 15. К входному соплу 13

подсоединена камера 12 мембранного датчика 10. Камера 12 соединена с измерительными узлами 7 и 8, предназначенными для контроля среднего диаметра беговых дорожек наружного и внутреннего колец шарикоподшипника. Каждое кольцо измеряют с помощью четырех выдвижных сопел 9 в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Сопла выдвигаются в положение измерения при включении воздуха золотником 14. Давление в камере 12 мембранного датчика 10 зависит от суммы зазоров между соплами измерительных устройств 7 и 8 и диаметрами беговых дорожек колец, т. е. от их разности. Вторая камера 18 мембранного датчика связана с компенсационным измерительным устройством 6, состоящим из сопел 22, расположенных против компенсационных линеек 20, закрепленных на каретке 24 под небольшим углом, величину которого регулируют винтом 25. Линейки 20 могут поворачиваться вокруг осей 21, они связаны между собой пружиной 23. Каретка 24 несет рейку 1, сцепляющуюся с шестерней 2, на оси которой закреплен рычаг 3 со щеткой 4, перемещающейся по пластинам коллектора 5. В камере 18 при медленном перемещении каретки 24 компенсационного устройства возникает переменное давление, зависящее от изменения клинового зазора между соплами 22 и линейками 20 (оно увеличивается по мере уменьшения зазора). Когда давления в верхней и нижней камерах мембранного датчика 10 станут равными, мембрана 17 займет среднее положение и контакт 11 замкнется. Момент замыкания контакта регулируется соплом 19 противодействия. Ток проходит через щетку и находящуюся в контакте с ней пластину коллектора и включает электромагнитное реле соответствующей группы. Реле в свою очередь включает сигнал на табло, указывающее номер группы пары колец, и дает команду на вызов семи шариков соответствующей группы.

Погрешность сортировки не превышает 1,5—2 мкм, основные составляющие которой — отклонения колец от правильной геометрической формы и положения выдвижных измерительных сопел.

**Новые направления развития автоматического контроля.** Значительное повышение точности измерений в производственных условиях достигается при применении нового средства автоматического контроля — лазерного интерферометра. Он обладает рядом преимуществ: дистанционностью измерений, высокой точностью, отсутствием износа (метод измерения является бесконтактным), быстродействием, выходом на цифровое отсчетное устройство и на печать, возможностью автоматического ввода поправок на изменение внешних условий измерения \*.

Лазерные интерферометры применяют для точного измерения больших и малых перемещений, проверки станков с программным управлением, калибровки шкал и для измерения образцовых мер и деталей высокой точности в сочетании с измерительными машинами.

Принципиальная схема измерения перемещений с помощью лазерного интерферометра \*\* изображена на рис. III.52. Лазерный интерферометр состоит из трех узлов: измерительной головки 1, установлен-

\* М е к л е р М. И. Средства для обеспечения качества продукции в зарубежном машиностроении. «Измерительная техника», 1967, № 10.

\*\* Production (USA). Т. 58, № 4, стр. 138—142, 1966.

ной на неподвижной части станка, отражателя *II*, закрепленного на подвижной части станка, точность перемещения которой проверяется, например, на суппорте станка, и электронно-вычислительного устройства *III* с цифровым отсчетом. В качестве источника света используют гелий — неоновый лазер (оптический квантовый генератор) *1* со стабильной длиной волны  $\lambda = 0,6328$  мкм. Из коллиматора *2* пучок параллельных лучей (около 1 мм в диаметре) поступает на разделительную пластину *5*. Часть светового потока отражается от разделительной пластины на неподвижное зеркало *4* и, отразившись от него, проходит обратно через разделительную пластину *5* к фотоэлектрическому приемному устройству *6*. Другая часть светового потока проходит через разделительную пластину *5* и угловую призму *8* на второе неподвижное зеркало *7*. Отразившись от зеркала *7*, лучи в обратном направлении проходят через призму *8* к разделительной пластине *5* и фотоприемнику *6*. Вследствие разности хода лучей возникают интерференционные полосы, отстоящие друг от друга на расстоянии  $\lambda/4$ . Полосы отсчитывает двухнаправленный счетчик, определяющий число полос и направление их перемещения. Применяют две системы полос, сдвинутых на  $90^\circ$ . По последовательности появления этих полос счетное устройство определяет характер изменения расстояния между головкой *I* и отражателем *II*. Результаты измерений обрабатываются в счетном устройстве *III* и выдаются на цифровое отсчетное устройство *9* и печать с поправкой на изменение температуры, давления и влажности среды. Предварительная соосная установка головки *I* и отражателя *II* производится с помощью автоколлиматора *3*. Предельная погрешность измерения определяется выражением  $\pm (0,0003 + 0,5 \cdot 10^{-6} L)$  мм и составляет 0,25 мкм на длине до 20 м.

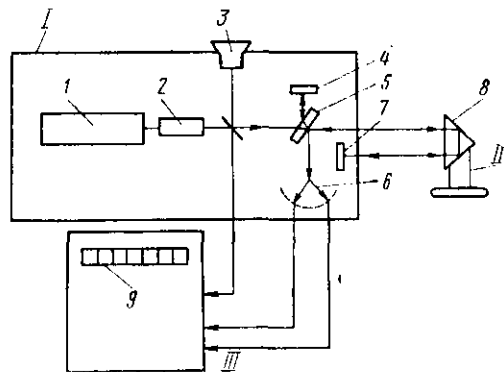


Рис. III.52. Блок-схема лазерного интерферометра

В последнем десятилетии получили распространение универсальные координатные измерительные машины с программным управлением. Это направление развития автоматического контроля является весьма перспективным при необходимости точного измерения деталей сложной формы. В зарубежной практике они применяются на заводах, производящих ракеты, космические корабли, сверхзвуковые самолеты, точные станки и т. д.

Автоматическая измерительная машина фирмы «Шеффилд» \* состоит из основания, на котором укреплена жесткая рама с подвижными

\* Machinery (USA). Т. 67, № 12, стр. 130—131, 1961.

измерительными каретками и датчиками для наружных и внутренних измерений; высокопрецизионного поворотного стола, на котором закреплена контролируемая деталь; устройства программного цифрового управления и электронного пульта с измерительными и усилительными цепями, устройством цифрового отсчета и печатающим устройством.

Автоматическая измерительная машина легко перестраивается, благодаря чему ее можно использовать и в мелкосерийном производстве. Управляют перемещениями измерительных кареток с помощью следящих гидросистем. Измерительная система определяет положение точек контролируемой поверхности, их линейные и угловые параметры

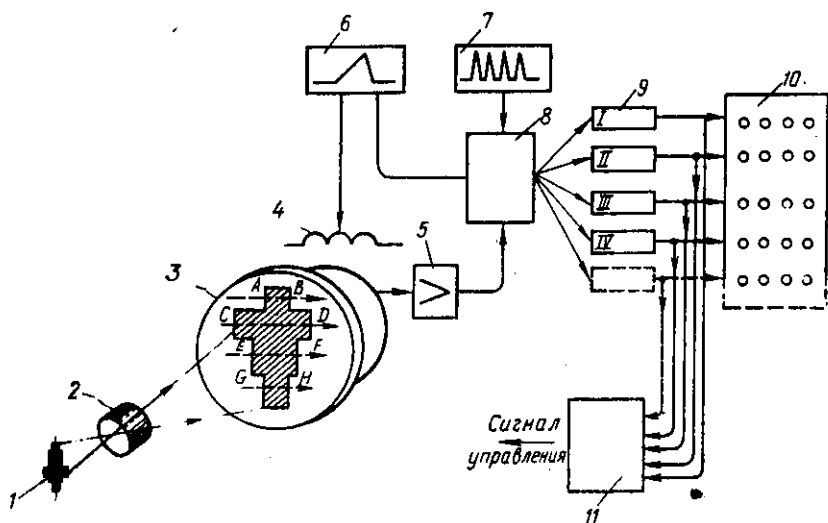


Рис. III.53. Блок-схема телевизионно-вычислительного устройства контроля размеров

с предельной погрешностью 2,5 мкм на всем пределе измерений: контролируются наружные диаметры до 500 мм, внутренние от 50 мм. Вариация показаний находится в пределах  $\pm 0,125$  мкм. Предельная погрешность положения измерительных кареток — 0,37 мкм.

Достигается значительное повышение производительности контроля деталей сложной формы. Машина в автоматическом режиме производит 1000 измерений за 2 ч. При контроле старыми методами на эту работу потребовалось бы около месяца.

Одним из новых направлений в автоматизации контроля является использование телевизионно-вычислительной техники\*. Главным органом телевизионно-вычислительной системы является фотоэлектрический сканирующий элемент (телевизионные трубки типа видикон или диссектор).

Блок-схема телевизионного устройства для автоматического контроля детали приведена на рис. III.53. Изображение контролируемой

\* В и х м а н В. С. Авторские свидетельства № 111120, 151834, 242424.

детали 1 проектируется с помощью оптической системы 2 на фоточувствительный слой телевизионной трубки 3. Отклоняющее устройство 4 управляет перемещением развертывающего электронного луча по определенной программе. Луч пересекает тень детали в заданных сечениях *AB, CD, EF, GH*. При входе луча в тень (точки *A, C, E, G*) на выходе трубки вырабатывается импульс, поступающий через усилитель 5 в логический блок 8, открывающий канал для прохода импульсов генератора 7 в один из счетчиков 9. Число счетчиков *I, II, III, IV ...* соответствует числу контролируемых параметров детали 1. Второй импульс на выходе трубки вырабатывается при выходе сканирующего луча из тени (точки *B, D, F, H*). Под действием этого импульса логический блок 8 запирает канал прохода импульсов в соответствующий счетчик. Таким образом, в счетчиках 9 набираются числа импульсов, пропорциональные размерам детали в соответствующих сечениях: в счетчике *I* — пропорциональное размеру в сечении *AB*, и т. д. Информация о набранных числах импульсов передается в логический блок 11, который сравнивает их с заданными размерами детали. При приближении размера к подналадочной границе блок 11 выдает команду на подналадку станка, при выходе размера за пределы допуска — на останов станка и удаление детали. Результаты контроля выдаются на сигнальное табло 10. Блок развертки 6 осуществляет синхронизацию хода электронного сканирующего луча трубки 3 и логического блока 8.

### § III.7. Расчет точности средств автоматического контроля

Расчет точности средств автоматического контроля при их конструировании производится на основе анализа составляющих погрешностей, вносимых отдельными элементами автоматического устройства, с последующим их суммированием. Составляющие, характеризующие систематическую погрешность устройства, суммируются алгебраически, случайные погрешности — геометрически (см. § III.2). Общие основы теоретического анализа погрешностей измерительных устройств рассматриваются в работе Б. А. Тайц \*.

Применительно к средствам автоматического контроля составляющими суммарной погрешности являются погрешности:

1) теоретическая (кинематическая) метрологической схемы устройства — погрешность преобразующих элементов; 2) базирования; 3) воспринимающих элементов; 4) задающих элементов; 5) отсчетных устройств; 6) исполнительных элементов; 7) вносимая внешними условиями измерения.

К теоретическим (кинематическим) относятся [1,6] погрешности, органически присущие метрологическим схемам приборов. Они вызывают изменение мгновенных передаточных отношений и характеризуются нелинейной зависимостью между выходным и входным параметрами измерительных систем. Так, например, у рычажных измерительных приборов отсутствует прямая пропорциональность между линей-

---

\* Коротков В. П., Тайц Б. А. Основы метрологии и точности механизмов приборов. Машгиз, 1961.

ным перемещением измерительного стержня и углом поворота рычага (указателя). Рычажные приборы могут быть выполнены по синусной (рис. III.54, а) или тангенсной (рис. III.54, б) схемам. В синусном механизме сохраняется постоянство гипотенузы элементарного треугольника и зависимость между перемещением  $s$  измерительного стержня и углом  $\varphi$  поворота рычага выражается уравнением

$$s_c = a \sin \varphi, \quad (\text{III.49})$$

где  $a$  — длина малого плеча рычага.

В тангенсном механизме сохраняется постоянство катета:

$$s_t = a \operatorname{tg} \varphi. \quad (\text{III.50})$$

Разлагая выражения (III.49) и (III.50) в ряд и ограничиваясь первыми двумя членами разложения, получим для синусного механизма  $s_c \approx a\varphi - a\varphi^3/6$  и для тангенсного механизма  $s_t \approx a\varphi + a\varphi^3/3$ .

Для идеального механизма поддерживается условие  $s = a\varphi$ , следовательно, теоретическая погрешность соответственно синусного и тангенсного механизмов:

$$\Delta_c \approx -a\varphi^3/6; \quad (\text{III.51})$$

$$\Delta_t \approx +a\varphi^3/3. \quad (\text{III.52})$$

Основным недостатком тангенсных механизмов является влияние зазоров в направляющих измерительного стержня на величину малого плеча рычага, т. е. непостоянство величины  $a$ .

В общем случае погрешность любого физического принципа преобразования измерительного импульса является теоретической погрешностью средства автоматического контроля.

Погрешность базирования зависит от способа базирования измерительных наконечников устройства (см. § III.4). При расчете погрешности устройства активного контроля в процессе обработки следует учитывать также погрешности, вносимые базированием детали при ее обработке.

Рассмотрим в качестве примера расчет на точность устройства активного контроля МАМИ-16, установленного на специальном круглошлифовальном станке мод. 3486 для шлифования конических роликовых дорожек внутренних колец ролико-подшипников (см. § III.4). Устройство основано на пневматическом методе измерений. Используется двухконтактная пневматическая скоба мод. 1096Ш-2 (см. рис. III.22). Положение скобы в позиции измерения фиксируется с помощью пальца с шаровым наконечником, закрепленного в корпусе скобы и упирающегося в конце хода скобы в неподвижную V-образную призму. Базой измерения является контролируемый диаметр, так как

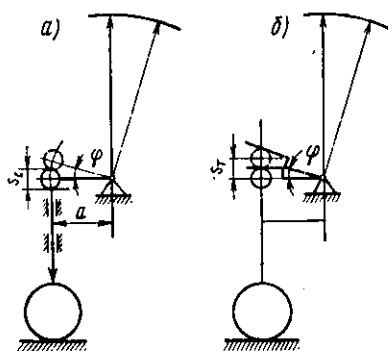


Рис. III.54. Схемы рычажных механизмов



губки скобы подвешены к корпусу на плоскопружинных параллелограммах.

При контроле цилиндрических деталей погрешность базирования можно считать равной нулю. Однако при контроле конусов диаметр должен измеряться в расчетном сечении, т. е. на заданном расстоянии от базы конуса. Следует рассмотреть погрешности смещения плоскости измерений вследствие изменения положения базы (базового торца кольца). При обработке кольцо 3 закрепляют в мембранном патроне (рис. III.55, а). Усилением  $P$  гидроцилиндра (на схеме не показан) мембрана 2 деформируется, кулачки 4, закрепленные на мембране, сводятся и кольцо 3 надевается на кулачки внутренним диаметром  $d$  до упора своим базовым торцом в торцы кулачков. Затем усилие снимается, мембрана под действием пружины 1 возвращается в исходное положение, кулачки расходятся, зажимая кольцо. В зави-

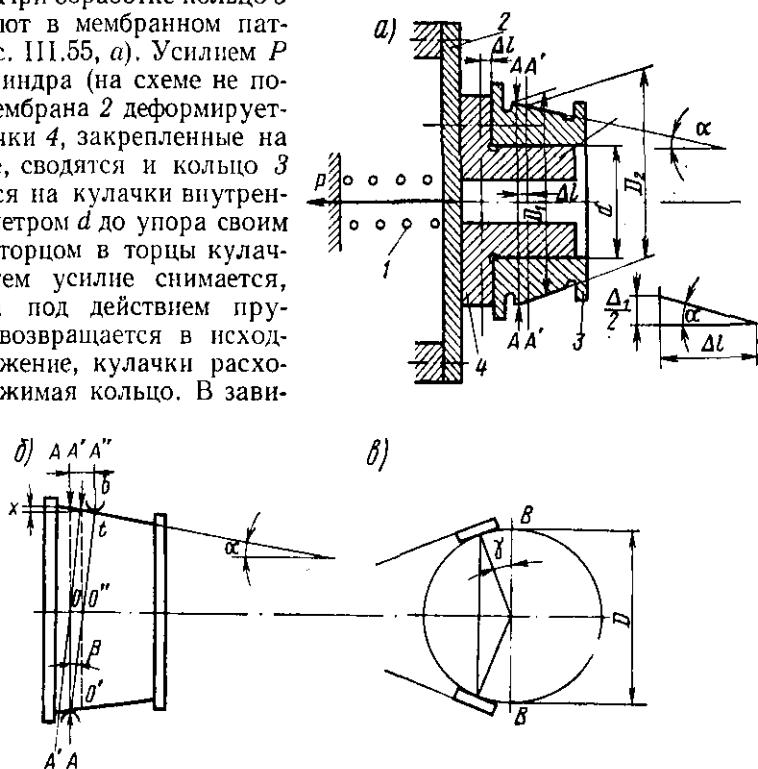


Рис. III.55. К расчету на точность устройства автоматического контроля

симости от действительного значения размера  $d$ , который может колебаться в пределах поля допуска  $\delta d$ , мембрана может занимать различные положения в пределах  $\Delta l$ . Плоскость измерения также меняет свое положение между плоскостями  $A-A$  и  $A'-A'$ . Возникает случайная погрешность измерения

$$\Delta i = D_1 - D_2 = 2\Delta l \operatorname{tg} \alpha, \quad (\text{III.53})$$

где  $\alpha$  — угол уклона кольца.

В конструкции скобы не выдержан принцип Аббе, по которому линия измерения должна совпадать с направлением передачи измерительного импульса. В измерительных устройствах, где этот принцип

соблюдается, погрешности, возникающие из-за перекосов измерительных стержней (или других воспринимающих элементов), являются ошибками второго порядка малости; в устройствах, где принцип Аббе не соблюдается, эти погрешности могут иметь существенное значение.

Рассмотрим погрешности, возникающие вследствие перекосов и непараллельности губок скобы. Поворот скобы из положения  $A - A$  вокруг точки  $O$  (рис. III.55, б) в положение  $A' - A'$  не вызывает существенных погрешностей измерения, так как губки скобы плавающие и происходит компенсация смещений верхней и нижней губок на величину  $x$  с разными знаками.

Смещение одной из губок относительно другой на величину  $A - A'' = b$  приводит к возникновению погрешности измерений:

$$\Delta_2 \approx b \operatorname{tg} \alpha. \quad (\text{III.54})$$

Погрешность  $\Delta_2$  является систематической и компенсируется при настройке скобы по образцовой детали. Колебания положений губок скобы, возникающие под действием случайных погрешностей фиксации, вызовут появление случайных погрешностей измерения, которые могут иметь существенную величину (III.54) и должны быть строго ограничены.

Погрешности, обусловленные размером и формой измерительных наконечников скобы [3],

$$\Delta_3 = 2r_0\beta^2, \quad (\text{III.55})$$

где  $r_0$  — радиус наконечника;  $\beta$  — угол перекоса губок скобы.

Погрешность, вызванная непараллельностью измерительных губок скобы в плоскости измерения (рис. III.55, в) [3],

$$\Delta_4 = D\gamma^2/2 \quad (\text{III.56})$$

является систематической и компенсируется при настройке скобы по образцовой детали.

Погрешности задающих элементов — это погрешности настройки систем автоматического контроля. Элементами настройки рассматриваемого устройства являются винт регулирования положения пятки (измерительного зазора) и регулируемые контакты пневмоэлектронного датчика мод. 235 (см. рис. III.13). Погрешность настройки датчиков лимитируют технические требования к ним. К систематическим составляющим погрешности настройки относится также погрешность аттестации размера образцовой детали.

Инерционность систем активного контроля является причиной систематических погрешностей размеров обрабатываемых деталей, которые зависят от скорости изменения размера (съема металла) на конечном этапе цикла. Постоянная времени сильфонного датчика в случае работы в устройствах активного контроля при принятых его параметрах  $T_1 = 0,5 - 0,6$  сек. Скорость изменения размера (чистовая подача) на конечном этапе цикла  $s_q = 0,4$  мм/мин.

Погрешность от инерционности системы активного контроля

$$\Delta_8 = -2T_1s_q/60. \quad (\text{III.57})$$

Погрешности исполнительных элементов систем активного контроля определяются погрешностями исполнительных реле и инерционностью рабочих органов станка.

Отвод шлифовального круга после достижения заданного размера по сигналу устройства активного контроля осуществляет гидросистема станка. Команда на отвод подается исполнительным реле на соленоид гидрозолотника, управляющего перемещениями гидроцилиндра быстрого отвода бабки шлифовального круга. Время срабатывания электрических реле составляет сотые доли секунды, гидрозолотников средних размеров —  $0,05 \div 0,3$  сек. Инерционность гидроцилиндра зависит от давления в гидросистеме, размеров цилиндра и штока и др.

Погрешность  $\Delta_9$  является систематической:

$$\Delta_9 = -T_2 \cdot 2s_4/60. \quad (\text{III.58})$$

Однако скорость перемещения элементов гидросистемы изменяется во времени, увеличиваясь с разогревом масла.

К числу основных составляющих погрешностей системы под действием внешних условий относятся погрешности вследствие температурных и силовых деформаций системы. В рассматриваемом примере тепловые и силовые деформации станка компенсируются устройством активного контроля. Тепловые деформации детали проявляются как систематические и случайные составляющие погрешностей размеров. Они зависят в основном от величины припуска на обработку и режущей способности круга [11].

Рассчитывают величину наименьшей тепловой деформации деталей при наименьшем припуске  $P_{\min}$ :

$$\Delta R_{\min} = \Delta R_{p,n} (1 - e^{-m\tau_{\min}}) e^{-m\tau_{\min}} + \Delta R_{q,n} (1 - e^{-m\tau_q}), \quad (\text{III.59})$$

где —  $\Delta R_{p,n} = 2\beta R Q_p / \alpha S$  — величина тепловой деформации под действием средней избыточной температуры в режиме насыщения на рабочем (черновом) этапе цикла;  $\beta$  — коэффициент линейного расширения материала детали;  $R$  — радиус детали;  $Q_p$ ,  $Q_q$  — количество тепла, получаемое деталью в единицу времени при шлифовании на рабочем и чистовом этапах цикла;  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи;  $S$  — полная теплоотдающая поверхность;

$$\tau_{\min} = (0,5P_{\min} - \tau_q s_q) / s_p - \quad (\text{III.60})$$

наименьшее время шлифования на рабочем этапе цикла;  $\tau_q$  — время чистового этапа цикла;  $s_p$ ,  $s_q$  — минутная поперечная подача на рабочем и чистовом этапах цикла;

$$m = \varepsilon \alpha S / c \rho V - \quad (\text{III.61})$$

коэффициент скорости охлаждения (или нагревания детали);  $\varepsilon$  — коэффициент замедления нагрева;  $c$  — удельная теплоемкость;  $\rho$  — плотность материала детали;  $V$  — объем детали;  $\Delta R_{q,n} = 2\beta R Q_q / \alpha S$  — величина тепловой деформации под действием средней избыточной температуры в режиме насыщения на чистовом этапе цикла.

Величина наибольшей тепловой деформации детали при съеме наибольшего припуска  $\Pi_{\max}$

$$\Delta R_{\max} = \Delta R_{p, n} (1 - e^{-m\tau_{\max}}) e^{-m\tau_q} + \Delta R_{q, n} (1 - e^{-m\tau_q}), \quad (\text{III.62})$$

где

$$\tau_{\max} = (0,5\Pi_{\max} - \tau_q s_q) / s_p. \quad (\text{III.63})$$

Величина поправки для среднего значения припуска

$$\bar{\Delta R} = \Delta R_{\min} + (\Delta R_{\max} - \Delta R_{\min}) / 2. \quad (\text{III.64})$$

Очевидно, что температурные деформации действуют в направлении уменьшения размера и вносят существенные погрешности в процесс шлифования с активным контролем. Систематическую погрешность компенсируют смещением уровня настройки на величину  $\Delta_{10}$  с положительным знаком. Случайная составляющая компенсируется лишь при применении устройств с автоматической компенсацией тепловых деформаций деталей.

Суммируя погрешности измерений устройства активного контроля по формуле

$$\Delta_{\Sigma} = \sum \Delta_{\text{сист}} \pm \Delta_{\text{lim } \Sigma},$$

найдем

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_2 + \Delta_4 + \Delta_8 + \Delta_6 \pm \sqrt{(\Delta'_2/2)^2 + (\Delta'_8/2)^2 + (\Delta'_7/2)^2}. \quad (\text{III.65})$$

Следует подчеркнуть, что почти все приведенные систематические составляющие погрешностей измерения при настройке средства активного контроля по образцовой детали компенсируются.

Рассмотрим суммарную погрешность системы. Предельные отклонения размеров

$$\Delta_{\Sigma \text{ сум}} = \sum \Delta_{\text{сист. сум}} \pm \sqrt{\sum (\Delta'_i/2)^2}. \quad (\text{III.66})$$

Настройка устройства активного контроля производится по образцовой детали. В этом случае

$$\Delta_{\Sigma \text{ сум}} = \Delta_8 + \Delta_6 + \Delta_{10} \pm \sqrt{(\Delta'_1/2)^2 + (\Delta'_2/2)^2 + (\Delta'_8/2)^2 + (\Delta'_7/2)^2 + (\Delta'_{10}/2)^2}. \quad (\text{III.67})$$

В суммарной погрешности системы наибольший вес имеют погрешности, связанные с температурными деформациями детали и инерционностью системы. Для снижения систематической составляющей суммарной погрешности проводят динамическую настройку системы, т. е. вносят поправку в настройку устройства активного контроля по результатам перепроверки размеров первых обработанных деталей.

**Пример III.1.** Рассчитать на точность устройство МАМИ-16 для активного контроля конических роликовых дорожек внутренних колец конических роликоподшипников. Шлифуются кольца типа 7611/02 с данными:  $d = 55_{-0,015}^{+0,015}$ ,  $D = 80_{-0,05}^{+0,05}$ ,  $\alpha = 8^\circ 40'$ . При колебании размера  $d$  в пределах допуска колебания положения мембраны  $\Delta l = 0,006$  мм (см. рис. III.55, а).

**Решение.** По формуле (III.53) определяем погрешность базирования:

$$\Delta'_1 = 2 \cdot 0,006 \operatorname{tg} 8^\circ 40' \approx 0,002 \text{ мм.}$$

Определяем погрешность, возникающую вследствие перекосов скобы при смещении губки  $b = 0,1$  мм, по формуле (III.54):

$$\Delta_2 = 0,1 \operatorname{tg} 8^\circ 40' \approx 0,015 \text{ мм.}$$

Колебания величины  $b$  не должны превышать 0,01 мм. В этом случае случайная погрешность от смещения губок по (III.54)

$$\Delta_2 = 0,01 \operatorname{tg} 8^\circ 40' \approx 0,0015 \text{ мм.}$$

При диаметре твердосплавных вставок  $d_0 = 5$  мм и  $\beta = 0,003$  по формуле (III.55) определяем погрешность, обусловленную размером и формой измерительных накопчиков скобы:

$$\Delta_3 = 2 \cdot 2,5 \cdot 0,003^2 \approx 0,000045 \text{ мм,}$$

т. е.  $\Delta_3$  пренебрежимо мала.

Погрешность, вызванную непараллельностью измерительных губок скобы в плоскости измерения, определяем по формуле (III.56) при  $\gamma = 0,01$ ,  $D = 80$  мм:

$$\Delta_4 = 80 \cdot 0,01^2 / 2 \approx 0,004 \text{ мм.}$$

Эта погрешность направлена в сторону уменьшения размера.

Погрешности настройки пневматических сильфонных датчиков определяем по данным испытаний их в БВ. Эти датчики показали при испытаниях в БВ погрешность настройки контактов 0,4 мкм, смещение настройки вследствие колебаний давления в сети 0,3 мкм и вследствие изменения напряжения 0,2 мкм, т. е. уложились в предельную погрешность настройки  $\Delta_5 = 1$  мкм.

Погрешность аттестации образцовой детали  $\Delta_6 = 0,5$  мкм.

Случайные погрешности преобразователя характеризуются нестабильностью срабатывания датчика. По нормам они равны  $\pm 10$  мм *вод. ст.* По данным БВ, нестабильность срабатываний  $\Delta_7 = \pm 0,5$  мкм.

Погрешность вследствие инерционности систем активного контроля находим по формуле (III.57). По данным БВ принимаем  $T_1 = 0,5$  сек,  $s_1 = 0,4$  мм/мин, тогда

$$\Delta_8 = -2 \cdot 0,5 \cdot 0,4 / 60 \approx -0,0066 \text{ мм.}$$

Определяем погрешности исполнительных элементов по (III.58). Примем инерционность электрических реле и гидросистемы станка  $T_2 = 0,3$  сек:

$$\Delta_9 = -0,3 \cdot 2 \cdot 0,4 / 60 \approx -0,0045 \text{ мм.}$$

Погрешность вследствие температурных деформаций детали рассчитываем по формулам (III.59)—(III.64) для условий шлифования: круг Э9А40СТ1К;

$$v_{кр} = 35 \text{ м/сек; } P_{\max} = 0,6 \text{ мм; } P_{\min} = 0,2 \text{ мм; } s_p = 1,4 \text{ мм/мин;}$$

$$s_c = 0,4 \text{ мм/мин; } \tau_c = 4 \text{ сек; материал детали — сталь ШХ15; HRC 62—65;}$$

$$\Delta R_{\max} = -0,022 \text{ мм; } \Delta R_{\min} = -0,014 \text{ мм.}$$

Составляющие температурной погрешности: систематическая

$$\Delta_{10} = \Delta \bar{R} = -0,014 + [-0,022 - (-0,014)] / 2 \approx -0,018 \text{ мм;}$$

случайная

$$\Delta_{10}' = 0,022 - 0,014 = 0,008 = \pm 0,004 \text{ мм.}$$

Суммарная погрешность измерений устройств активного контроля определяем по (III.65):

$$\Delta_{\Sigma} = 15 - 4 + 1 + 0,5 \pm \sqrt{0,75^2 + 0,5^2 + 0,5^2} = 12,5 \pm 1 \text{ мкм.}$$

Таким образом, случайная погрешность устройства

$$\pm \Delta_{\lim \Sigma} = \pm 1 \text{ мкм.}$$

Определяем предельные отклонения размеров деталей, обрабатываемых на станке по (III.67) при условии, что настройка устройства активного контроля производится по образцовой детали:

$$\Delta_{\Sigma \text{ сум}} = 0,5 - 6,6 - 4,5 - 18 \pm \sqrt{0,75^2 + 0,5^2 + 0,5^2 + 1^2 + 4^2} = -28,6 \pm 4,25 \text{ мкм.}$$

При применении метода динамической настройки системы систематические погрешности ее могут быть значительно снижены.

## Глава IV

### АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ

---

#### УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

##### § IV.1. Типы автоматических линий и их классификация

Многие детали сложных конструкций из-за большого количества поверхностей, которые необходимо обрабатывать, не могут быть полностью изготовлены на одном станке. В этих случаях операции обработки распределяют таким образом, чтобы их можно было выполнить на минимальном количестве станков. Если размеры деталей позволяют вести их обработку на многопозиционных станках, строят поточную линию из нескольких многопозиционных станков, при обработке деталей крупных размеров — поточную линию из однопозиционных станков.

Если в такой поточной линии осуществить автоматическую передачу деталей от станка к станку, а также автоматический зажим и открепление деталей в рабочих позициях, то поточная линия превратится в автоматическую.

Таким образом, автоматическая линия — это система станков, расположенных по ходу технологического процесса, для автоматического преобразования заготовки в готовую деталь посредством выполнения различных технологических, контрольных, сборочных и других операций с автоматическим перемещением обрабатываемых деталей от станка к станку и перезакреплением или перебазированием их непосредственно в приспособлениях станков или в специальных приспособлениях-спутниках. Превращение поточной линии в автоматическую связано со значительными расходами и не всегда экономически оправдывается. При обработке сложных по конструкции деталей, когда для их базирования и закрепления приходится применять приспособления-спутники, стоимость автоматического транспорта и спутников иногда составляет до 40 % стоимости всей линии. Если выпуск деталей не особенно велик, выгоднее обрабатывать их на многосторонних станках поточной линии, чем строить автоматическую линию, где каждый станок будет иметь меньше инструментов и, следовательно, потребуются большее количество станков.

Рассматривая различные варианты решения вопроса, конструкторы и технологи выбирают такой, который обеспечивает изготовление заданного числа деталей с минимальной стоимостью их обработки.

Еще 15—20 лет назад на автоматических линиях обрабатывали довольно ограниченный круг деталей: блоки цилиндров, головки блоков, корпуса коробок скоростей. С ростом специализации заводов

и увеличением выпуска продукции стало выгодно применять автоматические линии и для тех деталей, которые раньше обрабатывали на поточных линиях.

Применение автоматических линий для изготовления самых различных деталей с выполнением разнообразных операций механической обработки, сборки, контроля, упаковки и других операций вызвало необходимость в большом числе конструктивных решений автоматических линий. В табл. IV.1 приведена разработанная в ЭНИМСе классификация линий по основным признакам.

По принципу работы линии подразделяют на два класса: синхронные — жесткие и несинхронные — гибкие. (На рисунках табл. IV.1: 1, 2, 3 — станки; 4 — транспортер; 5 — изделие; 6 — спутник; 7 — накопитель; 8 — питатель.)

В синхронной автоматической линии заготовки во время обработки передаются непосредственно от одного станка к другому без транспортировки в магазины-накопители или бункера (схема а, табл. IV.1). Станки объединены жестким транспортом и образуют прямоточную (неветвящуюся) линию или отдельные секции линий с ветвящимися потоками (схемы з и ж, табл. IV.1). Автоматические линии такого типа могут состоять как из одно-, так и из многопозиционных станков со сквозным или несквозным транспортом (схемы д и е, табл. IV.1). Сквозной транспорт является наиболее простым, поэтому линии с таким транспортом получили наибольшее распространение.

Линии с несквозным (верхним и фронтальным) транспортом проектируют в том случае, если конструкции станков не позволяют осуществить сквозную транспортировку изделий. Недостатком таких транспортных решений является их сложность и необходимость иметь на каждой рабочей позиции свое загрузочно-разгрузочное устройство.

По характеру транспортировки изделий в процессе обработки или сборки их можно подразделить на линии стационарные, роторные и цепные (табл. IV.2). Стационарные линии характеризуются тем, что детали в процессе обработки не изменяют своего положения относительно станка и лишь после того, как закончено выполнение обработки на очередной позиции, они транспортируются на следующую. На линиях роторных и цепных детали перемещаются непрерывно. Каждый станок-ротор вращается непрерывно вокруг своей оси с определенной скоростью. При этом обработка деталей совмещается с транспортировкой. Часть времени их перемещения совмещается с обработкой, остальное идет на подвод и отвод инструмента и передачу деталей от одного станка-ротора к другому (см. рис. 34).

Несинхронные линии (схема б, табл. IV.1) состоят из станков, каждый из которых снабжен бункером (или магазином-накопителем) для хранения деталей и автоматическим загрузочно-разгрузочным устройством. Благодаря гибкой связи станки могут работать независимо и линии строят либо прямоточными, либо по принципу ветвящегося потока (схемы з и ж, табл. IV.1) из одно- или многопозиционных станков.

Линии с жесткой и жестко-гибкой связью создают как с приспособлениями-спутниками, так и без них (схемы в и г, табл. IV.1).

Таблица IV.1

## Классификация автоматических линий и участков

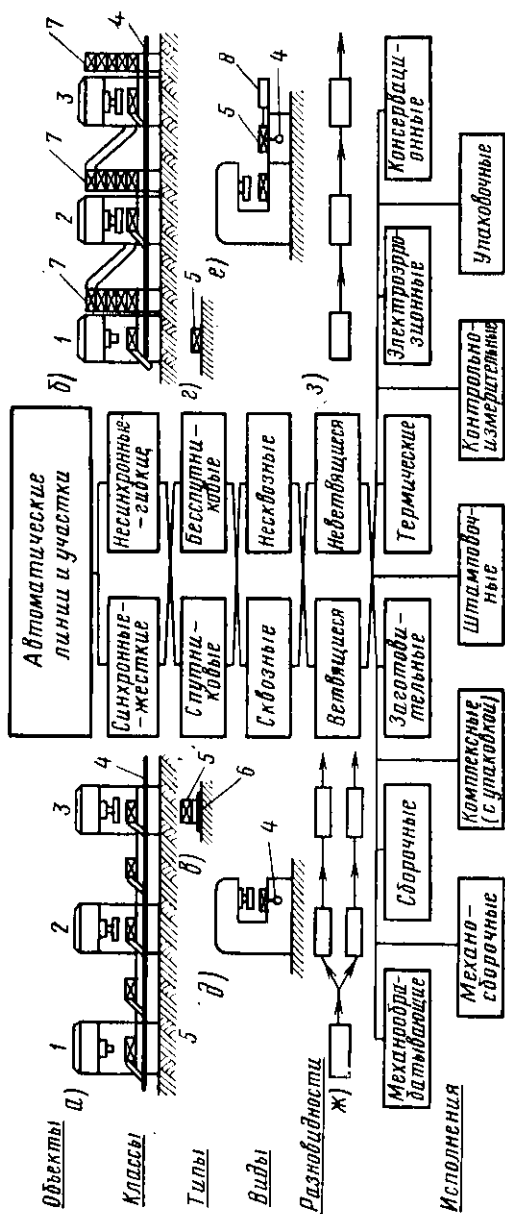
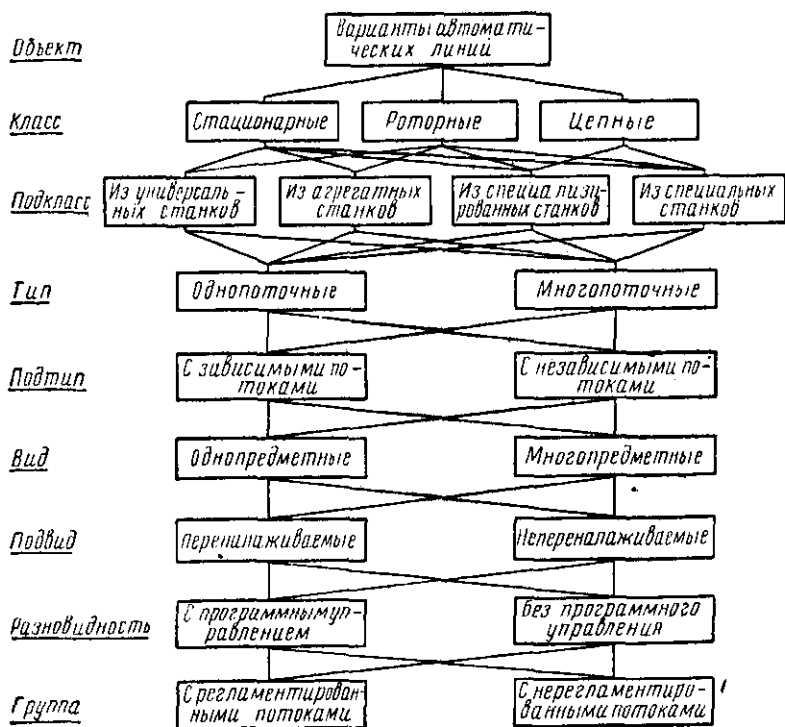




Таблица IV.2

Классификация вариантов автоматических линий по конструктивно-компоновочным признакам



Одним из основных признаков линии является ее технологическое назначение. По этому признаку линии подразделяются на линии для выполнения одного вида операций (например, для механической обработки деталей, сборки узлов, термообработки и т. д.) и линии для выполнения нескольких видов операций (механическая обработка сочетается со сборочными операциями, контролем, упаковкой и т. д.). Такие линии по своему технологическому назначению можно считать комбинированными.

Несмотря на то что в последние годы появились линии, сочетающие различные виды операций, подавляющее большинство линий в машиностроительной промышленности предназначено для механической обработки деталей.

По типу применяемого оборудования автоматические линии подразделяются на четыре группы (табл. IV.2): линии из универсальных, агрегатных, специализированных и специальных станков.

Линии из агрегатных станков, так же как и линии из специализированных станков серийного производства (например, многорезцовые одношпиндельные и многоинструментные многошпиндельные токарные

полуавтоматы, фрезерные, зубообрабатывающие, шлифовальные и другие станки, встраиваемые в автоматические линии), применяют при крупносерийном и массовом изготовлении изделий. При этом, как правило, линии из станков токарно-шлифовальной группы применяют для обработки деталей типа тел вращения, линии из агрегатных станков — для корпусных деталей типа рычагов, дисков, цилиндров, в большинстве случаев неподвижных в процессе обработки.

При серийном и мелкосерийном характере производства применяют линии из универсальных станков. В этих условиях необходима частая переналадка оборудования на изготовление ряда однотипных деталей. Универсальные станки по сравнению со специальными многоинструментными создают возможность быстрой переналадки линии на изготовление других деталей, обрабатываемых по тому же технологическому маршруту, но отличающихся размерами, формой и требующих других режимов обработки. Если такая переналадка необходима через короткие промежутки времени, иногда несколько раз в смену, т. е. при обработке деталей мелкими партиями, создаются линии из универсальных станков с программным управлением. В этих случаях программа не только автоматически управляет работой станков, но и осуществляет их переналадку при переходе на новые детали.

Линии из специальных станков и устройств проектируют для массового производства и применяют, когда деталь не может быть по тем или иным причинам обработана на станках, выпускаемых серийно.

Линии из непрерывно вращающихся роторов (линии роторного типа) также применяются только в массовом производстве, так как они обеспечивают очень высокую производительность и не окупаются при недостаточной загрузке. В силу ряда технологических особенностей, о которых будет сказано далее, эти линии используют при обработке простых по конструкции деталей, требующих для полной обработки небольшого количества переходов.

Ответственной стадией проектирования является распределение операций по позициям (станкам) автоматической линии. На этом этапе определяют длину и число участков линии, число станков, число силовых головок на каждой позиции и, наконец, число инструментов каждой силовой головки. Помимо последовательности в распределении операций, заданной технологическим процессом изготовления детали, на построение схемы автоматической линии большое влияние оказывает выпуск деталей, который должна обеспечивать линия, при соблюдении важного условия — обработки деталей на наименьшем количестве станков.

Наиболее простой вариант компоновки автоматической линии показан на рис. IV.1, а, где станки обрабатывают детали с одной или нескольких сторон. В начале линии рабочий устанавливает заготовку на загрузочную позицию, а транспортер подает ее на первую рабочую позицию. После обработки инструментами двух силовых головок деталь перемещается к следующей позиции. В конце линии второй рабочий снимает обработанные детали и передает их на следующие операции или на сборку.

По этой схеме проектировали большинство автоматических линий в первоначальный период их развития. Предназначались они для частичной обработки корпусных деталей автомобилей и тракторов. На такой

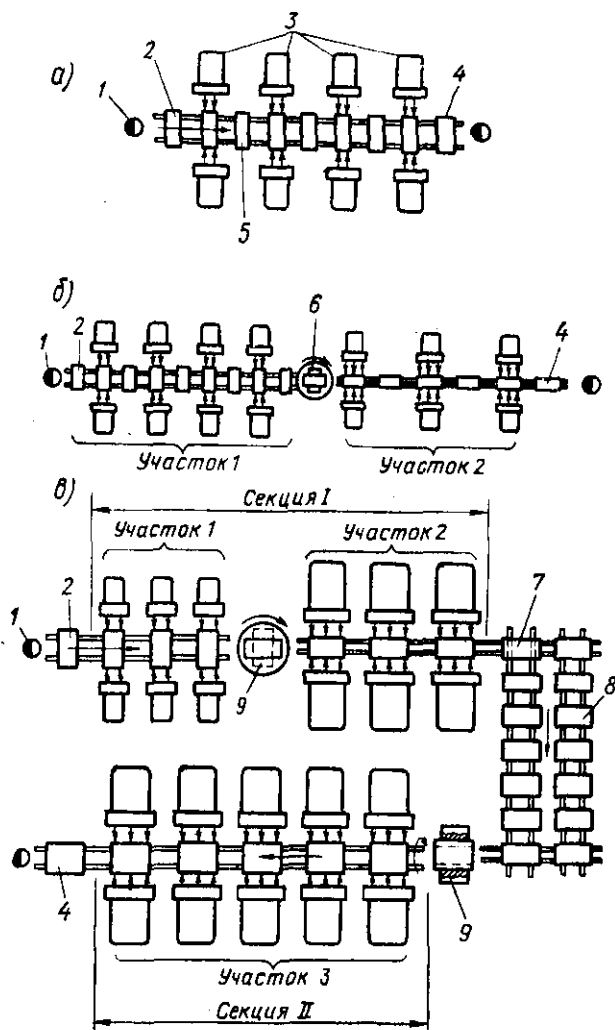


Рис. IV.1. Схемы автоматических линий для обработки деталей:

1 — рабочий; 2 — загрузка детали; 3 — рабочие позиции; 4 — выгрузка детали; 5 — промежуточные позиции; 6 — поворотный стол; 7 — поперечный транспортер; 8 — накопитель деталей; 9 — кантователь детали

автоматической линии полностью можно обработать лишь очень простую деталь. Сложные по конструкции детали должны обрабатываться с четырех или с шести сторон. Для этого проектируют линии из двух-трех участков, а между ними помещают устройства для поворота дета-

лей. На линии, показанной на рис. IV.1, б, деталь обрабатывают с четырех сторон, а сама линия состоит из двух участков. В конце участка 1 деталь широкой стороной попадает на поворотный стол, поворачивается на  $90^\circ$  и поступает на следующий участок узкой стороной.

Обе эти линии (см. рис. IV.1, а, б) относятся к безбункерным прямо-точным автоматическим линиям из однопозиционных станков с жесткой связью.

Если нужно обработать деталь с шести сторон, автоматическая линия получается еще более сложной (рис. IV.1, в). Здесь после первого участка деталь поворачивается на  $90^\circ$  в горизонтальной плоскости, а после обработки на втором участке — на  $90^\circ$  в вертикальной плоскости. Поскольку в таких сложных линиях работает большее количе-

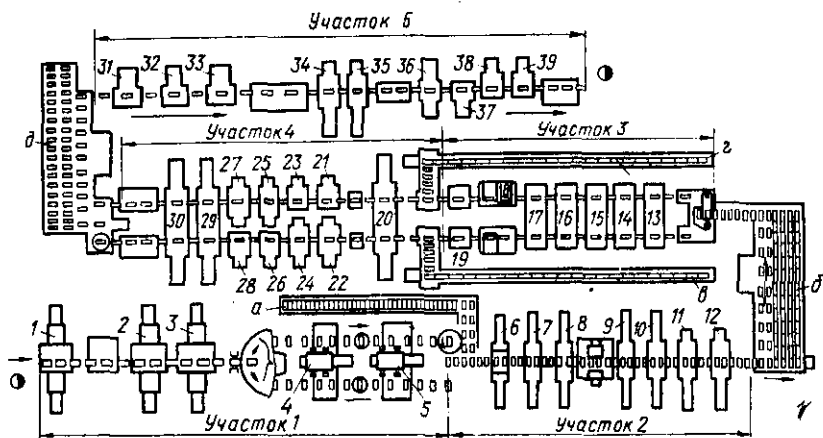


Рис. IV.2. Автоматическая линия с ветвящимся потоком и двумя типами накопителей

ство станков, остановка каждого из них может привести к остановке всей линии. Чтобы уменьшить простои каждого участка, между ними в магазине или бункере размещают небольшой запас деталей. Это позволяет в течение некоторого времени работать одному участку линии при остановке другого. Такой запас деталей имеется и на этой линии, он размещается на транспортере, соединяющем участки 2 и 3.

Проектирование автоматических линий с накопителями деталей позволяет создавать надежно работающие линии из многих станков и полностью обрабатывать на автоматических линиях очень сложные детали с высокой концентрацией операций. Одна из линий с такими накопителями показана на рис. IV.2. Эта сложная автоматическая система из 39 станков предназначена для обработки блока цилиндров двигателя. На ней одновременно работают 768 инструментов. При использовании линии на 75% она обеспечивает обработку 160 тыс. блоков в год.

Большая концентрация операций, большая протяженность и сложная структура линии значительно затрудняют наблюдение за ее работой. Чтобы уменьшить возможность появления простоев и повысить

использование в целом, линия разбита на пять отдельных секций (участков), каждая из которых может работать самостоятельно. На линии размещены пять накопителей двух различных конструкций. Запас деталей, который они вмещают, позволяет продолжать работу при выходе из строя любой из секций. Накопители *б* и *д* спроектированы как накопители-транспортёры: детали на них можно расположить в несколько рядов. Это увеличивает объём накопителя и даёт возможность компенсировать большие по времени простои.

Накопители *а*, *в* и *г* работают по другому принципу: они включаются в работу лишь при остановке соответствующих участков. Во время нормальной работы линии накопители стоят. Например, если участок 1 (станки 1—5) и участок 2 (станки 6—12) работают, в накопитель *а* детали не поступают. Если останавливается участок 2, детали со станков участка 1 поступают в накопитель *а*, а участок 3 (станки 13—19) питается деталями из накопителя *б*. При остановке участка 1 участок 2 питается из накопителя *а*. Включение и отключение накопителей, переключение участков на питание из накопителей, а также работа участков на накопителях при остановке последующих участков производятся автоматически (станки 20—39).

Из проектируемых в настоящее время линий автоматические линии такого типа составляют основную часть. Эти линии, по сути дела, являются целыми автоматическими комплексами со сложными системами управления и инструментальным хозяйством.

Как отмечалось, рост выпуска машин сделал целесообразным применение автоматических линий для изготовления таких деталей, которые раньше обрабатывались на отдельных станках. Однако далеко не все детали приспособлены для перемещения по направляющим транспортёра линии. Некоторые имеют очень сложную форму и крайне неудобны в транспортировке. Для обработки на линиях такие детали устанавливают в специальные приспособления-спутники, которые перемещаются вместе с деталями от позиции к позиции (см. табл. IV.1, схемы *в*, *г*).

Обработка деталей в спутниках резко расширила область применения автоматических линий. Однако вместе с этим появились и трудности. Во-первых, спутники сразу увеличили стоимость автоматических линий, так как для каждой линии их должно быть по меньшей мере столько же, сколько деталей одновременно обрабатывают на линии. Во-вторых, они требуют довольно точного изготовления, так как определяют положение детали в позициях обработки. В-третьих, после обработки деталей спутники надо вновь возвращать в исходное положение, что требует специальных транспортёров на линиях.

Существует несколько способов возврата спутников (рис. IV.3). Для этой цели можно использовать (рис. IV.3, *а*) специальный транспортёр 1 под станками и два перегружателя 2 и 4. После обработки деталь вместе со спутником поднимается и выталкивается на рольганг, по которому подаются в позицию 3 загрузки. Здесь готовая деталь снимается, а в спутнике закрепляется заготовка. Однако такая схема применима лишь в тех случаях, когда на линии нет вертикальных и наклонных головок. Часто для возврата спутников используют

(рис. IV.3, б) транспортер 1, расположенный за линией 2. В этих случаях головки могут устанавливаться под любыми углами, но площадь, занятая линией, значительно увеличивается. Если (рис. IV.3, а) высота деталей невелика, транспортер 1 проходит через станины 2

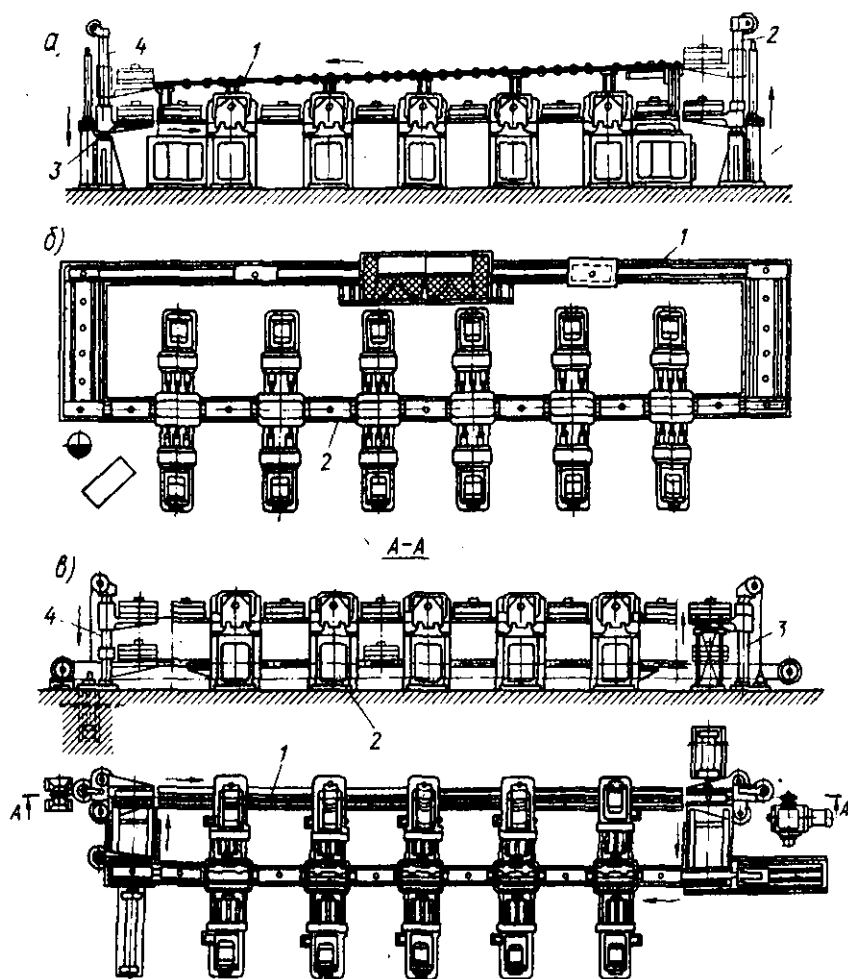


Рис. IV.3. Схемы автоматических линий с приспособлениями-спутниками

горизонтальных станков, а для подъема и перемещения их служат также специальные перегружатели 3 и 4.

На автоматических линиях с приспособлениями-спутниками обрабатывают вентили, кассеты хлопкоуборочных комбайнов, выхлопной и всасывающий коллекторы автомобиля, катки трактора, рамы пилющих машин и ряд других деталей. Кроме того, применение спутников позволяет загрузку и разгрузку деталей выполнять одному рабочему.

Как видно, способы транспортировки деталей на автоматических линиях в значительной степени определяют их схему и конструктивную сложность.

Существенное влияние на структурную схему линии и ее конструктивную сложность оказывает также разветвление деталей на потоки в процессе обработки на линии. Автоматические линии последних моделей характеризуются очень сложной структурой. Увеличивается число станков, объединяемых в единую автоматическую систему машин, и количество выполняемых операций. Появились в линии новые операции, которые раньше выполнялись отдельными станками или даже вручную. Все больше линий строят для комплексной, полной обработки деталей, причем обработку ведут не только резанием, но и давлением, химическими и термическими методами.

Большие изменения в конструкциях автоматических линий вызваны прежде всего необходимостью увеличить выпуск деталей. Специализация предприятий, которая широко проводится в настоящее время, а также значительный рост продукции машиностроительных заводов резко повышают массовость производства. Это в свою очередь выдвигает новые высокие требования к производительности проектируемых автоматических линий. Сейчас вместо прямоточных автоматических линий проектируют линии, основанные на принципе ветвящегося потока, что позволяет существенно увеличить производительность линий.

В ряде случаев построение линий по принципу ветвящихся потоков взамен прямоточных позволяет почти вдвое увеличить их производительность без существенного увеличения числа станков. Наиболее часто к этому прибегают, когда для изготовления детали необходимо выполнить наряду со сверлильно-резьбонарезными большое количество фрезерных операций. Так, при обработке головок блоков цилиндров автомобильных и тракторных двигателей фрезерные операции обычно занимают вдвое больше времени, чем обработка отверстий. Поэтому участок фрезерных операций на линии состоит из двух потоков, но число станков здесь такое же, какое было бы и в одном потоке. Удалось этого достичь благодаря применению двусторонних агрегатных фрезерных станков. Силовую головку с фрезами размещают в середине станка, детали проходят справа и слева двумя потоками. После обработки головка возвращается в исходное положение и перемещает транспортер с деталями на один шаг, затем цикл обработки повторяется.

Наличие в линии разветвленных потоков позволяет также удачно сочетать черновые и чистовые операции обработки деталей. В ряде случаев чистовые операции требуют значительно больше времени, чем черновые.

Весьма эффективным структурным решением, позволяющим существенно повысить производительность и надежность линий при массовом выпуске продукции, является проектирование линий с параллельными потоками. Нередко автоматические линии из нескольких параллельных потоков строят для выполнения лишь чистовых операций. Объединение таких параллельных потоков единой транспортной системой позволяет не только сократить число обслуживающих рабочих, но и наилучшим образом использовать станки в линии.

Таким образом, решение проблемы изготовления массовых деталей крупных и средних размеров было найдено в применении автоматических линий с ветвящимися и параллельными потоками, состоящими из нескольких самостоятельных независимо работающих участков.

Однако для массовой обработки мелких деталей в большинстве случаев автоматические линии такого типа нерациональны.

Как известно, для изготовления деталей небольших и мелких размеров требуется сравнительно небольшое число операций, но обрабатываемые поверхности у них находятся в самых различных положениях. Поэтому при изготовлении таких деталей на многопозиционных агрегатных станках путем установки головок под различными углами может быть обеспечена значительно большая концентрация операций, чем на автоматической линии, состоящей из такого же количества однопозиционных станков. Следовательно, замена поточной линии многопозиционных станков автоматической, составленной из однопозиционных, потребует увеличения количества станков и площадей и больших затрат денежных средств. Замена отдельных многопозиционных станков автоматической линией

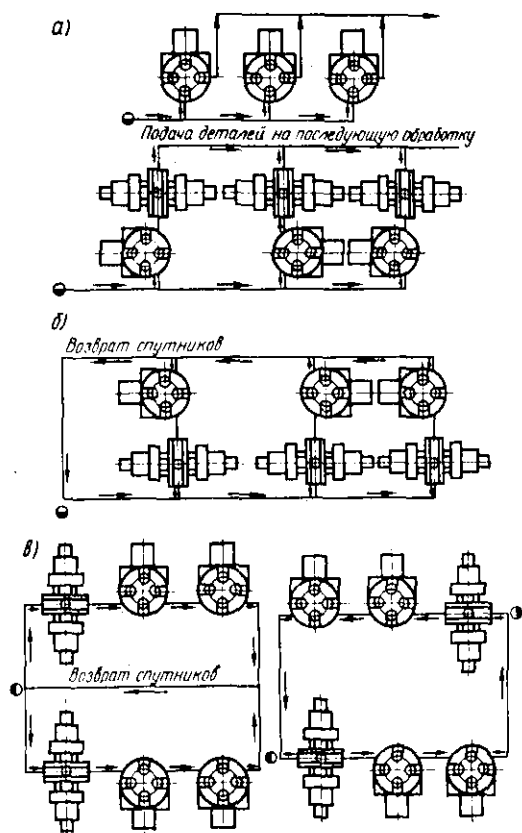


Рис. IV.4. Схемы автоматических линий из многопозиционных станков:

- а — параллельная обработка деталей без спутников;  
б — параллельно-последовательная обработка без спутников; в — параллельно-последовательная обработка деталей в приспособлениях-спутниках

прямоточного типа, состоящей из однопозиционных автоматов, не будет в данном случае более эффективной ступенью автоматизации.

При применении для таких деталей линий из многопозиционных станков (рис. IV.4, а — в) обработка будет выполняться с очень высокой концентрацией, а транспортные и загрузочные устройства объединяют многопозиционные станки в единую автоматическую систему машин — автоматическую линию из многопозиционных станков. Поскольку на таких линиях обрабатывают мелкие детали, то соединяющие транспортеры одновременно служат и довольно вместительными



накопителями. Это дает возможность между каждой парой станков иметь необходимый задел деталей, т. е. обеспечить надежную безостановочную работу всей линии.

Минским заводом автоматических линий созданы линии из многопозиционных агрегатных станков для обработки деталей в приспособлениях-спутниках. Одна из них показана на рис. IV.53. Проектирование автоматических линий из многопозиционных станков обеспечивает высокую производительность, особенно в случае использования бункеров для компенсации простоев станков. Применение таких линий может явиться одним из основных направлений автоматизации обработки мелких деталей в массовом производстве.

## § IV.2. Основные узлы и механизмы автоматических линий

### Силовые головки

Силовые головки являются основными узлами автоматических линий и агрегатных станков.

По технологическому назначению головки можно подразделить на сверлильные, фрезерные, расточные, резьбонарезные, токарные, шлифовальные, хонинговальные, протяжные, сборочные и прочие (головки разного специального назначения). Большинство конструкций головок используют для выполнения ряда операций, однако есть конструкции, предназначенные только для растачивания, протягивания, резьбонарезания.

В зависимости от мощности двигателя силовые головки подразделяют следующим образом:

|                                      |            |         |         |         |
|--------------------------------------|------------|---------|---------|---------|
| Силовые головки . . . . .            | микро      | малые   | средние | большие |
| Мощность двигателя, <i>квт</i> . . . | 0,05 ÷ 0,5 | 0,5 ÷ 3 | 3 ÷ 15  | 15 ÷ 30 |

Наиболее распространены малые силовые головки и головки средней мощности. Широко начинают использовать и микроголовки, особенно при обработке очень мелких деталей. Силовые же головки большой мощности находят применение при компоновке тяжелых агрегатных станков и автоматических линий для обработки больших поверхностей или большого числа поверхностей средней величины.

По типу привода главного движения силовые головки можно подразделить на головки с электрическим, пневматическим и гидравлическим двигателями.

В большинстве случаев в головках применяют электрические двигатели. В будущем при создании станков для обработки очень малых деталей можно ожидать более широкого применения головок с пневматическими двигателями. Перспективным является применение головок с гидравлическими двигателями, обеспечивающих быструю переналадку станков на новые режимы работы.

По типу привода подачи на станке силовые головки имеют три конструктивных вида: с выдвижной пинолью, с перемещаемым (подвижным) корпусом, с перемещаемым (подвижным) корпусом и выдвижной пинолью.

Иногда на автоматических линиях устанавливают инструментальные бабки (неподвижные головки), шпиндели которых получают только вращательное движение. Инструментальные бабки применяют в основном при компоновке расточных и фрезерных станков, где требуется повышенная жесткость. В этом случае движение подачи сообщается детали. Головки с перемещаемым корпусом и головки с выдвижной пинолью используют для выполнения расточных, фрезерных и других операций.

Головки с подвижным корпусом создают более жесткое направление инструментам, чем головки с выдвижной пинолью, однако последние более компактны, их можно устанавливать по две, а иногда и по три на одной позиции станка. Пиноль головки вместе со шпиндельной насадкой весит в 5—10 раз меньше, чем вся головка, поэтому холостые перемещения инструментов головок с выдвижной пинолью могут осуществляться со скоростями, большими, чем у головок с подвижным корпусом. Перемещение меньших масс требует также меньших затрат энергии на холостые ходы и уменьшает износ направляющих.

Недостатком головок с выдвижной пинолью является необходимость создания дополнительного направления инструментам при работе с многошпиндельными насадками, что осуществляется с помощью специальных цилиндрических скалок или прямоугольных направляющих. Мощность головок с выдвижной пинолью обычно не превышает 3—5 квт.

По типу привода подач головки подразделяют на механические (кулачковые и винтовые), пневматические, пневмогидравлические и гидравлические. В последнее время появились головки с пневмо-, гидромеханическими и другими комбинированными механизмами подачи. Наибольшее число головок имеют гидравлические и винтовые приводы. Они применяются как для малых, так и для больших мощностей. Малые силовые головки проектируют с пневмогидравлическим и кулачковым механизмами подачи.

В зависимости от места установки привода подач силовые головки можно подразделить на головки с индивидуальным приводом, расположенным внутри самой головки, — самодействующие и с приводом вне головки — несамодействующие. Несамодействующие головки применяют при компоновке станков для обработки очень мелких деталей, когда из-за малых габаритов головки размещение в ней гидробака, насоса и других узлов затруднительно, а также при компоновке станков из средних и крупных головок преимущественно в случае вертикального расположения головок.

В последние годы некоторые заводы агрегатного станкостроения взамен единого узла — силовой головки — применяют при компоновке агрегатных станков и станочных линий расчлененные силовые узлы, состоящие из силовых столов и инструментальных бабок. Силовые столы обеспечивают быстрый подвод инструментов, рабочую подачу и быстрый отвод их. На силовой стол устанавливают инструментальную бабку (сверлильную, фрезерную, резьбонарезную) с отдельным электродвигателем, сообщаемым вращательное движение

инструментам. В ряде случаев, например при выполнении расточных операций, на силовой стол устанавливают деталь, а бабки крепят неподвижно на стойке, как указывалось выше. Дальнейшая дифференциация силовых узлов, т. е. применение силовых столов совместно с инструментальными бабками, расширяет технологические возможности агрегатных станков.

До настоящего времени вопрос о наиболее целесообразном типе привода подач для силовых головок ещё не решен окончательно. Поэтому на машиностроительных заводах работают станки, включающие почти все перечисленные типы силовых головок. Чтобы можно было сравнить преимущества и недостатки основных типов приводов, в табл. IV.3 приведены качественные характеристики силовых головок с различными механизмами подач.

Более объективные сведения, дополняющие качественные характеристики, могут быть получены в результате анализа технических характеристик узлов с различными типами приводов. Основные схемы приводов силовых головок и их технические характеристики приведены в табл. IV.4. Значение мощности электродвигателей головок, усилия механизма подач, величина хода инструментов, вес и габаритные размеры взяты на основе анализа более 250 типоразмеров головок и столов, изготовленных отечественными и зарубежными заводами. Данные табл. IV.4 дают представление об основных параметрах узлов. Однако для обоснованного решения о целесообразности использования того или иного типа привода необходимо сопоставление не только технических характеристик, но и технологических, энергетических и экономических параметров силовых головок.

**Механические силовые головки.** Такие головки (кулачковые и винтовые) предназначены для выполнения широкого круга сверлильных, резьбонарезных, фрезерных и других операций. Общими достоинствами головок механического типа являются их высокая надежность в работе и легкость обнаружения неполадок или поломок, недостатками — относительная конструктивная сложность (кроме некоторых винтовых головок), невозможность быстрой настройки головок на новый режим работы, значительный износ деталей, воспринимающих технологические нагрузки.

**Плоскокулачковые головки** обычно применяют для выполнения легких работ при небольшой длительности цикла ( $5 + 30$  сек) и малой длине обработки. Эти головки имеют небольшие размеры. Общий ход инструментов головок  $35 \div 75$  мм, мощность электродвигателей  $0,4 \div 3,0$  квт. Плоскокулачковые головки применяют для сверления и резьбонарезания, а также простого фрезерования. При нарезании резьбы эти головки снабжают специальным резьбонарезным копиром и реверсивным электродвигателем, переключение которого осуществляется конечным выключателем.

В процессе обработки плоскокулачковые головки остаются неподвижными, подача осуществляется за счет перемещения пиноли. Величину рабочей подачи, а также скорости подвода и отвода инструментов определяет профиль кулака, получающего вращение от электродвигателя, служащего также и для вращения шпинделя.

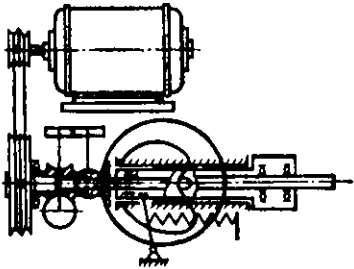
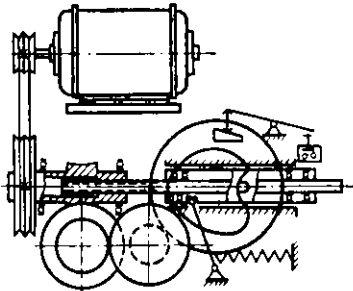
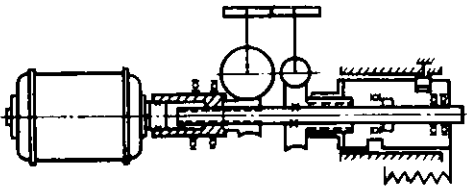
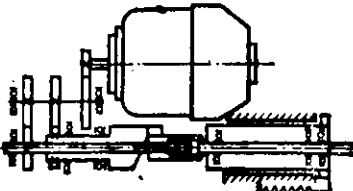
| Узлы с плоскокулачковым механизмом подачи                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Узлы с винтовым механизмом подачи                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| достоинства                                                                                                                                                                                                                                | недостатки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | достоинства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | недостатки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <p>1. Возможность выполнения не только сверлильно-фрезерных, но и резьбо-нарезных операций (при установке специального копира и реверсивного электродвигателя)</p> <p>2. Надежность в работе</p> <p>3. Простота обслуживания и ремонта</p> | <p>1. Небольшие осевые усилия и мощность головок</p> <p>2. Малый ход инструментов</p> <p>3. Ступенчатое изменение подачи путем замены шестерен</p> <p>4. Невозможность регулировки длины хода инструментов без замены кулака</p> <p>5. Невозможность получения очень медленных подач</p> <p>6. Невозможность сверления глубоких отверстий</p> <p>7. Большинство моделей головок не позволяет работать до жесткого упора</p> <p>8. Большие цикловые потери и низкие скорости холостых ходов</p> <p>9. Большое число механических связей, усложняющих конструкцию головок</p> <p>10. У большинства моделей ненадежная защита от перегрузки</p> <p>11. Быстрый износ кулачковых механизмов</p> | <p>1. Возможность выполнения наряду со сверлильно-расточными, фрезерными также и резьбо-нарезных операций (при установке реверсивного электродвигателя)</p> <p>2. Большой ход инструментов</p> <p>3. Возможность регулировки длины хода инструментов</p> <p>4. Надежность работы механических устройств узлов</p> <p>5. Простота обслуживания и ремонта</p> <p>6. Несложная конструкция узла</p> | <p>1. Ступенчатое изменение подачи путем замены шестерен</p> <p>2. Трудность получения очень медленных подач</p> <p>3. Ненадежная защита механизмов от перегрузки</p> <p>4. В случае работы с одним электродвигателем большие потери времени на холостой ход</p> <p>5. В случае работы с двумя электродвигателями усложняется электрическая схема управления узлов, уменьшается надежность в работе и увеличиваются его габариты</p> <p>6. Скорости холостых ходов ограничены инерционными моментами вращающихся масс</p> <p>7. Трудность торможения узла подачи при работе с большими скоростями и неточность останова</p> <p>8. Износ винтовой пары и уменьшение точности работы вследствие этого</p> |

На рис. IV.5 приведена кинематическая схема плоскокулачковой головки Глуховского завода агрегатных узлов, изготовленной по чертежам СКБ АС (г. Харьков), а в табл. IV.5 — технические характеристики наиболее часто применяемых моделей. От электродвигателя 1 через сменные шкивы 2 клиновыми ремнями 3 вращение передается полуму валу 4, имеющему внутренние шлицы для соединения со шпинделем 9. На валу 4 имеется червяк 5, вращение от ко-

## узлов с различными типами приводов

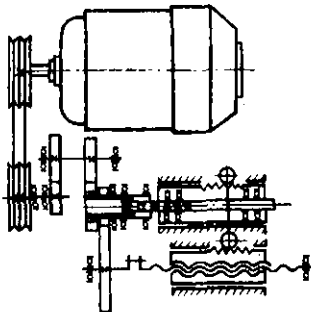
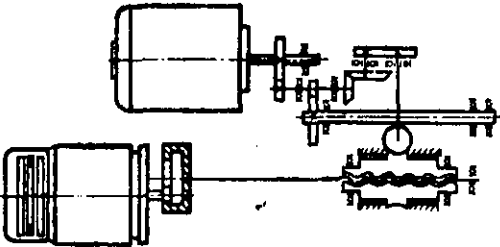
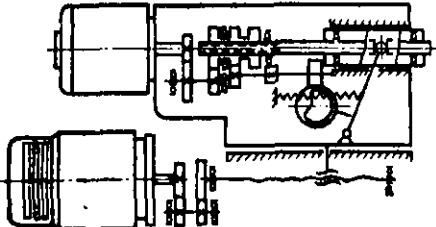
| Узлы с пневмогидравлическим механизмом подачи                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Узлы с гидравлическим механизмом подачи                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| достоинства                                                                                                                                                                                                                                                                 | недостатки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | достоинства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | недостатки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 1. Компактность узлов, рассчитанных на работу с небольшими усилиями<br>2. Сравнительно несложная конструкция<br>3. Бесступенчатая регулировка подачи<br>4. Возможность быстрой регулировки длины хода инструментов<br>5. Сравнительно простая надежная защита от перегрузки | 1. Сравнительно небольшие осевые усилия (при давлении воздуха в пневмосети 4—5 кг/см <sup>2</sup> )<br>2. Без дополнительных устройств нельзя выполнять резьбонарезные операции<br>3. Требуют хорошо осушенного и очищенного воздуха и постоянного давления в пневмосети<br>4. Для надежной работы требуют более тщательного ухода, чем кулачковые и винтовые узлы | 1. Большие осевые усилия и мощности при небольших размерах узла<br>2. Бесступенчатая регулировка подачи<br>3. Могут обеспечить автоматическое выполнение самых сложных циклов работы<br>4. Большой ход инструментов и возможность быстрой его регулировки<br>5. Долговечность и надежность работы гидравлических устройств при условии тщательного ухода за механизмами<br>6. Просто и надежно защищены от перегрузки | 1. Без дополнительных устройств не могут выполнять резьбонарезные операции<br>2. Наиболее сложны в обслуживании и ремонте<br>3. Конструкции самих узлов просты, однако гидравлические панели являются сложными устройствами<br>4. Некоторые конструкции узлов не обеспечивают стабильности подачи из-за нагрева масла в гидросистеме<br>5. При недостаточном высоком качестве изготовления узлов имеют место утечки масла из гидросистемы |

торого через червячное зубчатое колесо 6, сменные зубчатые колеса 7 и 8 и зубчатое колесо 10 передается зубчатому колесу-кулаку 11. К кулаку прижимается ролик 12, ось которого впрессована в пиноль 13. Поджим ролика к кулаку осуществляется при помощи рычага 15 и пружины 14. Механизмы головки от перегрузки предохраняет шариковая муфта 16, вмонтированная во втулку червячного зубчатого колеса 6.

| Типы головок         | Особенности конструкций                            | Схемы                                                                               |
|----------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Плоско-кулачковые    | С механическим устройством для выключения головки  |    |
|                      | С электрическим устройством для выключения головки |    |
| Барабанно-кулачковые | Со сменными шестернями для изменения подач         |  |
|                      | С дифференциальным приводом подач                  |  |

СИЛОВЫХ ГОЛОВОК различных типов

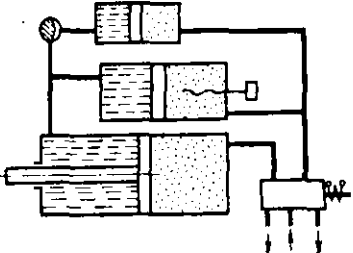
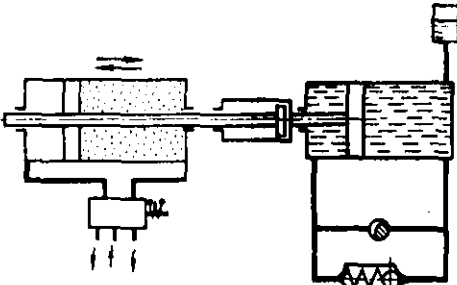
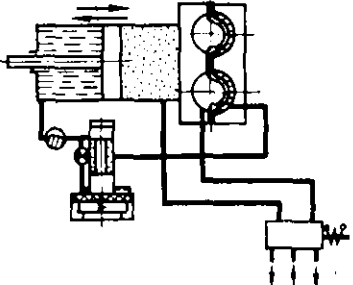
g\*

| Типы головок       | Особенности конструкции                                  | Схемы                                                                               |
|--------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Винтовые           | С общим электродвигателем                                |    |
|                    | С отдельным электродвигателем для ускоренных перемещений |   |
| Кулачково-винтовые | С отдельным электродвигателем для ускоренных перемещений |  |

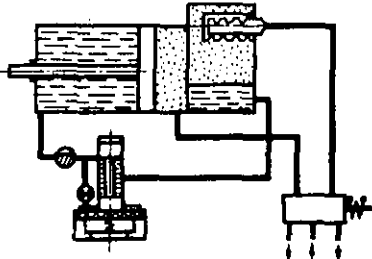
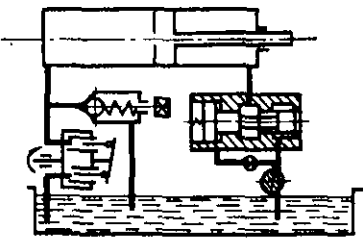
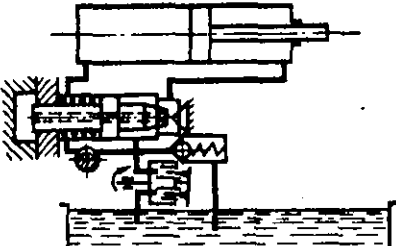
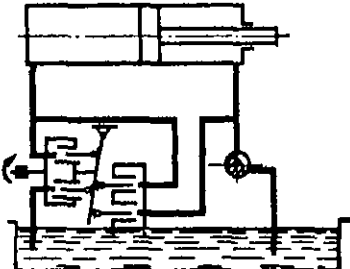


## Основные параметры головок

| мощность электро-<br>двигателя $N$<br>дв. кВт     | осевое<br>усилие $P$ ,<br>кг | наибольший ход<br>инструмента $L$ ,<br>мм | вес $G$ ,<br>кг | габаритные размеры,<br>мм    |
|---------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|------------------------------|
| 0,25—2,5                                          | 150—600                      | 50—200                                    | 90—260          | 610×110×220<br>1035×395×390  |
| Главного<br>1,5—30<br>Вспомогательного<br>0,5—7,5 | 500—13500                    | 300—900                                   | 150—1700        | 1100×250×490<br>2400×720×750 |
| Главного<br>0,6—1,7<br>Вспомогательного<br>0,6    | 200—600                      | 200—400                                   | 150—400         | 850×320×500                  |

| Типы головок          | Особенности конструкций                                 | Схемы                                                                               |
|-----------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                       | С разделительными поршнями                              |    |
| Пнеumo-гидравлические | С отдельными пневматическим и гидравлическим цилиндрами |   |
|                       | С разделением масла от воздуха упругой диафрагмой       |  |

| Основные параметры головок                           |                                     |                                                  |                        |                                  |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------|
| мощность электро-<br>двигателя $N_{дв}$ , <i>квт</i> | осевое<br>усилие $P$ ,<br><i>кг</i> | наибольший ход<br>инструмента $L$ ,<br><i>мм</i> | вес $G$ ,<br><i>кг</i> | габаритные размеры,<br><i>мм</i> |
| 0,15—3,7                                             | 150—700                             | 30—250                                           | 20—275                 | 510×132×136                      |
|                                                      |                                     |                                                  |                        | 1200×320×440                     |

| Типы головок          | Особенности конструкций                          | Схемы                                                                               |
|-----------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Пневмо-гидравлические | С непосредственным воздействием воздуха на масло |    |
| Гидравлические        | С дросселированием масла на выходе               |    |
|                       | С дросселированием масла на входе                |   |
|                       | С насосом переменной производительности          |  |



**Технические характеристики силовых головок конструкции СКБ АС**  
(г. Харьков)

| Параметры головок                                               | Модели головок  |                   |                  |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|------------------|
|                                                                 | ГСО2            | ГСО3              | ГСО6             |
| Мощность электродвигателя, <i>квт</i> . . . . .                 | 0,27            | 1,1; 1,5; 2,2     | 2,2; 3,0         |
| Наибольшее усилие подачи, <i>кг (н)</i> . . . . .               | 40 (400)        | 320 (3200)        | 400 (4000)       |
| Наибольший ход пиноли, <i>мм</i> . . . . .                      | 50              | 75                | 100              |
| Установочное перемещение корпуса, <i>мм</i> . . . . .           | 100             | 280               | 350              |
| Число оборотов шпинделя в минуту . . . . .                      | 2800            | 114 ÷ 2080        | 104 ÷ 2115       |
| Число оборотов шпинделя на один оборот кулачка подачи . . . . . | 222             | 59 ÷ 905          | 33 ÷ 1458        |
| Пределы подач, <i>мм/об</i> . . . . .                           | 0,03 ÷ 1,5      | 0,01 ÷ 2,2        | 0,04 ÷ 3,33      |
| Радиальное биение шпинделя у его торца, <i>мм</i> . . . . .     | 0,02            | 0,025             | 0,03             |
| Габарит головки (длина × ширина × высота) . . . . .             | 630 × 130 × 270 | 880 × 260 × 705 * | 1180 × 320 × 490 |
| Вес головки, <i>кг (н)</i> . . . . .                            | 38 (380)        | 177 (1770)        | 330 (3300)       |

\* Габариты указаны для исполнения головки с ременным приводом. Габариты с зубчатым редуктором 1010 × 260 × 427, с приводной направляющей плитой 1150 × 295 × 547.

Плоскокулачковые головки широко распространены в промышленности и достаточно надежны в работе, но конструкции имеют ряд недостатков, вообще свойственных головкам этого типа.

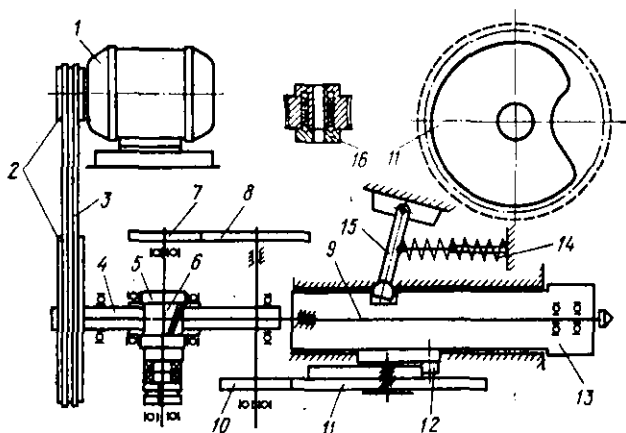


Рис. IV.5. Кинематическая схема головки конструкции СКБ АС

Головки имеют большое количество деталей, усложняющих их конструкцию. Рассчитаны они на работу с небольшими осевыми уси-

лиями (до 400 кг \*) при мощности электродвигателя до 3,0 квт. Защита от перегрузки механизмов осуществляется с помощью предохранительной муфты, которая часто не срабатывает при достижении предельных нагрузок. Так как максимальный ход пиноли определяется размерами кулачка, то величина хода для плоскокулачковых головок обычно не превышает 60—75 мм \*\*. Такая величина хода является недостаточной для выполнения ряда операций, кроме того, для смены инструментов необходимо каждый раз отводить головку.

Рабочий участок кулачка соответствует дуге 240°, холостые перемещения пиноли осуществляются при повороте кулачка на 120°; следовательно, третья часть времени работы кулачковых головок падает на холостые перемещения. При изменении глубины сверления (например, при уменьшении ее) без замены кулачка не может быть уменьшена длина рабочего хода пиноли, поэтому обычно часть пути инструменты проходят на рабочей подаче без резания.

Кулачковый механизм подач некоторых головок не обеспечивает получение очень медленных подач и работу на мертвом упоре. Изменение величин подачи в зависимости от режимов резания может быть осуществлено только при замене копира или настроечных зубчатых колес головки.

Винтовые головки применяют для выполнения сверлильно-расточных, фрезерных и резьбонарезных операций. Их проектируют с электродвигателями мощностью 0,6 ÷ 30,0 квт. Винтовые головки мощностью 3,0 квт и более проектируют обычно с перемещаемым корпусом, причем для быстрых перемещений служит один электродвигатель, а для вращения шпинделей и рабочей подачи — другой. Малые силовые головки с винтовым механизмом подач проектируют как с перемещаемым корпусом, так и с выдвижной пинолью.

По конструкции винтовые головки более просты, чем плоскокулачковые, и могут обеспечить любую практически необходимую длину хода инструментов. Винтовой механизм подач позволяет развивать большие рабочие усилия. С помощью переставных упоров легко может быть установлена необходимая длина подвода и рабочей подачи инструментов.

Недостатком винтовых головок является то, что для пуска, переключения и быстрого хода на рабочую подачу, реверса и останова инструментов требуется большее количество электроаппаратуры, поэтому электросхемы станков с винтовыми головками получаются сложными, а это иногда уменьшает надежность их работы.

Винтовые головки вследствие инерционности самого механизма подач не обеспечивают точного переключения инструментов и быстрого подвода на рабочую подачу, а также точного переключения на обратный ход. Поэтому во избежание поломки инструментов это переключение приходится производить несколько дальше от детали, что приводит к непроизводительной потере времени.

\* В СИ единицей измерения, силы установлен ньютон (н): 1 кг = 9,80665 н.

\*\* Ход головки ГСОБ, равный 100 мм, обеспечивается за счет дополнительного механизма перемещения корпуса.

# Технические характеристики электромеханических

| Параметры                                                | УМ2414                                                          | УМ2424                                                          | УМ2434                                                          |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Максимальное усилие подачи, кг (н) . . . . .             | 315 (3150)                                                      | 800 (8000)                                                      | 1000 (10000)                                                    |
| Размеры зеркала стола $H \times B$ , мм . . . . .        | $475 \times 200$                                                | $560 \times 250$                                                | $650 \times 320$                                                |
| Подача, мм/мин . . . . .                                 | $27,7 \div 203$<br>$165 \div 1210$                              | $26,9 \div 214$<br>$155 \div 1228$                              | $26,9 \div 214$<br>$155 \div 1228$                              |
| Скорость ускоренных перемещений, м/мин . . . . .         | 5,0                                                             | 6,8                                                             | 6,8                                                             |
| Плоскостность рабочей поверхности, мм:                   |                                                                 |                                                                 |                                                                 |
| нормальной точности . . . . .                            |                                                                 | 0,25                                                            | 0,25                                                            |
| повышенной точности . . . . .                            |                                                                 | 0,16                                                            | 0,16                                                            |
| Прямолинейность перемещения платформы, мм:               |                                                                 |                                                                 |                                                                 |
| нормальной точности . . . . .                            |                                                                 | 0,016                                                           | 0,016                                                           |
| повышенной точности . . . . .                            |                                                                 | 0,010                                                           | 0,010                                                           |
| Мощность двигателя рабочей подачи, кВт . . . . .         | 0,18                                                            | 0,18                                                            | 0,18                                                            |
| Мощность двигателя ускоренных перемещений, кВт . . . . . | 0,50                                                            | 0,50                                                            | 0,50                                                            |
| Ход стола, мм . . . . .                                  | $\frac{200}{320}$                                               | $\frac{250}{400}$                                               | $\frac{320}{500}$                                               |
| Габариты, мм . . . . .                                   | $\frac{1345 \times 330 \times 215}{1465 \times 330 \times 215}$ | $\frac{1503 \times 380 \times 210}{1653 \times 380 \times 210}$ | $\frac{1668 \times 450 \times 240}{1848 \times 450 \times 240}$ |
| Вес подвижных частей, кг . . . . .                       | 198                                                             | 282                                                             | 346                                                             |
| Вес силового стола, кг . . . . .                         | $\frac{202}{202}$                                               | $\frac{294}{294}$                                               | $\frac{361}{361}$                                               |

Устройство типовой головки с винтовым механизмом подачи показано на рис. IV.6. На силовых головках устанавливают два электродвигателя: главный 1 для вращения инструмента и рабочей подачи, смонтированный на заднем фланце корпуса 3 головки, и вспомогательный 12 для быстрых перемещений. Вал 2 головки приводится во вращение посредством жесткой муфты и передает вращение шпинделю 5 через понижающую зубчатую передачу 6, 7. Все продольные передвижения головки осуществляются перемещением корпуса 3 по направляющим салазок 11. Рабочая подача выполняется вращением гайки 9 при заторможенном винте 8 электромагнитным тормозом 13, установленным рядом с электродвигателем 12 быстрых перемещений.

Циклом работы головки управляют электроаппараты, работающие на напряжении 24 в. Команду на переключение подают конечные выключатели, работающие по упорам 10. Быстрый подвод головки осуществляется вращением ходового винта 8 при неподвижной гайке 9. Движение рабочей подачи происходит при заторможенном неподвижном винте вращением гайки от привода главного движения. У головок всех габаритов изменение подачи производится набором сменных зуб-



Таблица IV.6

Силовых столов Минского СКБ АЛ и АС

| УМ2444       | УМ2454       | УМ2464       | УМ2474         |
|--------------|--------------|--------------|----------------|
| 2500 (25000) | 3150 (31500) | 7000 (70000) | 10000 (100000) |
| 750×400      | 900×500      | 1060×630     | 1250×800       |
| 16,9 ÷ 137   | 16,9 ÷ 138   | 12,1 ÷ 94,1  | 12,1 ÷ 94,1    |
| 50,4 ÷ 412   | 50,4 ÷ 412   | 42,3 ÷ 329   | 42,3 ÷ 329     |
| 316 ÷ 1293   | 316 ÷ 1293   | 159 ÷ 1239   | 159 ÷ 1239     |
| 5,1          | 5,1          | 4,8          | 4,8            |
| 0,32         | 0,32         | 0,32         | 0,32           |
| 0,30         | 0,30         | 0,30         | 0,30           |
| 0,020        | 0,020        | 0,020        | 0,020          |
| 0,012        | 0,012        | 0,012        | 0,012          |
| 0,50         | 0,50         | 1,1          | 1,1            |
| 1,50         | 1,50         | 3,0          | 3,0            |
| 400          | 400          | 500          | 500            |
| 630          | 630          | 800          | 800            |
| 2000×530×275 | 2191×630×315 | 2556×760×365 | 2750×930×425   |
| 2230×530×275 | 2421×630×315 | 2856×760×365 | 3050×930×425   |
| 190          | 302          | 524          | 818            |
| 697          | 1143         | 1505         | 2022           |
| 732          | 1168         | 1610         | 2147           |

чатых колес 4. Подачу включают электромагнитные фрикционные муфты. Для предохранения головок от перегрузок ставят предохранительную фрикционную муфту, при помощи которой регулируют усилие подачи.

Помимо силовых головок в машиностроении в последние годы широко применяют силовые столы с винтовыми механизмами. Силовые столы, так же как и силовые головки, являются нормализованными взаимозаменяемыми узлами. Преимущества их в том, что на силовой стол могут быть установлены любые инструменты или бабки с инструментами, что повышает гибкость и технологические возможности агрегатных станков, из которых komponуют линии. Так, на силовом столе могут быть установлены протяжки, устройства для запрессовки деталей, сборочные и контрольные устройства. Силовые столы упрощают выполнение фрезерования и растачивания с применением жестких шпинделей.

Кинематическая схема одного из силовых столов приведена на рис. IV.7, а технические характеристики — в табл. IV.6. При быстром подводе и отводе силового стола 3 работает электродвигатель 1, кото-

рый в момент начала рабочей подачи тормозит электромагнитный тормоз 2. Двигатель 6 рабочей подачи сообщает вращательное движение ходовому винту 4, при этом число оборотов регулируют сменными шестернями 7. Фрикционная предохранительная муфта 5 с помощью

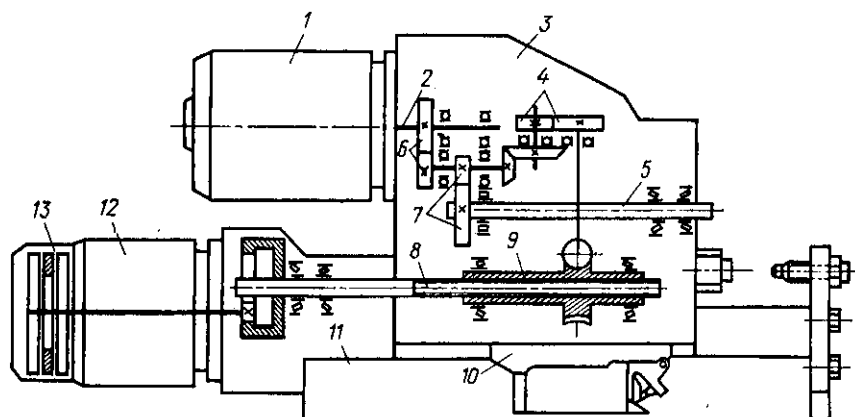


Рис. IV.6. Схема силовой головки с винтовым механизмом подачи

пружины настраивается на заданный крутящий момент и, проскальзывая при перегрузках, предохраняет механизмы от поломки.

**Пневмогидравлические головки.** Комбинированные пневмогидравлические головки получили значительно большее применение в про-

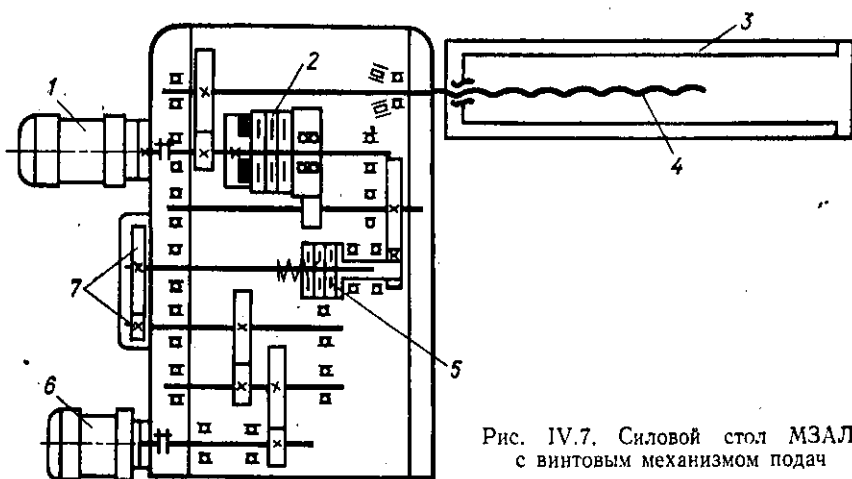


Рис. IV.7. Силовой стол МЗАЛ с винтовым механизмом подачи

мышленности, чем пневматические. В них перемещение поршня осуществляется сжатым воздухом, а регулирование скорости его перемещения — маслом, вытесняемым поршнем из цилиндра.

Пневмогидравлические головки отличаются компактностью и сравнительно несложны по конструкции. Они надежно работают при на-

личии хорошо осушенного сжатого воздуха. По сравнению с механическими головками большим достоинством пневмогидравлических головок является возможность регулирования подачи с помощью дроссельного устройства и простая переналадка их на работу по другому циклу. В большинстве случаев при обработке мелких деталей применение пневмогидравлических головок более целесообразно, чем механических, в частности плоскокулачковых. Пневмогидравлические головки могут выполнять и более тяжелую работу, чем плоскокулачковые. Однако для преодоления значительных нагрузок приходится проектировать головки с большим диаметром поршня, так как давление воздуха, на котором они работают, не превышает  $5 \text{ кг/см}^2$ . Поэтому головки для больших нагрузок перестают быть компактными.

Обычно механизмы подач этих головок обеспечивают получение осевого усилия не более 500—600 кг (в отдельных случаях до 1000 кг), мощность электродвигателя привода головок не превышает 3,0 квт.

В эксплуатации пневмогидравлические головки более сложны, чем механические, необходимо постоянно следить за параметрами сжатого воздуха, так как изменение их приводит к нарушению стабильности работы головок.

Пневмогидравлические головки изготавливают с выдвижной пинолью, в отдельных случаях по направляющим перемещается корпус головки. На рис. IV.8, а приведена принципиальная схема пневмогидравлической головки с подвижным корпусом, а на рис. IV.8, б — ее устройство (обозначения на обоих рисунках общие).

Станки с такими головками получили широкое распространение в нашей промышленности. Работу головки можно проследить по принципиальной пневмогидравлической схеме. Сжатый воздух через отверстие в штоке поршня 1 (рис. IV.8, а) подается в цилиндр 7. Так как поршень неподвижен, цилиндр вместе с головкой перемещается по направляющим. При этом масло из штоковой полости цилиндра свободно сливается в бак 6. При освобождении плунжера 3 кулачок 2 перекрывает слив масла в бак. С этого момента масло проходит через редукционный клапан 4 и дроссель 5, при этом головка перемещается со скоростью рабочей подачи. Возврат головки происходит при подаче сжатого воздуха в масляный бак 6, что осуществляется путем переключения электропневматического распределительного клапана. Пройдя через форкамеру 8, воздух вытесняет масло из бака в штоковую полость цилиндра, возвращая головку в исходное положение.

Технические характеристики пневмогидравлических головок приведены в табл. IV.7.

**Гидравлические головки.** При создании агрегатных станков наибольшее применение получили силовые головки с гидравлическим механизмом подач. Это объясняется их большими преимуществами по сравнению с головками других типов. Гидравлические головки рассчитаны на выполнение как легких, так и тяжелых работ. Мощность электродвигателя этих головок достигает 30 квт, а осевое усилие, которое может развивать головка, — до 10000 кг. Гидравлические

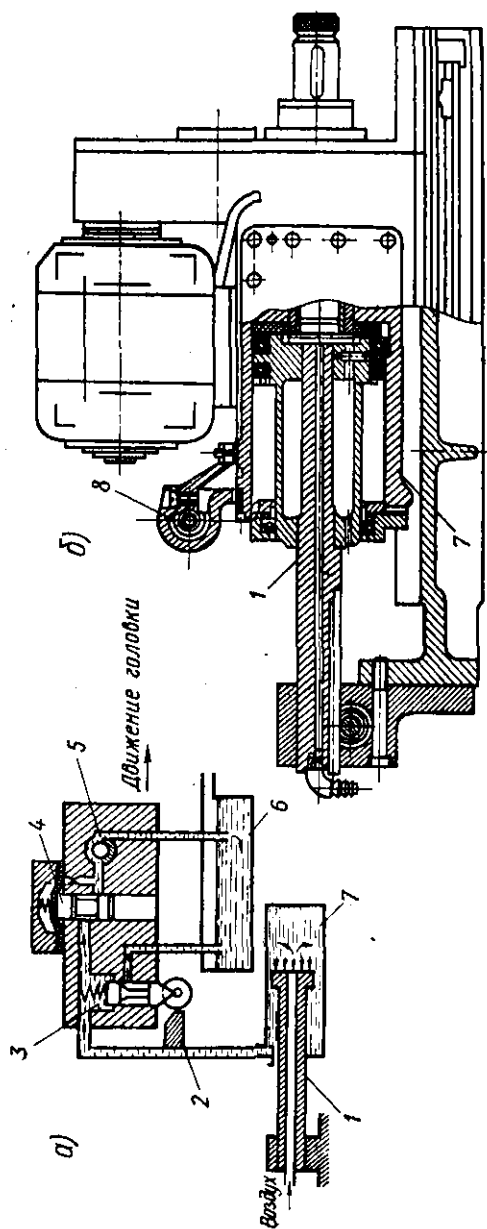


Рис. IV.8. Пневмогидравлическая головка

Основные данные пневмогидравлических силовых головок конструкции  
НИИТракторсельхозмаша

| Параметры головок                                                  | Модели головок |             |              |
|--------------------------------------------------------------------|----------------|-------------|--------------|
|                                                                    | ПГСГ-12        | ПГСГ-18     | ПГСГ-25      |
| Наибольший диаметр сверления в стали, мм . . . . .                 | 12             | 18          | 25           |
| Мощность электродвигателя, кВт . . . . .                           | 1,0            | 1,7 (2,8)   | 2,8 (4,5)    |
| Усилие механизма подачи (при $p=5 \text{ кг/см}^2$ ), кг . . . . . | 580            | 975         | 1900         |
| Усилие обратного хода, кг . . . . .                                | 250            | 560         | 650          |
| Диапазон рабочих подач, мм/мин . . . . .                           | 4—200          | 4—250       | 6—200        |
| Пределы чисел оборотов шпинделя в минуту . . . . .                 | 95—2350        | 76—1600     | 56—1650      |
| Скорость холостых ходов, м/мин . . . . .                           | 7,0            | 5,0         | 5,0          |
| Наибольший ход инструментов, мм . . . . .                          | 120            | 155         | 160          |
| Диаметр поршня, мм . . . . .                                       | 140            | 180         | 240          |
| Диаметр штока, мм . . . . .                                        | 100            | 130         | 180          |
| Объем масляного бака, л . . . . .                                  | 3,0            | 4,5         | 5,5          |
| Вес головки с электродвигателем, кг . . . . .                      | 180            | 190         | 255          |
| Габаритные размеры, мм . . . . .                                   | 855×330×455    | 955×380×594 | 1100×370×610 |

механизмы подачи позволяют легко автоматизировать выполнение самых сложных циклов работы головок.

Дроссельные или другие устройства позволяют регулировать величину рабочей подачи в широких пределах, а изменение положения упоров, воздействующих на золотники или конечные выключатели, обеспечивает получение необходимых циклов работы головки.

Конструкция привода подачи позволяет очень просто защитить механизмы головки от поломок в случае перегрузки. Так как все механизмы головки работают в условиях хорошей смазки, износ их даже при выполнении тяжелых работ незначителен, поэтому гидравлические головки долговечнее головок всех других типов.

Недостатком гидравлических головок является то, что в случае неполадок причины их не так наглядны, как, например, в механических головках, поэтому требуется известный навык для обнаружения и ликвидации этих неполадок. В эксплуатации такие головки требуют более тщательного ухода, чем механические.

Гидравлические головки обеспечивают автоматический быстрый подвод инструментов, одну или две рабочие подачи, работу до упора, отвод инструментов в исходное положение и останов. Они предназначены в основном для выполнения сверлильных, расточных и фрезерных работ. Но с их помощью могут также выполняться прошивные, протягивные, запрессовочные, хонинговочные, а при использовании специальных копирных гаек и нарезание резьбы.

На рис. IV.9 показана конструкция гидравлической силовой головки автозавода им. Лихачева с насосом переменной производительности. В этой головке вращение от электродвигателя 4 передается как на шпиндель 1 головки, так и на насос 5 подачи, который, нагнетая масло в цилиндр 3, заставляет перемещаться поршень 2 головки.

Гидравлический привод головки (рис. IV.10) обеспечивает быстрый подвод инструментов, первую и вторую рабочие подачи, выдержку на упоре, быстрый отвод инструментов и останов в исходном положении. Производительность поршневого насоса 1 определяется углом наклона качающейся плиты 4, который зависит от соотношения давлений на плиту поршней насоса и двух плунжеров 3 и 2. На первый плунжер передается давление насоса, а на второй — давление перед дросселем 5 подачи. В момент быстрого подвода насос обеспечивает максимальную производительность 15 л/мин и нагнетает масло в напорную полость цилиндра 8. Масло, вытесненное из сливной полости 7 золотником 6 управления циклом, также направляется в напорную полость. При переключении на рабочую подачу масло из сливной полости вытесняется через дроссель, а производительность насоса уменьшается до величины, определяемой положением дросселя. Быстрый отвод пиноли производится также при максимальной производительности насоса.

Несмотря на то что к точности изготовления регулируемых насосов предъявляют повышенные требования, силовые головки с такими насосами находят применение как в СССР, так и особенно за рубежом.

#### Основные технические данные головки конструкции ЗИЛ

|                                                                |              |
|----------------------------------------------------------------|--------------|
| Мощность электродвигателя, <i>квт</i> . . . . .                | 1,7—2,8      |
| Усилие механизма подачи, <i>кг</i> . . . . .                   | 2400         |
| Диапазон рабочих подач, <i>мм/мин</i> . . . . .                | 25 ÷ 400     |
| Числа оборотов инструментов, <i>об/мин</i> . . . . .           | 158 ÷ 1100   |
| Общая длина хода инструментов, <i>мм</i> . . . . .             | 100 ÷ 250    |
| Скорость холостых ходов, <i>мм/мин</i> . . . . .               | 6            |
| Габаритные размеры (без электродвигателя), <i>мм</i> . . . . . | 1010×200×340 |
| Вес, <i>кг</i> . . . . .                                       | 220          |

При компоновке агрегатных станков и линий широко применяют гидравлические самодействующие головки с подвижным корпусом. Их изготавливает завод «Спецстанок» по чертежам, разработанным МосСКБ.

На рис. IV.11 приведена гидравлическая схема этой силовой головки. Регулирование скорости перемещения осуществляется дросселированием масла «на входе», а насос рабочей подачи работает с давлением, пропорциональным нагрузке. Такая схема является более экономичной по затратам мощности на один цикл работы, чем схема с дросселем «на выходе», однако она не обеспечивает столь равномерной подачи при резании, как схема с дросселем «на выходе».

Масло поступает в гидросистему от сдвоенного лопастного насоса, причем насос 20 низкой производительности и высокого давления служит для рабочих подач инструментов, а насос 21 низкого давления и высокой производительности — для быстрых перемещений. Помимо

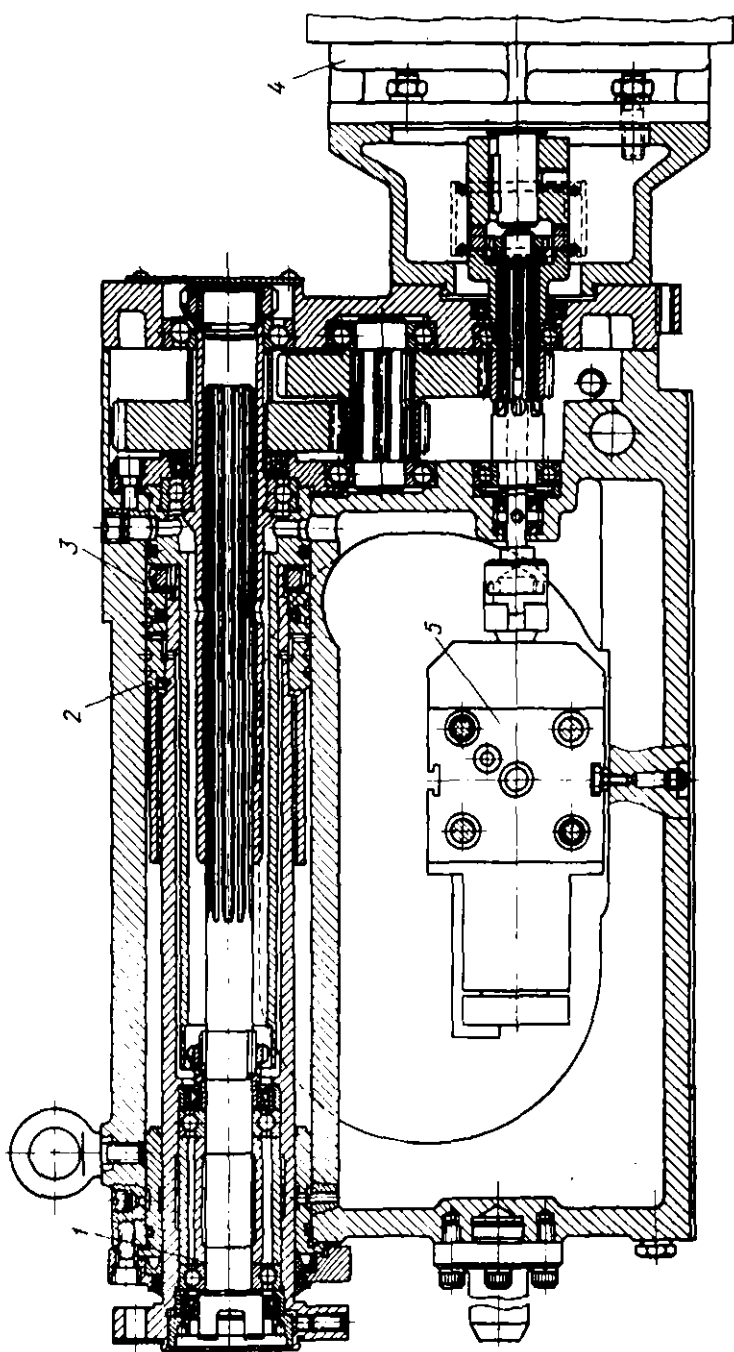


Рис. IV.9. Конструкция гидравлической головки ЗИЛ





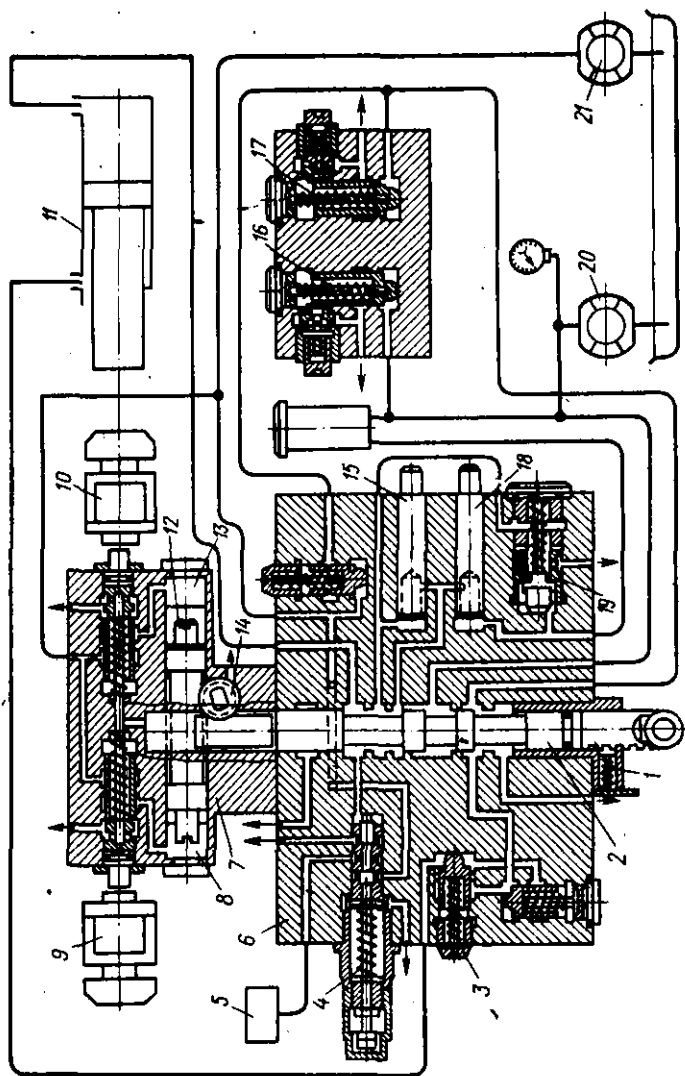


Рис. IV.11. Гидросхема головки

насосов схема включает в себя гидропанель 6 и цилиндр 11 с поршнем. Масло, подаваемое насосами, распределяется вертикальным золотником 2, крайние положения которого соответствуют быстрому подводу и отводу инструментов. Золотник перемещается в крайние положения 8 и 13 электромагнитами 9 и 10, причем первый включает быстрый подвод, а второй — быстрый отвод головки. Электромагниты жестко связаны с золотниками, которые направляют поток масла к правому или левому торцу золотника 12 переключения, расположенного в корпусе 7. Связь между золотниками 12 и 2 осуществляется через реечно-шестеренную передачу 14.

Золотник 2 имеет пять положений, соответствующих быстрому подводу, первой и второй рабочим подачам, быстрому отводу и останову в конце хода. В каждом из перечисленных положений золотник 2 удерживается фиксатором 1. Переключение золотника осуществляется от неподвижных упоров, закрепленных на салазках. Упоры воздействуют на золотник через ролик. При быстром подводе инструментов масло насосами 20 и 21 подается в напорную полость цилиндра 11, масло из сливной полости сливается в бак, открывая подпорный клапан 4. В момент рабочей подачи масло от насоса 20 подается к дозирующему клапану 19 и дросселям 15 и 18 первой и второй рабочих подач. Дозирующий клапан сливает избыток масла, поданного насосом в бак, и поддерживает постоянный перепад давлений у дросселей при изменении силы резания. Насос 20 при этом работает с давлением, пропорциональным нагрузке, а насос 21 работает на слив. Максимальное давление насосов устанавливается предохранительными клапанами 16 и 17.

При необходимости работы на жестком упоре в гидропанель встраивается датчик реле 5 давления, который при повышении давления в напорной полости цилиндра дает гидравлический импульс конечному выключателю.

При обратном ходе головки золотник 2 направляет поток масла в штоковую полость цилиндра с давлением, определяемым настройкой обратного клапана 3.

На рис. IV.12 показано устройство гидравлической силовой головки с подвижным корпусом. Головка имеет фланцевый электродвигатель и предназначена для работы с многошпиндельными насадками. От электродвигателя 1 через упругую муфту 9 вращение передается сдвоенному лопастному насосу 2, а через зубчатую передачу 8 и вал 3 — ведущему зубчатому колесу шпиндельной коробки (на рисунке не показана). Гидравлический цилиндр 4 привернут снизу к корпусу головки, шток 6 поршня неподвижно закреплен в заднем торце салазок 7, имеющих закаленные направляющие. В переднем торце салазок установлен жесткий упор 5. На боковой стороне корпуса головки смонтированы элементы электроаппаратуры, реле давления и устройство для автоматической смазки направляющих.

Устройство головок других габаритов принципиально не отличается от приведенной на рис. IV.12. Несколько отличными являются лишь конструкция гидропанели и устройство гидропривода подач. Основные технические данные этих головок приведены в табл. IV.8.

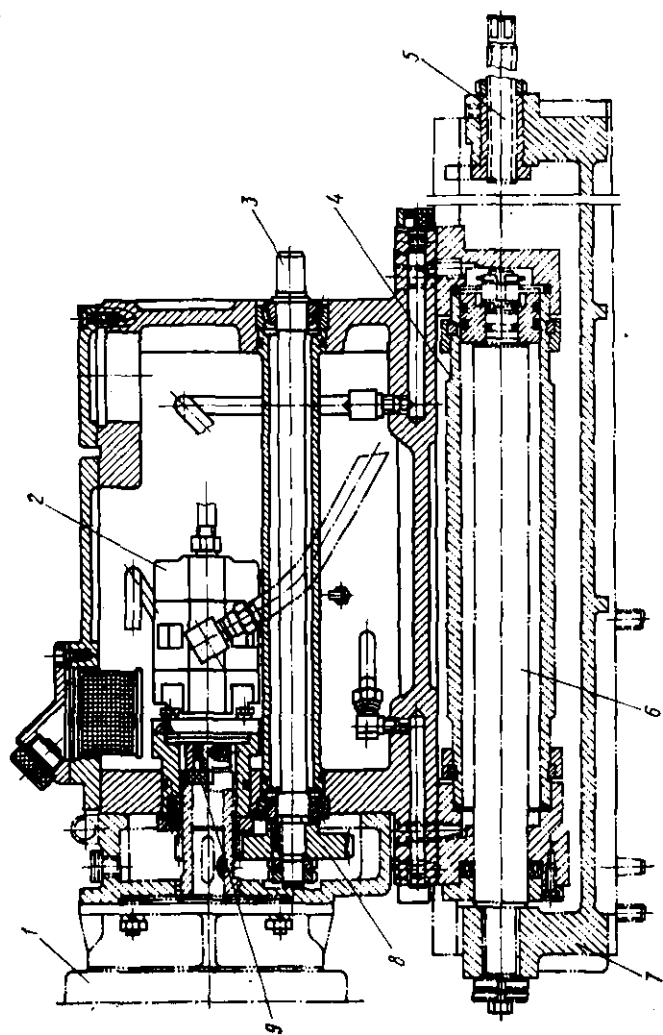


Рис. IV.12. Конструкция головки

| Модель головки | Мощность<br>электро-<br>двигателя,<br>квт | Диаметр<br>цилиндра,<br>мм | Наибольшее<br>усилие<br>подачи, кг | Длина<br>рабочего<br>хода, мм | Диапазон<br>рабочих<br>подач,<br>мм/мин |
|----------------|-------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|
| 5У4021, 5У4022 | 2,2                                       | 60                         | 560                                | 250<br>400                    | 40—800                                  |
| 5У4031, 5У4032 | 2,2—4,0                                   | 70                         | 1 000                              | 320<br>500                    | 30—600                                  |
| 5У4041, 5У4042 | 4,0—7,5                                   | 90                         | 1 800                              | 400<br>630<br>800             | 20—600                                  |
| 5У4051         | 4—10                                      | 110                        | 3 150                              | 400<br>630<br>800             | 14—700                                  |
| 5У4061         | 7,5—17                                    | 140                        | 5 600                              | 500<br>800                    | 10—400                                  |
| 5У4071         | 13—30                                     | 180                        | 10 000                             | 500<br>800                    | 7,0—250                                 |

Ранее рассматривались гидравлические головки с приводом подачи (насосами, масляным баком, гидроаппаратурой), расположенным внутри самой головки (самодействующие головки). Но при компоновке агрегатных станков применяют также несамодействующие головки с насосом, аппаратурой и масляным баком, размещенными отдельно от головки и устанавливаемыми в станине станка или рядом со станком. Применение таких головок несколько увеличивает площади, занимаемые станками, но обслуживание и ремонт станков значительно упрощаются, так как основные узлы гидравлики легко доступны для наладчика, сами головки получаются более легкими вследствие уменьшения веса подвижных частей. Это позволяет увеличить скорость перемещения головок и уменьшить возникающие при этом инерционные нагрузки. Поэтому несамодействующие головки малых размеров нашли довольно широкое применение при сверлении глубоких отверстий, когда за цикл осуществляется несколько выводов сверл для очистки их от стружки.

Несамодействующие гидравлические головки средней и большой мощности раньше получали применение при компоновке вертикальных агрегатных станков автоматических линий, а в последнее время используют при любом расположении головок.

Московским СКБ спроектированы и широко применяются несамодействующие силовые головки средних и крупных размеров. Конструкция головки проста. Головки такого типа значительно легче самодействующих и более удобны в обслуживании и наладке. Основные технические данные несамодействующих силовых головок приведены в табл. IV.9.

## Гидравлических силовых головок

| Скорость<br>быстрых<br>ходов,<br>м/мин | Тип<br>гидропанели<br>подачи | Габариты головок, мм               | Вес, кг           | Прямолиней-<br>ность пере-<br>мещения<br>корпуса<br>головки, мм<br>(на длине<br>хода до<br>500 мм) |
|----------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7,0                                    | 5У4221<br>или                | 1120 (1270) × 435 × 515            | 415 (430)         | 0,02                                                                                               |
| 7,5                                    | 5У4222                       | 1270 (1450) × 505 × 600            | 530 (550)         | 0,02                                                                                               |
| 6,0                                    |                              | 1590 (1820, 2160) ×<br>× 585 × 700 | 750 (785, 825)    | 0,02                                                                                               |
| 5,0                                    | 5У4241<br>или                | 1520 (1837, 2177) ×<br>× 690 × 755 | 1010 (1065, 1115) | 0,02                                                                                               |
| 4,0                                    | 5У4242                       | 1790 (2290) × 820 × 870            | 1350 (1455)       | 0,02                                                                                               |
| 3,5                                    |                              | 1995 (2340) × 990 ×<br>× 1010      | 2175 (2380)       | 0,02                                                                                               |

Кроме самодействующих и несамодействующих головок различных типов завод «Спецстанок» изготавливает несамодействующие гидравлические силовые столы для установки на них сверлильных, фрезерных, расточных бабок или приспособлений с деталями. В связи с тем что несамодействующие силовые головки и силовые столы включают некоторые одинаковые узлы и детали, технические характеристики столов (кроме габаритного размера — высоты стола и его веса) такие же, как и несамодействующих головок (см. табл. IV.9).

**Инструментальные бабки.** При использовании для компоновки агрегатных станков силовых столов различных типов в комплекте с ними применяют соответствующие инструментальные бабки. Они предназначены для сообщения режущим инструментам вращательного движения. При сверлении, зенкерования, развертывании применяют силовые бабки, при фрезеровании — фрезерные бабки.

**Силовая бабка** — это литая чугунная коробка с одной парой цилиндрических шестерен, понижающих вдвое скорость вращения выходного вала, имеющая с одной стороны фланцевый электродвигатель соответствующей мощности, а с другой — присоединительную плоскость, которая служит для крепления многошпиндельной коробки. Изготавливает силовые бабки Минский завод автоматических линий, их технические характеристики даны в табл. IV.10.

**Фрезерные бабки** включают в себя редуктор, а также механизм для установочного перемещения пиноли, внутри которой размещается шпиндель, сообщающий вращательное движение фрезе. Изготавливают шесть типоразмеров фрезерных бабок, три из них предназначены для

# Технические характеристики гидравлически

| Параметры головок                                                                                     | 5У4531<br>5У4532        | 5У4541<br>5У4542                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Мощность электродвигателя, <i>квт</i>                                                                 | 2,2; 3,0                | 4,0; 5,5                           |
| Наибольшее усилие подачи,<br><i>кГ</i> . . . . .                                                      | 1000                    | 1800                               |
| Длина хода, <i>мм</i> . . . . .                                                                       | 320<br>500              | 400<br>630<br>800                  |
| Пределы подач, <i>мм/мин</i> . . . . .                                                                | 30—1700                 | 20—1000                            |
| Скорость холостого хода, <i>м/мин</i>                                                                 | 8,0                     | 6,0                                |
| Прямолинейность перемещения<br>корпуса головки (на длине хода<br>500 <i>мм</i> ), <i>мм</i> . . . . . | 0,02                    | 0,02                               |
| Габариты головки, <i>мм</i> . . . . .                                                                 | 1340 (1520) × 455 × 570 | 1470 (1870, 2210) ×<br>× 535 × 670 |
| Вес, <i>кГ</i> . . . . .                                                                              | 430 (455)               | 550 (590, 630)                     |

## Технические характеристики

| Параметры                                                  | Тип             |                 |                 |
|------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                                            | УМ2511          | УМ2521          | УМ2531          |
| Мощность электро-<br>двигателя, <i>квт</i> . . . . .       | 0,6; 1,0        | 1,0; 1,7        | 1,0; 1,7; 2,8   |
| Число оборотов вы-<br>ходного вала в ми-<br>нуту . . . . . | 705             | 465, 710        | 465, 710        |
| Габаритные разме-<br>ры, <i>мм</i> . . . . .               | 540 × 200 × 250 | 625 × 250 × 285 | 650 × 320 × 335 |
| Вес с электродвига-<br>телем, <i>кГ</i> . . . . .          | 57, 63          | 95, 103         | 123, 131        |

## Технические характеристики

| Параметры                                             | Тип             |                 |
|-------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|
|                                                       | 5У7831          | 5У7841          |
| Мощность электродвигателя, <i>квт</i> . . .           | 2,2; 3,0        | 4,0; 5,5        |
| Диаметры применяемых фрез, <i>мм</i> . . .            | 80—100          | 80—315          |
| Пределы числа оборотов шпинделя<br>в минуту . . . . . | 710—1400        | 630—1400        |
| Наладочное перемещение пиноли, <i>мм</i>              | 50              | 50              |
| Габаритные размеры, <i>мм</i> . . . . .               | 595 × 250 × 670 | 730 × 280 × 800 |
| Вес бабки (без электродвигателя), <i>кГ</i>           | 160             | 240             |

Таблица IV.9

несамодействующих силовых головок

| 5У4551<br>5У4552                                      | 5У4561<br>5У4562                                        | 5У4571<br>5У4572                                         |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 4,0; 5,5; 7,5; 10                                     | 7,5; 10; 13; 17                                         | 13; 17; 22; 30                                           |
| 3150                                                  | 5600                                                    | 10000                                                    |
| 400                                                   | 500                                                     | 500                                                      |
| 630                                                   | 800                                                     | 800                                                      |
| 800                                                   | 1250                                                    | 1250                                                     |
| 14—700                                                | 10—400                                                  | 7—250                                                    |
| 5,0                                                   | 4,0                                                     | 3,5                                                      |
| 0,02                                                  | 0,02                                                    | 0,02                                                     |
| 1610 (1880, 2220) ×<br>× 625 × 770<br>895 (950, 1000) | 1880 (2240, 3240) ×<br>× 755 × 890<br>1300 (1400, 1580) | 2085 (2405, 3305) ×<br>× 925 × 1070<br>2110 (2210, 2580) |

Таблица IV.10

силовых бабок

бабки

| УМ2541          | УМ2551          | УМ2561           | УМ2571           |
|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| 2,8; 4,5; 7     | 2,8; 4,5; 7; 10 | 4,5; 7; 10; 14   | 20; 28           |
| 475, 720        | 475, 720        | 475, 720         | 730              |
| 820 × 400 × 400 | 965 × 500 × 465 | 1000 × 630 × 540 | 1150 × 800 × 670 |
| 228, 248        | 285, 305, 388   | 340, 360, 460    | 916, 975         |

Таблица IV.11

фрезерных бабок

бабки

| 5У7851             | 5У7861                      | 5У7871                    | 5У7881                    |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 7,5; 10<br>125—500 | 4,0; 5,5; 7,5; 10<br>80—500 | 7,5; 10; 13; 17<br>80—630 | 13; 17; 22; 30<br>355—630 |
| 560—1250           | 36—500                      | 32—450                    | 28—400                    |
| 50                 | 50                          | 100                       | 100                       |
| 895 × 320 × 940    | 725 × 400 × 750             | 900 × 440 × 850           | 1105 × 500 × 1060         |
| 430                | 625                         | 900                       | 1600                      |

фрезерования деталей из легких сплавов и цветных металлов, остальные — для обработки деталей из черных металлов. Основные характеристики фрезерных бабок приведены в табл. IV.11.

#### Расчет и выбор основных технологических параметров силовых головок

**Расчет технологических характеристик головок.** Для правильной оценки силовых узлов, а также выбора наиболее рациональных технологических схем автоматических линий необходим критерий, который позволил бы не только оценивать и сравнивать силовые головки, но и наиболее полно использовать их возможности при проектировании станков, определении оптимальной концентрации операций на каждой позиции.

В настоящее время при выборе наиболее эффективной конструкции головок пользуются несколькими параметрами. Сюда относятся максимальный условный диаметр сверления  $D_{\max}$ , максимальная сила механизма подачи  $P_{\max}$ , максимальная мощность электродвигателя головки  $N_{\text{дв}}$ , ее габаритные размеры и вес. Однако возможности головки не характеризуются достаточно полно ни одним из этих параметров; при разработке технологических схем полуавтоматов и автоматов по этим параметрам нельзя судить о количестве инструментов, которое может быть установлено на головке при условии максимального использования возможностей инструментов и возможностей головки.

В результате исследования большого числа узлов агрегатных полуавтоматов был предложен критерий для сравнительной оценки технологических возможностей и выбора наиболее эффективных конструкций силовых головок. Это — изображаемая в графической форме зависимость интенсивности обработки детали (площади обрабатываемой поверхности или объема материала, снимаемого в единицу времени) от размеров и количества одновременно работающих инструментов при условии наиболее полного использования их возможностей и возможностей головки. Такой график называют *технологической характеристикой головки*.

Технологические характеристики, каждая из которых является объективным паспортом определенной головки, дают возможность сравнивать и оценивать технологические возможности головок различных конструкций для выбора наиболее эффективных из них;

точно устанавливать пределы рационального использования головки каждого типа;

определять, правильно ли выбраны основные параметры головки и если нет, то установить, какими они должны быть;

правильно проектировать технологические схемы станков, максимально используя возможности головок;

определять диапазон режимов резания с учетом технологических возможностей головки и применяемого инструмента;

более обоснованно подходить к установлению необходимого числа типоразмеров головок.



Для эффективной обработки деталей целесообразно в каждой силовой головке устанавливать такое количество инструментов, которое позволяло бы полностью использовать ее силу подачи и мощность. Максимальное число инструментов, которое можно установить в головке, ограничивается рядом факторов. Одни из них зависят от конструкции обрабатываемой детали и технологического процесса ее изготовления, другие — от возможностей самой головки.

Количество инструментов, которое необходимо установить в силовой головке, определяется прежде всего числом поверхностей, подлежащих обработке в данной позиции. Если число этих поверхностей у детали больше того, которое может обработать данная головка, то выбирают головку большего типоразмера. Если размеры детали невелики, то на позиции может быть установлено вместо одной несколько деталей, что повышает концентрацию операций.

Иногда группу поверхностей одной детали обрабатывают на двух соседних позициях, потому что для обработки их на одной позиции мощность электродвигателя недостаточна или слишком мала сила, развиваемая механизмом подачи. В некоторых случаях максимальное число инструментов головки может ограничиваться жесткостью системы станок — деталь — инструмент, недостаточной ее виброустойчивостью, неудобством замены инструментов или другими причинами. Однако прежде чем учитывать эти ограничения при разработке схемы станка, следует знать, какое же максимальное число инструментов может быть установлено в головке каждого типа при оптимальных режимах обработки детали, т. е. необходимо располагать технологическими характеристиками головок.

Таким образом, в качестве объективного критерия технологических возможностей головки принята интенсивность обработки, производительность резания инструментов головки, измеренная объемом стружки, снимаемой с детали в единицу времени. В этом случае расчет следует вести исходя из рациональных значений припуска на обработку.

При заданной глубине резания, определяемой величиной припуска, инструменты используются полностью с максимально допустимыми подачами  $s_{\max}$  и скоростями  $v_{\max}$ . Основные параметры головки должны быть подобраны так, чтобы обработка деталей велась с полным использованием инструментов.

Рассмотрим, что на практике ограничивает работу головок с режимами  $s_{\max}$  и  $v_{\max}$ .

Максимально допустимые подачи  $s_{\max}$  ограничиваются:

1) технологическими требованиями к чистоте обрабатываемой поверхности. Значения этих подач определяют либо по нормативам, либо по известной формуле

$$s = cD^x, \quad (\text{IV.1})$$

где  $c$  и  $x$  — величины, зависящие от обрабатываемого материала, жесткости деталей и условий обработки;  $D$  — диаметр инструмента;

2) прочностью инструмента; особенно большое значение это ограничение имеет при работе с инструментами малых размеров. Для свер-

ления, например, подачи, определяемые прочностью инструмента,

$$s_0 = \sqrt[3]{EJ/c_P D^{x_P} (HB)^{z_P} l^2}, \quad (IV.2)$$

где  $E$  — модуль продольной упругости сверла;  $J \approx 0,005D^4$  — момент инерции поперечного сечения сверла;  $l$  — длина сверла;  $HB$  — твердость обрабатываемого материала;

3) величиной максимальной полезной силы, развиваемой механизмом подач головки. Эти подачи находят из соотношения

$$P_{\max}/P_x k = P_{\max}/c_P D^{x_P} s^{y_P} (HB)^{z_P} k = 1,$$

откуда

$$s^* = \sqrt[3]{P_{\max}/c_P D^{x_P} (HB)^{z_P} k}, \quad (IV.3)$$

где  $P_{\max}$  — максимальная сила механизма подач головки;  $P_x$  — осевая сила, возникающая при обработке одним инструментом;  $k$  — число одновременно работающих инструментов;  $c_P$ ,  $x_P$ ,  $y_P$ ,  $z_P$  — величины, зависящие от обрабатываемого материала, материала инструмента и условий обработки;

4) прочностью деталей механизма подач головки. В этих случаях из условия прочности механизмов головки определяют силу  $Q_{\max}$ , которую подставляют в формулу (IV.3) вместо  $P_{\max}$ .

Максимально допустимые скорости  $v_{\max}$  ограничиваются:

1) стойкостью режущих инструментов. При заданном периоде стойкости  $T$  скорость

$$v_T = c_v D^{x_v} / T^m s^{y_v} (HB)^{z_v}, \quad (IV.4)$$

где  $c_v$ ,  $x_v$ ,  $m$ ,  $y_v$ ,  $z_v$  — величины, зависящие от материала режущего инструмента, материала детали и условий обработки;

2) максимальным и минимальным числами оборотов инструментов, которые обеспечиваются головкой:

$$v_n = \pi D (n_{\min} \div n_{\max}) / 1000, \quad (IV.5)$$

3) максимальной полезной мощностью головки:

$$k = N_{\text{пол}}/N_s = N_{\text{дв}} \eta_{\text{гол}} / c_M D^{x_M-1} s^{y_M} (HB)^{z_M} v_N,$$

откуда

$$v_N = N_{\text{дв}} \eta_{\text{гол}} / c_M D^{x_M-1} s^{y_M} (HB)^{z_M} k, \quad (IV.6)$$

где  $N_{\text{дв}}$  — мощность электродвигателя головки;  $\eta_{\text{гол}}$  — коэффициент полезного действия головки;  $N_s$  — эффективная мощность, потребляемая на резание при работе одним инструментом;  $c_M$ ,  $x_M$ ,  $y_M$ ,  $z_M$  — величины, зависящие от материала детали, материала режущего инструмента и условий обработки;

4) прочностью деталей привода главного движения головки. Соответствующая скорость

$$v_{\sigma} = N_{\text{дв}} \eta_{\text{гол}} / c_M M_{\sigma \max} k, \quad (IV.7)$$

где  $M_{\sigma \max}$  — максимальный крутящий момент на шпинделе, рассчитанный по прочности механизма главного движения головки.

По приведенным формулам строят графики подач  $s'$  и  $s''$  и графики скоростей  $v_T$ ,  $v_N$ ,  $v_n$ , определяемых инструментами и параметрами головки. В случае необходимости возможность работы с полученными режимами резания проверяют исходя из условий прочности режущего инструмента и деталей головки.

Область, ограниченная кривыми  $s' = f(D)$  и  $s'' = f(D)$  на графике подач, кривыми  $v_T = f(D)$ ,  $v_n = f(D)$  и  $v_N = f(D)$  на графике скоростей, позволяет определить для каждого диаметра инструмента максимальную подачу  $s_{\max}$  и максимальную скорость  $v_{\max}$  резания, соответствующие условиям наиболее полного использования возможностей станка и инструмента.

По полученным значениям  $s_{\max}$  и  $v_{\max}$  подсчитывают производительность

$$P_n = c_n s_{\max} v_{\max} k \quad (IV.8)$$

для различных значений количества  $k$  инструментов. Зависимость  $P_n = f(D, k)$  и является технологической характеристикой головки. Такая характеристика дает возможность объективно сравнивать различные головки и выявлять наиболее эффективные из них. Из двух головок с одинаковыми или близкими параметрами более эффективна та, которая обеспечивает большую величину  $P_n$ .

Сопоставление производительности  $P_n$  головки с идеальной производительностью, т. е. такой, которая достигается при полном использовании инструментов, позволяет оценить степень совершенства любой головки с точки зрения соответствия ее технологических возможностей возможностям инструментов. Характеристика позволяет также определить предел рационального использования головки каждого типа (для  $k = 1$ ). Резкое падение производительности свидетельствует о нецелесообразности использования головки для работы инструментами больших диаметров. Кроме того, при расчете подач  $s'$  и  $s''$  и скоростей  $v_T$ ,  $v_N$  и  $v_n$  становится возможным сопоставление параметров головки, таких как  $P_{\max}$ ,  $N_{\text{дв}}$ ,  $n_{\text{шп}}$  и др. Это позволяет определить оптимальные их значения, отвечающие наиболее полному использованию инструментов.

При расчете характеристик головок целесообразно принять допущения, которые существенно упрощают расчет, незначительно сказываясь на точности результатов. Прежде всего при определении подач  $s'$  по формуле (IV.1) или по нормативам выбирали средние значения коэффициента  $c$ .

В приведенном далее примере (см. рис. IV.13) скорость резания по стойкости инструментов рассчитывали для периода стойкости  $T = 100 \text{ мин}^*$ . Принято, что большая часть инструментов на агрегатных станках должна заменяться во время перерывов между сменами или во время плановых остановок станков. Отсюда минимальный период стойкости

$$T_{\min} = T_{\text{см}} \omega / 2,$$

где  $T_{\text{см}}$  — длительность смены, равная 480 мин;  $\omega = \Sigma t_{\text{рез}} / T_{\text{см}}$  — коэф-

\* Исключение составляли расчеты при нарезании резьбы, где принимали период стойкости  $T = 25 \text{ мин}$ .

фициент использования лимитирующих инструментов;  $\Sigma t_{рез}$  — суммарное время резания инструментов в течение смены.

Как показали исследования [6], [15] производительности агрегатных станков и автоматических линий, работающих в условиях различных машиностроительных заводов,  $\omega = 0,35 \div 0,55$ . Остальное время смены расходуется на холостые ходы станков и простои по различным причинам. Значение периода стойкости  $T = 100$  мин определяли в предположении, что  $\omega \approx 0,50$ . Следует отметить, что изменение  $T$  на значительную величину сказывается на скорости  $v_T$  несущественно, так как в формуле (IV.4)  $T$  имеет показатель степени  $m \ll 1$ . Для примера при  $T = 200$  и  $300$  мин были подсчитаны значения скорости резания  $v_T$ , которые изменялись соответственно на 8,5 и 17,0% по отношению к скорости, рассчитанной для  $T = 100$  мин.

Для упрощения расчетов при определении  $v_N$  значения  $N_{max}$  и  $\eta_{гол}$  принимались для средних значений чисел оборотов шпинделя  $n_{шп}$ , на которых головка работает наиболее часто. Влияние увеличения числа  $k$  инструментов на  $v_N$  учитывалось при определении  $\eta_p$  — расчетного к. п. д. механизмов вращения инструментов головки (определяется как произведение к. п. д. отдельных механизмов по справочникам).

Особенности расчета характеристик головок, выполняющих различные операции. При обработке деталей на автоматической линии не все головки загружены одинаково. Часто одна или несколько головок выполняют наиболее тяжелые операции, например сверление ряда отверстий или фрезерование плоскостей; остальные головки, работающие с меньшим количеством инструментов или выполняющие операции развертывания, снятия фасок, нарезания резьбы, загружены в меньшей степени. Поэтому технологические возможности каждого станка определяются в первую очередь технологическими характеристиками наиболее нагруженных силовых головок, в большинстве случаев сверлильных. Тем не менее расчет технологических характеристик головок, выполняющих операции фрезерования, зенкерования, нарезания резьбы также необходим, так как это позволяет при компоновке агрегатных полуавтоматов выбирать наименьший из возможных типоразмеров головок в соответствии с действующими нагрузками.

Рассмотрим кратко особенности расчета характеристик таких головок.

Расчет характеристик сверлильных головок. Этот расчет ведут как по осевой силе, так и по полезной мощности. Эти параметры определяют возможность полного использования инструментов. Методика расчета характеристик головок при сверлении полностью соответствует приведенной ранее общей методике расчета; основные формулы, необходимые для расчета, даны в табл. IV.12.

Расчет целесообразно проводить для случаев обработки чугуна и стали как быстрорежущими, так и твердосплавными инструментами.

Расчет характеристик фрезерных головок. При фрезеровании соотношения осевых сил и крутящих моментов значительно меньше, чем при сверлении. Обработка фрезерованием

Формулы для расчета технологических характеристик силовых головок при сверлении

| Обрабатываемый материал<br>и твердость                                                             | Чугун HB200                                                                       | Сталь HB215                                                                        |                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Материал режущего ин-<br>струмента                                                                 | P18                                                                               | BK8                                                                                | P18                                                                               |
| Технологическая подача<br>$s'_0$ , мм/об                                                           | $s'_0 = cD^{0.6}; \quad c_1 = 0,078;$<br>$c_2 = 0,058; \quad c_3 = 0,039$         | $s'_0$ — по нормативам                                                             | $s'_0 = cD^{0.6}; \quad c_1 = 0,063;$<br>$c_2 = 0,047; \quad c_3 = 0,031$         |
| Подача $s''_0$ , определяемая<br>величиной силы головки<br>$P_{\max}$ , мм/об                      | $s''_0 = \sqrt[0.6]{\frac{P_{\max}}{2,6D \text{ HB}^{0.9}k}}$                     | $s''_0 = \sqrt[0.85]{\frac{P_{\max}}{7,1D^{0.25} \text{ HB}^{0.6}k}}$              | $s''_0 = \sqrt[0.7]{\frac{P_{\max}}{1,5D \text{ HB}^{0.75}k}}$                    |
| Скорость резания $v_T$ , огра-<br>ничиваемая мощностью<br>сверл $T$ , м/мин                        | $v_T = \frac{11400D^{0.25}}{T^{0.125}S_0^{0.4} \text{ HB}^{1.3}}$                 | $v_T = \frac{33400D^{0.5}}{T^{0.4}S_0^{0.5} \text{ HB}^{1.3}}$                     | $v_T = \frac{874D^{0.4}}{T^{0.2}S_0^{0.5} \text{ HB}^{0.9}}$                      |
| Скорость резания $v_N$ , огра-<br>ничиваемая мощностью<br>электродвигателя $N_{\text{дв}}$ , м/мин | $v_N = \frac{3058N_{\text{дв}} \eta_{\text{Год}}}{D S_0^{0.5} \text{ HB}^{0.6}k}$ | $v_N = \frac{11630N_{\text{дв}} \eta_{\text{Год}}}{D^{1.4} S_0 \text{ HB}^{0.6}k}$ | $v_N = \frac{3822N_{\text{дв}} \eta_{\text{Год}}}{D S_0^{0.5} \text{ HB}^{0.7}k}$ |
| Скорость резания $v_n$ , огра-<br>ничиваемая числами оборо-<br>тов шпинделя $n$ , м/мин            | $v_n = \pi D (n_{\min} \div n_{\max})/1000$                                       |                                                                                    |                                                                                   |
| Производительность го-<br>ловки $\Pi_H$ , мм <sup>3</sup> /сек                                     | $\Pi_H = 4,16 S_0 v_{\max} v_{\max} Dk$                                           |                                                                                    |                                                                                   |

требует больших затрат мощности, поэтому при расчете характеристик головок возможность полного использования инструментов обычно ограничивается мощностью двигателя.

В качестве наиболее характерного вида фрезерования принята обработка плоскостей торцовыми фрезами. Это одна из наиболее тяжелых операций, выполняемых на агрегатных станках. Фрезерование плоскостей требует не только больших затрат мощности, но и предъявляет повышенные требования к жесткости системы станок — приспособление — инструмент — деталь.

Расчет характеристик фрезерных головок выполняют для случаев обработки деталей из чугуна и стали (табл. IV.13). Максимально допустимая окружная сила, с которой можно вести обработку,

$$P_{0\max} = P_{\max} / \psi,$$

где  $\psi = 0,6 \div 0,9$ ; для торцовых фрез при расчете принимают  $\psi = 0,8$ .

Расчет характеристик головок, выполняющих зенкерование. При зенкеровании отверстий затраты мощности на осевые силы резания незначительны, существенны лишь крутящие моменты. Поэтому при построении графика подач целесообразно рассматривать только подачи, определяемые технологическими требованиями к чистоте обрабатываемой поверхности.

Расчет допустимых скоростей резания при зенкеровании ведут так же, как при сверлении и фрезеровании. Расчетные формулы для зенкерования отверстий в чугунных и стальных деталях приведены в табл. IV.14. Следует отметить, что обработка зенкерованием более производительна, чем сверление отверстий, благодаря наличию у зенкера нескольких режущих кромок. Однако затраты мощности в единицу времени при этом также возрастают. Как показали расчеты, основным параметром силовых головок, ограничивающим полное использование возможностей инструментов, является мощность электродвигателя головки. При расчете производительности  $P_n$  учитывают, что величина припуска  $t$  на обработку, как и при сверлении, изменяется пропорционально диаметру  $D$  зенкера.

**Пример IV.1.** Рассчитать технологическую характеристику головки. На рис. IV.13 показаны технологические характеристики пневмогидравлической головки ПГСГ-18 (конструкция НИИТАвтопрома), рассчитанные для операций сверления I, фрезерования II и зенкерования III.

**Решение.** Сопоставление подач  $s'_0$  (рис. IV.13, а), определяемых возможностями инструментов и усилием подачи головки ( $s''_0$ ) во время сверления, показывает, что в случае работы одним сверлом ( $k=1$ ) величина усилия механизма подачи начинает ограничивать подачу при  $D > 21$  мм. Для  $k=2, 3$  и т. д. точки перелома соответствуют  $D=13$  и 10 мм и т. д.

Сопоставление скоростей резания (рис. IV.13, в), определяемых возможностями инструментов ( $v_T$ ) и головки ( $v_N$  и  $v_n$ ), показывает, что при  $D \geq 19$  мм (для  $k=1$ ) из-за недостаточной полезной мощности необходимо несколько снижать скорости резания со значений  $v_T$  до  $v_N$ . Скорости резания  $v_n$ , определяемые предельными значениями чисел оборотов инструментов, позволяют почти во всем диапазоне диаметров сверл, выбранных для расчета, работать со скоростями  $v_T$  или  $v_N$ . Анализ этих рисунков показывает, что технологические параметры головки выбраны правильно: полезное осевое усилие механизма подачи соответствует полезной мощности

Формулы для расчета технологических характеристик фрезерных головок

|                                                         |                                                                                            |                                                                        |                                                                                            |                                                                        |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Обрабатываемый материал<br>и твердость                  | Чугун HB200                                                                                |                                                                        | Сталь HB215                                                                                |                                                                        |
| Материал режущего инструмента                           | P18                                                                                        | BK8                                                                    | P18                                                                                        | T15K6                                                                  |
| Подача $s'_z$ на зуб фрезы, мм                          | $s'_z$ — по нормативам                                                                     |                                                                        |                                                                                            |                                                                        |
| Подача $s''_z$ на зуб фрезы, мм                         | $s''_z = \sqrt[0.7]{\frac{P_{0, \max} D^{1.11}}{70 t^{1.11} z B^{0.9} k}}$                 |                                                                        |                                                                                            |                                                                        |
| Скорость резания $v_T$ , м/мин                          | $v_T = \frac{38 D^{0.2}}{T^{0.11} t^{0.1} s_z^{0.1} z^{0.1} B^{0.1}}$                      | $v_T = \frac{158 D^{0.2}}{T^{0.11} t^{0.1} s_z^{0.1} z^{0.1} B^{0.1}}$ | $s''_z = \sqrt[0.7]{\frac{P_{0, \max} D^{1.11}}{82 t^{1.11} z B^{0.9} k}}$                 | $v_T = \frac{167 D^{0.2}}{T^{0.11} t^{0.1} s_z^{0.1} z^{0.1} B^{0.1}}$ |
| Скорость резания $v_N$ , м/мин                          | $v_N = \frac{87 N_{\text{дв}} \eta_{\text{коз}} D^{1.11}}{t^{1.11} s_z^{0.1} z B^{0.9} k}$ |                                                                        | $v_N = \frac{75 N_{\text{дв}} \eta_{\text{коз}} D^{1.11}}{t^{1.11} s_z^{0.1} z B^{0.9} k}$ |                                                                        |
| Скорость резания $v_n$ , м/мин                          | $v_n = \pi D (n_{\min} \div n_{\max}) / 1000$                                              |                                                                        |                                                                                            |                                                                        |
| Производительность головки $П_n$ , мм <sup>3</sup> /сек | $П_n = 4,22 B s_z z v_{\max} k$                                                            |                                                                        |                                                                                            |                                                                        |

Примечание.  $z$  — число зубьев;  $t$  — припуск;  $B$  — ширина фрезерования.

Формулы для расчета технологических характеристик головок при зенкеровании

| Обрабатываемый материал и твердость                     | Чугун HB200                                                                                | Сталь HB215                                                                                     |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Материал режущего инструмента                           | ВК8                                                                                        | T15K6                                                                                           |
| Подача $s'_p$ , мм/об                                   | $s'_p$ — по нормативам                                                                     |                                                                                                 |
| Скорость резания $v_T$ , м/мин                          | $v_T = \frac{96\,500 D^{0.40}}{T^{0.40} f^{0.15} s_p^{0.15} HB^{1.15}}$                    | $v_T = \frac{875 D^{0.60}}{T^{0.25} f^{0.20} s_p^{0.20} \sigma_B^{0.60}}$                       |
| Скорость резания $v_N$ , м/мин                          | $v_N = \frac{364 N_{\text{дв}} \eta_{\text{роз}} D^{0.15}}{f^{0.50} s_p^{0.7} HB^{0.4} k}$ | $v_N = \frac{83 N_{\text{дв}} \eta_{\text{роз}} D^{0.25}}{f^{0.4} s_p^{0.3} \sigma_B^{0.25} k}$ |
| Скорость резания $v_n$ , м/мин                          | $v_n = \pi D (n_{\min} \div n_{\max}) / 1000$                                              |                                                                                                 |
| Производительность головок $P_n$ , мм <sup>3</sup> /сек | $P_n = 16,6 s_p v_{\max} t [(D - t) / D] k$                                                |                                                                                                 |



головки, а кинематические соотношения механизмов позволяют вести обработку с наиболее выгодными режимами.

По максимально допустимым значениям подач и скоростей резания строят график производительности  $\Pi_n$ , интенсивности процесса резания (см. рис. IV.13, ж).

Из рисунка видно, что: 1) максимальная производительность головки  $\Pi_n = 570 \text{ мм}^3/\text{сек}$ , а предел рационального использования ее — сверление отверстий диаметром до 20 мм; 2) суммарная производительность головки с увеличением числа инструментов не увеличивается, а даже несколько снижается за счет уменьшения подач.

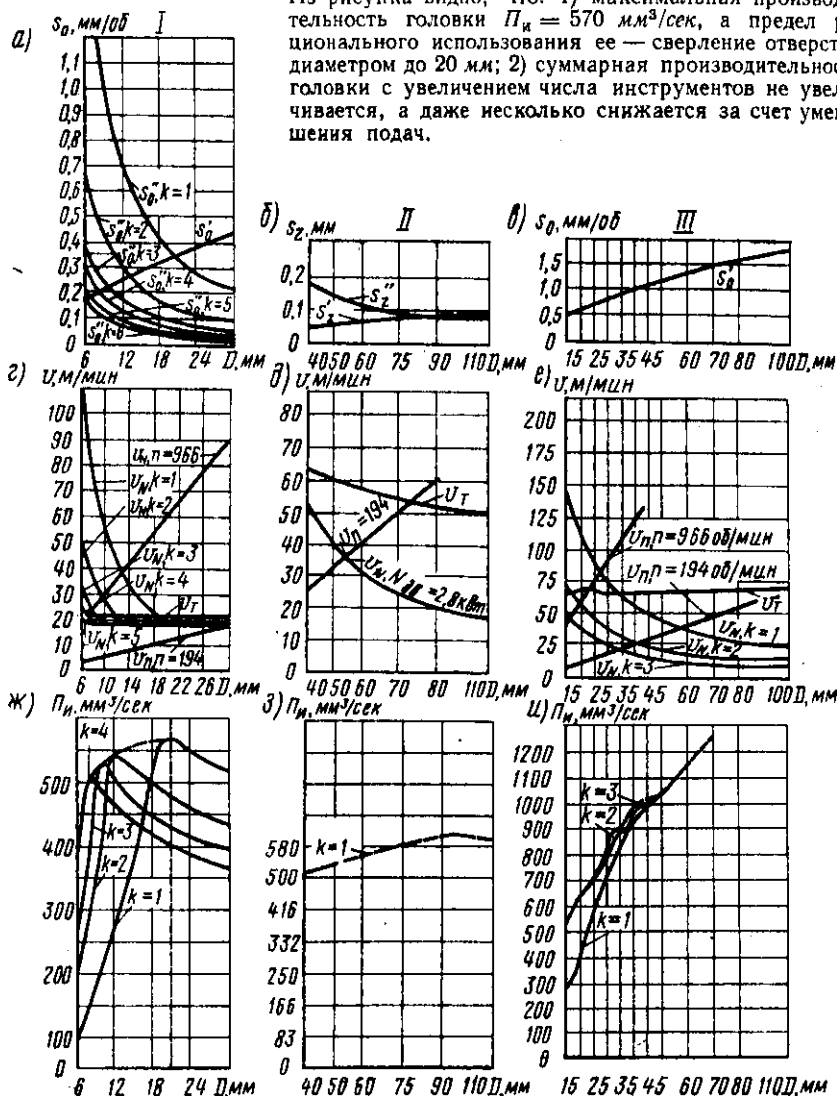


Рис. IV.13. Технологические характеристики головки

Рис. IV.13, б, д, з содержат результаты расчета параметров, определяющих характеристику этой же головки при фрезеровании. Поскольку при обработке фрезерованием имеют место другие соотношения между осевой силой резания и крутящим моментом, чем при сверлении, соотношения между усилиями механизма подачи и полезной мощностью головки также должны быть иными. Так, исходя из усилия

механизма подачу обработку можно производить фрезой диаметром до 90 мм. Мощность головки (кривая  $v_N$  на рис. IV.13, д) совершенно не позволяет вести обработку деталей со скоростями  $v_T$ , определяемыми возможностью инструментов. Даже при фрезеровании со скоростями  $v_N$  можно работать только с фрезами диаметром  $D = 40$  и 50 мм, более низкая скорость резания не может быть обеспечена числом оборотов шпинделя. Из графика производительности  $P_n$  видно, что при фрезеровании головка может быть использована лишь в начальном диапазоне фрез, принятых при расчете (штриховая линия начинается с момента, когда  $v_N$  становится меньше  $v_n$ ). При этом будет иметь место значительное недоиспользование возможностей инструментов. Для фрезерования деталей необходимы более мощные головки, чем та, характеристика которой рассчитывается. Оптимальные параметры фрезерной головки могут быть определены по формулам табл. IV.13.

На рис. IV.13, в, е, и приведены результаты расчета характеристики при зенковании. Так как при выполнении этой операции осевые усилия незначительны по сравнению со сверлением, расчет подач  $s_n^*$ , ограничиваемых усилием механизма подачи, не производился. Расчет скоростей резания показал, что для полного использования возможностей инструментов необходимо увеличение как полезной мощности головки, так и максимальных чисел оборотов шпинделя. Оптимальные значения этих параметров также могут быть подсчитаны по формулам табл. IV.14.

Производительность головки составляет 1100 мм<sup>3</sup>/сек, а предел рационального использования ее — зенкование отверстий диаметром не более 50 мм.

Таким образом, технологические характеристики позволяют установить, правильно ли выбраны основные технологические параметры силовой головки, и определить пределы ее рационального использования, что необходимо для проектирования технологической схемы агрегатных станков.

**Расчет оптимальных технологических параметров головок.** Определение оптимального диапазона рабочих подач узлов. Известно, что подачи инструментов силовых головок определяются видом обработки и технологическими требованиями, предъявляемыми к чистоте и точности обработки. Диапазон изменения подач головки обеспечит полное использование инструментов по подаче, если:

$$s_{\max} \geq s^* \geq s'_{\min};$$

$$s_{\min} \leq s'_{\min} \leq s^*.$$

Так, сверлильная силовая головка, рассчитанная на обработку отверстий 6 ÷ 25 мм, должна обеспечивать подачи 0,06 ÷ 0,55 мм/об в соответствии с нормативами, поэтому необходимо, чтобы дроссель подачи или набор сменных шестерен изменял подачу в указанных пределах.

Проверим, выдержаны ли эти соотношения при проектировании головок, технические характеристики которых были приведены, например наименьшей головки МосСКБ. Расчет технологической характеристики головки при сверлении показал, что предел рационального использования этой головки — обработка отверстий диаметром до 25 мм (при использовании быстрорежущих сверл).

Для обработки отверстий диаметром 6 ÷ 25 мм в деталях из чугуна и стали необходимо располагать подачами  $s_0 = 0,06 \div 0,55$  мм/об. По технической характеристике головка обеспечивает подачи  $s_0 = 0,05 \div 1,1$  мм/об. Следовательно, для выполнения указанных ранее операций диапазон подач головки выбран правильно.

У некоторых головок с пневмогидравлическим и гидравлическим механизмами подачи минимальные и максимальные подачи на оборот

могут быть обеспечены лишь при работе с предельным числом оборотов шпинделя. В этих случаях необходимо подачи на оборот, обеспечиваемые головкой, проверять с учетом чисел оборотов шпинделя, допускаемых мощностью электродвигателя и стойкостью сверл.

Определение максимальных усилий механизма подач, обеспечивающих работу инструмента с технологическими подачами. Максимальное полезное усилие  $P_{\max}$  механизма подач, необходимое для работы инструментов с подачей  $s'$ , определяют по формулам теории резания металлов. Например, для сверления отверстий в стальных и чугунных деталях инструментами из быстрорежущей стали усилие:

$$\text{для чугуна} \quad P_{\max} = 2,6 D s_0^{0,8} H B^{0,8},$$

для стали

$$P_{\max} = 1,5 D s_0^{0,7} H B^{0,75}.$$

Величина  $P_{\max}$ , рассчитанная по этим формулам, для сверления отверстий диаметром 25 мм в стали составляет 1450 кг. По технической характеристике головка МосСКБ обеспечивает максимальное усилие  $P = 560$  кг (см. табл. IV.8). Следовательно, использовать эту головку для сверления отверстий до 25 мм с оптимальными режимами обработки и полным использованием возможностей инструментов нельзя.

Определение мощности электродвигателя, необходимой для полного использования усилия механизма подач. Максимальную мощность электродвигателя  $N_{\text{дв}}$ , необходимую для полного использования усилия механизма подач, можно определить, если известны максимальная полезная мощность  $N_{\text{пол}}$  и к. п. д. головки  $\eta_{\text{гол}}$ , тогда

$$N_{\text{дв}} = N_{\text{пол}} / \eta_{\text{гол}}.$$

Величину  $N_{\text{пол}}$  подсчитывают следующим образом. Очевидно, что максимальное количество сверл, которое может быть установлено в шпинделях силовой головки исходя из усилия механизма подач, равно

$$k_P = P_{\max} / P_x,$$

где  $P_x$  — осевое усилие резания.

Судя по полезной мощности этой же головки, на ней может быть установлено число сверл

$$k_N = N_{\text{пол}} / N_0,$$

где  $N_0$  — эффективная мощность при резании одним инструментом.

Для соответствия мощности головки осевому усилию механизма подач необходимо, чтобы

$$k_P = k_N$$

или

$$P_{\max} / P_x = N_{\text{пол}} / N_0,$$

откуда

$$N_{\text{пол}} = P_{\max} N_{\text{дв}} / P_x.$$

Подставив в предыдущую формулу значения  $N_s$  и  $P_x$ , получим: для чугуна

$$N_{\text{пол}} = P_x v_{\text{рез}} / 7950;$$

для стали

$$N_{\text{пол}} = P_x v_{\text{рез}} s_0^{0.1} / 5740 \text{ НВ}^{0.05}.$$

По этим формулам для рабочего диапазона скоростей резания подсчитывают  $N_{\text{пол}}$  и  $N_{\text{дв}}$  головок с учетом  $\eta_{\text{гол}}$ .

На рис. IV.14 показана зависимость  $N_{\text{пол}}$  и  $N_{\text{дв}}$ , необходимых для полного использования усилия механизма подачи, от скорости резания \* для силовой головки французской фирмы «Рено» с винтовым механизмом подачи. Головка обеспечивает  $P_{\text{мах}} = 750 \text{ кг}$  при  $N_{\text{дв}} = 1,85 \text{ кВт}$ . Как видно, для сверления отверстий со скоростями резания  $v_{\text{рез}} = 15 + 25 \text{ м/мин}$  необходимо, чтобы на головке был установлен электродвигатель мощностью 3,5–6,0 кВт. При работе с  $P_{\text{мах}} = 750 \text{ кг}$  максимальная мощность электродвигателя  $N_{\text{дв}} = 1,85 \text{ кВт}$  достаточна только для работы на низких скоростях резания. Этот пример показывает важность правильного выбора технологических параметров головок при их проектировании.

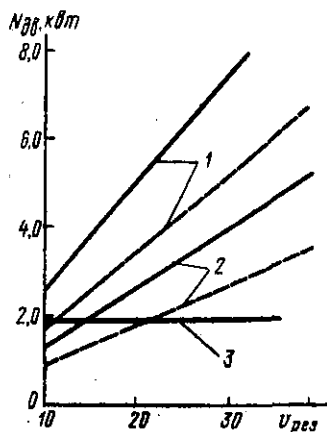


Рис. IV.14. Зависимость  $N_{\text{пол}}$  и  $N_{\text{дв}}$ , необходимых для полного использования усилия механизма подачи головки, от скорости  $v_{\text{рез}}$  резания:

1 —  $P = 1450 \text{ кг}$ ; 2 —  $P = 750 \text{ кг}$ ; 3 —  $N_{\text{дв}} = 1,85 \text{ кВт}$ ;  
—  $N_{\text{мах}}$ ; — — —  $N_{\text{пол}}$

Определение пределов изменения чисел оборотов шпинделей. Число оборотов шпинделя головки необходимо выбирать таким образом, чтобы удовлетворялись следующие соотношения:

$$n_{\text{мах}} \geq n_{v_n} \geq n_{v_T},$$

$$n_{\text{мин}} \leq n_{v_T},$$

или с учетом диаметров сверл

$$v_{n\text{мах}} \geq v_{N\text{мах}} \geq v_T,$$

$$v_{n\text{мин}} \leq v_T.$$

Подсчитывая значения  $v_{N\text{мах}}$  и  $v_T$ , сравнивают их с максимальными и минимальными скоростями  $v_n$ , зависящими от чисел оборотов шпинделя (рис. IV.15) для одной из головок ЗИЛ. При этом  $v_{N\text{мах}}$  определяют для  $N_{\text{мах}} = 3,5$  и  $6 \text{ кВт}$ . Как видно из графика, принятый диапазон чисел оборотов шпинделей позволяет полностью использовать возможность инструмента по стойкости ( $v_{n\text{мин}} < v_T$ ) и возможности головки по мощности ( $v_n\text{мин} < v_N < v_{n\text{мах}}$ ). Если бы минимальное число оборотов шпинделя было принято не 143, а, например, 320 (на рис. IV.15 показано штриховой линией), то, уже начиная со сверла диаметром

\* При расчете  $N_{\text{мах}}$  коэффициент  $\eta_{\text{гол}}$  принимали постоянным и рассчитывали по формуле  $\eta_{\text{гол}} = (1 - N_{\text{х.х.}}/N_{\text{дв}}) \eta_p$ .

17 мм, им необходимо было бы работать со скоростью резания, превышающей значение  $v_T$ . При сверлении отверстия диаметром  $D > 22$  мм скорость  $v_n$  должна быть больше, чем та, которую обеспечивает мощность электродвигателя (при  $N_{\max} = 3,5$  кет). В этом случае можно было бы сказать, что нижний предел чисел оборотов шпинделя не позволяет рационально использовать головку при сверлении отверстий диаметром 17 + 25 мм.

Аналогичным образом могут быть определены оптимальные технологические параметры головок, выполняющих фрезерные, резьбо-нарезные и другие операции.

Сравнительный анализ головок с различными типами приводов. Анализ конструкций силовых головок показывает, что наибольшим разнообразием в применении разных типов приводов и различных конструктивных исполнений характеризуются головки малой и частично средней мощности.

Для сопоставления силовых головок с различными типами приводов целесообразно рассмотреть:

1) параметры конструкции (максимальное усилие и мощность, перемещения, скорости, ускорения, напряжения в деталях при максимальных нагрузках, габаритные размеры и вес);

2) технологические параметры (полезное усилие и мощность, пределы изменения рабочих подач и чисел оборотов шпинделя, скорости холостых ходов инструментов, точность исполнения головкой заданного цикла по пути и времени, жесткость головок);

3) энергетические параметры (затраты энергии на привод подач, потери энергии в механизмах при работе на холостом ходу и под нагрузкой, к. п. д. головок);

4) экономические параметры (стоимость изготовления узлов в одинаковых условиях производства, стоимость их обслуживания и ремонта, стоимость затрат энергии на привод подач).

Основные параметры наиболее характерных типов головок сведены в табл. IV.15.

Оценка приведенных в табл. IV.15 параметров может быть выполнена исходя из основных требований к силовым головкам, которые должны обеспечивать:

1) максимальную производительность  $\Pi_n$  при минимально возможных габаритных размерах. Это позволит устанавливать большее количество инструментов на головке, обрабатывать детали с большей концентрацией операций;

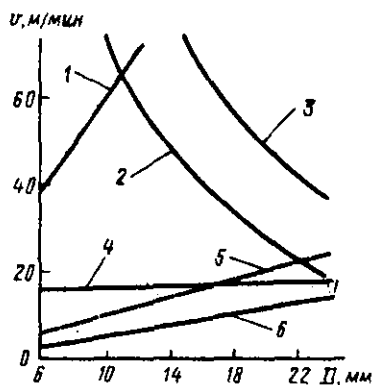


Рис. IV.15. Сопоставление возможностей инструментов и силовой головки по скорости резания:

- 1 —  $v_n \max$  при  $n = 2017$  об/мин;  
 2 —  $v_N \max$  при  $N_{\max} = 3,5$  кет;  
 3 —  $v_N \max$  при  $N_{\max} = 6,6$  кет;  
 4 —  $v_T$ ; 5 —  $v_n$  при  $n = 320$  об/мин;  
 6 —  $v_n \min$  при  $n = 148$  об/мин

| №<br>п.п | Параметры головок                                                                       | Механические          |                       |                      |                       |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
|          |                                                                                         | плоско-<br>кулачковая | винтовые              |                      |                       |
|          |                                                                                         |                       | МЗАЛ<br>(2-й габарит) | Рено<br>ТЕМ-11Р      | МЗМА<br>9698-928      |
| 1        | Мощность электро-<br>двигателя, <i>квт</i> . . . .                                      | 1,7                   | 2,8                   | 1,85                 | 2,8                   |
| 2        | Длина хода, <i>мм</i> . . .                                                             | 75                    | 400                   | 300                  | 250                   |
| 3        | Число оборотов<br>шпинделя, <i>об/мин</i> . .                                           | 115—2000              | 465—710               | 148—2017             | 71—710                |
| 4        | Скорость рабочих<br>подач, <i>мм/мин</i> . . . .                                        | 45—225                | 17—262                | 6,8—4800             | 36—1760               |
| 5        | Полезное осевое<br>усилие, <i>кг</i> . . . . .                                          | 400                   | 1100                  | 750                  | 1000                  |
| 6        | Габаритные разме-<br>ры, <i>мм</i> . . . . .                                            | 650 × 280 ×<br>× 490  | 1185 × 270 ×<br>× 470 | 840 × 305 ×<br>× 530 | 1185 × 270 ×<br>× 495 |
| 7        | Вес (без электро-<br>двигателя), <i>кг</i> . . . .                                      | 160                   | 320                   | 260                  | 320                   |
| 8        | Металлоемкость,<br><i>кг/квт</i> . . . . .                                              | 94                    | 114                   | 140                  | 114                   |
| 9        | Точность переключе-<br>ния на рабочую по-<br>дачу, <i>мм</i> . . . . .                  | —                     | 2,5                   | 1,8                  | 1,8                   |
| 10       | Точность реверса,<br><i>мм</i> . . . . .                                                | 0,04                  | 3,4                   | 0,4                  | 0,8                   |
| 11       | Точность при рабо-<br>те по упору, <i>мм</i> . . .                                      | —                     | 0,5                   | 0,02                 | —                     |
| 12       | Относительное изме-<br>нение подачи, %:                                                 |                       |                       |                      |                       |
|          | от температуры. .                                                                       | —                     | —                     | —                    | —                     |
|          | от нагрузки . . .                                                                       | —                     | —                     | —                    | —                     |
| 13       | К. п. д. . . . .                                                                        | 0,82                  | 0,78                  | 0,67                 | 0,6                   |
| 14       | Скорости холостых<br>ходов, <i>м/мин</i> . . . .                                        | 2,5                   | 5,5                   | 4,0                  | 3,0                   |
| 15       | Жесткость, <i>кг/мм</i> :                                                               |                       |                       |                      |                       |
|          | осевая . . . . .                                                                        | 3500                  | 2500                  | 4600                 | 3600                  |
|          | радиальная . . . .                                                                      | 200—250               | 1100                  | 1800                 | 2800                  |
| 16       | Стоимость изгото-<br>вления головок при<br>одинаковых условиях<br>производства, % . . . | 100                   |                       | 160                  |                       |

- \* Для механизма вращения.
- \*\* Для механизма подачи.

Таблица IV.15

ТИПОВ ГОЛОВОК

| Пневмогидравлические |                       | Гидравлические                          |                        |                      |                                         |
|----------------------|-----------------------|-----------------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------------------------|
|                      |                       | с насосом постоянной производительности |                        |                      | с насосом переменной производительности |
| ПГСГ-18              | Оливетти              | Назко Е-9НИ                             | Мос. СКБ (2-й габарит) | Арцдейл № 794        | ЗИЛ СТ-5078                             |
| 2,8                  | 0,5                   | 2,2                                     | 2,8                    | 1,5                  | 2,8                                     |
| 150                  | 180                   | 350                                     | 400                    | 152                  | 250                                     |
| 194—906              | 1780—4100             |                                         | 82—1260                | 583—1900             | 158—1100                                |
| 100—250              | 20—4100               | 25—254                                  | 8—1600                 | 5—710                | 15—800                                  |
| 565                  | 140                   | 450                                     | 950                    | 430                  | 2400                                    |
| 900 × 280 ×<br>× 550 | 1000 × 150 ×<br>× 275 | 1050 × 225 ×<br>× 450                   | 1100 × 415 ×<br>× 450  | 762 × 235 ×<br>× 573 | 1010 × 200 ×<br>× 340                   |
| 160                  | 30                    | 295                                     | 430                    | 160                  | 210                                     |
| 57                   | 60                    | 134                                     | 153                    | 107                  | 75                                      |
| 0,12                 | 0,07                  | 0,4                                     | 0,6                    | 0,25                 | 0,5                                     |
| 0,08                 | 0,24                  | 0,1                                     | 0,4                    | 0,26                 | 0,4                                     |
| —                    | 0,06                  | 0,1                                     | 0,14                   | 0,03                 | 0,07                                    |
| —                    | 20                    | 25                                      | 50                     | 35                   | 35                                      |
| 10                   | 15                    | 30                                      | 20                     | 10                   | 8                                       |
| 0,8*                 | 0,94*                 | 0,65                                    | 0,68                   | 0,55                 | 0,66                                    |
| 0,61**               | 0,72**                |                                         |                        |                      |                                         |
| 4,0                  | 12,0                  | 5,0                                     | 6,5                    | 4,7                  | 5,2                                     |
| —                    | 3200                  | 2700                                    | 7200                   | 7400                 | 9260                                    |
|                      | 400—610               | 220                                     | 380                    | 170—330              | 260—530                                 |
| 101                  |                       |                                         | 165                    |                      | 154                                     |

2) получение необходимых скоростей резания и подач, а также удобство их регулировки для полного использования возможностей инструментов;

3) достаточную жесткость для работы на оптимальных режимах с предельными нагрузками;

4) стабильность подач как в течение одного рабочего хода, так и в течение смены;

5) высокую точность переключения инструментов с быстрого подвода на рабочую подачу и точность реверса, при этом для уменьшения цикловых потерь скорости холостых ходов головки должны быть не менее 6—8 м/мин;

6) невысокую стоимость их изготовления, а также простоту и низкую стоимость эксплуатации.

Рассмотрим наиболее важные параметры головок с плоскокулачковым, винтовыми, пневмогидравлическим и гидравлическим приводом, приведенные в табл. IV.15. Одним из таких параметров является усилие механизма подач. Получение максимального осевого усилия и максимальной полезной мощности головки при минимальных ее габаритах имеет очень большое значение для увеличения степени концентрации операций. Наибольшие усилия обеспечивают гидравлические головки. Следовательно, при одинаковых габаритных размерах с головками других типов на гидравлических головках могут быть установлены электродвигатели наибольшей мощности для полного использования осевого усилия. Поэтому гидравлические головки позволяют осуществить наиболее высокую степень концентрации операций.

У пневмогидравлических головок величина осевого усилия ограничивается низким давлением воздуха в сети (4—5 кг/см<sup>2</sup>). Средние значения усилий для этих головок 500—600 кг (см. табл. IV.15). Расчеты показали, что установка на таких головках электродвигателей мощностью свыше 2,0—3,0 квт (для сверления) нецелесообразна, так как мощность их не может быть использована полностью.

Однако если у гидравлических и пневмогидравлических головок величина усилия механизма подач при обработке является достаточно стабильной, то у винтовых головок, например, она изменяется в широких пределах (рис. IV.16, а, б).

Известно, что у механических головок величина усилия определяется настройкой предохранительных муфт и стабильностью их работы. Исследования позволили установить, что у винтовой головки «Рено», например, при неизменной настройке муфты усилие изменяется в широких пределах (в 1,5 ÷ 2,0 раза при неизменных условиях работы — рис. IV.16, а). Кроме того, статические моменты трения предохранительной муфты и тормоза, служащего для остановки узла в конце быстрого подвода, часто близки по величине. В этих случаях начинает проскальзывать тормоз, а не муфта. Это приводит к быстрому износу тормоза.

Большой разброс усилий головки весьма нежелателен. При определении технологических возможностей головки должен приниматься нижний предел усилий, а при расчете деталей на прочность — верх-



ний. Это заставляет выполнять обработку деталей при значительно меньших нагрузках, чем те, на которые рассчитана конструкция.

Резание с усилиями, соответствующими среднему или максимальному усилию механизма подач, может в ряде случаев привести к нарушению процесса обработки (рис. IV.16, б). Непостоянство усилий механизма подач значительно снижает также точность работы головки по мертвому упору. Из-за различных отжатий упора возникает погрешность остановки головки  $0,015 \div 0,020$  мм.

Габаритные размеры винтовых головок превышают размеры гидравлических головок. Следует отметить, например, что проектирование винтовых сверлильных головок по схеме «Рено» с мощностью

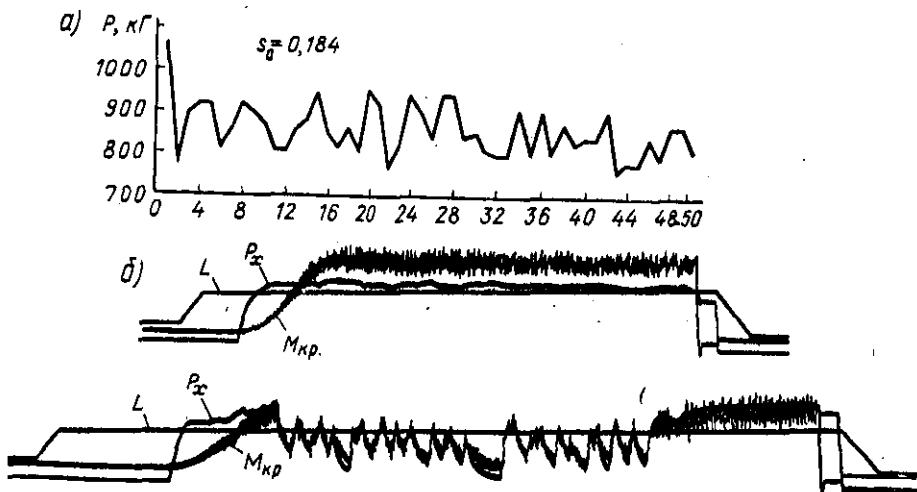


Рис. IV.16. Нестабильность усилия механизма подач при работе винтовой головки:

а — изменение усилия механизма подач за 50 замеров; б — осциллограммы работы головки при одинаковых усилиях резания и разных усилиях механизма подачи:  $L$  — общее перемещение головки;  $P_x$  — осевое усилие резания;  $M_{кр}$  — крутящий момент на сверле.

главного электродвигателя меньше 4,5 кВт вряд ли целесообразно, так как при этом не используют ее возможность по осевому усилию. Например, на головке «Рено» (наименьший типоразмер) устанавливают электродвигатели мощностью 0,73—1,85 кВт, а для полного использования осевого усилия необходима мощность 2,8—4,5 кВт.

Плоскокулачковые головки по силовым и мощностным показателям наименее эффективны.

Высказанные положения подтверждаются расчетами технологических характеристик силовых головок [7].

Важным технологическим фактором, характеризующим качество силовых узлов, является стабильность величин рабочих подач как в течение цикла работы, так и в течение более длительного времени (например, смены). Изменение подач при работе узлов не только вызывает изменение производительности оборудования, но и отрицательно сказывается на стойкости инструментов, чистоте обрабатываемой поверхности.

Неравномерность подачи в течение цикла может иметь место у узлов с различными типами приводов. У кулачковых и винтовых головок подачи могут изменяться в момент врезания и выхода инструментов за счет недостаточной осевой жесткости механизма подачи. На рис. IV.17, а показана осциллограмма, снятая при сверлении отверстия  $\varnothing 16$  мм плоскокулачковой головкой СКБ АС. Как видно, при быстром уменьшении осевой силы  $P_x$  резания в момент выхода сверла

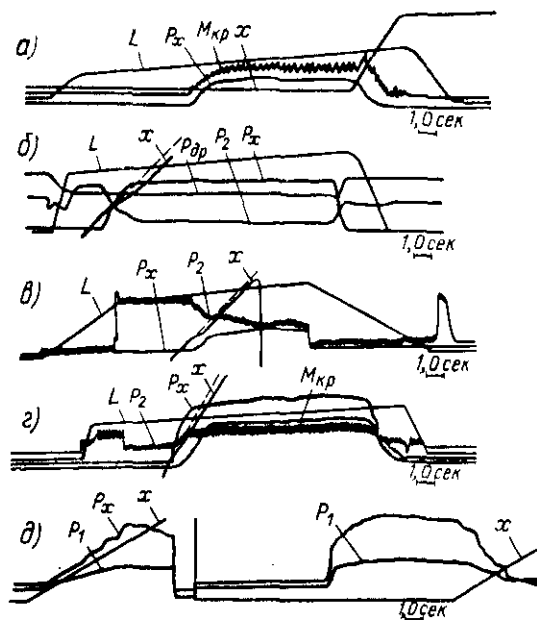


Рис. IV.17. Осциллограммы стабильности подач при работе головок различных типов:

$x$  — перемещение головки в момент врезания или выхода инструментов;  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_{др}$  — давление масла в напорной сливной полостях цилиндра и перед дросселем (остальные обозначения те же, что и на рис. IV. 16)

нагрузок. При дросселировании масла на выходе из цилиндра у гидравлических головок после перемещения клапана в новое положение подача восстанавливается до первоначального значения (рис. IV.17, в). Для головки с дросселированием масла на входе (рис. IV.17, г) величина подачи при резании несколько уменьшается. Замеры относительного падения подач у головки, спроектированной по такой схеме, показали, что после перехода сливного клапана в новое положение подачи уменьшаются в среднем от 10 до 20% (см. табл. IV.15). У головок с регулируемым насосом при резком изменении нагрузки подачи не изменяются (рис. IV.17, д).

Изменение подач за длительный период работы наблюдалось только у гидравлических головок. Оно было вызвано уменьшением вязкости

подача на короткий промежуток времени резко увеличивается. В это же время датчик крутящего момента отмечает скачок  $M_{кр}$ . Малая жесткость механизма подачи ограничивает применение головок с плоскокулачковым приводом для усилий, больших 400—600 кг.

Подача у пневмогидравлических и гидравлических головок с насосами постоянной производительности может изменяться из-за увеличения утечек с возрастанием нагрузки, инерционности редукционного или сливного клапана, сжимаемости масла. У пневмогидравлических головок в ряде случаев имеет место уменьшение подачи (рис. IV. 17, б) вследствие недостаточного давления воздуха в цилиндре, необходимого для преодоления усилия резания, силы трения и других

масла в связи с его нагревом и увеличением расхода через дроссель (см. табл. IV.15 \*).

На рис. IV.18, а, б показаны графики, характеризующие нагрев масла в гидросистемах головок с дроссельным и объемным регулированием скорости по мере их работы, а также относительное увеличение подач с ростом температуры масла. Эксперименты производились при одинаковых режимах работы головок: наименьший нагрев имеет место у головки с регулируемым насосом, так как здесь нет бесполезного слива масла в бак при рабочей подаче. Однако дроссели с эксцентричной проточкой у головки данной конструкции оказались весьма чувствительными к изменению температуры масла, их целесообразно заменить на щелевые дроссели, реагирующие на изменение температуры и вязкости масла в меньшей степени.

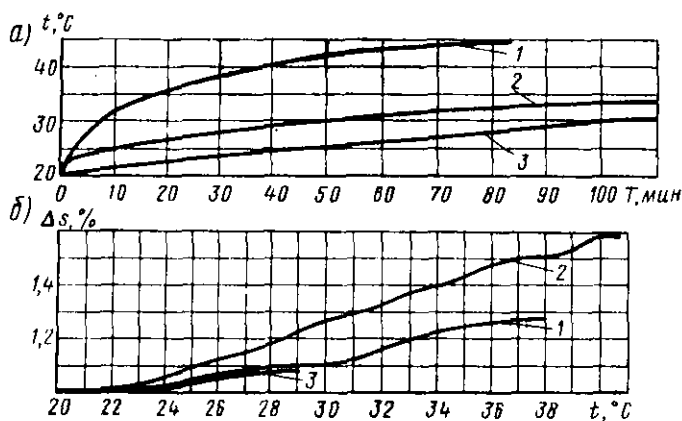


Рис. IV.18. Нагрев масла в гидросистеме головок (а) и относительное увеличение рабочих подач (б)

Следует отметить, что нагрев головок оказывает влияние не только на стабильность рабочих подач, но и на точность обработки. Так, у гидравлической головки с дросселем на выходе нагрев масла вызывал деформацию корпуса, в котором закреплен жесткий упор. Это привело к смещению положения останова головки на упоре на  $0,04 \div 0,08$  мм. Аналогичное смещение упора за счет нагрева направляющих имело место и у винтовой головки «Рено». После 150—200 циклов работы головки погрешность останова ее на упоре доходила до 0,01 мм.

Важным фактором с точки зрения увеличения производительности полуавтоматов являются скорости холостых ходов инструментов силовых головок. Наиболее низкую скорость холостых ходов имеют плоскокулачковые ( $0,5\text{—}2,5$  м/мин, табл. IV. 15), причем время холостых ходов составляет, как отмечалось ранее, более 30% от цикла их работы. У этих же головок очень велики потери на врезание и выход инструментов. Они составляют около 15% времени цикла и вызваны тем, что

\* У пневмогидравлических головок масло нагревается на  $3\text{—}8$  °С за смену, что практически не сказывается на величине подачи.

невозможно регулировать длину рабочего хода инструментов, так как ее определяет профиль кулака и всегда выбирают с запасом.

У пневмогидравлических и винтовых головок с отдельным двигателем для быстрых перемещений скорости холостых ходов более высокие, чем у плоскокулачковых (см. табл. IV. 15). Однако наличие второго электродвигателя увеличивает вес, габариты головок и усложняет электрическую схему станка.

Наибольшую скорость холостых ходов при высокой скорости переключения и реверса инструментов обеспечивают гидравлические головки. Однако у всех гидравлических головок с насосами постоянной производительности вследствие бесполезного слива большого количества масла в бак наблюдается значительный нагрев масла. Насос переменной производительности обеспечивает наибольшую скорость холостых ходов головок и наименьший нагрев масла в системе.

Известный интерес представляет сравнение жесткости исследованных головок, особенно радиальной. Существует мнение, что головки с подвижной пинолью имеют очень низкую жесткость по сравнению с головками с подвижным корпусом. Измерение радиальной жесткости головок показало, что существенно отличается лишь жесткость подвижных пинолей и подвижных корпусов. Жесткость же пинольной головки в целом иногда бывает выше жесткости головок с подвижным корпусом. Низкая жесткость шпинделей последних делает бесполезной высокую жесткость подвижного корпуса головок. Так, радиальная жесткость гидравлической головки (с подвижным корпусом) составляет  $370 \text{ кг/мм}$ , а головки с подвижной пинолью —  $600 \text{ кг/мм}$ .

Из головок с подвижным корпусом высокую радиальную жесткость имеет головка «Рено». Суммарная жесткость ее в 4,7 раза превышает жесткость головки с подвижным корпусом, а жесткость ее корпуса (при нагружении шпинделя) — в 3,6 раза. Высокую жесткость головки «Рено» обеспечивают рациональная конструкция шпинделя и точно подогнанные направляющие салазок и подвижного корпуса.

Среди головок пинольного типа наиболее высокой радиальной жесткостью обладает головка «Эксцелло». Наименьшую радиальную жесткость имеют плоскокулачковые головки СКБ АС.

Если на радиальную жесткость основное влияние оказывает конституция головок, в частности конструкция шпинделя, то на осевую жесткость помимо конструктивных особенностей влияет еще и тип привода подач. Исследования показали, что при измерениях в исходном положении головок наибольшую осевую жесткость имеют гидравлические головки (например, головки Мос СКБ), так как у них наименьшее количество звеньев между приводом подач и шпинделем \*. Жесткость головок с винтовым механизмом подач в 1,6—2,0 раза ниже осевой жесткости гидравлических головок из-за малой жесткости пары винт — гайка. Наиболее низкую осевую жесткость имеют плоскокулачковые головки.

---

\* Сравнительно низкая осевая жесткость гидравлической головки «Натко» объясняется очень низкой жесткостью шпинделя.

Существенное влияние на выбор типа привода и конструктивной схемы головок оказывает надежность их работы. Сопоставление надежности работы кулачковых и гидравлических головок показало, что оба типа головок работают надежно и вероятность простоев станков из-за неполадок с головками примерно одинакова. По пневмогидравлическим головкам в настоящее время нет цифровых данных, характеризующих их работоспособность. Однако сведения, собранные НИИТракторосельмашем, на ряде заводов показывают, что эти головки выходят из строя реже, чем плоскокулачковые. Винтовые головки обладают примерно такой же надежностью, как и гидравлические.

Из энергетических параметров узлов следует в первую очередь остановиться на суммарных затратах энергии при выполнении одинаковой работы узлами с различными приводами подачи, а также на затратах энергии на привод подачи.

В табл. IV.16 приведены графики мощности, потребляемой головками различных типов при сверлении отверстий с усилием  $P_x = 500$  кг. Показано изменение давления  $p$  в напорной полости цилиндра и производительности насоса  $Q$  за цикл (для гидравлических головок). В правой части таблицы приведены формулы для подсчета суммарной мощности  $N$  и к. п. д. головок, по которым рассчитывались данные табл. IV. 15.

При одинаковой технологической нагрузке наименьшую мощность потребляет электродвигатель пневмогидравлической головки, так как он служит только для вращения инструментов. Однако необходимо учитывать, что для привода подачи у этих головок используют сжатый воздух, получение которого связано с большими затратами энергии. Поэтому к. п. д. пневмогидравлического привода подачи (с учетом затрат энергии на получение сжатого воздуха) обычно равен 0,2—0,4. Несмотря на то, что энергия, расходуемая на подачу, составляет лишь 5—10% от общих затрат, разность в стоимости энергии для пневмогидравлических и гидравлических головок довольно существенна. По данным расчетов, перерасход энергии для цеха, где работает 100 пневмогидравлических головок, будет стоить 426 руб. в год.

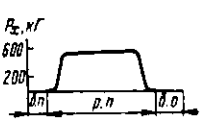
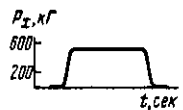
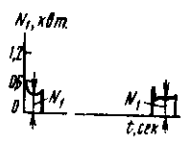
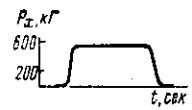
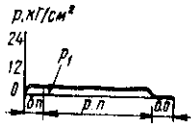
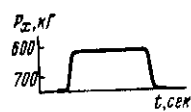
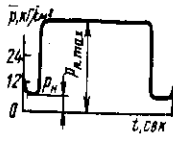
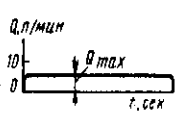
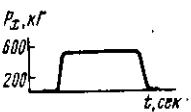
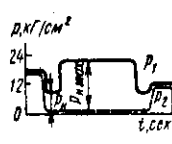
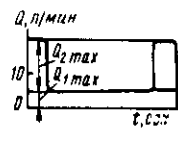
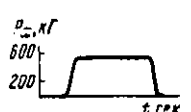
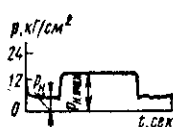
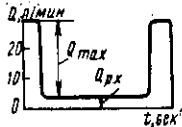
Затраты энергии на подачу у плоскокулачковых и винтовых головок примерно одинаковы. Однако у винтовых головок с двумя электродвигателями общий к. п. д. будет значительно ниже, чем у кулачковых.

Из гидравлических головок наиболее экономичной является головка с регулируемым насосом. Применение регулируемого насоса позволяет автоматически установить давление и производительность, необходимые в каждом конкретном случае.

Головка с дросселированием масла на выходе самая неэкономичная, так как во время рабочей подачи насос работает с максимальной производительностью и максимальным давлением.

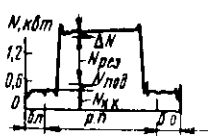
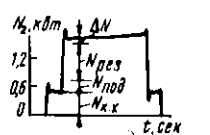
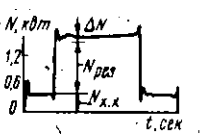
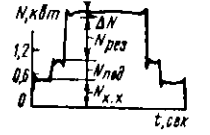
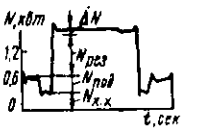
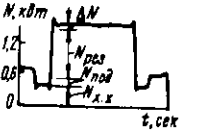
Сравнение стоимости энергии, затрачиваемой на подачу, (см. табл. IV.15) также показывает, что гидравлические головки с регулируемым насосом являются наиболее экономичными.

Из табл. IV.15 также видно, что самыми дешевыми в изготовлении являются кулачковая головка СКБ АС и пневмогидравлическая головка

| Тип привода подачи        |                                                 | $P_x, P, Q$                                                                       |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |
|---------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Плоско-<br>кулачковый     |                                                 |  |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |
|                           |                                                 |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |
|                           |                                                 |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |
| Винтовой                  |                                                 |  |                                                                                     |    |                                                                                     |
|                           |                                                 |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |
|                           |                                                 |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |
| Пневмогид-<br>равлический |                                                 |  |    |                                                                                     |                                                                                     |
|                           |                                                 |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |
|                           |                                                 |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |
| Гидравлический            | с дросселированием                              | на выходе                                                                         |    |    |    |
|                           | с дросселированием                              | на входе                                                                          |  |   |   |
|                           | с насосом переменной<br>производи-<br>тельности |                                                                                   |  |  |  |

Примечание:  $p.n$  — рабочая подача;  $b.n$  — быстрый подвод;  $b.o$  — бы площади поршня напорной и сливной полостей;  $p_n$  и  $p_{n, max}$  — давления насоса  $N_1$  и  $N_2$  — мощности соответственно резания, подачи, холостого хода, на потери максимальная производительность сдвоенного насоса;  $Q_{p.x}$  — производительность механический.

ности за цикл работы головки

| и $N$                                                                              | Мощность, потребляемая электродвигателем, $\text{квт}$                                                                  | К. п. д.                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | $N = N_{х.х} + N_{под} + N_{рез} + \Delta N$ $N_{под} = \frac{P_x S_o}{102 \eta_{м.п}}$                                 | $\eta = \left( 1 - \frac{N_{х.х} + N_{под}}{N} \right) \eta_p$                                                        |
|    | $N_2 = N_{х.х} + N_{под} + N_{рез} + \Delta N$ $N_{под} = \frac{P_x S_o}{102 \eta_{м.п}}$                               | $\eta = \left( 1 - \frac{N_{х.х} + N_{под}}{N_1 + N_2} \right) \eta_p$                                                |
|    | $N = N_{х.х} + N_{рез} + \Delta N$                                                                                      | $\eta_{м.в} = \left( 1 - \frac{N_{х.х}}{N} \right) \eta_p$ $\eta_{м.п} = \frac{(p_{2\max} - p_{2\min}) F_2}{p_1 F_1}$ |
|    | $N = N_{х.х} + N_{под} + N_{рез} + \Delta N$ $N_{под} = \frac{(p_{н. \max} - p_{н.}) Q_{1\max}}{612 \eta_o \eta_{мех}}$ | $\eta = \left( 1 - \frac{N_{х.х} + N_{под}}{N} \right) \times \eta_p$                                                 |
|  | $N = N_{х.х} + N_{под} + N_{рез} + \Delta N$ $N_{под} = \frac{(p_{н. \max} - p_{н.}) Q_{1\max}}{612 \eta_o \eta_{мех}}$ | $\eta = \left( 1 - \frac{N_{х.х} + N_{под}}{N} \right) \eta_p$                                                        |
|  | $N = N_{х.х} + N_{под} + N_{рез} + \Delta N$ $N_{под} = \frac{(p_{н. \max} - p_{н.}) Q_{р.х}}{612 \eta_o \eta_{мех}}$   | $\eta = \left( 1 - \frac{N_{х.х} + N_{под}}{N} \right) \eta_p$                                                        |

стрый отвод;  $p_1$  и  $p_2$  — давления в напорной и сливной полостях;  $F_1$  и  $F_2$  — при работе головки вхолостую и максимальной нагрузке;  $N_{рез}$ ,  $N_{под}$ ,  $N_{х.х}$ ,  $\Delta N$ , от нагрузки, главного и вспомогательного электродвигателей;  $Q_{1\max}$  и  $Q_{2\max}$  — регулируемого насоса при рабочем ходе;  $\eta_o$  и  $\eta_{мех}$  — к.п.д. насоса объемный и

ПГСГ-18. Головка ГС-2 НИАТ на 26% дороже головки ПГСГ-18 за счет более сложной конструкции. Стоимость гидравлических и винтовых головок с электроаппаратурой примерно одинакова. Из гидравлических головок головка с двумя насосами (низкого и высокого давления) стоит несколько дороже, чем головка с регулируемым насосом.

При сопоставлении стоимости головок следует иметь в виду, что более дорогая гидравлическая головка в два с лишним раза превосходит плоскокулачковую и пневмогидравлическую головки по силовым и мощностным показателям. Если сравнивать гидравлические головки с пневмогидравлическими одинаковой мощности ( $\approx 3,0 \text{ квт}$ ), то гидравлическая оказывается всего лишь на 1—30% дороже пневмогидравлической. Для еще более высоких мощностей гидравлическая головка обходится дешевле пневмогидравлической.

Сравнение технологических характеристик, конструкций головок, их энергетических и экономических параметров позволяет сделать некоторые выводы о целесообразности применения того или иного типа привода подач при выборе силовых головок агрегатных станков и автоматических линий.

Исследования и расчеты показывают, что при одинаковых размерах силовых головок наибольшие усилия обеспечивают гидравлические головки (см. табл. IV.15). Следовательно, на гидравлических головках могут быть установлены электродвигатели большей мощности для полного использования осевого усилия. Гидравлические головки обеспечивают более высокую интенсивность обработки (производительность). Поэтому гидравлические головки позволяют осуществить большую степень концентрации операций. С другой стороны, при одинаковых осевых усилиях гидравлический привод дает возможность спроектировать головку с наименьшими габаритными размерами.

По целому ряду параметров (см. табл. IV.15) с гидравлическими головками могут конкурировать головки с винтовыми механизмами подач. Однако при средних и малых мощностях электродвигателей винтовые головки имеют значительно большие размеры, чем гидравлические.

Винтовые головки обеспечивают значительно меньшую точность переключения инструментов на рабочую подачу и точность реверса, чем гидравлические (см. табл. IV.15). Это фактически увеличивает потери времени на холостой ход инструментов на 2—15% (при длительности цикла работы головок 15—25 сек).

Ввиду того что стоимость гидравлических и винтовых головок примерно одинакова и гидравлические головки по эксплуатационным данным имеют целый ряд преимуществ по сравнению с винтовыми (см. табл. IV.15), в большинстве случаев целесообразно применять узлы с гидравлическими приводами подач. Схемы с регулируемыми насосами позволяют значительно уменьшить нагрев масла в гидросистеме, обеспечивают высокую стабильность подач в течение цикла, требуют наименьших затрат энергии на привод подач.

При выборе типа привода подач малых силовых головок целесообразно также рассматривать кулачковые и пневмогидравлические механизмы.



Анализ экспериментальных данных (см. табл. IV.15) показывает, что головки с плоскокулачковым приводом подач по большинству параметров менее эффективны, чем пневмогидравлические. Из-за больших потерь времени на холостой ход (25—33 % времени цикла) станки и линии из плоскокулачковых головок обеспечивают меньшую производительность, чем оборудование с головками других типов. Кроме того, плоскокулачковые головки имеют малую длину хода инструментов, не позволяют изменять цикл обработки, что создает большие трудности при переналадке станков. При усилиях механизма подач 400—600 кг вес пневмогидравлических головок в 1,5 раза меньше, чем плоскокулачковых, соответственно меньше и габаритные размеры.

Наиболее существенным возражением против пневмогидравлического привода подач является его низкий к. п. д. Однако если сравнить пневмогидравлические головки с плоскокулачковыми по затратам энергии за цикл работы, то последние не будут эффективнее, так как значительное время холостых ходов у этих головок приводит к снижению удельного веса полезных затрат энергии в общих затратах за цикл. С другой стороны, дальнейшее совершенствование пневмогидравлического привода (уменьшение потерь энергии на дросселирование масла, потерь на трение, повышение к. п. д. пневмоустановок) создает возможности для самого широкого применения пневмогидравлики при создании малых силовых головок (мощностью 0,6 + 2,0 квт).

#### **Транспортные устройства автоматических линий**

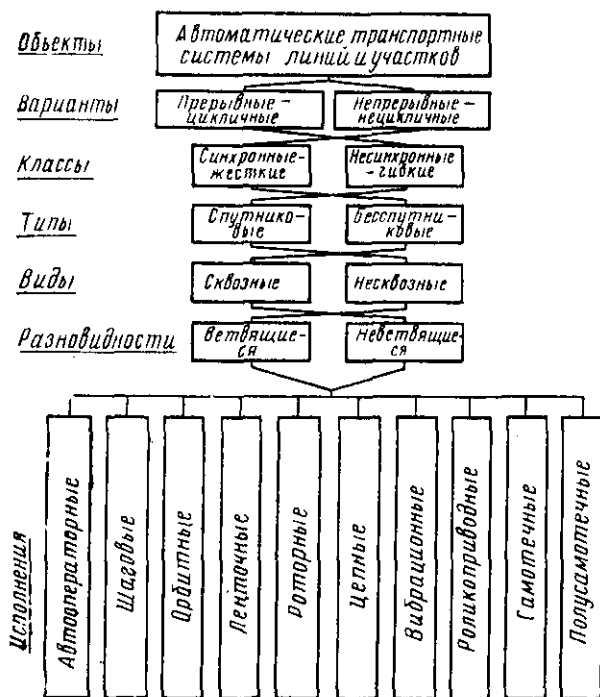
Транспортные устройства предназначены для передачи обрабатываемых деталей с одной позиции линии на другую и являются наряду с силовыми головками важнейшими механизмами автоматических линий. Степень совершенства конструкции транспортных устройств определяет не только надежность и производительность линий, но и точность обработки деталей на ней.

Конструкция и принцип работы транспортного устройства зависят от типа и размера обрабатываемой детали, а также характера протекания технологического процесса ее обработки. В свою очередь выбранная конструкция транспортных устройств существенно влияет на компоновку автоматической линии.

Так же как и автоматические линии, транспортные устройства по принципу работы подразделяют на две различные группы (табл. IV.17): циклического и непрерывного действия. Транспортёры первого типа являются преобладающими и получили широкое применение в линиях механосборочного производства различных типов. Транспортёры непрерывного действия используют в линиях для химико-термической обработки деталей, окраски, мойки, сушки деталей, а также в роторных автоматических линиях.

Транспорт линий циклического действия в свою очередь можно подразделить на две подгруппы: транспортные системы линий с жесткой связью и транспортные системы линий с гибкой связью.

## Классификация транспортных систем автоматических линий и участков



На рис. IV.19, а—е показаны схемы транспортных устройств, применяемых на участках линий с жесткой связью между станками \*. Эту группу механизмов называют шаговыми транспортерами, так как они осуществляют шаговое перемещение каждой детали на следующую позицию.

Наиболее широко в автоматических линиях применяются шаговые штанговые транспортеры с подпружиненными собачками (см. рис. IV.19, а). От специального гидравлического, пневматического или электромеханического привода штанга 1 получает возвратно-поступательное перемещение, причем скорость движения штанги с деталями 2 меньше, чем скорость возврата штанги в исходное положение. При движении вперед собачки 3 захватывают детали и транспортируют их на соответствующие позиции. С целью исключения проскакивания деталей положения их фиксации скорость штанги в конце хода замедляется при помощи тормозных золотников гидропривода или механизмов с соответствующими законами движения ведомого звена. При возврате штанги в исходное положение подпружиненные собачки

\* Классификация разработана в ЭНИМСе.

проходят под деталями, которые в этот момент зафиксированы и зажаты в приспособлениях.

Гидрокинематическая схема приводов шаговых транспортеров показана на рис. IV.20. Здесь масло от насоса попеременно в цилиндра 3. В конце каждого рабочего хода упор 2 торможения воздействует на тормозной золотник 1, который, перекрывая поток масла, подаваемого в бесштоковую полость цилиндра, обеспечивает заданный закон движения штанги 4 с собачками 5.

Привод первой модификации обеспечивает тяговое усилие на каретке  $1000 \div 2000$  кг при перемещении ее на  $400 \div 1000$  мм. Привод второй модификации имеет усилие  $320 \div 2100$  кг и ход  $500 \div 1600$  мм.

Преимуществом шагового штангового транспортера с собачками является простота конструкции, недостатком — сложность обеспечения точных перемещений деталей особенно при больших перемещаемых массах и повышенных скоростях перемещения.

В процессе движения транспортера на заготовку действуют силы: веса  $G$ , инерции  $R_{ин} = (Ga)/g$  и трения  $R_{тр} = f_{тр}G$ , а также движущая сила  $R$  (где  $a$  — отрицательное ускорение заготовок;  $f_{тр}$  — коэффициент трения скольжения между заготовкой и направляющими планками;  $g$  — ускорение силы тяжести).

Уравнение сил, действующих на заготовку,

$$R - R_{тр} = R_{ин},$$

или

$$R - f_{тр}G = (Ga)/g.$$

При  $a \geq -f_{тр}g$  сила  $R$  уменьшится до нуля.

Для предотвращения отрыва заготовок от собачек и точной остановки их в конечном положении перед фиксацией на рабочей позиции

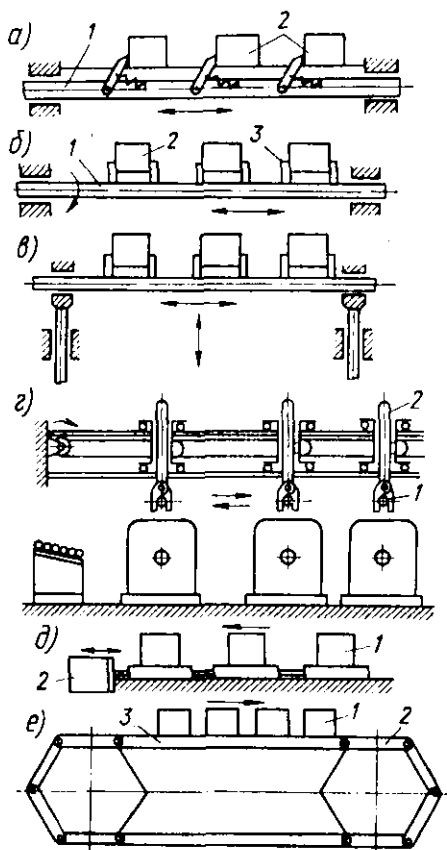


Рис. IV.19. Схемы транспортных устройств линий с жесткой связью

тормозное устройство должно ограничить величину отрицательного ускорения значением, не превышающим  $f_{тр}g$ .

Расчеты \* показали, что при  $f_{тр} = 0,1 \div 0,3$  ускорение  $a$  не должно превышать  $1 \div 3 \text{ м/сек}^2$ .

Допустимую скорость подвода транспортера к упору 6 [см. рис. IV.20] рассчитывают следующим образом: после остановки транспортера на упоре заготовки, отрываясь от собачек, движутся на участке  $\Delta x$  до момента, когда их кинетическая энергия не израсходуется на преодоление силы трения. Таким образом,

$$\frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{2} = R_{тр} \Delta x = f_{тр} G \Delta x,$$

откуда

$$\Delta x = v^2 / (2f_{тр}g).$$

Учитывая, что фиксация деталей или спутников на линии осуществляется фиксаторами, имеющими конусную заходную часть, можно допустить величину несовпадения осей заготовок и осей фиксаторов  $\Delta x = 0,5 \text{ мм}$ . При  $f_{тр} = 0,1 \div 0,3 \text{ мм}$  скорость подвода транспортера к упору не должна превышать  $2 \div 3 \text{ м/мин}$ .

Штанговые транспортеры с флажками (рис. IV.19, б) обеспечивают более высокие скорости перемещения деталей. Здесь

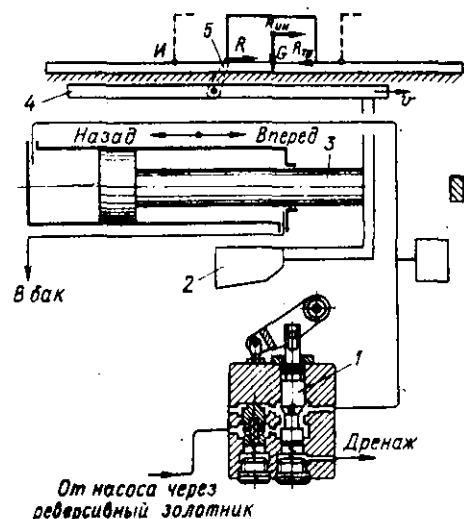


Рис. IV.20. Гидрокинематическая схема привода шаговых транспортеров

точность положения детали 2 на рабочих позициях определяется в основном допуском зазора между деталью и флажками 3. Вследствие этого транспортеры с флажками допускают и большую скорость перемещения деталей. Обычно штанги в транспортерах этого типа имеют цилиндрическую форму и опираются на несколько пар роликов. Возвратно-вращательное движение флажков 3 вокруг оси штанги 1 обеспечивает специальный реечно-шестеренный механизм.

Если для перемещения от позиции к позиции вначале необходимо детали поднять, применяют рейферные шаговые транспортеры (рис. IV.19, в). В этом случае транспортер совершает два возвратно-поступательных перемещения: в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Конструкция такого транспортного устройства более сложна, чем рассмотренных ранее, вследствие этого область применения его ограничена.

Еще более сложным вариантом транспортного устройства с возвратно-поступательным перемещением детали в двух взаимно-пер-

\* Б р о н Л. С. [и др.]. Конструкции и наладка автоматических линий и специальных станков. М., «Высшая школа», 1969.

пендикулярных плоскостях является транспортер с рейнерами (рис. IV.19, г). С помощью рейнеров компонуют автоматические линии с верхним транспортом. В зону обработки подаются захваты 1 рейнера 2, которые захватывают деталь, поднимают ее над станком. Затем весь рейнер перемещается на соседнюю рабочую позицию, а захваты вновь опускаются для загрузки деталью следующего станка линии. Несмотря на упрощение компоновки линий и некоторую экономию

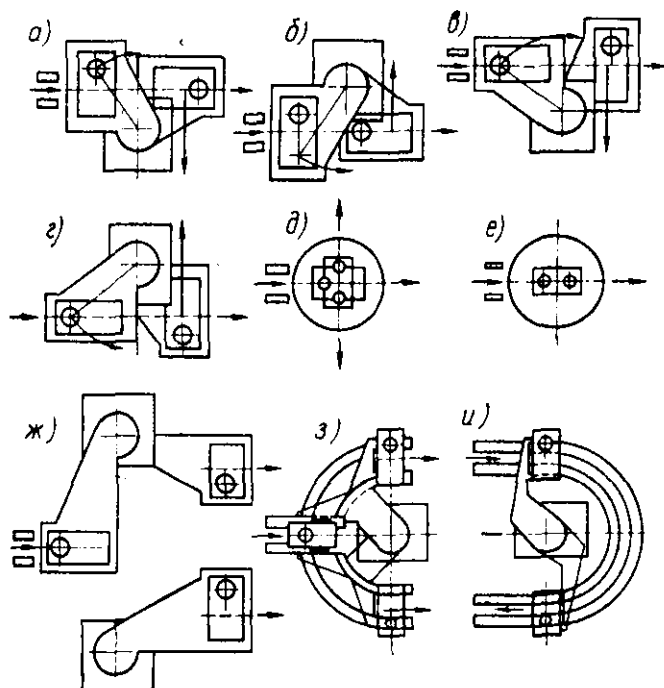


Рис. IV.21. Схемы поворотов и распределений детали на потоки в линиях с гибкой и жестко-гибкой связью:

а, б, в, г — поворотные устройства с плитой; д, е — поворотные столы с планшайбой; ж — поворотные устройства для разделения потока деталей на два; з, и — варианты устройств для разделения и объединения потока деталей

производственной площади, рейнеры не получили широкого применения вследствие сложности и недостаточной надежности их конструкции.

Разновидностью шаговых транспортеров является толкающий транспортер (рис. IV.19, д), у которого обрабатываемые детали 1 перемещает шток 3 пневмо- или гидроцилиндра 2. Так как величина линейного перемещения деталей в этом случае различна, одновременная их фиксация не может производиться, вследствие этого резко увеличивается длительность цикла обработки.

В отдельных случаях в качестве шаговых применяют цепные транспортеры (рис. IV.19, е). Детали 1 получают перемещение от собак

за счет возвратно-поступательного движения цепи 2. Однако такая конструкция не обеспечивает точного базирования деталей, вследствие чего цепные транспортеры значительно чаще используют как транспортеры непрерывного действия.

Транспорт автоматических линий с гибкой и жестко-гибкой связью состоит из транспортных систем участков или отдельных станков, работающих самостоятельно и частично во время работы станков, а также из устройств, поворачивающих детали в различных плоскостях, передающих их в бункера или магазины-накопители, разделяющих детали на потоки и объединяющих несколько потоков в один. Система транспортных устройств с гибкой связью, как указывалось ранее,

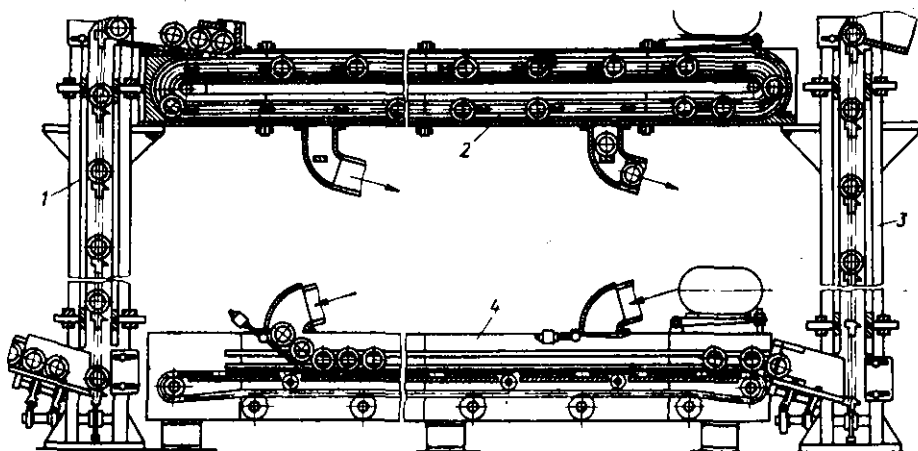


Рис. IV.22. Схема транспортного устройства линий с гибкой связью для обработки деталей типа колец

позволяет при остановке одного станка или участка линии работать остальным.

На рис. IV.21, а — з показаны схемы поворотов деталей и схемы распределений деталей на несколько потоков с одновременным их поворотом. Устройства, выполненные по приведенным схемам, наиболее часто сочетаются с шаговыми транспортерами различных типов. Такого рода транспортные устройства используют при компоновке линий циклического действия для обработки крупных и средних деталей, главным образом корпусных. В линиях с гибкой связью для обработки небольших и мелких деталей часто используют цепные транспортеры, элеваторные устройства и транспортеры конвейерного типа. Эти устройства можно также использовать и в линиях непрерывного действия.

Типовая транспортная система автоматических линий с гибкой связью между станками показана на рис. IV.22. Она состоит из унифицированных узлов и обеспечивает как автоматическое распределение деталей между параллельно работающими станками, так и передачу их с предыдущей операции на последующую. Подъемник 1 при-

нимает детали от соседнего участка автоматической линии и передает их распределительному транспортеру 2. Последний предназначен для питания группы параллельно работающих станков и одновременно является накопителем. После обработки детали попадают на отводящий транспортер 4, служащий для сбора и передачи их к подъемнику 3. Далее детали вновь попадают на транспортер-распределитель соседнего участка, где выполняется определенная технологическая операция.

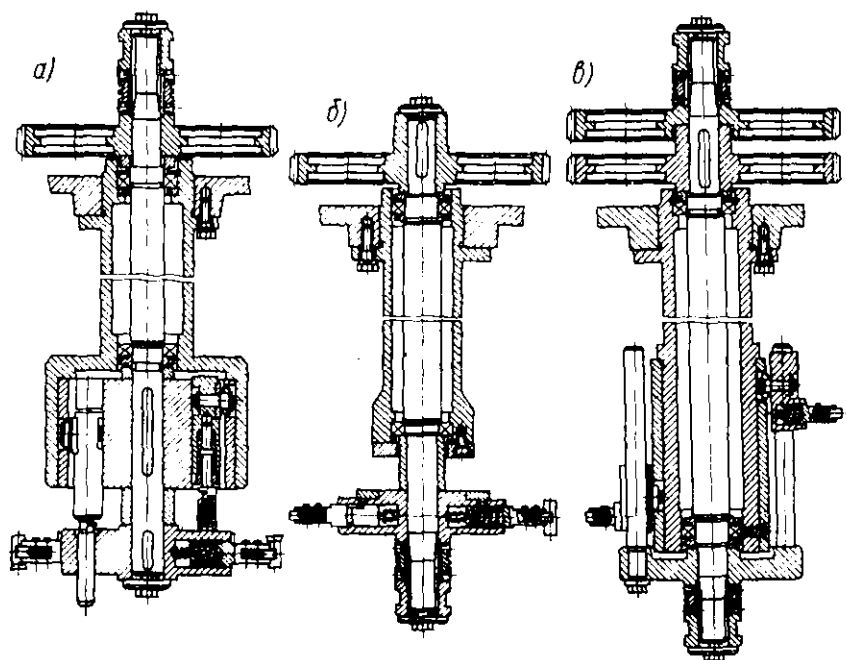


Рис. IV.23. Конструкции типовых транспортных роторов:

*а* — обеспечивающий только передачу детали; *б* — передающий деталь и поворачивающий ее вокруг горизонтальной оси, *в* — передающий деталь с изменением уровня ее приема и выдачи

Специфическим видом транспортных устройств линий непрерывного действия являются транспортные роторы автоматических линий роторного типа. Типовая единичная группа роторной линии, состоящая из рабочего и двух транспортных роторов, показана на рис. IV.34. Как видно, все три ротора кинематически жестко связаны между собой, причем скорость транспортного движения зависит от радиусов и угловой скорости транспортных роторов. Скорость транспортного перемещения инструментальных блоков рабочего ротора зависит от заданного технологического режима обработки, т. е. от скоростей резания, штамповки, запрессовки, сборки и т. д.

Конструкции транспортных роторов автоматических линий показаны на рис. IV.23, *а*, *б*, *в*.

Помимо силовых узлов и транспортных устройств весьма важным механизмами автоматических линий являются приспособления для зажима и фиксации деталей. Выбор правильного метода базирования деталей и закрепление их с требуемым усилием зажима обеспечивают точность обработки и надежность работы линии. Применение быстродействующих зажимных и фиксирующих механизмов позволяет существенно сократить вспомогательное время и повысить производительность линии.

В зависимости от конструкции обрабатываемой детали и способа компоновки линии приспособления подразделяют на две группы: неподвижные (стационарные) и перемещаемые вместе с деталью, т. е. приспособления-спутники. В стационарных приспособлениях закрепляют как детали, которые являются неподвижными в процессе обработки, так и детали, получающие при обработке поступательное или вращательное движение. Стационарные приспособления используют на одном из станков линии и обычно для него проектируют. Эти приспособления на двух соседних станках линии могут иметь конструктивные отличия. Приспособления-спутники используют на всех позициях автоматической линии участка линии, конструкции их строго одинаковы.

Для корпусных деталей в качестве базовых поверхностей считают плоскость и два отверстия. Детали зажимают сверху, в ряде случаев поджимают снизу. Верхнее расположение зажимного устройства несколько упрощает конструкцию приспособления, его обслуживание. Однако поджим детали к планкам, по которым она скользит при перемещении от позиции к позиции и которые изнашиваются вследствие этого, приводит с течением времени к постепенному опусканию детали и нарушению точности обработки. Кроме того, попадание стружки на направляющие может привести к погрешности базирования детали. В случае верхнего зажима усилие зажима воспринимает вся деталь, что может привести к деформации при недостаточной ее жесткости. Этих недостатков лишена схема базирования детали, при которой закрепление ее осуществляется с поджимом к верхней плоскости. Здесь поверхности, к которым поджимаются детали или спутник, всегда остаются чистыми, износ их практически отсутствует, а нагрузки от зажимных усилий не деформируют деталь.

В стационарных приспособлениях как фиксация, так и зажим детали в большинстве случаев осуществляется от гидравлических или пневматических механизмов, что обеспечивает постоянство силы зажима независимо от колебания припусков на обработку. При этом на каждом станке в начале каждого цикла осуществляется фиксация и закрепление очередной детали. В приспособлениях-спутниках детали закрепляют один раз, обычно это выполняют с помощью механических систем, усилие зажима создают электромеханическим ключом.



### § IV.3. Вспомогательные механизмы автоматических линий

#### Агрегаты накопления и выдачи деталей

Устройства для накопления и выдачи деталей широко применяются в автоматических линиях.

Конструкции накопителей зависят от формы и размеров обрабатываемых деталей, а также принципа работы и компоновочных особенностей линии.

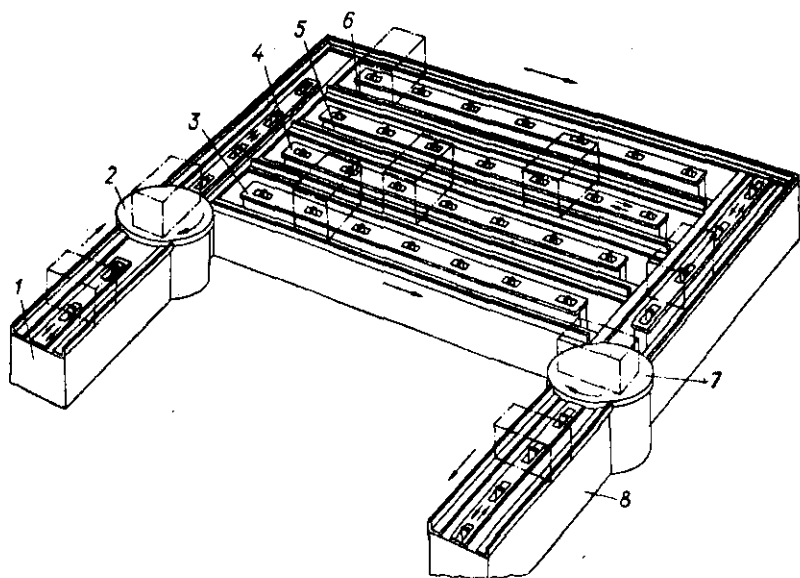


Рис. IV.24. Магазин-накопитель

Для создания заделов на линиях для обработки корпусных деталей широкое применение получили накопители транзитного и тупикового типов, выполненные как обычные шаговые транспортеры. Скорость перемещения такого транспортера-накопителя в несколько раз выше скорости транспортера, передающего детали от позиции к позиции. Схемы автоматических линий с подобными магазинами-накопителями показаны на рис. IV.2.

Для накопления и выдачи деталей типа тел вращения находят применение бункерные и магазинные устройства различных типов. Причем в последних детали перемещаются без потери ориентации.

На рис. IV.24 показан магазин для корпусных деталей, у которого транспортеры 1, 3 и 8 служат для перемещения деталей при работе обоих участков линии, а транспортеры 4, 5 и 6 — для накопления или выдачи деталей при остановке одного из участков. Перед подачей в магазин и после выдачи из него детали устанавливаются в правильное положение с помощью поворотных устройств 2 и 7.

Для накопления и выдачи деталей типа колец и втулок применяют многодисковые магазины (рис. IV.25). Диски 1, 2, 3, 4 представляют собой спиральные лотки, соединенные последовательно. На центральном валу 5 закреплены щеткодержатель 6 со щетками 7 из капроновых нитей. При вращении щетки детали в лотках катятся от периферии к центру диска, затем проваливаются в соединительный лоток и попадают на следующий диск. Качение детали в лотке осуществляется по ребру опорной полосы 8, приваренной к решетчатому основанию 9 диска.

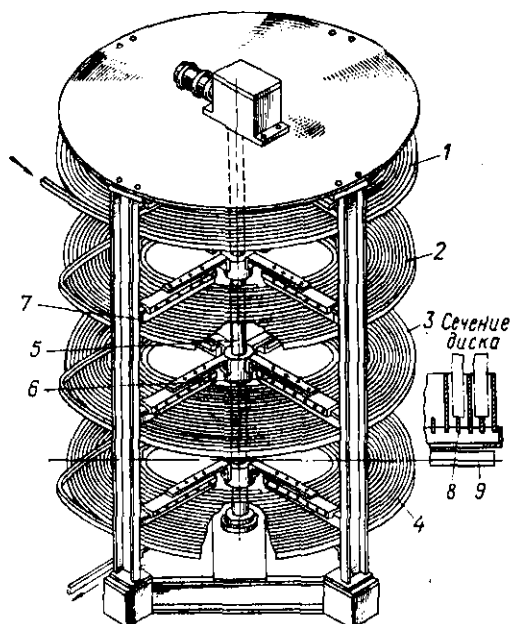


Рис. IV.25. Многодисковый магазин

### Механизмы изменения положения деталей

В автоматических линиях со сложными структурными схемами, а также в прямоточных линиях, предназначенных для обработки деталей с разных сторон, широко применяют различные механизмы для изменения положения деталей. К их числу относят кантователи, предназначенные для поворота транспортируемых деталей вокруг горизонтальной оси, и различные устройства для поворота деталей вокруг вертикальной оси. Ряд таких механизмов нормализован и выпускают их как самодействующие узлы для встраивания в автоматические линии.

На рис. IV.26, а, б показаны гидрокинематическая схема и общий вид кантователя. Кантователи выпускаются двух моделей: с приводом от гидромотора и от гидроцилиндра. Внутренний диаметр барабанов 450 и 800 мм. Ширина барабанов составляет  $300 \div 500$  мм в зависимости от исполнения, а угол поворота детали —  $90 \div 180^\circ$ .

Вращение от гидромотора 6, расположенного в корпусе 7 (рис. IV.26, а) через зубчатые колеса передается барабану 11, с которым жестко связано фиксирующее кольцо 10. В конце поворота ролик фиксатора 8 опускается во впадину, а поршень-золотник 4 с пружиной 2, перемещаемый вместе с фиксатором, уменьшает расход масла, подаваемого

гидромотором 6 и проходящего через отверстия 3 и 5. При этом скорость поворота барабана плавно замедляется. К моменту, когда ролик фиксатора 8 упирается в радиальную стенку 9 впадины, барабан

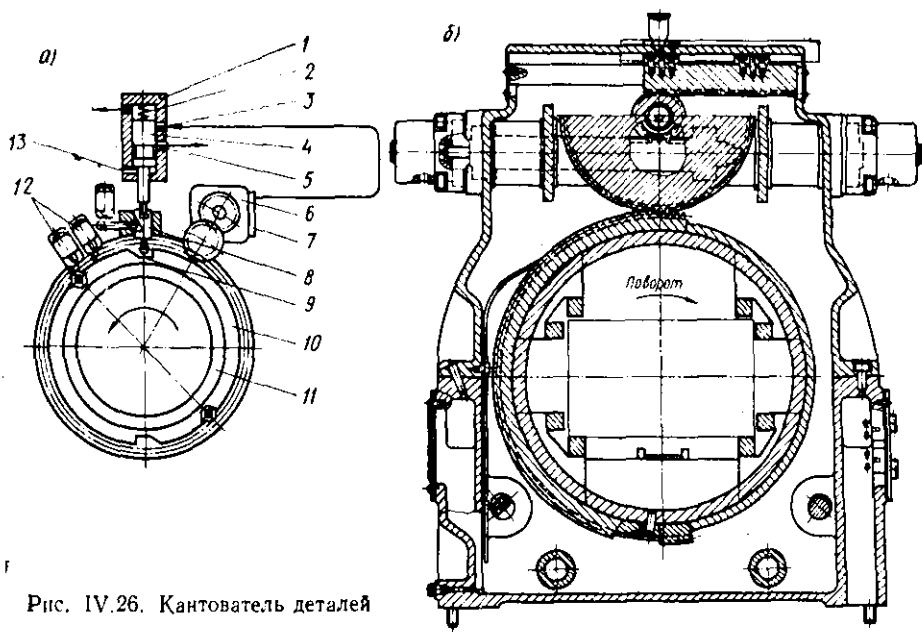


Рис. IV.26. Кантователь деталей

останавливается полностью. Для расфиксации барабана и дальнейшего его поворота масло от насоса подается в отверстие 13 цилиндра 1, которое после начала поворота соединяется с баком. Отверстие 5 цилиндра связано с регулятором скорости. Конечные выключатели 12 управляют циклом работы поворотного устройства. Время поворота барабана на  $90^\circ$  составляет 3 сек, на  $180^\circ$  —  $5 \div 6$  сек.

На рис. IV.26, б дан конструктивный разрез поворотного барабана с приводом от гидроцилиндра.

Для разворота детали вокруг вертикальной оси служат различные поворотные устройства. Варианты разворота деталей в процессе транспортировки предусматривают поворот их на  $90^\circ$  и  $180^\circ$  с дальнейшей их транспортировкой вперед любой необходимой стороной (см. рис. IV.21).

Привод поворотного устройства (рис. IV.27) представляет собой гидроцилиндр 2, перемещение которого преобразуется в возвратно-качательное движение поворотной площадки 1 с помощью реечно-ш-

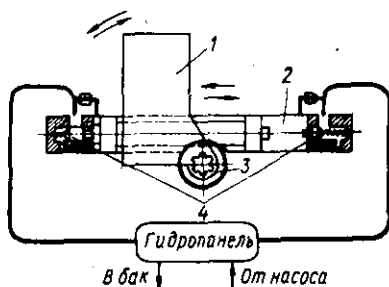


Рис. IV.27. Привод поворотного устройства

стеренного механизма 3. Для плавного торможения площадки в конце каждого хода в гидроцилиндр встроены демпфирующие устройства 4.

Размеры и конфигурация поворотной площадки 1 определяют габариты обрабатываемой детали и схема компоновки автоматической линии.

### Устройства для отвода стружки

Наиболее распространенными типами устройств для отвода стружки на автоматических линиях являются шнековые и скребковые транспортеры. Их устанавливают в траншеях под станками. Транспортеры различной длины собирают из нормализованных элементов.

Шнековые транспортеры выполняют как одно-, так и двухшнековыми, они предназначены для отвода витой и элементарной стальной и алюминиевой стружки при работе с охлаждением или без него. Диаметр шнеков составляет  $100 \div 250$  мм, общая длина 25—50 м для одношнековых и  $40 \div 50$  м для двухшнековых транспортеров. Производительность их существенно зависит от диаметра шнеков и их числа. Так, при числе оборотов шнеков  $n = 10$  об/мин, производительность одношнекового транспортера для витой стружки составляет  $1 \div 9$  м<sup>3</sup>/ч (для  $D = 100 - 250$  мм), производительность двухшнекового транспортера —  $7,5 \div 14$  м<sup>3</sup>/ч (для  $D = 200 - 250$  мм).

Скребковые транспортеры предназначены для отвода элементарной стальной, алюминиевой и чугуновой стружки. При числе оборотов ведущей звездочки  $n = 10$  об/мин и шаге скребков 400 мм производительность транспортера составляет 0,3 м<sup>3</sup>/ч.

## § IV.4. Конструкции автоматических линий

### Автоматические линии из универсальных станков

Линии из универсальных станков получили небольшое применение в машиностроении. Их создают на базе действующих поточных линий из универсального оборудования, они часто появляются в результате автоматизации действующего производства силами самих заводов. Для превращения поточных линий в автоматические заводы оснащают каждый станок автооператором для автоматической загрузки и выгрузки деталей, а станки связывают между собой автоматическим транспортом с применением бункеров и магазинов-накопителей различных типов в случае необходимости.

Достоинством такой автоматизации являются сравнительная ее простота и низкая стоимость, а также небольшие сроки проектирования и внедрения. В этом случае проектировать и изготовлять приходится лишь устройства автоматической загрузки деталей и транспортные механизмы.

Благодаря тому что линию создают на базе действующего, проверенного в работе оборудования, обеспечивается ее высокая надежность. Использование универсальных станков позволяет создавать быстроперенастраиваемые линии или линии для групповой обработки деталей. Это дает возможность применять их в мелкосерийном производстве,

причем групповая обработка резко повышает загрузку линии и делает использование их рентабельным даже при малых годовых выпусках каждой детали в отдельности.

Вследствие этих особенностей применение линий из универсальных станков является одним из эффективных путей автоматизации мелко-серийного производства. Переналадку таких автоматических линий осуществляют вручную.

Если в автоматическую линию включают универсальные станки с программным управлением, то не только обработка и транспортировка деталей, но и изменение режимов резания, смена инструментов, изменение положения детали по отношению к инструментам и ряд других функций выполняются автоматически по командам от перфорированной или магнитной ленты.

Одна из первых автоматических линий с цифровым программным управлением разработана в США станкостроительной фирмой «Керней энд Треккер» для производства деталей для систем автоматического управления самолетами-перехватчиками. Это производство характеризуется большим разнообразием форм деталей, число названий которых достигает 5600. Детали изготовляют такими мелкими сериями, что партия 100 шт. считается крупным заказом. При этом сами конструкции деталей систематически изменяются, за несколько месяцев происходит до 15 тыс. таких изменений. Только чрезвычайно гибкая автоматическая линия могла быть использована для изготовления деталей в этих условиях.

Линия состоит из трех автоматических станков. Первый из них — трехкоординатный фрезерный станок. Конструкция его позволяет изменять взаимное расположение обрабатываемой детали и инструмента в трех направлениях. Второй станок — сверлильный. Он имеет магазин для автоматической замены инструментов. Двадцать различных инструментов — сверл, разверток, зенкеров, цековок, размещенных в магазине, — дают возможность выполнить последовательную обработку необходимого количества поверхностей у различных деталей. На третьей позиции установлен двухшпиндельный расточной станок. Первый шпиндель устроен так, что путем автоматического изменения эксцентриситета могут растачиваться отверстия разных диаметров. Во втором шпинделе обычно устанавливаются концевые фрезы.

Перемещение деталей вдоль автоматической линии осуществляется в приспособлениях-спутниках, имеющих форму плит. К каждой плите могут крепиться различные по форме и размерам детали.

Программирование работы автоматической линии состоит в переносе с обычного чертежа на упрощенную технологическую карту размеров деталей и указаний о последовательности операций. Затем эти данные посредством перфоратора переносят на ленту, и программа готова. Перед началом обработки перфорированную ленту вводят в считывающее устройство, числа, записанные на ленте в десятичной системе, передают в счетно-решающее устройство. Там они преобразуются в информацию, записанную в двоичной системе. Отсюда посылаются команды на перемещение деталей, их установку в рабочем

положении, команды на перемещение инструментов. Информация содержит сведения не только о конечных положениях инструментов, но и о скорости резания и подаче, с которыми должна обрабатываться данная поверхность детали. Программа, записанная на перфоленте, позволяет вести одновременную обработку на линии как одинаковых, так и совершенно не похожих друг на друга деталей.

Линия обрабатывает 100 корпусов коробки скоростей за два-три дня. Раньше на этой работе было занято 22 станка, а время изготовления всей партии составляло около 16 недель. При обработке самых различных деталей годовая экономия от применения этой линии, по данным американской печати, составляет 100 тыс. долларов.

Так как и сама линия, и система управления ее работой построены по принципу агрегатирования, то линию можно удлинять или перестраивать, а также использовать каждый станок для самостоятельной, независимой от других станков работы, или вовсе отключать на необходимый промежуток времени.

В СССР спроектированы ЭНИМСом и изготовлены заводом «Станкоконструкция» автоматизированные участки из станков с программным управлением для обработки корпусных деталей и деталей типа валов. Ряд станков имеет механизмы автоматической замены инструментов, работой участков управляют ЭВМ.

#### **Автоматические линии из агрегатных станков**

Линии из агрегатных станков получили очень широкое применение в машиностроении, главным образом в крупносерийном и массовом производстве. Они предназначены для обработки деталей различных размеров и форм. Получив применение в первоначальный период своего развития для изготовления главным образом корпусных деталей, линии из агрегатных станков в настоящее время применяются для деталей типа валов, рычагов, дисков, полых цилиндров, различных деталей сложной формы крупных, средних и мелких размеров. В отличие от линий из универсальных станков линии из агрегатных станков создают по принципу высокой концентрации операций.

Рассмотрим более подробно преимущества агрегатирования станков и линий:

1. Обеспечивается возможность создания оборудования по наиболее выгодному технологическому процессу. Когда намечается применение агрегатных станков, сначала разрабатывают наиболее выгодный процесс обработки детали, а затем по этому процессу в короткие сроки собирают станки из готовых узлов. Здесь нет необходимости подгонять технологический процесс под возможности универсальных или специализированных станков.

2. Создается многократная обратимость конструкций станков, т. е. обеспечивается возможность многократного использования одних и тех же узлов для создания станков различных конструкций. Это обеспечивает быстрое переоборудование производства и способствует совершенствованию конструкций машин, детали которых обрабатывают на агрегатных станках.

3. Постоянно совершенствуется само оборудование, так как надо переделывать не весь станок, а лишь тот узел, который устарел. Например, заменив старые силовые головки у агрегатного станка новыми, можно использовать прежний стол, станину, кронштейн и т. д., создавая новую, более совершенную компоновку станка и увеличивая его производительность.

4. Создаются благоприятные условия для узлового ремонта станков. Вышедший из строя узел можно быстро заменить новым, полученным со склада, а после пуска станка заниматься ремонтом неисправного узла.

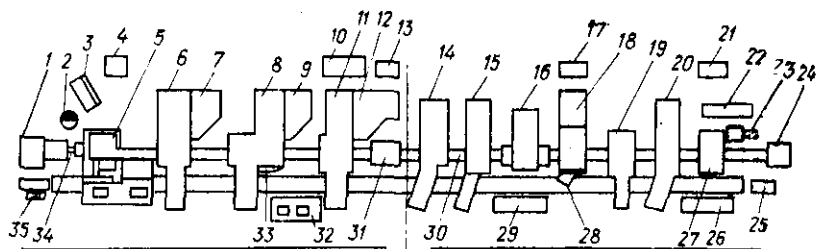


Рис. IV.28. Планировка автоматической линии для обработки картера зубчатых колес:

1 — механизм подъема спутников; 2 — место рабочего оператора; 3 — пульт управления; 4 — шкаф для инструмента; 5, 6, 8, 11, 14, 15, 19, 20 — станки; 7, 9, 12, 18, 22, 26, 29, 32 — гидростанции; 10, 21 — шкафы для электроаппаратуры; 13, 17 — командоаппараты; 16 — вытряхиватель; 23 — привод транспортера стружки; 24 — механизм опускания спутников; 25 — транспортер возврата спутников; 27 — контрольно-измерительный автомат; 28 — контрольное приспособление; 30 — транспортер деталей участка II; 31 — поворотный стол; 33 — контрольное приспособление; 34 — транспортер деталей участка I; 35 — привод транспортера возврата спутников

5. Обеспечивается возможность выполнения самых различных операций механической обработки деталей, а также сборки, сварки, штамповки, контроля и других операций на одном станке.

6. Обеспечивается высокая производительность агрегатного оборудования благодаря возможности одновременной обработки одной или нескольких деталей большим количеством инструментов (высокая концентрация операций).

7. Повышается надежность работы оборудования с использованием метода агрегатирования, так как станки и автоматические линии создаются из проверенных в работе узлов-блоков, предварительно изготовленных и тщательно испытанных.

8. Резко повышается серийность изготовления агрегатных узлов вследствие возможности создания станков различного назначения из одинаковых узлов и деталей, что позволяет применять высокопроизводительное оборудование при их производстве и значительно снижает стоимость изготовления станков и автоматических линий.

Вследствие перечисленных преимуществ агрегатный метод начинают применять не только при проектировании металлорежущих станков, но и прессов, сварочных и литейных машин, сборочных автоматов. В станкостроении же принцип агрегатирования стал ведущим

направлением при создании самых разнообразных автоматизированных станков и автоматических линий.

В качестве примера рассмотрим конструкцию автоматической линии для обработки картера шестерен, изготовленную на заводе им.

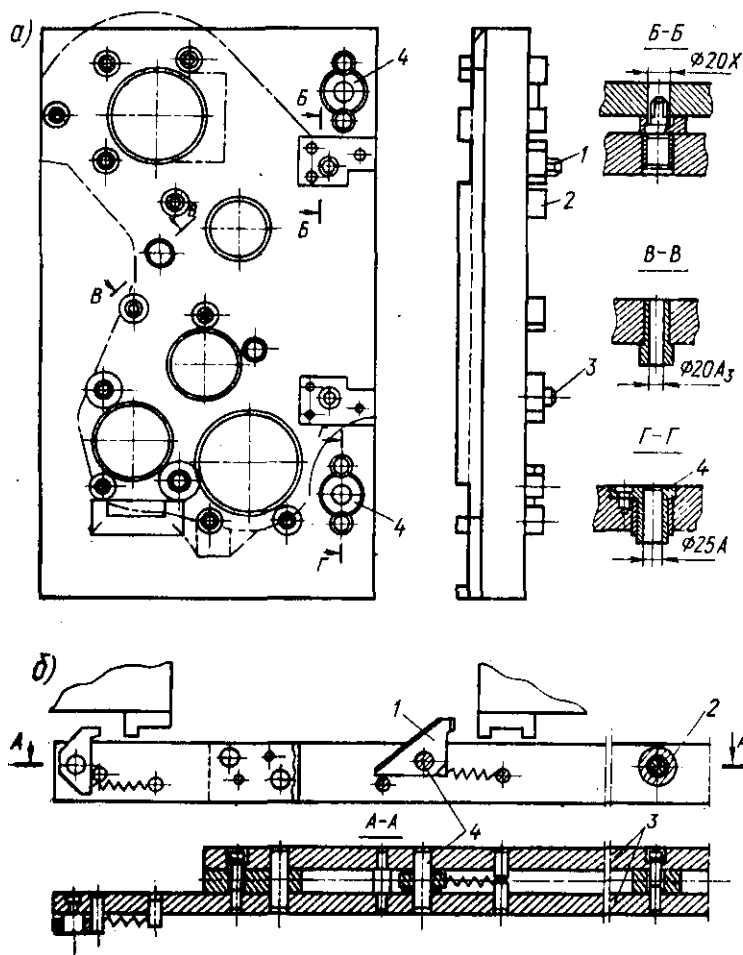


Рис. IV.29. Общий вид спутника для закрепления детали и устройство транспортера для перемещения спутников

Орджоникидзе. Линия состоит из восьми агрегатных станков и ряда узлов и механизмов для перемещения деталей от станка к станку, фиксации и зажима их, контроля, удаления стружки и других операций. Схема расположения оборудования показана на рис. IV.28.

Обрабатываемая деталь является отливкой из серого чугуна марки СЧ 15—32, весит 9 кг, имеет форму плоской крышки неправильного контура, габаритные размеры ее 603 × 406 × 35 мм. В



заготовке необходимо просверлить, расточить и развернуть ряд отверстий, фрезеровать небольшие площадки, подрезать фланцы, цековать бабышки и нарезать резьбу. Перечень переходов, выполняемых на каждом станке линии и режимы обработки приведены в табл. IV.18.

В связи с тем что форма детали является неудобной для непосредственного перемещения ее от станка к станку, транспортировка происходит в специальных приспособлениях-спутниках (рис. IV.29, а). Спутник имеет форму прямоугольной плиты с направляющими пазами. Деталь базируется по плоскости и двум отверстиям на штыри 1 и 3 и платики 2. Спутник в приспособлениях станков фиксируют отверстия 4.

Для перемещения спутников с деталями служит штанговый транспортер (рис. IV.29, б), получающий возвратно-поступательное движение от гидроцилиндра, захват и перемещение спутников происходят с помощью храповых собачек 1, сидящих на осях 4 между продольными планками 3 штанги. При обратном ходе штанги собачки 1 проскальзывают под спутниками, поворачиваясь в исходное положение. В качестве опоры при перемещении штанги служат ролики 2.

В связи с тем что деталь необходимо обработать в горизонтальной плоскости с четырех сторон, а также сверху, на линии установлен стол для поворота детали на  $90^\circ$  в горизонтальной плоскости, а сама линия разделена на два участка. Вертикальные отверстия обрабатываются вертикальными головками как первого, так и второго участков.

Планшайба поворотного стола получает два движения от гидроцилиндров. Вначале она перемещается вертикально вверх, при этом два штыря планшайбы входят во втулки спутника, находящегося на транспортере, и фиксируют его. После этого происходит поворот планшайбы со спутником на  $90^\circ$ . При опускании планшайбы вниз в исходное положение спутник устанавливается своими пазами на опорные неподвижные планки транспортера, а штыри планшайбы выходят из втулок спутника.

Один из наиболее характерных станков автоматической линии показан на рис. IV.30. Это трехсторонний 7-шпиндельный фрезерно-расточный станок, скомпонованный из двух несамостоятельных головок 1 и 4 и самостоятельной головки, установленной за вертикальной колонной. К головке 1 присоединена шпиндельная коробка 2, к головке 4 — фрезерная насадка 3. В средней части станины 6 установлено приспособление 7 для фиксации и зажима спутников, внутри станины проходит ленточный транспортер 5 для уборки стружки.

Перед нарезанием резьбы стружка удаляется из просверленных отверстий с помощью специального вытряхивателя, который поворачивает деталь со спутником на  $180^\circ$  в вертикальной плоскости и резко встряхивает ее. Затем с помощью щупов проверяется глубина просверленных отверстий. Если какое-либо отверстие из-за поломки инструментов не досверлено до конца, то щуп, упираясь в него, размыкает контакты микропереключателя и станок останавливается.

## Последовательность и режим обработки

| Наименование<br>марка станка                               | Номер стан-<br>ка | Головка                          | Номер<br>отверстий | Наименование<br>операции              | Диаметр<br>обработки,<br>мм | Длина обра-<br>ботки, мм | Время на<br>выход инстру-<br>мента, мин | Скорость<br>резания,<br>м/мин | Число обо-<br>ротов в ми-<br>нуту | Поддача, мм       |          | Машинное<br>время, мин |
|------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|--------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------|----------|------------------------|
|                                                            |                   |                                  |                    |                                       |                             |                          |                                         |                               |                                   | на один<br>оборот | в минуту |                        |
| Горизонтально-фре-<br>зерный станок 1Л69С1                 | 5                 | Фрезерно-<br>горизон-<br>тальная | 35                 | Фрезерова-<br>ние плати-<br>ков       | Диаметр<br>фрезы<br>110     | 40                       | 40                                      | 31                            | 90                                | 1,27              | 114      | 0,7                    |
|                                                            |                   |                                  | 36                 |                                       |                             |                          |                                         |                               |                                   |                   |          |                        |
| Трехсторонний свер-<br>лильно-расточный ста-<br>нок 1Л69С2 | 6                 | Вертикаль-<br>ная                | 28                 | Черновое<br>расточива-<br>ние         | 103                         | 16                       | 19                                      | 32,4                          | 100                               | 0,50              |          |                        |
|                                                            |                   |                                  | 30                 |                                       | 58                          | 10                       | 25                                      | 28                            | 154                               | 0,32              |          |                        |
|                                                            |                   |                                  | 31                 |                                       | 72                          | 10                       | 25                                      | 30                            | 133                               | 0,37              | 50       | 0,7                    |
|                                                            |                   |                                  | 32                 |                                       | 83                          | 10                       | 25                                      | 30                            | 115                               | 0,43              |          |                        |
|                                                            |                   |                                  | 33                 |                                       | 113                         | 10                       | 25                                      | 32                            | 90                                | 0,55              |          |                        |
|                                                            |                   |                                  |                    |                                       |                             |                          |                                         |                               |                                   |                   |          |                        |
| Трехсторонний фре-<br>зерно-расточный ста-<br>нок 1Л69С3   | 8                 | Вертикаль-<br>ная                | 26                 | Сверление                             | 8,5                         | 42,5                     | 5,5                                     | 11,7                          | 435                               | 0,13              | 56,5     | 0,85                   |
|                                                            |                   |                                  | 35                 | Сверление                             | 6,7                         | 25                       | 5                                       | 9,4                           | 445                               | 0,09              | 40,0     | 0,75                   |
|                                                            |                   |                                  | 36                 |                                       | 8                           | 25                       | 5                                       | 11,2                          | 445                               | 0,09              | 40,0     | 0,75                   |
|                                                            |                   |                                  | 28                 | Получисто-<br>вое раста-<br>чивание   | 104,5                       | 16                       | 20                                      | 35                            | 106                               | 0,41              |          |                        |
|                                                            |                   |                                  |                    | Подрезка<br>фланца, рас-<br>тачивание | 170                         | 33                       | 3                                       | 56,5                          | 106                               | 0,41              |          |                        |
|                                                            |                   |                                  | 30                 |                                       | 59,5                        | 10                       | 26                                      | 31,8                          | 170                               | 0,26              | 44,0     | 0,82                   |

| Наименование<br>и марка станка                                                 | Номер стан-<br>ка | Головка             | Номер<br>отверстий | Наименование<br>операции            | Диаметр<br>обработк.,<br>мм | Длина обра-<br>ботки, мм | Брезилине и<br>выход инстру-<br>мента, мм | Скорость ре-<br>зания, м/мин | Число обо-<br>ротов в ми-<br>нуту | Подача, мм        |          | Машинное<br>время, мин |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------|----------|------------------------|
|                                                                                |                   |                     |                    |                                     |                             |                          |                                           |                              |                                   | на один<br>оборот | в минуту |                        |
| Трехсторонний<br>18-шпindelный свер-<br>льно-резьбонарез-<br>ной станок 1Л69С4 | 11                | Вертикаль-<br>ная   | 31                 | Получисто-<br>вое раста-<br>чивание | 73,5                        | 10                       | 26                                        | 32,7                         | 142                               | 0,31              |          |                        |
|                                                                                |                   |                     | 32                 |                                     | 84,5                        | 10                       | 26                                        | 37,5                         | 142                               | 0,31              |          |                        |
|                                                                                |                   |                     | 33                 |                                     | 114,5                       | 10                       | 26                                        | 42                           | 117                               | 0,38              |          |                        |
|                                                                                |                   |                     | 26                 | Сверление                           | 5                           | 36                       | 7                                         | 10,5                         | 675                               | 0,08              | 54       | 0,8                    |
|                                                                                |                   |                     | 1                  | Фрезеро-<br>вание                   | Диаметр<br>фрезы<br>230     | 75                       | 15                                        | 39,4                         | 54,5                              | 2,0               | 120      | 0,75                   |
|                                                                                |                   |                     | 23                 | Сверление                           | 6,7                         | 21                       | 26                                        | 10,8                         | 515                               | 0,11              |          |                        |
|                                                                                |                   |                     | 23                 |                                     | 15                          | 35                       | 12                                        | 12,7                         | 270                               | 0,21              |          |                        |
|                                                                                |                   |                     | 7, 8, 10           |                                     | 8,4                         | 15                       | 32                                        | 11,5                         | 435                               | 0,13              |          |                        |
|                                                                                |                   |                     | 5, 6, 25           |                                     | 11                          | 35                       | 12                                        | 13                           | 376                               | 0,15              |          |                        |
|                                                                                |                   |                     | 14, 18             |                                     | 13                          | 10                       | 37                                        | 13,5                         | 330                               | 0,17              | 56,5     | 0,83                   |
|                                                                                |                   |                     | 27                 |                                     | 10,6                        | 21                       | 26                                        | 12,5                         | 375                               | 0,15              |          |                        |
|                                                                                |                   |                     | 19, 20             |                                     | 8,4                         | 13                       | 34                                        | 11,5                         | 435                               | 0,13              |          |                        |
|                                                                                |                   |                     | 11                 |                                     | 10,1                        | 30                       | 17                                        | 12,7                         | 400                               | 0,14              |          |                        |
|                                                                                |                   | Горизон-<br>тальная | 35,36              | Нарезание<br>резьбы                 | Диаметр<br>резьбы М8        | 15                       | 9                                         | 1,61                         | 64                                | 1,25              | 80       | 0,6                    |
|                                                                                |                   | Угловая             | 26                 |                                     | Диаметр<br>резьбы К1/8      | 11                       | 9                                         | 2,3                          | 71                                | 0,941             | 66,5     | 0,6                    |

| Наименование<br>и марка станка                                            | Номер стан-<br>ка | Головка           | Номер<br>отверстий | Наименование<br>операции    | Диаметр<br>обработки,<br>мм | Длина обра-<br>ботки, мм | Врезание и<br>выход инстру-<br>мента, мм | Скорость ре-<br>зания, м/мин | Число обо-<br>ротов в ми-<br>нуту | Подача, мм        |          | Машинное<br>время, мин |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------|----------|------------------------|
|                                                                           |                   |                   |                    |                             |                             |                          |                                          |                              |                                   | на один<br>оборот | в минуту |                        |
| Двусторонний<br>15-шпиндельный свер-<br>льно-фрезерный ста-<br>нок 1Л69С5 | 14                | Вертикаль-<br>ная | 23                 | Снятие<br>фаски             | 8                           | 1                        | 46                                       | 12,2                         | 485                               | 0,12              |          |                        |
|                                                                           |                   |                   | 1,4                | Сверление                   | 15                          | 35                       | 12                                       | 13,7                         | 290                               | 0,20              |          |                        |
|                                                                           |                   |                   | 24                 |                             | 11                          | 35                       | 12                                       | 13,5                         | 390                               | 0,15              |          |                        |
|                                                                           |                   |                   | 12, 13, 16         |                             | 13                          | 35                       | 12                                       | 14,0                         | 345                               | 0,17              |          |                        |
|                                                                           |                   |                   | 15, 17             |                             | 13                          | 10                       | 37                                       | 14,0                         | 345                               | 0,17              | 58,5     | 0,8                    |
|                                                                           |                   |                   | 9                  |                             | 8,4                         | 15                       | 32                                       | 11,9                         | 450                               | 0,13              |          |                        |
|                                                                           |                   |                   | 21, 22             |                             | 6,7                         | 24                       | 23                                       | 11,3                         | 535                               | 0,11              |          |                        |
|                                                                           |                   |                   | 27                 | Цекование                   | 24                          | 2                        | 45                                       | 21                           | 280                               | 0,21              |          |                        |
|                                                                           |                   |                   | 29                 | Растачива-<br>ние           | 30                          | 10                       | 37                                       | 20,5                         | 215                               | 0,27              |          |                        |
|                                                                           |                   |                   | Платик<br>37,38    | Фрезерова-<br>ние           | Диаметр<br>фрезы 90         | 31                       | 19                                       | 30                           | 106                               | 0,68              | 72       | 0,7                    |
| Двусторонний<br>16-шпиндельный ста-<br>нок 1Л69С6                         | 15                | Вертикаль-<br>ная | 7, 8, 9,<br>10, 11 | Снятие<br>фаски             | 10                          | 1                        | 10                                       | 6,9                          | 220                               | 0,10              |          |                        |
|                                                                           |                   |                   | 27                 |                             | 12                          | 1                        | 10                                       | 8,3                          | 220                               | 0,10              | 22       | 0,5                    |
|                                                                           |                   |                   | 14, 15,<br>17, 18  | Цекова-<br>ние              | 26                          | 1                        | 10                                       | 18,0                         | 220                               | 0,10              |          |                        |
|                                                                           |                   |                   | 21, 22,            | Снятие<br>фаски             | 8                           | 1                        | 10                                       | 5,5                          | 220                               | 0,10              |          |                        |
|                                                                           |                   |                   | 19, 20             |                             | 10                          | 1                        | 10                                       | 6,9                          | 220                               | 0,10              |          |                        |
|                                                                           |                   |                   | 37, 38             | Сверление и<br>снятие фаски | 6,7/8                       | 22                       | 5                                        | 9/10,8                       | 430                               | 0,09              | 38,6     | 0,7                    |

| Наименование<br>и марка станка                                                   | Номер стан-<br>ка | Головка                                  | Номер<br>отверстий | Наименование<br>операции | Диаметр<br>обработки,<br>мм | Длина обра-<br>ботки, мм | Врезание и<br>выход инстру-<br>мента, мм | Скорость ре-<br>зания, м/мин | Число обо-<br>ротов в ми-<br>нуту | Подана, мм        |               | Машинное<br>время, мин |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------|---------------|------------------------|
|                                                                                  |                   |                                          |                    |                          |                             |                          |                                          |                              |                                   | на один<br>оборот | в минуту      |                        |
| Двусторонний<br>12-шпиндельный<br>сверльно-резьбо-<br>нарезной станок<br>1Л69С7  | 19                | Верти-<br>кально-<br>резьбо-<br>нарезная | 21, 22, 23         | Нарезание<br>резьбы      | M8                          | 15                       | 9                                        | 1,37                         | 54,8                              | 1,25              | 68,5          |                        |
|                                                                                  |                   |                                          | 19, 20             |                          | M10                         | 13                       | 35                                       | 2,87                         | 91,4                              | 1,5               | 137           |                        |
|                                                                                  |                   |                                          | 7, 8,<br>9, 10     |                          | M10                         | 15                       | 33                                       | 2,87                         | 91,4                              | 1,5               | 137           | 0,7                    |
|                                                                                  |                   |                                          | 27                 |                          | M12                         | 14                       | 19                                       | 2,84                         | 75,5                              | 1,25              | 94,4          |                        |
|                                                                                  |                   |                                          | 11                 |                          | M12                         | 16                       | 10                                       | 1,6                          | 42,5                              | 1,75              | 74,4          |                        |
|                                                                                  |                   | Горизон-<br>тальная                      | 34                 | Сверление                | 13,8                        | 40                       | 5                                        | 12,85                        | 296                               | 0,19              | 56,5          | 0,8                    |
| Двусторонний<br>10-шпиндельный<br>расточный и<br>резьбонарезной<br>станок 1Л69С8 | 20                | Вертикаль-<br>ная                        | 28                 | Разверты-<br>вание       | 105                         | 13                       | 37                                       | 5,75                         | 17,5                              | 3,43              |               |                        |
|                                                                                  |                   |                                          | 30                 |                          | 60                          | 10                       | 40                                       | 4,0                          | 21,2                              | 2,83              |               |                        |
|                                                                                  |                   |                                          | 31                 |                          | 74                          | 10                       | 40                                       | 4,6                          | 19,8                              | 3,03              | 60            | 0,85                   |
|                                                                                  |                   |                                          | 32                 |                          | 85                          | 10                       | 40                                       | 5,2                          | 19,5                              | 3,08              |               |                        |
|                                                                                  |                   | Фрезерова-<br>ние (защистка)             | 35, 36             |                          | Диаметр<br>фрезы 45         | 35                       | 15                                       | 35,3                         | 250                               | 0,24              |               |                        |
|                                                                                  |                   |                                          | 34<br>37, 38       | Нарезание<br>резьбы      | M16<br>M8                   | 28<br>16                 | 38<br>25                                 | 2,72<br>1,44                 | 54,3<br>57,2                      | 2<br>1,25         | 108,5<br>71,5 | 0,7<br>0,7             |

Для контроля размеров пяти отверстий диаметрами 60А, 74А, 85А<sub>з</sub>, 105А<sub>з</sub> и 115А<sub>з</sub> в линию встроен специальный контрольный автомат (рис. IV.31). Он расположен непосредственно за станком, окончательно обрабатывающим эти отверстия.

Диаметры отверстий контролируют пневматическими пробками 1, вмонтированными в контрольную головку 6, перемещаемую поршнем гидроцилиндра 3. Цилиндр расположен в траверсе 5, на которой установлена сигнальная панель 4 с изображением детали с проверяемыми отверстиями. В каждое отверстие вмонтировано по три лампы: красная

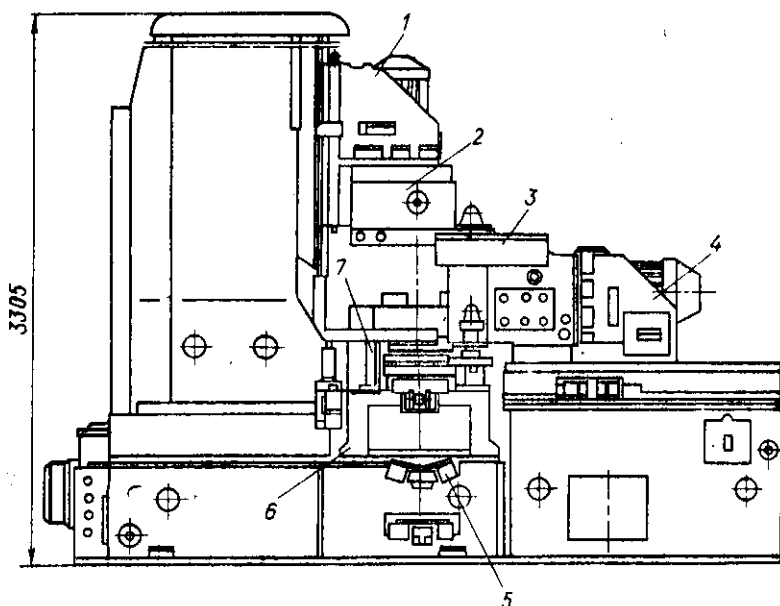


Рис. IV.30. Конструкция одного из агрегатных станков автоматической линии

лампа сигнализирует о браке по верхнему пределу данного отверстия, красная и зеленая — о браке по нижнему пределу. Если горит одна зеленая лампа, поступает сигнал об «условном» браке, т. е. о том, что диаметр отверстия близок к нижнему пределу и необходимо производить подналадку инструментов станка. Молочно-белая лампа свидетельствует о том, что пробка не вошла в проверяемое отверстие. Приспособление 7 для фиксации спутника с деталью установлено между стойками 2, поджим детали осуществляется при движении контрольной головки 6. Точность измерения диаметров на данном автомате составляет  $\pm 0,003$  мм.

После обработки и контроля деталь попадает на механизм опускания спутника, где она снимается со спутника, который передается на транспортер для возврата на первую позицию. Транспортер возврата спутников — цепной, причем во втулочно-роликовых цепях

некоторые звенья заменены пластинками, ведущими спутники по опорным планкам транспортера, привод транспортера осуществляется от электродвигателя через червячный редуктор.

В начале линии установлен механизм подъема спутников, который служит для передачи спутника с транспортера возврата на загрузочную позицию линии.

Вид на упоры  
управления

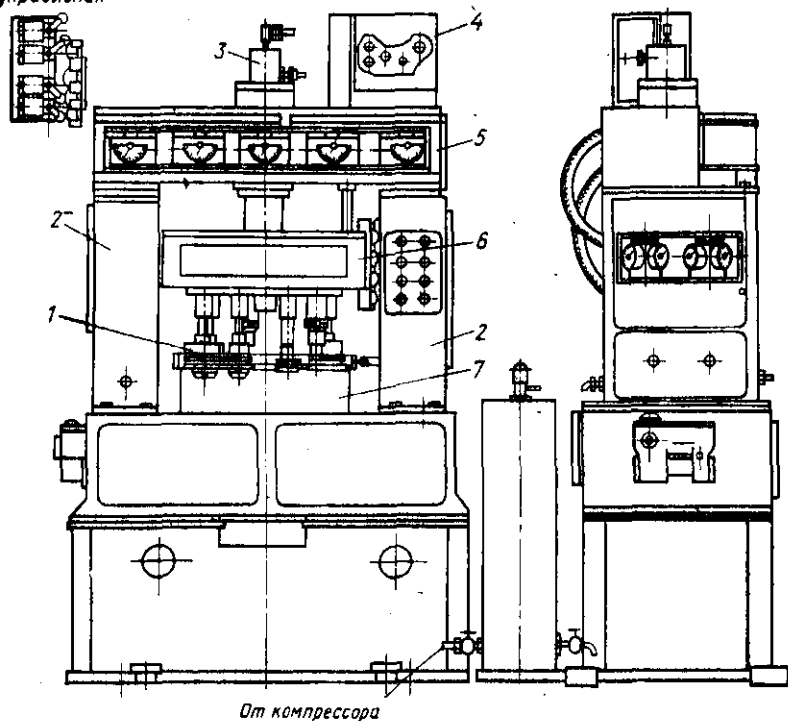


Рис. IV.31. Контрольный автомат, встроенный в линию

Гидравлическая система линии включает приводы силовых головок и семь независимо работающих гидростанций, каждая из которых управляет работой гидроцилиндров нескольких агрегатов на участке линии. Гидростанция транспортера второго участка служит для управления работой цилиндров транспортера, вытряхивателя, механизма подъема и поворота стола, а также цилиндра командоаппарата, ведающего последовательностью работы механизмов линии. В гидростанцию входят панели, гидроцилиндры, золотниковые устройства и другие механизмы, работа которых была подробно рассмотрена при описании гидравлических устройств агрегатных станков.

Табл. IV.19 иллюстрирует циклограмму работы двух участков линии, характеризующую продолжительность выполнения и последо-





Линии из специализированных станков, так же как и линии из агрегатных станков, применяют в крупносерийном и массовом производствах. Они состоят в основном из станков токарной, шлифовальной групп, зубо-, шлицеобрабатывающих и других станков, выпускаемых станкостроением серийно. Такие станки могут работать отдельно в поточных линиях, но конструкции их приспособлены для встраивания в автоматические линии.

Большинство типов этих станков, так же как и агрегатные, предназначены для обработки деталей многими инструментами, иногда на нескольких рабочих позициях. Особенность их заключается в том, что они спроектированы как специализированные, т. е. рассчитаны на обработку нескольких однотипных деталей. Переналадка таких станков на новые детали включает замену инструментов, изменение их положения по отношению к детали, длин рабочих и холостых ходов, режимов обработки, а также (в случае необходимости) переналадку приспособлений для закрепления новых деталей. Если линии такого типа применяют в массовом производстве, то на них ведут обработку одной детали без переналадки.

Область применения линий — детали типа тел вращения с большим объемом токарной, шлифовальной обработки, а также обработки фасонных поверхностей, т. е. тех видов работ, которые не выполняют на агрегатных станках.

В качестве примера на рис. IV.32, а показан общий вид линии, спроектированной ЭНИМСом и изготовленной на заводе «Станкоконструкция» для обработки вала электродвигателя, сборки его с ротором, совместной обработки и балансировки вала-ротора. Рис. IV.32, б иллюстрирует технологический процесс обработки изделия. Линия состоит из фрезерного и центровального автоматов, двух гидрокопировальных станков, двух многокаменных шлифовальных станков, станков для накатки рифлений и фрезерования шпоночного паза, устройства для запрессовки вала в ротор, токарного автомата для обточки вала с ротором в сборе и балансировочного станка. Разгрузка и выгрузка деталей осуществляется автоматически. После операции X в линии установлен магазин для хранения запаса ротаторов.

Производительность линии 250 тыс. изделий в год.

#### **Автоматические линии из специальных станков**

Линии из специальных станков получили применение в массовом производстве при изготовлении деталей, конструкция которых остается стабильной в течение длительного времени. Этим условиям в определенной мере отвечает подшипниковая промышленность, поэтому наибольшее число автоматических линий из специальных станков созданы для изготовления подшипников.

В качестве примера на рис. IV.33 показан общий вид автоматической линии 1-го ГПЗ, скомпонованной из специального оборудования для обработки деталей, контроля, сборки, и упаковки шариковых

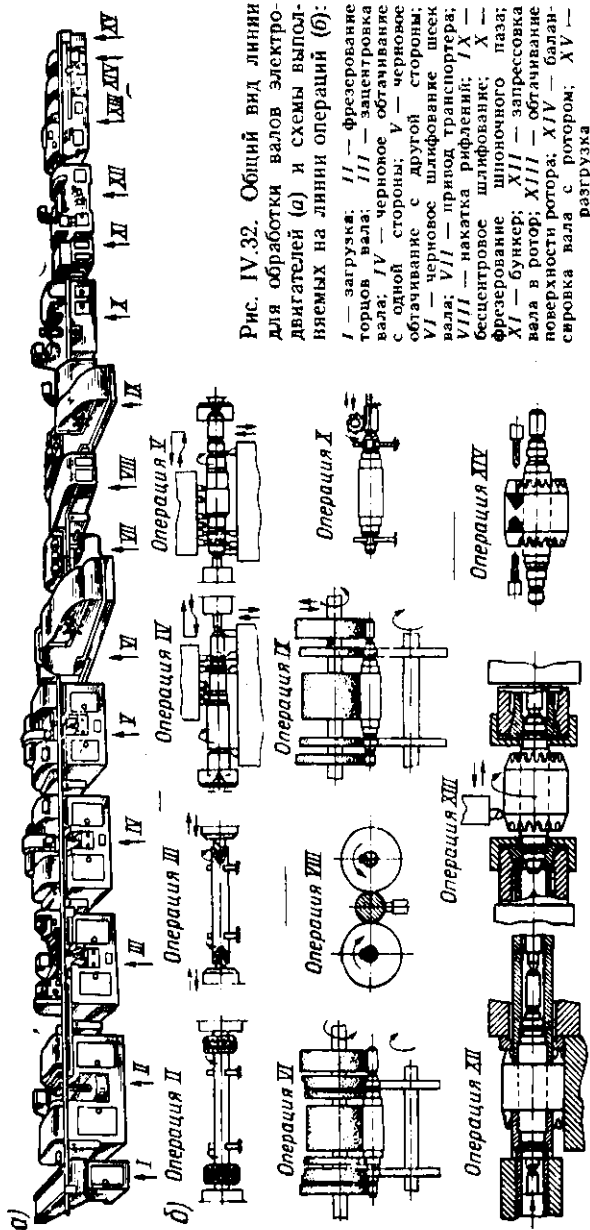
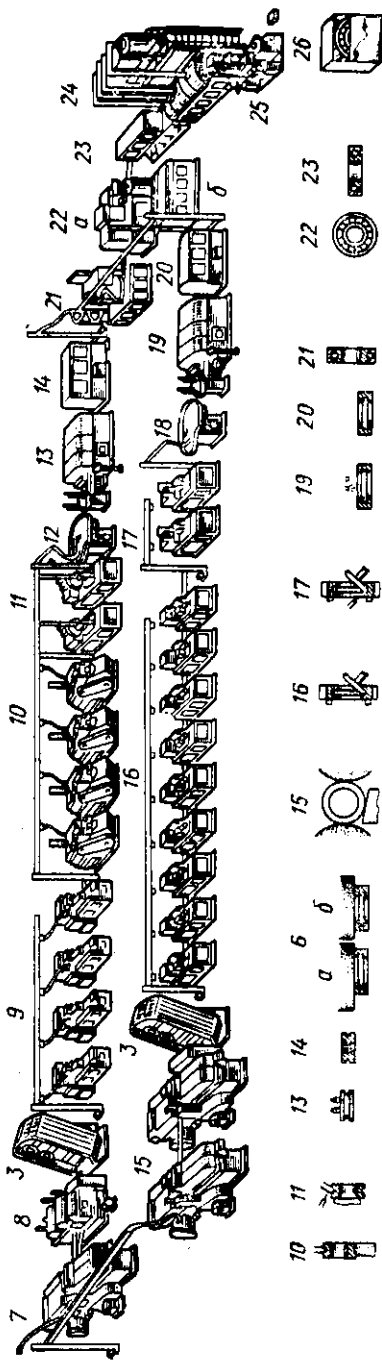
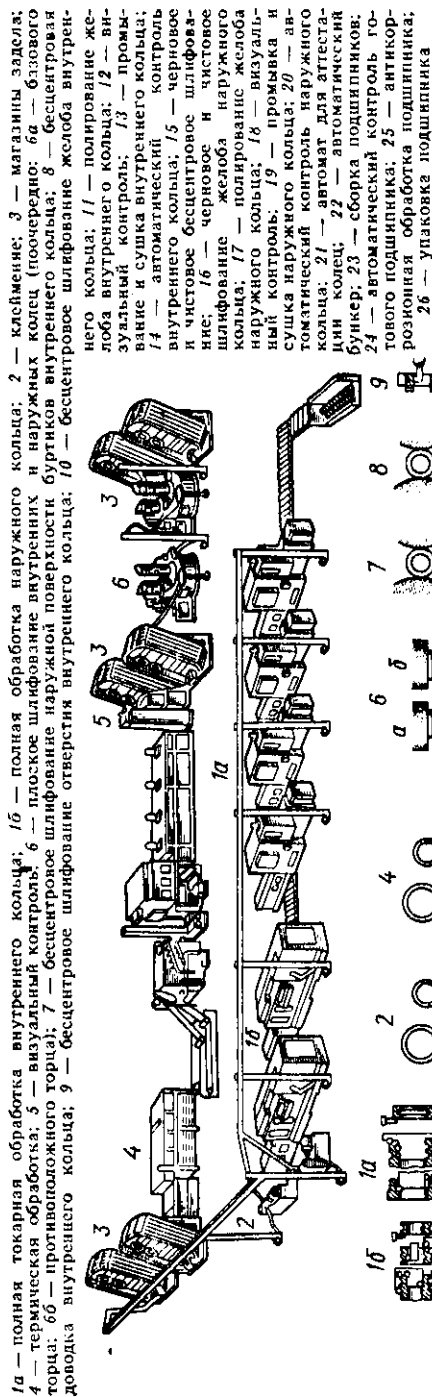


Рис. IV.32. Общий вид линии для обработки валов электродвигателей (а) и схемы выполняемых на линии операций (б):

I — загрузка; II — фрезерование торцов вала; III — зацентровка вала; IV — черновое обтачивание с одной стороны; V — черновое обтачивание с другой стороны; VI — черновое шлифование шеек вала; VII — привод транспортера; VIII — накатка рифлений; IX — бесцентровое шлифование; X — фрезерование шпоночного паза; XI — бункер; XII — запрессовка вала в ротор; XIII — обтачивание поверхности ротора; XIV — балансировка вала с ротором; XV — разгрузка

Рис. IV.33. Автоматическая линия по производству колец шариковых подшипников типа 307К-1.



подшипников типа 307К-1. На линии, состоящей из нескольких самостоятельных участков, производится токарная обработка наружного и внутреннего колец, клеймение и термообработка, шлифование торцов, наружных и внутренних цилиндрических поверхностей колец, желобов и буртов, мойка, сушка и контроль деталей, сборка, антикоррозионная обработка подшипника и его упаковка. Наружные и внутренние кольца подшипника вначале обрабатывают на двух независимых цепочках станков. Между токарным, термическим, шлифовальным и контрольно-сборочным участком встроены магазины для межоперационных заделов.

Применение комплексной автоматизации производства подшипников, несмотря на большие капитальные затраты, позволило улучшить технико-экономические показатели их изготовления, а также повысить качество и надежность изделий, что является весьма важным результатом автоматизации.

### Роторные автоматические линии

Роторные автоматические линии относятся к линиям из специального оборудования, так как они собраны из узлов и механизмов, конструкции которых в большинстве случаев не нормализованы. В последние годы роторные автоматические линии получают все большее применение в различных отраслях промышленности. Имеются примеры применения их и в автотракторостроении (линии для изготовления клапанов). Автоматическая роторная линия — это комплекс двух или более роторных машин, установленных в технологической последовательности на общей станине и объединенных системой транспортировки, привода и управления [9]. В состав роторных линий входят (рис. IV.34) технологические роторы 1, на которых производится обработка, сборка, расфасовка, окраска, термообработка, контроль и другие операции, транспортные роторы (2 для загрузки, передачи и выгрузки объектов обработки), системы обслуживания и управления.

Одной из основных особенностей роторных линий является то, что операции обработки деталей, подвода и отвода инструментов производятся одновременно с перемещением объекта обработки. В связи с тем, что в каждом рабочем роторе может быть размещено достаточно большое количество обрабатывающих [сборочных, контрольных] блоков, выполняющих параллельно, со сдвигом по фазе, одни и те же операции, роторные линии обеспечивают очень большую производительность. Вследствие этого их применяют в массовом производстве при очень больших выпусках продукции.

Промежуток времени между двумя обработанными деталями, т. е. темп роторной линии,

$$T = h/v_{\text{тр}},$$

а производительность

$$Q = 1/T = v_{\text{тр}}/h,$$

где  $h$  — расстояние между соседними рабочими органами;  $v_{\text{тр}}$  — скорость перемещения детали в процессе обработки.

В то же время период обработки каждой детали (с учетом относительной длины  $\alpha$  дуги, характеризующей рабочую зону ротора) может быть достаточно большим:

$$T_{\text{обр}} = 2\pi R\alpha/v_{\text{тр}},$$

т. е. время  $T_{\text{обр}}$  может расти за счет увеличения радиуса  $R$  ротора при той же скорости  $v_{\text{тр}}$  перемещения детали. Таким образом, изменяя диаметры рабочих роторов, можно при одинаковой для всех роторов скорости  $v_{\text{тр}}$  выполнять в роторной линии операции различной длительности. После высокой производительности, достигаемой за счет параллельной работы в одном роторе одинаковых инструментов, возможность объединения операций разной длительности, независимость производительности от продолжительности самой технологической операции являются вторым большим преимуществом роторных линий.

Наряду с преимуществами необходимо отметить и недостатки роторных линий, ограничивающих область их применения. Совмещение обработки и транспортировки во времени не позволяет производить обработку деталей одновременно в нескольких направлениях, как это имеет место при неподвижной детали. Следовательно, для многосторонней обработки деталей линия должна иметь соответствующее числу сторон количество роторов. Кроме того, практически неосуществима и многопереходная обработка деталей на каждом роторе. Вследствие этого применение роторных линий успешно решает задачу автоматизации обработки простых деталей мелких размеров без снятия стружки, например методами штамповки, вытяжки, прессования и спекания. Помимо металлических изделий на роторных линиях эффективно изготовление деталей из пластмасс, стекла, резины, металло- и минералокерамики. Применяются роторные линии при производстве электро- и радиотехнических деталей (сопротивлений, химических источников тока, выпрямителей, печатных схем), в метизном производстве, при выполнении сборочных операций (монтаж, запрессовка, упаковка, заливка, свертывание мелких деталей типа тел вращения), упаковке готовых изделий и расфасовке сыпучих и жидких материалов, выполнении различных термических и термохимических операций, изме-

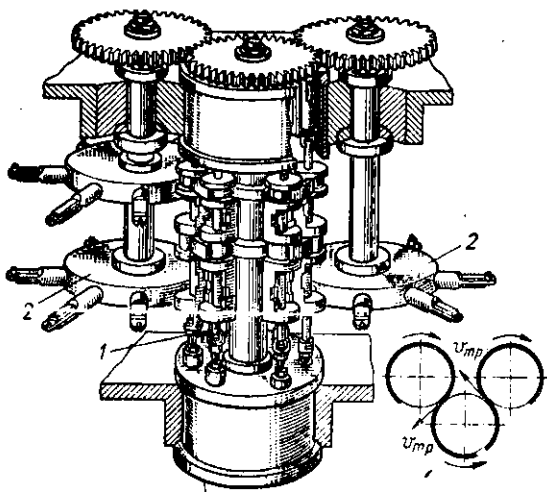


Рис. IV.34. Конструкция типового узла роторной автоматической линии

рении геометрических размеров и физико-химических параметров как отдельных деталей, так и готовых изделий.

В последнее время появились удачные примеры применения роторных линий и для механической обработки деталей. К их числу относятся линии для обработки клапанов двигателей внутреннего сгорания. Схема роторной линии, состоящей из трех токарных (I, II, IV), накатного (III) и фрезерного (V) автоматов, показана на рис. IV.35, а. Первые четыре автомата выполнены на одной станине. Каждый из них

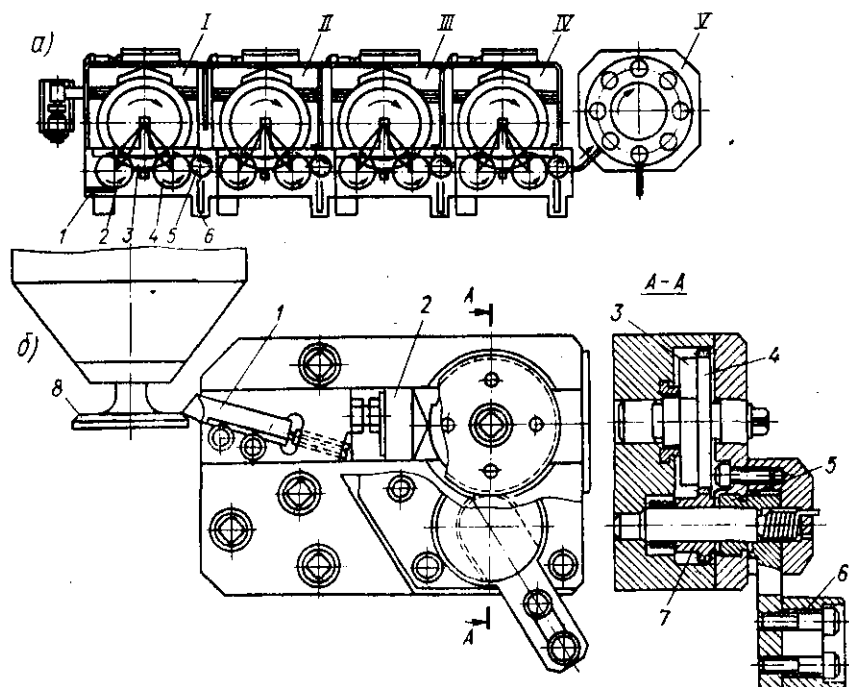


Рис. IV.35. Схема (а) роторной линии для обработки клапанов и механизм (б) автоматической подналадки резцов

состоит из одного рабочего 3, двух транспортных 2 и 4 и контрольного 5 роторов. Все роторы жестко связаны между собой с помощью зубчатой передачи. Заготовки по лотку 1 попадают в загрузочный ротор 2, который передает их в 6-шпиндельный рабочий ротор 3. Здесь выполняют обточку цилиндрической поверхности и рабочего конуса тарелки клапана, снятие фаски на торце тарелки. Заготовка 1 из положения А (рис. IV.36, а) подается досылателем 5 в цанговый патрон 2. Обработку выполняют резцом 3, установленным в суппорте 4, который получает перемещение от копира по заданному профилю. Обработанная деталь передается в разгрузочный ротор 4 (см. рис. IV.35, а) и далее в контрольный ротор 5. Годные детали попадают в загрузочный ротор следующего автомата, бракованные — в лоток 6. На втором 6-шпиндельном рабочем роторе выполняют проточку конической по-

верхности, выточки под сухарь и радиусного перехода на стержне клапана. Деталь 6 (рис. IV.36, б) также подается досылателем 1 в патрон 5 и зажимается за тарелку клапана. Стержень при этом поддерживает ролики 4 люнета. Резец 3, закрепленный в суппорте 2, так же как и у первого автомата, перемещается по копиру.

Третья операция — накатка конусной выточки и переходного радиуса. Поданная досылателем 1 (рис. IV.36, а) деталь 4 закрепляется в патроне 3. Стержень клапана устанавливается между неподвижным роликом 2 и накатным подвижным роликом 5. Усилие накатки регулируется тарельчатыми пружинами 6.

На четвертом 6-шпиндельном роторе выполняют проточку радиусной канавки и снятие фаски на стержне клапана. Деталь 4 (рис. IV.36, г) подается досылателем 1 в патрон 3 и поддерживается роликами 2 люнета. Обработку ведут методом врезания двумя резцами 5, закрепленными в суппорте 6.

Последняя, пятая, операция заключается в фрезеровании шлица на торце тарелки клапана. Выполняют ее на рабочем роторе V (см. рис. IV.35, а), имеющем восемь позиций. Вертикально расположенная пиноль каждой позиции в верхней части своей имеет коническое гнездо для базирования клапана по рабочему конусу тарелки. С помощью кругового копира, установленного на станине под рабочим ротором, пиноли могут перемещаться в вертикальной плоскости. Над каждой из пинолей расположены восемь горизонтальных фрезерных шпинделей. При вращении ротора клапаны вместе с пинолями поднимаются к фрезам, в результате чего происходит фрезерование шлицев на торце клапанов. После опускания пинолей клапаны выгружаются на отводящий лоток. Через каждые 3,75 сек линия выдает готовую деталь.

Рассматриваемая линия является типовой; на ней могут обрабатываться детали следующих габаритов:

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| Диаметр тарелки, мм . . . . . | 62—22 |
| Диаметр стержня, мм . . . . . | 15—5  |

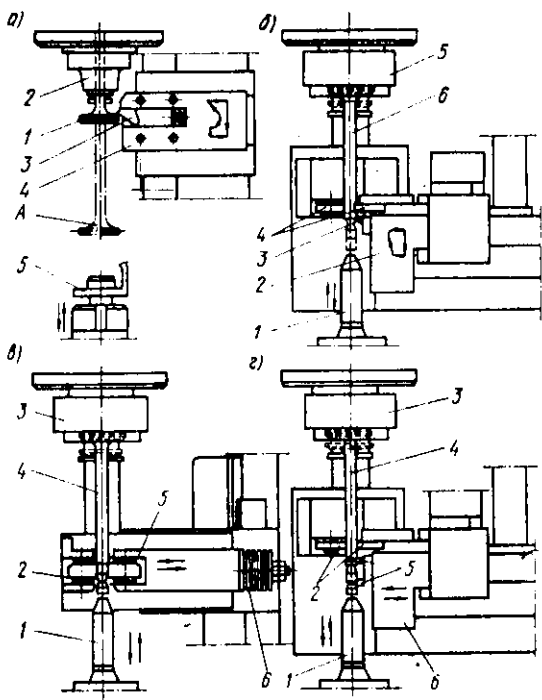


Рис. IV.36. Схемы обработки клапанов на роторных станках автоматической линии

|                                                          |        |
|----------------------------------------------------------|--------|
| Длина, мм . . . . .                                      | 200—92 |
| Угол при вершине рабочего конуса тарелки, град . . . . . | 120—90 |

Короткие циклы работы подобных линий (2,5—4,0 сек) и малая размерная стойкость резцов (0,1—0,3 мм) делают весьма актуальным автоматическую подналадку инструментов. Сигнал на автоподналадку резцов подают двухпредельные электроконтактные датчики, установленные на измерительных позициях контрольных автоматов. При этом специальный подвижный упор воздействует на рычаг (см. рис. IV.35, б), который поворачивает ось 7 и сидящую на ней шестерню 5. Вращение через шестерню 4 передается плоскому копиру 3, перемещающему через проставку 2 резец 1 в направлении детали 8. Величина подналадочного импульса 0,025 мм.

Применение таких автоматических линий для одной из наиболее массовых деталей — клапанов бензиновых двигателей — позволило, по данным [17], повысить производительность труда в 8,2 раза, высвободить более 30 станков, 64 производственных рабочих и обеспечило экономический эффект в размере 120 тыс. руб.

#### § IV.5. Основные направления в проектировании автоматических линий

Основными направлениями дальнейшего развития автоматических линий можно считать:

- а) расширение технологических возможностей линий за счет выполнения различных операций механической обработки, сборки, контроля и упаковки готовых изделий;
- б) повышение надежности работы автоматических линий и увеличение коэффициента их использования;
- в) создание многономенклатурных и быстроперенастраиваемых автоматических линий для серийного и мелкосерийного производства;
- г) объединение отдельных автоматических линий в автоматические участки и цехи для полного изготовления очень сложных и трудоемких деталей машин на основе комплексной автоматизации всего технологического процесса.

**Расширение технологических возможностей автоматических линий.** Одна из важных особенностей развития автоматических линий заключается в расширении их технологических возможностей. Это проявляется в расширении круга операций, выполняемых на автоматических линиях, что создает возможность полного изготовления очень сложных деталей с большим количеством обрабатываемых поверхностей. С другой стороны, проектирование автоматических линий с приспособлениями-спутниками позволило изготавливать детали самой сложной формы, которые раньше обрабатывались на универсальных или специальных станках.

Необходимость в полной обработке деталей, как и появление сложных структур линий, связано с резким увеличением выпуска продукции. В новых условиях стало нецелесообразно часть операций выполнять на линиях, а часть — на универсальных станках или даже вруч-



ную (например, такие операции, как контроль, сборка). Поэтому в линии начали включать все новые и новые агрегаты для полного изготовления, контроля деталей и сборки из них узлов машин. Вследствие этого автоматические линии начали применять в самых различных отраслях машиностроения.

Если первоначально на автоматических линиях из агрегатных станков, например, выполнялись в основном сверлильно-расточные, фрезерные и резьбонарезные операции, сейчас производятся токарная обработка, протягивание, шлифование, хонингование, полирование. Кроме механической обработки на линиях осуществляются также закалка деталей с нагревом токами высокой частоты, штамповка, клеймение, различные контрольные операции, сварка, сборка, окраска, упаковка.

В СССР и за рубежом создан ряд автоматических линий, на которых выполняют протягивание. На этих линиях, в частности, производятся первые операции по обработке блоков цилиндров автомобильных двигателей.

В автоматические линии встраивают контрольные автоматы. Это вызвано двумя причинами: во-первых, повышением требований к точности обработки деталей, во-вторых, стремлением снизить простои сборочных участков из-за поступления некачественной продукции.

Автоматические контрольные устройства применяются в автоматических линиях из агрегатных станков, спроектированных в последнее время в СССР. Линии, совмещающие механическую обработку и контроль, установлены на автомобильном заводе им. Лихачева, Горьковском автозаводе, Харьковском заводе «Серп и молот» и др.

Новыми для автоматических линий являются также сварка и сборочные операции. Для автомобильной промышленности США станкостроительные фирмы изготовили несколько автоматических линий из стандартных узлов для сборки узлов двигателя автомобиля. Следует сказать, что автоматизация сборочных работ в машиностроении значительно отстает от автоматизации операций механической обработки, поэтому создание автоматических сборочных линий из нормализованных узлов является весьма интересным опытом. Сейчас уже работает автоматическая линия для сборки головок блоков V-образного восьмицилиндрового двигателя. На первую позицию головка блока с вставленными клапанами устанавливается автоматически. Далее деталь перемещается транспортером периодического действия от позиции к позиции, на которых монтируют различные пружины, резиновые прокладки, проверяют правильность установки клапанов и производят другие операции. Детали на сборку подают при помощи подъемников. По окончании сборки головки вручную разгружают на последней позиции. Производительность линии 280 деталей в час при 90%-ной загрузке.

Даже такой сложный узел машины, как автомобильный двигатель, собирают на автоматизированных линиях. В течение ряда лет работает сборочная линия на автозаводе им. Лихачева. Большое количество операций здесь выполняют механизмы, однако в ряде случаев используют и труд рабочих-операторов. Сборочная линия автомобильных

двигателей установлена на автомобильном заводе «Дженерал Моторс Корпорейшн» (США). Линия имеет 51 позицию и работает с циклом 12 сек. Для завинчивания гаек и болтов используют пневматические многошпиндельные головки.

Хотя большинство операций на этой линии производится автоматически, автоматизация некоторых операций оказалась неосуществимой из-за сложности их выполнения. К таким операциям относится установка уплотнений коленчатого вала и подшипников, звездочки с цепью и др. Кроме того, на линии имеется ряд холодных позиций, на которых вручную можно ликвидировать недоделки, возникающие на автоматической линии.

После сборки на первом участке блок автоматически передается на второй участок, состоящий из 29 позиций, где производится окончательная его сборка. Здесь устанавливаются коленчатый вал, поршни и шатун с крышками. В конце линии вручную проверяют качество сборки, после чего двигатель передают на стенд испытания.

В СССР спроектированы автоматические линии для сборки головок блоков и шатунов автомобильного двигателя. На заводе малолитражных автомобилей установлена автоматическая линия для механической обработки и сборки шатунов с крышками. Обработка детали выполняется инструментами силовых головок, сборка — узлами специальной конструкции.

**Повышение надежности работы линий.** Основными причинами, вызывающими простой станков и автоматических линий в целом, являются необходимость замены затупившегося инструмента, а также устранение мелких непредвиденных неполадок, возникающих в процессе работы оборудования. Необходимо так спроектировать автоматическую линию и организовать ее работу, чтобы простои в течение каждой смены были минимальными. Эффективным направлением повышения надежности линий является дальнейшее развитие принципа агрегатирования. Поскольку линии собирают в основном из заранее изготовленных и проверенных в работе на других линиях нормализованных узлов, то с повышением уровня нормализации должна расти надежность работы линии. Однако современные линии — сложные комплексы автоматически работающих устройств. Их трудно полностью собрать из нормализованных узлов и деталей, некоторую часть устройств приходится проектировать и изготавливать специально для данной линии. Поэтому одним из путей повышения надежности линий, а также снижения ее себестоимости и упрощения ремонта служит дальнейшее повышение количества стандартных узлов и деталей в общем числе узлов, из которых собирают линии.

В этом направлении конструкторы агрегатных станков и автоматических линий проделали значительную работу. Например, процент унифицированных узлов увеличился с 70 до 75 в агрегатных станках и с 60 до 80 в автоматических линиях.

Хотя эти мероприятия существенно снижают количество неполадок при работе механизмов линии, все еще бывают простои из-за ремонта отдельных устройств. Кроме того, регулярные остановки линий

производятся каждый раз, когда надо сменить затупившийся инструмент у тех или иных головок.

Как уже упоминалось, для повышения коэффициента использования автоматические линии проектируют из отдельных участков с небольшим количеством станков. Между участками в специальных накопителях размещают небольшие партии деталей. Если останавливается по какой-либо причине первый участок, второй продолжает работать, используя детали из накопителя. При остановке второго участка первый продолжает работать, пополняя накопитель деталями.

В автоматических линиях с накопителями значительно снижается влияние простоев на производительность. Однако это решает только часть проблемы. Другая ее часть состоит в том, чтобы уменьшить время самих простоев и сократить их число, например в течение рабочей смены. Так как подавляющее число простоев на линиях возникает из-за замены инструментов на отдельных позициях, главная задача состоит в уменьшении этих простоев.

Снижение потерь времени на смену инструментов осуществляется сокращением времени замены каждого инструмента и применением быстросменных державок, патронов и других устройств. Кроме того, уменьшается количество остановок станков для замены инструментов, удлиняется время их работы за счет того, что каждая группа инструментов работает до полного затупления, т. е. используется полностью.

При замене инструментов после полного их затупления обрабатывается наибольшее количество деталей. Следовательно, число замен инструментов и время на их смену в этом случае будут наименьшими. Определение момента, когда нужно сменить тот или иной инструмент на автоматических линиях, осуществляется с помощью специальных счетчиков циклов. Рядом с автоматическими линиями устанавливают специальные контрольные станции. Приборы, размещенные на панелях, указывают, когда и какие инструменты надо заменять.

Основной частью этих приборов являются счетчики обработанных деталей. Стрелки их показывают число обработанных деталей. Каждый счетчик имеет две стрелки. Одна указывает, сколько деталей может обработать та группа инструментов, которая соединена с данным счетчиком. Когда обе стрелки совпадают, автоматически подается сигнал о замене инструментов. Если инструменты не заменят, счетчик деталей даст команду остановить участок линии.

Все инструменты автоматической линии разбивают на ряд групп с одинаковой стойкостью. Каждую группу подсоединяют к своему счетчику деталей.

Количество деталей, которое может быть обработано каждой группой инструментов, определяют расчетным путем, а при отладке линии и изготовлении первых партий деталей окончательно корректируют. С этой целью на некоторых заводах каждый инструмент автоматической линии снабжают специальной перфорированной картой, в которую записывают число и номер смены, время замены инструмента, причину замены, а также число обработанных деталей. После этого карту вместе с инструментом передают в отдел заточки, где проверяют правильность записанных данных. На основании этих данных состав-

ляют свободную ведомость стойкости режущих инструментов. По их фактической стойкости настраивают счетчики контрольных станций, которые размещают у автоматических линий. Кроме того, на каждой контрольной станции имеется полный комплект инструмента для замены затупившегося, а также комплект приспособлений и шаблонов для регулировки длины инструментов, вставленных в патроны (рис. IV.37).

Следует отметить, что в ряде случаев использование счетчиков циклов для замены инструментов оказалось неэффективным на прак-

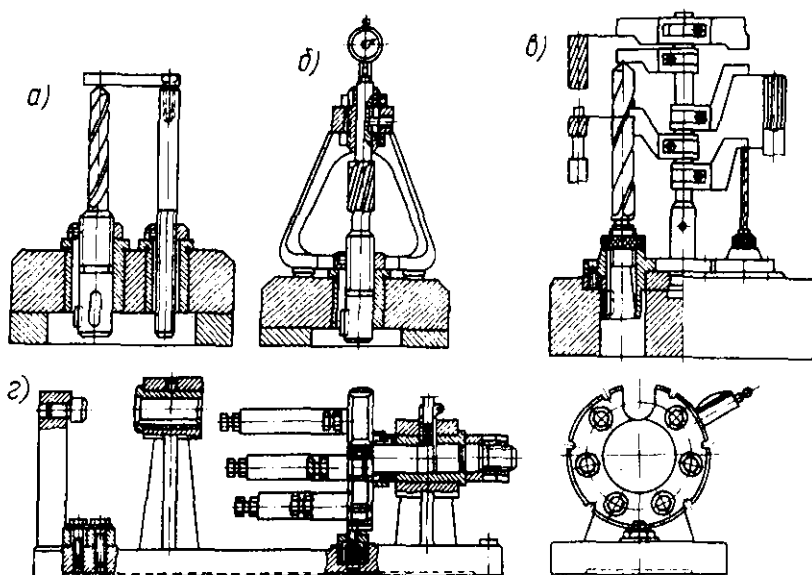


Рис. IV.37. Приспособления для настройки инструментов на размер вне линии:

а и б — однопозиционные приспособления с регулировкой инструментов по упору и индикатору; в и г — многопозиционные приспособления с регулировкой по упору и индикатору

тике. Нестабильность качества режущего инструмента и большой разброс их стойкости вследствие этого не позволяют применять счетчики циклов и приводят к большим потерям времени из-за частых остановок линий.

Помимо планируемых остановок участков линии для смены инструментов простои могут происходить из-за внезапного отказа какого-либо инструмента или узла в линии. Опыт эксплуатации показал, что наиболее часто такие неполадки возникают в электро- и гидроаппаратуре. Это объясняется меньшей надежностью гидравлических и электрических систем по сравнению с другими типами механизмов, а также большим количеством электрических устройств в современных автоматических линиях. Так, в линию для обработки головок блоков автомобиля ЗИЛ включено 59 станков. Чтобы привести в дви-

жение инструменты этих станков, транспортеры деталей, накопители, а также чтобы управлять их работой, потребовалось 165 электродвигателей, около 1000 различных реле, 900 конечных выключателей, 450 электромагнитов, 165 магнитных пускателей. Длина проводов, соединяющих эти устройства в единую систему составляет 155 км.

Подсчитано, что при выпуске 60 деталей в час на линии совершается около 400 тыс. переключений. Если каждая пара контактов на 200 тыс. переключений имеет один отказ в работе, то через каждые полчаса какой-то станок в линии будет останавливаться из-за неисправности в электросхеме. Поэтому при проектировании автоматических линий особое внимание уделяют повышению надежности электроаппаратуры. За последнее время в этом направлении достигнуты известные успехи. В ряде автоматических линий получила применение низковольтная аппаратура, работающая на постоянном токе (например, в станках и линиях МЗАЛ). Это не только значительно повышает надежность ее работы, но и уменьшает размеры аппаратуры. Совершенствуются схемы управления автоматическими линиями с использованием бесконтактных устройств. Поскольку в этих системах команды управления работой агрегатов подаются без механических перемещений деталей электроприборов, как это делается в обычных системах, срок службы бесконтактных устройств определяется сроком службы полупроводников, которые используют в таких схемах, практически он неограничен. Применение таких схем позволит резко сократить простои линий по вине электроаппаратуры. Если конечный выключатель может выдержать 2—3 млн. включений, то срок службы бесконтактных переключателей составляет 250 млн. циклов. Скорость работы его также довольно высокая: он может 20 раз сработать в течение 1 сек.

Для уменьшения потерь времени из-за неполадок в электрических цепях на линиях широко используют искатели повреждений. Дело в том, что при таких сложных электрических системах, как в автоматических линиях, найти причину остановки станка гораздо труднее, чем ее исправить. Искатели повреждений поочередно контролируют элементы цепи управления механизмами линии и при обнаружении устройства, не выполнившего команду, зажигают сигнальную лампу. В это время стрелка искателя на специальной шкале указывает номер неисправного электроаппарата.

Так постепенно все большее число операций по наблюдению за работой линии, ранее выполнявшихся квалифицированным обслуживающим персоналом, поручается автоматическим устройствам. Автоматы ведут учет работы линий. Многие автоматические линии снабжают специальными диспетчерскими пультами, которые регистрируют количество обработанных деталей, время работы и простоев каждого участка по различным причинам. Тщательный анализ таких данных дает возможность устранить причины систематических простоев, организовать правильную эксплуатацию сложных автоматически работающих систем, извлечь полезные сведения для рекомендаций по дальнейшему совершенствованию их конструкций.

Многономенклатурные и быстроперенастраиваемые автоматические линии. Автоматические линии все более широко начинают приме-

няться не только в массовом, но и в серийном производстве. Заводы серийного и мелкосерийного производств составляют подавляющее большинство среди предприятий машиностроения. Поэтому автоматизация серийного и мелкосерийного производств не менее важна, чем автоматизация массового производства.

Работы по использованию автоматических линий в серийном производстве ведут в двух направлениях, проводя широкую унификацию и нормализацию деталей, а также разработку технологических процессов групповой обработки одностипных деталей. Это резко повышает серийность производства и делает целесообразным применение высокопроизводительного автоматического оборудования. Разрабатывают конструкции и компоновки групповых автоматических линий для обработки нескольких одностипных деталей без переналадки, а также линии с перестройкой на обработку новых деталей в течение короткого времени.

Метод агрегатирования — один из важных путей создания линий для серийного производства. Замена одних узлов другими создает возможность быстрой перекомпоновки автоматической линии. Такие линии состоят из самостоятельных агрегатных станков со своей панелью управления, они могут встраиваться в линию или работать отдельно. Каждая силовая головка такого станка имеет отдельный штепсельный разъем для включения ее в электрическую цепь станка, а каждый станок — свой подключатель для присоединения к общему пульту централизованного управления линией. Позиция такой линии — это отдельное звено стандартной длины. Она может быстро отсоединяться и заменяться другим звеном-позицией.

В полной взаимозаменяемости узлов, создании легко перестраиваемых автоматических линий из отдельных полностью взаимозаменяемых агрегатов заинтересованы не только отрасли с серийным характером производства, но и предприятия с массовым выпуском продукции, в том числе и автомобильные заводы. Все более частые смены моделей машин в последние годы требуют перестройки значительной части производства. Если раньше с изменением модели меняли и металлообрабатывающее оборудование, то с появлением агрегатных автоматических линий появилась возможность многократного их использования. С другой стороны, гарантия длительной эксплуатации автоматических линий делает целесообразным создание сложных наиболее эффективных автоматических систем, требующих больших капиталовложений. В выпуске крупноблочных, взаимозаменяемых станков и автоматических линий заинтересованы и станкостроительные заводы. Это дает возможность им значительно повысить серийность производства, изготавливать часть узлов на склад, а затем в очень короткие сроки создавать оборудование по поступившим заказам.

В СССР сейчас проводится большая работа по стандартизации основных размеров узлов и агрегатных станков автоматических линий, выпускаемых различными станкостроительными заводами. Специализация производства узлов, создание ряда новых заводов для изготовления силовых головок, поворотных и транспортных устройств, станин и кронштейнов стандартных размеров, гидро- и электроаппара-

туры позволит значительно сократить сроки изготовления автоматических линий и уменьшить их стоимость. Стандартизация основных размеров узлов дает возможность использовать на линиях узлы, выпускаемые различными заводами, облегчает и ускоряет перестройку автоматических линий при изменении объектов производства. Однако в настоящее время полная перестройка автоматических линий еще вызывает значительные трудности.

Кроме того, для изготовления деталей мелкими сериями полностью перестраиваемые автоматические линии будут слишком дорогими и невыгодными. Поэтому в серийном производстве чаще всего находят применение линии, спроектированные для обработки нескольких однотипных деталей. Этот же принцип используют и при проектировании линий для изготовления деталей средними сериями в массовом производстве.

Автоматические линии для групповой обработки проектируют таким образом, что общие для всех деталей поверхности обрабатывают одной группой инструментов, а поверхности, имеющиеся только у данной детали, — другой группой. Включение или отключение соответствующих групп инструментов осуществляется при движении детали по автоматической линии.

Примером таких линий служат линии фирмы «Кросс», установленные на автомобильном заводе в Шеронвилле (США). Здесь в двух потоках обрабатывают четыре конструктивно унифицированных детали — картеры коробки передач автомобиля. На короткой линии, состоящей из трех участков, обрабатывают деталь одного типа, на длинной линии из четырех участков — детали трех типов. После второго участка длинной линии поток разветвляется.

В начале линии детали различных типов могут загружаться в любой последовательности. Специальные ошупывающие устройства дают команду на включение тех или иных силовых головок в зависимости от типа детали. Такие же устройства направляют детали для обработки поверхностей, которые имеются только у детали данного типа. На линии предусмотрены холостые позиции, на которых могут быть установлены дополнительные головки. Такая необходимость часто возникает при незначительном изменении конструкции обрабатываемых деталей.

Для контроля за состоянием инструментов на некоторых головках установлены индуктивные катушки. При поломке сверла в катушке не возникает магнитного поля, что служит сигналом к остановке данного станка. Одновременно указывается место поломки инструмента.

Наиболее широкие возможности для переналадки линии появляются, когда она оснащена программным устройством.

На одном из заводов дорожного машиностроения в США работает двадцатипозиционная автоматическая линия, составленная из агрегатных станков. Она предназначена для обработки шести различных деталей, на каждой из которых выполняется шесть-восемь операций, включающих фрезерование, расточку, подрезку торцов, обточку, снятие фасок. В шпинделях трех силовых головок с гидравлическими приводами подач установлено 19 инструментов. Две головки верти-

кальные, одна горизонтальная. Двухшпиндельная фрезерная головка оснащена твердосплавными фрезами. На линии имеется одно приспособление-спутник, в котором закрепляют обрабатываемую деталь. Установленная в позиции загрузки каждая деталь последовательно проходит через все позиции автоматической линии, останавливаясь лишь в тех, где согласно программе должна осуществляться ее обработка. После обработки деталь с приспособлением возвращается в исходную позицию.

Управление работой инструментов осуществляется при помощи 20 конечных выключателей, каждый из которых установлен в соответствующей позиции. На спутнике имеются упоры, воздействующие на эти выключатели. Программа, т. е. последовательность цикла работы линии, задается установкой селекторного выключателя в позицию, соответствующую обрабатываемой детали. Кроме того, при переналадке на другую деталь заменяют часть инструментов. Иногда смещаются упоры, определяющие длину хода силовых головок, и заменяются элементы приспособлений.

Весьма перспективным направлением автоматизации мелкосерийного производства является включение в автоматические линии станков с программным управлением, оснащенных магазином с большим набором разнообразных инструментов и механизмом для автоматической установки в рабочий шпиндель и удаления отработавшего инструмента. Такие станки получили название *обрабатывающих центров*. Преимущество их в том, что по заранее заданной программе осуществляется последовательная и параллельно-последовательная обработка ряда поверхностей детали, причем установка детали относительно режущего инструмента, цикл работы каждого инструмента и режимы резания, так же как и замена инструментов, осуществляются автоматически. На таких станках могут обрабатываться разнообразные по форме, сложные по конструкции детали, причем переналадка станка осуществляется также автоматически с использованием команд программноносителя. Для записи команд программы используются магнитные и перфорированные ленты, киноплёнки, перфорированные карты.

На рис. IV.38 показан такой 18-шпиндельный станок. Он имеет крестовый стол 1, перемещающий деталь в продольном и поперечном направлениях, и барабан 3 с набором инструментов. Под приводным механизмом 2 располагается обрабатываемая поверхность детали; привод подачи инструмента осуществляется от гидроцилиндра. После обработки инструмент вместе со шпинделем возвращается в исходное положение и устанавливается в барабане 3, затем дается команда на поворот барабана и в обработку вступает следующий инструмент. За станиной 4 станка располагается гидро- и электрооборудование, вынесенное в отдельные блоки 5 и 7; здесь же размещается устройство 6 программного управления станком.

В связи с тем что работа инструментов, а часто и станков в таких линиях осуществляется последовательно, в ряде случаев для выполнения большой группы операций обработки деталей в мелкосерийном и серийном производствах экономически целесообразно проектиро-



вать агрегатные станки, осуществляющие параллельно-последовательную обработку. Производительность таких станков достаточно высока, стоимость и занимаемые площади меньше, чем у автоматических линий. Один из таких станков показан на (рис. IV.39). Он имеет в центре поворотный стол 4, на котором в приспособлении 3 кре-

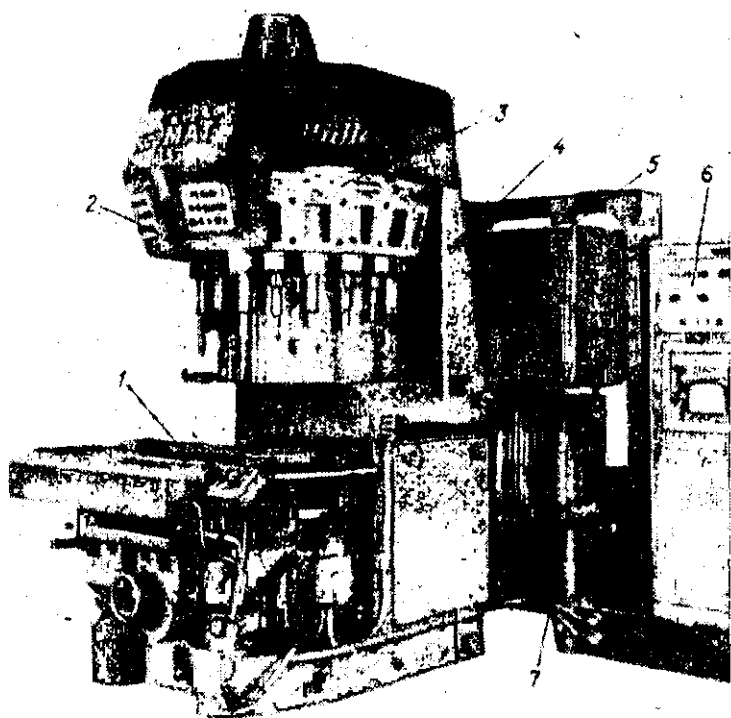


Рис. IV.38. Общий вид обрабатывающего центра

пится обрабатываемая деталь. Вокруг детали располагаются фрезерная и сверлильно-резьбонарезные многшпиндельные головки 1 с револьверными насадками 2.

Каждая группа инструментов револьверной головки настроена на обработку соответствующих поверхностей детали. При повороте револьверной головки в работу вступает новая группа инструментов, которая может обрабатывать либо другие поверхности данной детали, либо поверхности детали другой конструкции. Комбинация поворотного стола и револьверных головок в сочетании с переналаживае-

мым приспособлением позволяет выполнять многостороннюю много-переходную обработку нескольких сложных по конструкции деталей (типа корпусных) на одном таком станке.

Построение станков и систем программного управления из этих станков по принципу агрегатирования дает возможность проектировать целые автоматические линии с программным управлением. Станки такой линии используют в любом сочетании, на них можно обрабатывать различные детали в любой последовательности. Это обеспечивает необходимую гибкость линии, позволяя использовать

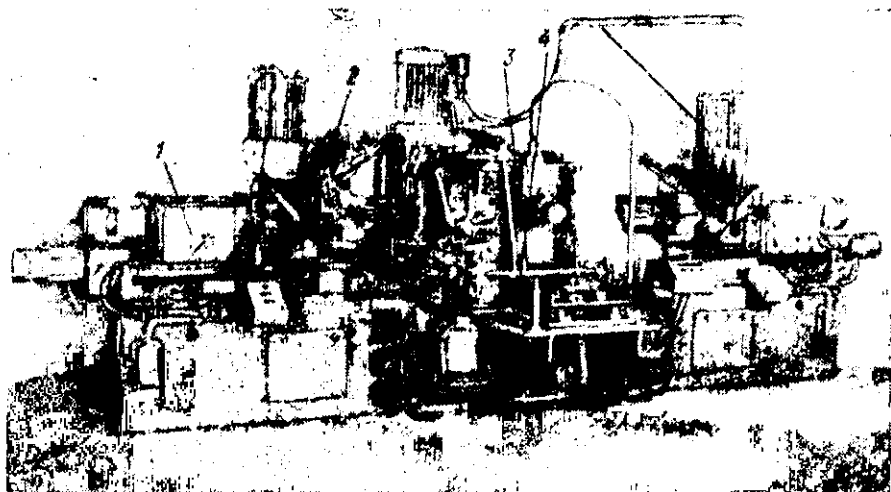


Рис. IV.39. Агрегатный станок с автоматической переналадкой для концентрированной обработки деталей серийного производства

ее в мелкосерийном производстве для обработки партий деталей в 30—50 шт.

В СССР созданы оригинальные автоматические линии с программным управлением. Такие линии необходимы в первую очередь для изготовления штампов, различных валов, выпускаемых мелкими сериями, а также корпусных деталей. Для полной обработки корпусных деталей на линиях приспособления-спутники будут поворотными. Каждую линию оснащают вычислительным устройством для планирования последовательности обработки различных деталей. Это устройство позволит так организовать работу линии, чтобы коэффициент использования ее был наибольшим.

**Создание автоматических цехов и заводов-автоматов.** Современное развитие станкостроения и достижения в области автоматизации позволили перейти к новому этапу автоматизации производственных процессов — комплексной автоматизации изготовления машин, созданию полностью автоматизированных цехов и заводов. Именно это направление является сейчас основным в развитии машиностроения.

Еще в 1951 г. пустили автоматический завод по производству поршней, где все процессы, начиная от литья заготовок и кончая упаковкой обработанных, проверенных, подогнанных по весу деталей, выполнялись полностью автоматически. Механическая обработка поршня производилась на этом заводе агрегатными станками. В 1956 г. разработали вторую очередь завода-автомата. В новом проекте был усовершенствован и существенно упрощен ряд устройств, увеличена надежность работы агрегатов и упрощен их ремонт.

Для деталей, механическая обработка которых составляет наиболее существенную часть в их производстве, созданы автоматизированные цехи. На автоматических линиях проходят полную обработку и частичную сборку детали и узлы легковых и грузовых автомобилей, тракторов, комбайнов, мотоциклов, швейных машин.

Примером автоматизированного цеха из агрегатных станков может служить цех для обработки блока дизельного двигателя тракторов и комбайнов на Харьковском заводе «Серп и молот». Цех состоит из семи автоматических линий, включающих 62 станка. Ранее полную обработку этой детали выполняли на 70 многоинструментных высокопроизводительных станках, которые обслуживали 60 рабочих. Цех из автоматических линий обслуживают 20 рабочих, а выпуск деталей увеличился в 4—5 раз. Для обработки других деталей двигателя на заводе созданы автоматические участки. На одном из таких участков полностью обрабатывается шатун, а затем производится автоматическая сборка его с крышкой. Автоматически устанавливаются шатунные болты, завинчиваются гайки, а в малую головку шатуна запрессовывается бронзовая втулка.

Одним из наиболее высокоавтоматизированных цехов зарубежных машиностроительных заводов, почти целиком состоящим из агрегатных станков, можно считать цех для полной механической обработки блоков цилиндров на автомобильном заводе «Рено» (Франция). Шестнадцать автоматических линий, соединенных между собой конвейерами для автоматической передачи деталей, расположены на площади 2185 м<sup>2</sup>. Все линии сконструированы самой фирмой из узлов, которые изготавливает специальный станкостроительный цех, созданный на заводе «Рено».

Блок цилиндров на большинстве линий обрабатывают в приспособлениях-спутниках, поэтому линии имеют специальные транспортеры для возврата спутников в положение загрузки деталей. Из той части цеха, где расположены барабанно-фрезерные станки непрерывного действия, детали непрерывным потоком движутся по цепочкам автоматических линий, обходя постепенно всю площадь цеха, все более приближаясь к окончательной форме готового блока автомобильного двигателя.

Каждая линия имеет централизованный пульт управления, остановка любого станка или транспортного устройства вызывает соответствующий сигнал. Даже уборка стружки в таком производстве становится важной проблемой. Для удаления ее из цеха под каждой линией построен специальный туннель, по которому скребковыми транспортерами стружка перемещается в главный туннель.

Автоматизированные участки и цехи созданы на отечественных автомобильных и подшипниковых заводах. На автозаводе им. Лихачева все основные детали, такие, как блоки цилиндров, головки блока, шатуны, крышки подшипников, коленчатые и кулачковые валы, поворотные кулачки, обрабатываются на автоматических линиях и целых автоматических участках. В цехе двигателей установлена 51 автоматическая линия из 350 станков. Только на линии блока, состоящей фактически из 10 линий 1Л95—1Л99, установлено 147 станков, на которых работает 1554 шпинделей, в цехе шасси — 18 автоматических линий из 167 станков, в цехе нормалей — 39 линий.

## **ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ**

### **§ IV.6. Основные положения по проектированию технологических процессов обработки деталей на автоматических линиях**

#### **Требования к обрабатываемым деталям**

Проектирование технологических процессов обработки деталей на автоматических линиях начинают с тщательного анализа конструкции узлов и деталей. Основная задача анализа конструкции детали состоит в повышении ее технологичности, поэтому деталь должна иметь:

- 1) по возможности простую форму;
- 2) такие обрабатываемые поверхности, чтобы их можно было получить с применением простых инструментов и минимальным количеством переходов;
- 3) хорошие установочные базы, а также поверхности для транспортирования и зажима их в приспособлениях, позволяющие вести обработку со всех сторон;
- 4) легкий доступ для инструмента, направляющих втулок;
- 5) минимальный припуск на обработку, стабильный по величине, а также удовлетворять ряду требований:
  - 1) обработку деталей желательно вести с минимального количества сторон, что значительно упрощает компоновку линии и уменьшает число станков;
  - 2) межосевые расстояния отверстий, лежащих в одной плоскости, должны позволить вести их обработку инструментами одной шпиндельной головки;
  - 3) конструкция детали должна быть достаточно жесткой для обеспечения необходимых точности обработки и концентрации операций.

#### **Выбор варианта технологического процесса**

При проектировании станков-автоматов или автоматических линий одним из наиболее ответственных этапов является разработка оптимального, т. е. наиболее эффективного, варианта технологического процесса, подлежащего автоматизации. В связи с тем что машиностроение характеризуется большим многообразием конструктивных форм

и размеров обрабатываемых деталей, большим разнообразием материалов, из которых эти детали изготовлены, а также различными требованиями к точности и качеству изготовления деталей, разработка оптимального технологического процесса в каждом конкретном случае является сложной многовариантной технико-экономической задачей.

Успешному решению задач проектирования оптимальных технологических процессов изготовления деталей в автоматизированном производстве способствует развитие типизации технологических процессов машиностроения и проектирование конкретных технологических процессов по типовым. Идея типизации технологических процессов машиностроения, предложенная проф. Соколовским А. П., получила дальнейшее развитие в фундаментальной работе проф., докт. техн. наук Ф. С. Демьянюка [5], в трудах проф. Бойцова В. В., а также в работах ряда НИИ и заводов.

Под типовым технологическим процессом понимают схематический, принципиальный процесс изготовления типовой детали, включающий основные элементы конкретного процесса: способ получения заготовок, способ базирования и крепления деталей, последовательность выполняемых операций, типы оборудования и оснастки, а также приближенную трудоемкость изготовления деталей при заданном выпуске как один из основных критериев эффективности разработанного технологического процесса. Типизация процессов основывается на технологической классификации деталей машиностроения, а типовой процесс разрабатывается для каждой группы деталей классификационной таблицы, которая характеризуется общностью конструктивных форм деталей и их размеров.

В книге проф. Демьянюка [5] приведены технологическая классификация деталей машин и типовые технологические процессы изготовления наиболее характерных деталей автотракторостроения. На основе типовых технологических процессов могут быть спроектированы конкретные процессы обработки для конкретных производственных условий.

Большие преимущества такого подхода к проектированию автоматизированных технологических процессов изготовления деталей заключаются в том, что типизация технологических процессов дает возможность:

а) свести огромное количество вариантов технологических процессов к минимуму и внести единообразие в их проектирование;

б) придерживаться определенных принципов при проектировании технологических процессов, что повышает качество проектирования и сокращает его сроки;

в) уменьшить количество типов оборудования и оснастки, строить это оборудование на базе типовых схем, стандартных и унифицированных узлов;

г) сравнивать уровень технологии на различных предприятиях;

д) развивать технологию машиностроения как науки.

При проектировании конкретных технологических процессов по типовым необходимо придерживаться следующих основных принципов:

1. Выбирать заготовки с минимальными припусками, стабильными по величине.

2. Всемерно повышать степень непрерывности протекания технологического процесса за счет применения новой прогрессивной технологии, например замены штамповки из листа штамповкой из ленты или рулона, замены последовательной обработки детали на станках поперечно-винтовой их прокаткой и т. д.

3. Строить производство деталей по поточному методу, резко повышающему степень непрерывности технологических процессов и способствующему комплексной автоматизации производства.

4. Включать в поточную или автоматическую линию по возможности все операции, составляющие процесс изготовления детали.

5. Проектировать технологический процесс и автоматизированное оборудование на основе совмещения, концентрации технологических операций, выбирать такие структурные схемы станков-автоматов и автоматических линий, которые обеспечивали бы оптимальную концентрацию технологических операций в каждом рабочем агрегате.

#### **Определение оптимальной концентрации операций и выбор структурной схемы станков-автоматов и автоматических линий**

Известно, что эффективность автоматизации машиностроительного производства в значительной степени определяется эффективностью технологического процесса, подлежащего автоматизации, и оборудования, с помощью которого процесс автоматизируется. Одним из общих критериев, характеризующих как процесс, так и оборудование, является уровень или степень концентрации технологических операций обработки деталей.

В связи с тем что концентрация операций в одной рабочей машине резко сокращает время изготовления деталей, приводит к уменьшению количества необходимых станков и производственных площадей, обеспечивает существенное увеличение производительности труда и снижение себестоимости обработки изделий, построение процессов по методу высокой концентрации операций является в настоящее время одним из основных направлений развития технологии не только массового, но и серийного производства в машиностроении.

Концентрация операций также является определяющим направлением и в развитии современного оборудования для металлообработки, в том числе кузнечно-прессового, литейного, листоштамповочного, сварочного, сборочного, контрольных автоматов и полуавтоматов. По методу концентрации операций построено большинство типов станков и для механической обработки деталей. Типичным примером оборудования, которое основано на методе концентрации операций, являются автоматические линии.

Так как разная степень концентрации операций технологического процесса обеспечивает различную эффективность обработки деталей, то еще на предварительной стадии проектирования автоматизированного оборудования необходимо выполнять расчет оптимального количества операций, которые целесообразно сконцентрировать в станочной

системе, и выбирать такие структурные схемы станков или линий, которые позволяли бы реализовать рассчитанную концентрацию элементарных операций с целью получения максимальной производительности оборудования или минимальной себестоимости обработки.

Структурные схемы агрегатированных станков и линий весьма разнообразны. В зависимости от количества и последовательности выполняемых технологических переходов они могут быть подразделены на три группы: системы с первой, второй и третьей степенью концентрации операций. Внутри каждой группы переходы могут выполняться последовательно, параллельно и параллельно-последовательно (табл. IV.20).

Основным признаком группы КI является обработка детали на одной позиции. Формы концентрации КI определяются последовательностью и сочетанием переходов для обработки этой детали. При последовательной обработке одинаковых поверхностей у детали с разных сторон (за счет делительного приспособления) или при последовательной обработке разными инструментами поверхности детали с одной и той же стороны (за счет применения револьверной инструментальной головки), а также при сочетании этих двух способов обработки (применение револьверной головки и делительного приспособления) имеет место последовательная концентрация элементарных операций первой степени КIПс.

В случае одновременной обработки одной или нескольких поверхностей детали с разных сторон осуществляется параллельная концентрация элементарных операций первой степени КIПр. Сочетание параллельной обработки нескольких поверхностей с последовательной обработкой различных сторон детали или последовательной обработки каждой поверхности детали с одной стороны с одновременной обработкой нескольких сторон дает параллельно-последовательную концентрацию операций степени КIПрПс.

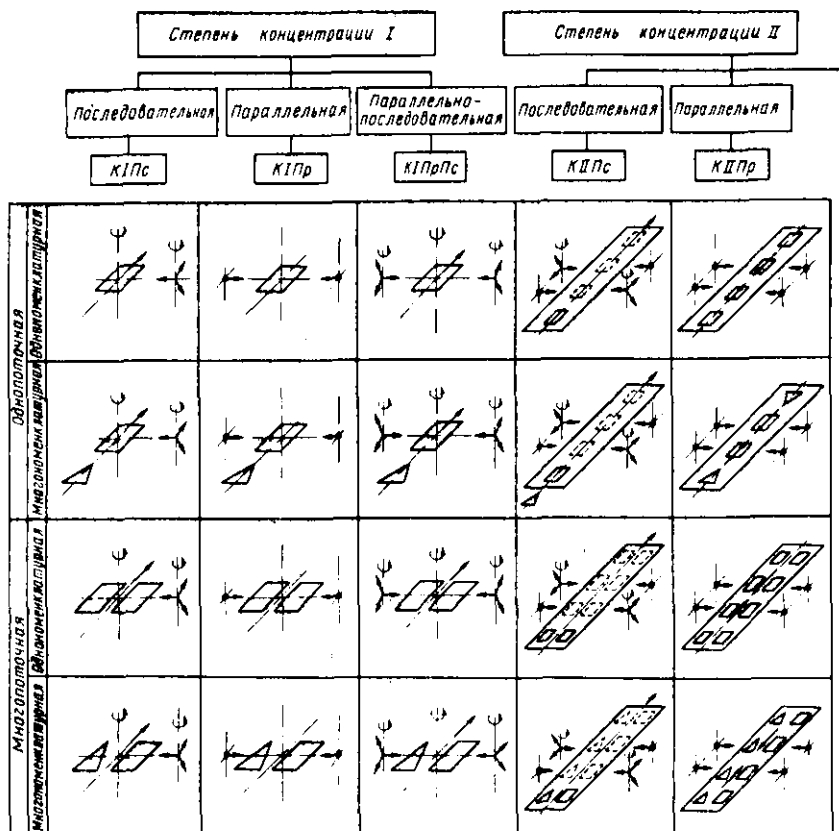
Концентрация операций второй степени КII характеризуется объединением в единой системе нескольких позиций обработки, соответствующих концентрации КI. Сочетания технологических переходов при многопозиционной обработке также могут выполняться последовательно, параллельно и параллельно-последовательно.

Здесь каждой форме концентрации могут соответствовать агрегатированные системы, построенные по двум различным компоновкам: не только с движением детали по прямолинейной траектории, но и по замкнутому контуру в горизонтальной или вертикальной плоскостях.

При последовательной обработке детали на ряде позиций имеет место последовательная концентрация КIIПс.

Параллельная форма концентрации КIIПр может быть реализована в виде многопозиционного станка с выполнением одной и той же обработки на каждой позиции и загрузкой деталей на отдельных позициях (см. табл. IV.20, верхняя схема).

Наконец, объединение в различных сочетаниях многопозиционных станков или участков автоматических линий характеризует третью степень концентрации технологических переходов КIII. Форма концентрации КIIIПс может быть реализована путем последовательного

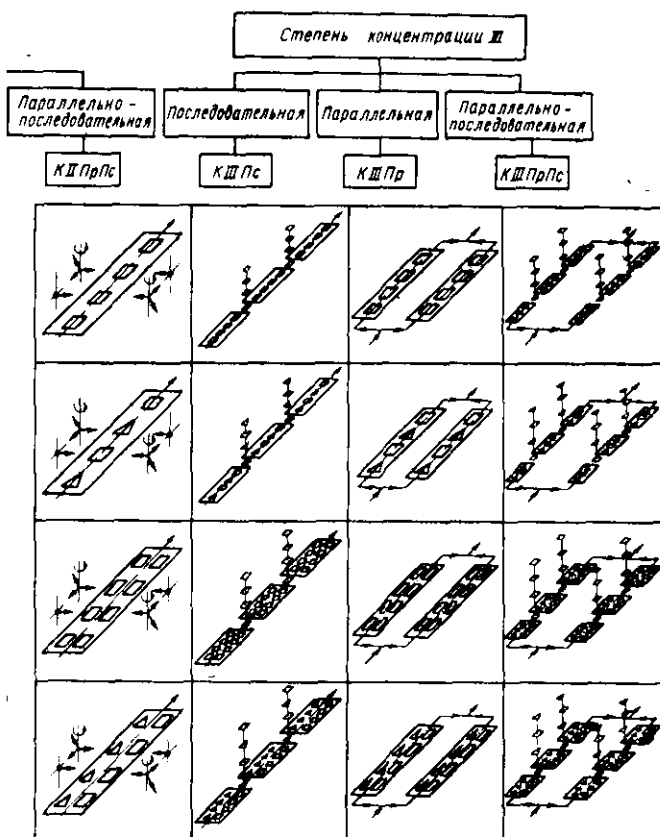


объединения нескольких участков автоматических линий с установкой накопителей деталей между ними или последовательного объединения многопозиционных станков, в том числе и роторного типа.

Объединение нескольких одинаковых параллельно работающих участков линий или нескольких многопозиционных станков в единую автоматическую систему характеризует параллельную концентрацию КИПр. Последовательное объединение нескольких параллельно работающих участков или многопозиционных станков позволяет получить КИПрПс.

На основании такого подхода для каждой степени и формы концентрации операций могут быть составлены основные варианты принципиально возможных структурных схем оборудования. Так, для КИПс с учетом возможности вращения детали вокруг собственных осей, а также перемещения инструментов в плоскости, перпендикулярной направлению подачи или вращения их вместе с револьверной головкой,





можно получить 28 различных структурных схем [рис. IV.40], а для КИПрПс — 56 принципиально различающихся схем и т. д.

На предварительной стадии проектирования агрегатированных систем выбор той или иной структурной схемы определяется в основном двумя факторами: конструкцией детали и производительностью, которую должно обеспечить оборудование.

Включая в понятие «конструкция детали» ее габаритные размеры, форму, количество сторон обработки, количество, вид и размеры поверхностей, которые необходимо обработать с каждой стороны, можно отметить следующее: чем сложнее деталь и чем выше программа выпуска, тем правее (см. табл. IV.20) будут находиться схемы агрегатированных систем, удовлетворяющие критериям оптимальности.

Размеры детали влияют на выбор структурных схем главным образом при степенях концентрации КII и КIII: небольшие и мелкие детали более целесообразно обрабатывать на многопозиционных станках или

линиях из многопозиционных станков, средние и крупные детали — на однопозиционных станках или линиях из однопозиционных станков. Форма детали, количество сторон обработки, а также количество

| Движения<br>детали<br>инструмента | а  | б  | в                                | г                                |
|-----------------------------------|----|----|----------------------------------|----------------------------------|
| 1                                 | 1а | 1б | 1в                               | 1г                               |
| 2                                 | 2а | 2б | 2в                               | 2г                               |
| 3                                 | 3а | 3б | 3в                               | 3г<br>$3г \approx 1г \approx 3а$ |
| 4                                 | 4а | 4б | 4в<br>$4в \approx 1б \approx 4а$ | 4г                               |
| 5                                 | 5а | 5б | 5в                               | 5г                               |
| 6                                 | 6а | 6б | 6в                               | 6г                               |
| 7                                 | 7а | 7б | 7в                               | 7г                               |

Рис. IV. 40. Схемы сочетаний возможных движений детали и инструментов, характеризующие различные варианты оборудования с концентрацией КИПС

переходов, которые необходимо выполнить для полной обработки каждой поверхности, оказывают влияние на число позиций многопозиционных систем (которое в свою очередь зависит от количества и числа позиций revolverных головок) или число позиций делительного при-

способления (или револьверной головки) однопозиционных станков. Наконец, размеры и количество поверхностей, обрабатываемых с одной стороны детали, влияют на мощность и размеры обрабатывающих силовых узлов — силовых головок, стволов и бабок.

Пользуясь методом, предложенным проф. Демьянюком Ф. С., можно составить таблицу, позволяющую из большого числа вариантов структурных схем выбрать ту область, в которой необходимо вести поиск оптимальных решений. Табл. IV.21 составлена для условной детали, представляющей собой корпус, шесть сторон которого ( $A — E$ ) подвергаются обработке, причем с каждой стороны обрабатываются по три ( $1—3$ ) одинаковых поверхности каждая в три ( $a, б, в$ ) перехода. Если задаться условием вести обработку на всех позициях наибольшим возможным количеством инструментов, как это осуществляется в массовом производстве, то для полной обработки детали при концентрации KI потребуется шесть трехсторонних однопозиционных станков (по принципиальной схеме KIPp, см. табл. IV.20). При концентрации KII — три четырехпозиционных (одна позиция — загрузочная) двухсторонних станка или три пятипозиционных (первая позиция для загрузки и последняя для разгрузки деталей) участка автоматических линий (по принципиальной схеме KIPpПс, см. табл. IV.20). Наконец, при концентрации KIII — автоматическая система из трех независимо работающих участков, на каждом из которых деталь обрабатывается с двух сторон на трех позициях (схема KIIIПс, см. табл. IV.20) \*. Для массового выпуска детали ни в одном варианте револьверные головки и делительные приспособления не нашли применения, так как они при сокращении общего количества станков для полной обработки деталей удлиняют цикл обработки, не позволяя получить высокую производительность оборудования.

В табл. IV.22 для всех приведенных в табл. IV.20 степеней и форм концентраций элементарных операций даются структурные формулы, характеризующие схемы по длительности цикла (теоретического и расчетного, определяемого с учетом простоев из-за смены инструментов, случайных отказов механизмов в работе), теоретической и расчетной производительности, времени (станкоемкости) полной обработки детали и себестоимости полной обработки ее (для однопоточных однономенклатурных вариантов).

Расчет параметров агрегатированных систем по приведенным в табл. IV.22 формулам позволяет на первом же этапе исключить из рассмотрения те варианты схем, где срок окупаемости оборудования выше нормативного.

Выбор оптимального количества элементарных операций, которые целесообразно объединить на станке или в линии, может осуществляться на основе нескольких критериев: минимальной станкоемкости полной обработки деталей, минимальной себестоимости, заданного срока окупаемости дополнительных капиталовложений.

---

\* Если производительность такой линии недостаточна, то может быть выбрана структурная схема KIIIПpПс, или, если позволяют размеры детали, многопоточный однономенклатурный вариант линии KIIIПс (см. табл. IV.20).

Варианты компоновок агрегатных станков и линий с различной концентрацией операций

| Скорость<br>жесткости | Выпол-<br>няемые<br>элемен-<br>тарные<br>операции | Поверхности<br>(1, 2, 3),<br>обрабатывае-<br>мые силовой<br>головкой | Степень концентрации       |                            |                            |
|-----------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                       |                                                   |                                                                      | I                          | II                         | III                        |
| А                     | а                                                 | Аа 123                                                               | Аа 123<br>Аб 123<br>Ав 123 | Аа 123<br>Аб 123<br>Ав 123 | Аа 123<br>Аб 123<br>Ав 123 |
|                       | б                                                 | Аб 123                                                               |                            |                            |                            |
|                       | в                                                 | Ав 123                                                               |                            |                            |                            |
| Б                     | а                                                 | Ба 123                                                               | Аа 123<br>Аб 123<br>Ав 123 | Аа 123<br>Аб 123<br>Ав 123 | Аа 123<br>Аб 123<br>Ав 123 |
|                       | б                                                 | Бб 123                                                               |                            |                            |                            |
|                       | в                                                 | Бв 123                                                               |                            |                            |                            |
| В                     | а                                                 | Ва 123                                                               | Аа 123<br>Аб 123<br>Ав 123 | Аа 123<br>Аб 123<br>Ав 123 | Аа 123<br>Аб 123<br>Ав 123 |
|                       | б                                                 | Вб 123                                                               |                            |                            |                            |
|                       | в                                                 | Вв 123                                                               |                            |                            |                            |

[illegible]

Примечание. а — сверление; б — зонкерование; в — развертывание

Расчетные параметры агрегатированных систем с различными формами концентрации технологических переходов

| КПС                                                                                                                                                  | КПР                                                                                       | КПРПС                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $n = ac$                                                                                                                                             | $n = k$                                                                                   | $n = ack$                                                                                                                                     |
| $T_{\Pi} = ac(t_p + t_x) + at_{x,n} + ct_{x,r} + t_3$                                                                                                | $T_{\Pi} = t_p + t_x + t_3$                                                               | $T_{\Pi} = ac(t_p + t_x) + at_{x,n} + ct_{x,r} + t_3$                                                                                         |
| $Q = \Phi/[ac(t_p + t_x) + at_{x,n} + ct_{x,r} + t_3]$                                                                                               | $Q = \Phi/(t_p + t_x + t_3)$                                                              | $Q = \Phi/[ac(t_p + t_x) + at_{x,n} + ct_{x,r} + t_3]$                                                                                        |
| $F = K/(ac)$                                                                                                                                         | $F = K/k$                                                                                 | $F = K/(ack)$                                                                                                                                 |
| $T_{u,p} = [ac(t_p + t_x) + at_{x,n} + ct_{x,r} + t_3](1 + B_0) + \sum_n t_{p'u}/T$                                                                  | $T_{u,p} = (t_p + t_x + t_3)(1 + B_0) + \sum_n t_{p'u}/T$                                 | $T_{u,p} = [ac(t_p + t_x) + at_{x,n} + ct_{x,r} + t_3] \times (1 + B_0) + \sum_n t_{p'u}/T$                                                   |
| $T_{x,p} = K \left\{ [ac(t_p + t_x) + at_{x,n} + ct_{x,r} + t_3] \times \right. \\ \left. \times (1 + B_0) + \sum_n \frac{t_{p'u}}{T} \right\} / ac$ | $T_{x,p} \approx K \left[ (t_p + t_x + t_3)(1 + B_0) + \sum_n t_{p'u}/T \right] / k$      | $T_{x,p} = K \left\{ [ac(t_p + t_x) + at_{x,n} + ct_{x,r} + t_3] \times \right. \\ \left. \times (1 + B_0) + \sum_n t_{p'u}/T \right\} / ack$ |
| $Q_p = \frac{\Phi \eta_{u,p}}{[ac(t_p + t_x) + at_{x,n} + ct_{x,r} + t_3] \times (1 + B_0) + \sum_n \frac{t_{p'u}}{T}}$                              | $Q_p = \frac{\Phi \eta_{u,p}}{(t_p + t_x + t_3)(1 + B_0) + \sum_n t_{p'u}/T}$             | $Q_p = \frac{\Phi \eta_{u,p}}{[ac(t_p + t_x) + at_{x,n} + ct_{x,r} + t_3] \times (1 + B_0) + \sum_n t_{p'u}/T}$                               |
| $C = \frac{K}{ac} \left[ (\beta + \delta) \frac{T_{u,p}}{f} S + 0,143 \frac{A}{N} \right]$                                                           | $C = \frac{K}{k} \left[ (\beta + \delta) \frac{T_{u,p}}{f} S + 0,143 \frac{A}{N} \right]$ | $C = \frac{K}{ack} \left[ (\beta + \delta) \frac{T_{u,p}}{f} S + 0,143 \frac{A}{N} \right]$                                                   |

| КППс                                                                                                                                                                                                      | КППр                                                                                             | КППс                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $n = acm$                                                                                                                                                                                                 | $n = km$                                                                                         | $n = ackm$                                                                                                                                           |
| $T_{\text{н}} = [ac(t_p + t_x) + at_{\text{х.н}} + ct_{\text{х.р}} + t_{\text{тп}}] m$                                                                                                                    | $T_{\text{н}} = t_p + t_x + mt_3$                                                                | $T_{\text{н}} = ac(t_p + t_x) + at_{\text{х.н}} + ct_{\text{х.р}} + t_{\text{тп}}$                                                                   |
| $Q = \Phi/[ac(t_p + t_x) + at_{\text{х.н}} + ct_{\text{х.р}} + t_{\text{тп}}] m$                                                                                                                          | $Q = \Phi/(t_p + t_x + mt_3)$                                                                    | $Q = \Phi/[ac(t_p + t_x) + at_{\text{х.н}} + ct_{\text{х.р}} + t_{\text{тп}}]$                                                                       |
| $F = K/(acm)$                                                                                                                                                                                             | $F = K/k$                                                                                        | $F = K/(ackm)$                                                                                                                                       |
| $T_{\text{н.р}} = [ac(t_p + t_x) + at_{\text{х.н}} + ct_{\text{х.р}} + t_{\text{тп}}] m(1 + B_0) + \sum_n t_{\text{р.н}}/T$                                                                               | $T_{\text{н.р}} = T_{\text{н}}(1 + B_0) + \sum_n t_{\text{р.н}}/T$                               | $T_{\text{н.р}} = [ac(t_p + t_x) + at_{\text{х.н}} + ct_{\text{х.р}} + t_{\text{тп}}] \times (1 + B_0) + \sum_n t_{\text{р.н}}/T$                    |
| $T_{\text{х.р}} = K \{ [ac(t_p + t_x) + at_{\text{х.н}} + ct_{\text{х.р}} + t_{\text{тп}}] m(1 + B_0) + \sum_n t_{\text{р.н}}/T \} / [ac(t_p + t_x) + at_{\text{х.н}} + ct_{\text{х.р}} + t_{\text{тп}}]$ | $T_{\text{х.р}} = K \left[ T_{\text{н}}(1 + B_0) + \sum_n t_{\text{р.н}}/T \right] / k$          | $T_{\text{х.р}} = K \{ [ac(t_p + t_x) + at_{\text{х.н}} + ct_{\text{х.р}} + t_{\text{тп}}] (1 + B_0) + \sum_n t_{\text{р.н}}/T \} / [acm]$           |
| $Q_p = \frac{\Phi\eta_{\text{н.р}}}{m[ac(t_p + t_x) + at_{\text{х.н}} + ct_{\text{х.р}} + t_{\text{тп}}] \times (1 + B_0) + \sum_n t_{\text{р.н}}/T}$                                                     | $Q_p = \frac{\Phi\eta_{\text{н.р}}}{T_{\text{н}}(1 + B_0) + \sum_n t_{\text{р.н}}/T}$            | $Q_p = \frac{\Phi\eta_{\text{н.р}}}{[ac(t_p + t_x) + at_{\text{х.н}} + ct_{\text{х.р}} + t_{\text{тп}}] \times (1 + B_0) + \sum_n t_{\text{р.н}}/T}$ |
| $C = \frac{K}{acm} \left[ (\beta + \delta) \frac{T_{\text{н.р}}}{f} S + 0,143 \frac{A}{N} \right]$                                                                                                        | $C = \frac{K}{k} \left[ (\beta + \delta) \frac{T_{\text{н.р}}}{f} S + 0,143 \frac{A}{N} \right]$ | $C = \frac{K}{ackm} \left[ (\beta + \delta) \frac{T_{\text{н.р}}}{f} S + 0,143 \frac{A}{N} \right]$                                                  |

| КППс                                                                                                      | КППр                                                                                  | КППс                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $n = kmq$                                                                                                 | $n = knj$                                                                             | $n = kmqj$                                                                                                 |
| $T_{\alpha} = t_p + t_x + t_{rp}$                                                                         | $T_{\alpha} = t_p + t_x + t_{rp}; \quad T_{\alpha} = t_{rpm} = 6\theta/n_0$           | $T_{\alpha} = t_p + t_x + t_{rp}$                                                                          |
| $Q = \Phi/(t_p + t_x + t_{rp})$                                                                           | $Q = \Phi j/(t_p + t_x + t_{rp})$                                                     | $Q = \Phi j/(t_p + t_x + t_{rp})$                                                                          |
| $F = K/(kmq)$                                                                                             | $F = K/(km)$                                                                          | $F = K/(kmqj)$                                                                                             |
| $T_{\alpha, p} = (t_p + t_x + t_{rp}) (1 + B_0 \gamma/q) + \sum_n t_{p'n}/T$                              | $T_{\alpha, p} = T_{\alpha} (1 + B_0) + \sum_n t_{p'n}/T$                             | $T_{\alpha, p} = (t_p + t_x + t_{rp}) (1 + B_0 \gamma/q) + \sum_n t_{p'n}/T$                               |
| $T_{\alpha, p} = \frac{K}{kmq} \left[ (t_p + t_x + t_{rp}) (1 + B_0 \gamma/q) + \sum_n t_{p'n}/T \right]$ | $T_{\alpha, p} = \frac{K}{km} \left[ T_{\alpha} (1 + B_0) + \sum_n t_{p'n}/T \right]$ | $T_{\alpha, p} = \frac{K}{kmqj} \left[ (t_p + t_x + t_{rp}) (1 + B_0 \gamma/q) + \sum_n t_{p'n}/T \right]$ |



| КПППс                                                                                                 | КППр                                                                                              | КПППс                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Q_p = \frac{\Phi_{\text{Пп.р}}}{(t_p + t_x + t_{\text{тр}})(1 + B_0 \gamma/q) + \sum^n t_p t_w / T}$ | $Q_p = \frac{\Phi_{\text{Пп.р}j}}{T_{\text{п}}(1 + B_0) + \sum^n t_p t_w / T}$                    | $Q_p = \frac{\Phi_{\text{Пп.р}j}}{(t_p + t_x + t_{\text{тр}})(1 + B_0 \gamma/q) + \sum^n t_p t_w / T}$ |
| $C = \frac{K}{kmq} \left[ (\beta + \delta) \frac{T_{\text{п.р}}}{f} S + 0,143 \frac{A}{N} \right]$    | $C = \frac{K}{km} \left[ (\beta + \delta) \frac{T_{\text{п.р}}}{f} S + 0,143 \frac{A}{N} \right]$ | $C = \frac{K}{kmq} \left[ (\beta + \delta) \frac{T_{\text{п.р}}}{f} S + 0,143 \frac{A}{N} \right]$     |

Объяснения:  $K$  — общее количество переходов, необходимое для полной обработки детали;  $a$  — количество сторон деталей, последовательно обрабатываемых на станке ( $a = m_x \cdot n$ );  $m_x \cdot n$  — число позиций делительного приспособления;  $c$  — количество последовательных переходов для полной обработки одной поверхности ( $c = m_x \cdot r$ );  $m_x \cdot r$  — число позиций револьверной головки;  $k$  — количество инструментов, одновременно обрабатывающих деталь;  $t_p$  — время рабочей подачи инструментов;  $t_x$  — время холостых ходов инструментов;  $t_3$  — время закрепления и открепления одной детали в приспособлении;  $t_{\text{тр}}$  — время транспортировки детали на одну позицию (с учетом фиксации и расфиксации стола или приспособления);  $t_{\text{д.п}}$  — время поворота делительного приспособления;  $t_{\text{д.г}}$  — время поворота делительной головки;  $t_{\text{п}}$  — время замены одного инструмента;  $T$  — стойкость инструмента;  $\Phi$  — фонд времени;  $F$  — количество станков для автоматических линий для полной обработки детали;  $T_{\text{п}}$  — длительность цикла теоретическая;  $T_{\text{п.р}}$  — длительность цикла расчетная;  $Q$  — производительность оборудования удельная длительность настройки механизмов оборудования из-за случайных отказов;  $T_{\text{д.р}}$  — расчетная станкосемость полной обработки детали;  $\eta_{\text{п.р}}$  — коэффициент, учитывающий потери времени на плановый ремонт оборудования;  $n$  — суммарное количество переходов, выполняемых за один цикл;  $C$  — себестоимость полной обработки детали;  $\delta = 1,15$  — коэффициент, учитывающий начисления на зарплату;  $\beta$  — коэффициент, учитывающий накладные расходы;  $f$  — коэффициент многостаночного обслуживания;  $S$  — средняя минутная зарплата рабочего;  $A$  — стоймость станка или автоматической линии;  $N$  — годовая программа деталей;  $n'$  — количество переходов, одновременно выполняемых на станке или линии;  $n_0$  — число оборотов в минуту роторных станков;  $m$  — число рабочих позиций на станке или участке линии;  $j$  — число параллельных участков в линии;  $q$  — число последовательных участков в линии;  $\gamma$  — коэффициент наложения потерь предшествующими участками на потери последнего участка.

В таблице приведены параметры, характеризующие оборудование с различными формами концентрации операций, а также формулы для расчета длительности цикла  $T_{\text{ц}}$ , штучного времени обработки детали  $T_{\text{д}}$ , производительности  $Q$  станков и себестоимости  $C$  полной обработки детали.

Если предположить, что для полной обработки некоторой условной детали необходимо выполнить  $k$  переходов, то

$$k = abc,$$

где  $a$  — число сторон обработки детали;  $b$  — число поверхностей, обрабатываемых с каждой стороны;  $c$  — число переходов, необходимых для обработки каждой поверхности.

Длительность цикла работы станка будет зависеть от числа  $a$  сторон, которые обрабатывают на данном станке, числа  $c$  переходов для обработки каждой поверхности, времени выполнения каждого перехода ( $t_p - t_x$ ), а также от длительности вспомогательных времен  $t_{\text{д.п.}}$ ,  $t_{\text{д.г.}}$ ,  $t_3$  (см. табл. IV.22).

Станкоемкость  $T_{\text{д}}$  обработки детали на станке в отличие от длительности цикла  $T_{\text{ц}}$  существенно зависит от числа инструментов и надежности механизмов, так как с их увеличением будут расти потери времени на смену инструментов и восстановление работоспособности станков, отнесенные к одной детали.

В свою очередь на число инструментов, которые целесообразно концентрировать на станке, влияет большое количество факторов. К основным из них можно отнести: конструкцию деталей (с учетом значения величин  $a$ ,  $b$  и  $c$ ), технологическую последовательность ее обработки, жесткость системы и ее надежность, требования к точности обработки, технические характеристики узлов (например, значения максимальных усилий подачи и мощности силовых головок), габаритные размеры станков и другие факторы. В связи с тем что математический учет всех перечисленных ограничений весьма затруднителен, расчет станкоемкости ведут при двух основных ограничениях: простых из-за смены инструментов и устранения отказов в работе различных узлов и механизмов. Оба эти вида простоя будут возрастать с увеличением числа инструментов на станке и тем самым ограничивать степень их концентрации. Таким образом, станкоемкость

$$T_{\text{д}} = T_{\text{ц}} (1 + B_0) + \sum t_{\text{с.и.}}$$

где  $B_0$  — суммарная удельная длительность настройки оборудования, мин рем./мин раб;  $\sum t_{\text{с.и.}}$  — суммарные потери времени на смену инструментов станка, отнесенные к одной детали:

$$\sum t_{\text{с.и.}} = \sum_{i=1}^n t_i / Q_i = \sum_{i=1}^n t_{pi} t_i / T_i.$$

Здесь  $t_i$  — время на замену  $i$ -го инструмента;  $Q_i$  — количество деталей, обработанных  $i$ -м инструментом за период стойкости;  $t_{pi}$  — время резания инструмента;  $T_i$  — стойкость инструмента.

Значение  $B_0$  можно определить как сумму погрупповых характеристик  $B_n$  различных групп  $n$ , пользуясь методикой проф. А. П. Владзиевского [1]. Производительность оборудования ( $шт/ч$ )

$$Q = 60\eta_{п.р}/T_n,$$

где  $\eta_{п.р}$  — коэффициент, учитывающий потери времени на плановые простои оборудования.

Наиболее целесообразная форма концентрации по классификации будет, очевидно, та, которая обеспечивает заданную производительность  $Q$  при минимальном сроке окупаемости дополнительных капиталовложений  $P_{min}$  или с минимальных приведенных затрат  $Z_{min}$ .

Себестоимость полной обработки детали в зависимости от концентрации инструментов на станках

$$C = M + (\delta + \beta) TS + \alpha A/N + I,$$

где  $M$  — стоимость заготовки, руб.;  $\delta = 1,15$  — коэффициент затраты с начислениями;  $\beta$  — коэффициент цеховых накладных расходов в долях основной зарплаты производственных рабочих;  $T = 60f/Q$  — трудоемкость изготовления одной детали, мин;  $f$  — число рабочих, занятых обработкой детали;  $Q$  — выпуск,  $шт/ч$ ;  $S$  — средняя минутная зарплата рабочего, руб.;  $\alpha A$  — годовые амортизационные отчисления на оборудование и оснастку, руб.;  $N$  — годовой выпуск деталей;  $I$  — стоимость инструмента на одну деталь, руб.

Для одних и тех же деталей (например, крупных корпусных) в зависимости от выпуска можно применять оборудование с концентрацией операций, отличающейся на один-два порядка. Например, блоки цилиндров бензиновых или дизельных двигателей машин мелкосерийного производства обрабатывают, как правило, на однопозиционных агрегатных станках (первичная концентрация операций). Для изготовления этих же деталей в массовом производстве применяют автоматические линии с параллельными и ветвящимися потоками, состоящие из независимо работающих участков, соединенных автоматическими накопителями (высшая концентрация операций). Мелкие детали типа угольников и крестовин (в частности детали арматуры) в мелкосерийном производстве обрабатывают на однопозиционных, реже на многопозиционных переналаживаемых станках. В массовом же производстве для таких деталей проектируют автоматические линии из многопозиционных станков (например, автоматические линии для обработки крестовин кардана автомобилей и тракторов). Детали одинаковой формы, но разных размеров также можно обрабатывать на разном по конструкции и концентрации операций оборудовании даже при одном и том же выпуске: блок цилиндров дизельного двигателя мощного самосвала — на поточной линии из однопозиционных агрегатных станков, блок легкового автомобиля — на многопозиционном станке с центральной колонной.

В значительно меньшей степени, чем величина выпуска и размерность деталей, на компоновку станков и степень концентрации операций влияет форма детали. Так, например, корпусные детали и рычаги обрабатывают на станках одних и тех же типов, отличающихся лишь

размерами и расположением силовых головок. Близки по компоновке станки, применяемые для деталей типа полых цилиндров и дисков.

Наиболее целесообразные формы концентрации элементарных операций технологического процесса и оптимальные компоновки оборудования выбирают на основе технико-экономического сравнения ряда конкурирующих вариантов.

Исходя из заданного годового выпуска деталей, производят формирование вариантов схем станков и линий с различной концентрацией операций (см. рис. IV.40), а затем по формулам табл. IV.22 ведут расчет сравниваемых технологических параметров станков ( $T_u$ ,  $Q$ ), а также полной станкоемкости  $T_d$  и себестоимости  $C$  обработки детали. Число  $K$  переходов, подсчитанное для условной детали как произведение  $abc$ , для реальной детали определяют как сумму переходов по каждой обрабатываемой поверхности с учетом числа поверхностей с каждой стороны детали и числа сторон обработки:

$$K = \sum_1^a \sum_1^b c_i.$$

Определяют также реальное число станков, необходимых для полной обработки детали, с учетом неравномерного распределения инструментов между станками в соответствии с технологическим маршрутом обработки.

Для выбранных компоновок строят графические зависимости теоретической  $T_d$  и расчетной  $T_{d.p}$  станкоемкости детали, суммарных потерь времени  $\Sigma t_{c.n}$  из-за смены и регулировки инструментов и случайных отказов оборудования  $\Sigma t_o$ , отнесенных к одной детали, в зависимости от количества  $n$  одновременно выполняемых элементарных операций. Расчет ведут с учетом увеличения времени  $T_u$  обработки детали с ростом числа инструментов на станке, что снижает скорости резания при многоинструментной обработке. Очевидно, что существует  $n$ , увеличение которого приводит соответственно к увеличению  $T_{d.p}$  вследствие большого удельного веса потерь времени на устранение отказов по вине инструмента и оборудования.

Определение  $n$ , которое позволяет получить минимальную себестоимость  $C$  обработки детали (или заданный срок  $P$  окупаемости затрат), также ведут графо-аналитическим путем. По формулам табл. IV.19 определяют зависимость себестоимости обработки детали от  $n$  (число инструментов в наладке), т. е.  $C = f_1(n)$  (рис. IV.41). На основе статистической обработки данных по стоимости станков строят зависимости стоимости оборудования от  $n$ , т. е.  $\Sigma A = f_2(n)$ . Графически исключая переменную  $n$ , определяют зависимость себестоимости  $C$  обработки от стоимости  $\Sigma A$  оборудования;  $C = f_3(\Sigma A)$  (рис. IV.41). С этой же кривой графически совмещают зависимость  $C = f_4(\Sigma A)$ , полученную для заданного срока  $P$  окупаемости из формулы

$$P \geq (\Sigma A_2 - \Sigma A_1) / (C_1 - C_2) N.$$

Если зависимости  $C = f_3(\Sigma A)$  и  $C = f_4(\Sigma A)$  не пересекаются на графике, значит поставленная задача не имеет решения при выбранном

сроке  $P$  окупаемости. Если они пересекаются в одной точке (точка касания), то соответствующее ей значение  $P$  является единственным возможным решением. При пересечении зависимостей в двух точках (см. рис. IV.41) может быть выбрано значение  $n_c$ , соответствующее минимальной себестоимости, или  $n_p$ , соответствующее минимальному сроку окупаемости.

При выборе варианта по критерию минимума приведенных затрат  $Z_{\min} = CN_r - E_n \Sigma A$  также можно воспользоваться графиком (см. рис. IV.41). Здесь значение  $n$ , обеспечивающее минимальную сумму

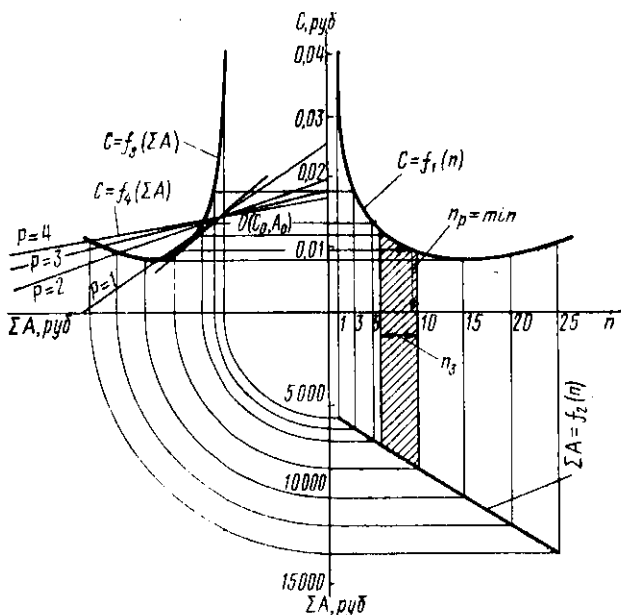


Рис. IV.41. Метод построения зависимостей для выбора схемы оборудования с оптимальной концентрацией операций

ординат  $CN_r$  и  $\Sigma AE_n$  (где  $E_n$  — нормативный коэффициент экономической эффективности), будет оптимальным по минимальным приведенным затратам.

В качестве примера в табл. IV.23 показаны варианты обработки тройника на оборудовании с различной степенью концентрации операций. Варианты обработки с концентрацией операций KI представлены односторонним агрегатным станком 1 (рис. IV.42) с револьверной головкой, четырехсторонним станком 2 с делительным приспособлением, а также трехсторонним станком 3 с револьверными головками и делительным приспособлением. Концентрация операций KII может быть реализована на четырехпозиционном двустороннем станке 4, где на второй рабочей позиции подрезка торца совмещается со снятием фаски таким же по компоновке станком 5, но оснащенным двухместным приспособлением для обработки детали в две установки (с третьей сто-

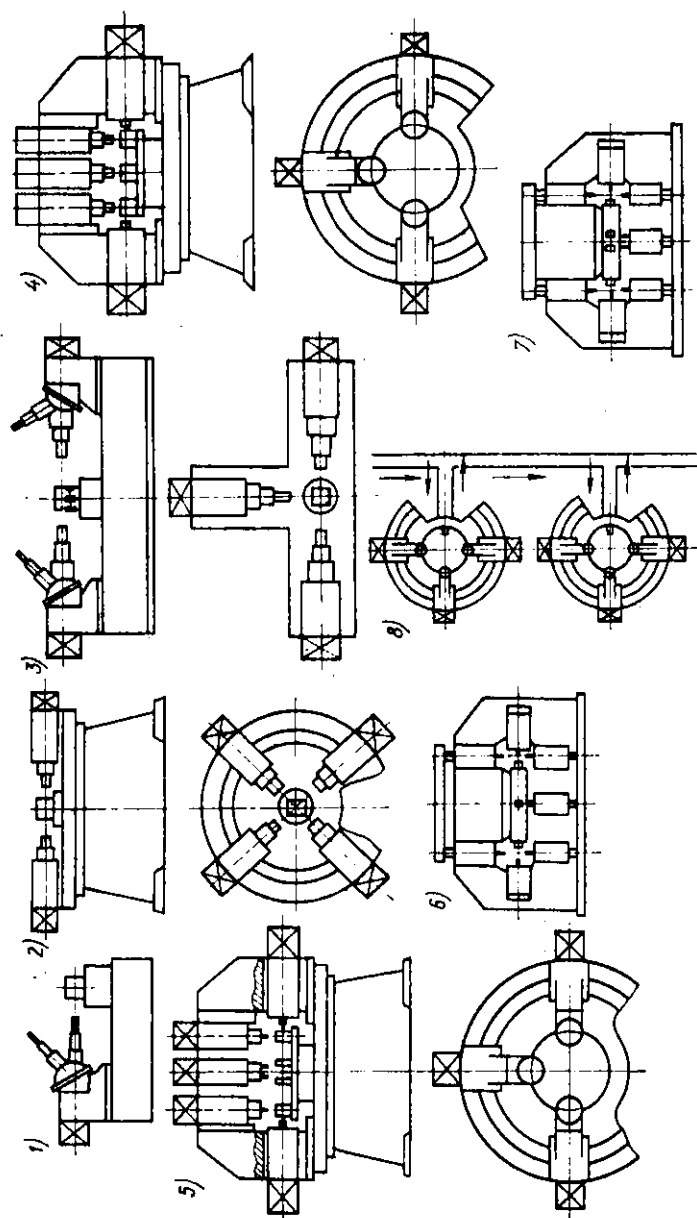
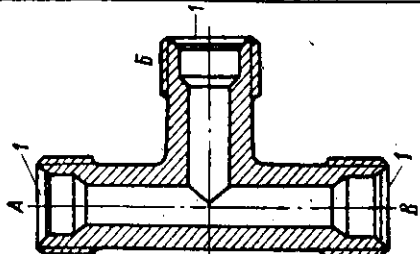


Рис. IV.42. Варианты схем агрегатных станков для обработки тройника

Варианты обработки тройника на агрегатных станках с различной степенью концентрации операций

| Чертеж детали                                                                       | Название операции | Степень концентрации I |    |      |    | Степень концентрации II |    |      |    | Степень концентрации III |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------|----|------|----|-------------------------|----|------|----|--------------------------|----|
|                                                                                     |                   | к1пс*                  |    | к1пс |    | к1пс                    |    | к1пс |    | к1пс                     |    |
|                                                                                     |                   | 1                      | 2  | 3    | 4  | 5                       | 6  | 7    | 8  | к1пс                     |    |
|  | а                 | 1а                     | 1б | 1в   | 1г | 1а                      | 1б | 1в   | 1г | 1а                       | 1б |
|                                                                                     | б                 | 1а                     | 1б | 1в   | 1г | 1а                      | 1б | 1в   | 1г | 1а                       | 1б |
|                                                                                     | в                 | 1а                     | 1б | 1в   | 1г | 1а                      | 1б | 1в   | 1г | 1а                       | 1б |
|                                                                                     | г                 | 1а                     | 1б | 1в   | 1г | 1а                      | 1б | 1в   | 1г | 1а                       | 1б |
| Б                                                                                   | а                 | 1а                     | 1б | 1в   | 1г | 1а                      | 1б | 1в   | 1г | 1а                       | 1б |
|                                                                                     | б                 | 1а                     | 1б | 1в   | 1г | 1а                      | 1б | 1в   | 1г | 1а                       | 1б |
|                                                                                     | в                 | 1а                     | 1б | 1в   | 1г | 1а                      | 1б | 1в   | 1г | 1а                       | 1б |
|                                                                                     | г                 | 1а                     | 1б | 1в   | 1г | 1а                      | 1б | 1в   | 1г | 1а                       | 1б |
| В                                                                                   | а                 | 1а                     | 1б | 1в   | 1г | 1а                      | 1б | 1в   | 1г | 1а                       | 1б |
|                                                                                     | б                 | 1а                     | 1б | 1в   | 1г | 1а                      | 1б | 1в   | 1г | 1а                       | 1б |
|                                                                                     | в                 | 1а                     | 1б | 1в   | 1г | 1а                      | 1б | 1в   | 1г | 1а                       | 1б |
|                                                                                     | г                 | 1а                     | 1б | 1в   | 1г | 1а                      | 1б | 1в   | 1г | 1а                       | 1б |

\* Номера станков даны по рис. IV.42

роны), а также четырехпозиционными трехсторонними станками 6 и 7 с одно- и двухпоточной обработкой детали (одно- и двухместное приспособление).

Степень концентрации КIII представлена автоматической линией из многопозиционных станков 8, на каждом из которых выполняется полная обработка деталей с трех сторон.

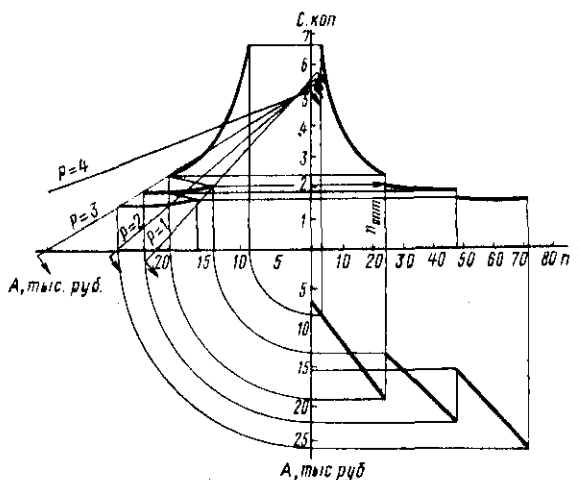


Рис. IV.43. Результаты расчета оптимальной концентрации операций при обработке тройников

Расчет оптимальной концентрации операций (рис. IV.43) и выбор схемы оборудования для комплекта тройников автомобиля «Москвич» при годовом выпуске  $N = 120\,000$  показал, что в этих условиях  $n_{\text{опт}} = 24$  инструментам и необходим многопозиционный станок для трехсторонней обработки одновременно двух деталей в каждой позиции (по схеме 7). Этот вариант обеспечивает минимальный срок окупаемости (менее одного года) при загрузке станка на 80%.

Применение автоматических линий в данном случае приводит к резкому увеличению стоимости оборудования и увеличению срока окупаемости затрат.

## § IV.7. Производительность и надежность автоматических линий

### Определение производительности блокированных линий

Производительность автоматических линий, как и любого другого автоматизированного оборудования, определяется количеством изготовленных деталей в единицу времени. Однако в связи с тем что автоматическая линия не может работать непрерывно в течение длительного времени и после определенного периода бесперебойной ее работы наступает период простоя по тем или иным причинам, возникает необ-



ходимость дифференцированно подходить к понятию производительности.

Производительность линии при полном отсутствии простоев, когда работа линии состоит в периодическом повторении всех рабочих и холостых движений механизмов в заданной последовательности, т. е. в периодическом повторении рабочего цикла, называют *цикловой* (или *теоретической*) *производительностью*. Эта производительность {шт/мин} может быть реализована только при 100%-ной отдаче линии и определяется она из следующего соотношения:

$$Q_{\text{ц}} = 60/T_{\text{ц}} = 60/(t_p + t_x + t_{\text{тр}}).$$

Затраты вспомогательного времени  $t_{\text{в}} = t_x + t_{\text{тр}}$  относят к цикловым потерям. И хотя в подавляющем большинстве случаев эти затраты необходимы для осуществления самого процесса резания, все же дифференцированный учет этих затрат позволяет проанализировать их влияние на производительность и ориентирует конструкторов на сокращение их до минимально возможных значений. На рис. IV.44 показана зависимость цикловой производительности  $Q_{\text{ц}}$  от длительности вспомогательного времени  $t_{\text{в}}$  при различной длительности рабочего времени  $t_p$ . Как видно из графика, при  $t_p = 30 \text{ сек}$  и  $t_{\text{в}} = 6 \text{ сек}$   $Q_{\text{ц}} = 100 \text{ дет/ч}$ , а при  $t_p = 30 \text{ сек}$  и  $t_{\text{в}} = 42 \text{ сек}$   $Q_{\text{ц}} = 50 \text{ дет/ч}$ , т. е. в 2 раза меньше. Влияние  $t_{\text{в}}$  на  $Q_{\text{ц}}$  тем больше, чем меньше величина  $t_p$ .

Если бы у автоматической линии отсутствовали затраты времени  $t_x$  на холостые ходы инструментов, а также расфиксацию, разжим, транспортировку, фиксацию и зажим детали ( $t_{\text{тр}}$ ), то производительность такой линии определялась бы только длительностью рабочих ходов. Такую производительность называют *технологической*.

По определению проф. Шаумяна Г. А., технологическая производительность {шт/ч} является потенциалом производительности автоматической линии, который подсчитывают для идеальных условий — отсутствия холостых ходов и любых других простоев:

$$Q_{\text{т}} = 60/t_p.$$

В связи с тем что автоматическую линию после определенного времени безотказной работы останавливают для восстановления работо-

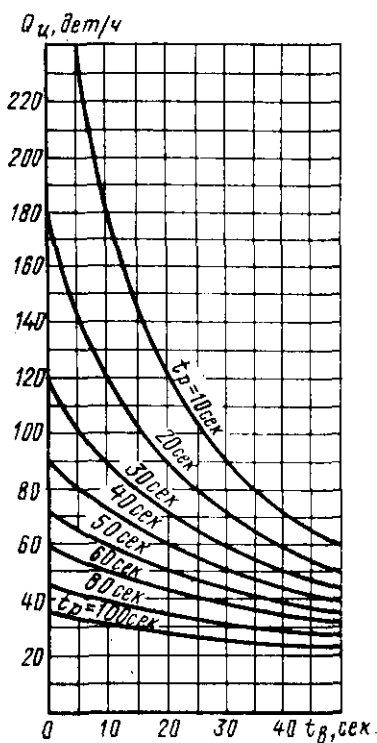


Рис. IV.44. Зависимость  $Q_{\text{ц}}$  от длительности  $t_{\text{в}}$  при различных  $t_p$

способности, т. е. для выполнения ремонтных или профилактических работ по обслуживанию инструментов или механизмов станков, производительность ее, подсчитанная за длительный промежуток времени, будет снижаться за счет этих внецикловых потерь времени.

Из внецикловых потерь времени при проектировании автоматических линий необходимо в первую очередь учитывать потери на замену, регулировку и подналадку инструментов  $\Sigma T_{c.и}$ , а также потери на ремонт, регулировку и отладку различных механизмов  $\Sigma T_o$ . Как было сказано ранее, эти потери времени существенно зависят от степени концентрации операций и влияют на эффективность вариантов компоновок автоматизированного оборудования.

Если на стадии проектирования линии конструктор выполняет расчет этих видов потерь, то может быть определена производительность линии с учетом  $\Sigma t_{c.и}$  и  $\Sigma t_o$ . Условимся такую производительность ( $шт/ч$ ) линии называть *расчетной*:

$$Q_p = 60 / (T_{ц} + \Sigma t_{c.и} + \Sigma t_o),$$

где  $\Sigma t_{c.и}$  и  $\Sigma t_o$  — потери времени на смену инструментов и ремонт оборудования, отнесенные к одной детали.

При минимальных значениях цикловых и внецикловых потерь времени расчетная производительность характе-

Рис. IV.45. Баланс производительности автоматической линии

ризует максимальное значение производительности линии, которая может быть получена в реальных условиях.

Вместе с тем в условиях эксплуатации линии помимо указанных внецикловых простоев линии по техническим причинам могут иметь место внецикловые потери времени по организационным причинам: из-за отсутствия заготовок, электроэнергии, рабочего на линии и другим причинам. В ряде случаев автоматические линии простаивают часть рабочего времени из-за недогрузки. Учет этих потерь по различным организационным причинам ( $\Sigma t_{орг}$ ) позволяет определить наиболее эффективные пути их сокращения и судить о фактической производительности ( $шт/ч$ ) линии:

$$Q_{ф} = 60 / (T_{ц} + \Sigma t_{c.и} + \Sigma t_o + \Sigma t_{орг}).$$

Воспользовавшись методом составления баланса производительности автоматизированного оборудования, предложенным проф. Шаумяном Г. А., можно составить баланс производительности автоматической линии с учетом перечисленных ранее потерь (рис. IV. 45). Как видно,  $Q_{ф} < Q_p < Q_{ц} < Q_T$ .

Задачи конструкторов, проектирующих автоматические линии, состоят во всемерном сокращении потерь  $\Delta Q_1$  из-за цикловых непроизводительных затрат времени и потерь  $\Delta Q_2$  из-за внецикловых простоев по техническим причинам ( $\Delta Q_3$  — потери по организационным причинам).

Степень эффективности конструкции линии, а также степень эффективности ее использования можно характеризовать соответствующими коэффициентами.

Отношение  $Q_p/Q_{\Sigma} = \eta_{т.и}$  назовем *коэффициентом технического использования линии*. Величина  $1 - \eta_{т.и}$  характеризует долю времени, в течение которого линия простаивает из-за плановых и внеплановых ремонтов оборудования и замен инструментов, а величина  $\eta_{т.и}$  зависит от продолжительности внецикловых потерь времени по техническим причинам:

$$\eta_{т.и} = T_{\text{раб}} / (T_{\text{раб}} + T_{с.и} + T_0) = T_{\Sigma} / (T_{\Sigma} + \sum t_{с.и} + \sum t_0) = 1 / (1 + B_{и} + B_0),$$

где  $B_{и} = T_{с.и} / T_{\text{раб}} = \sum t_{с.и} / T_{\Sigma}$  — удельная, т. е. отнесенная к 1 мин работы линии, длительность настройки инструментов;  $B_0 = T_0 / T_{\text{раб}} = \sum t_0 / T_{\Sigma}$  — удельная длительность настройки оборудования линии;  $T_{\text{раб}}$  — время полезной работы.

Зная  $\eta_{т.и}$  и  $Q_{\Sigma}$  линии, можно определить

$$Q_p = (60 / T_{\Sigma}) / [(T_{\Sigma} + \sum t_{с.и} + \sum t_0) / T_{\Sigma}] = Q_{\Sigma} / (1 + B_{и} + B_0) = Q_{\Sigma} \eta_{т.и}.$$

Отношение  $Q_{\Phi} / Q_{\Sigma} = \eta$  назовем *коэффициентом общего использования линии*. Он показывает, какую часть фонда времени линия работает, величина  $1 - \eta$  характеризует долю времени, соответствующую простым по техническим и организационным причинам:

$$\eta = T_{\text{раб}} / (T_{\text{раб}} + T_{с.и} + T_0 + T_{\text{орг}}) = T_{\Sigma} / (T_{\Sigma} + \sum t_{с.и} + \sum t_0 + \sum t_{\text{орг}}) = 1 / (1 + B_{и} + B_0 + B_{\text{орг}}),$$

где  $B_{\text{орг}}$  — удельные, т. е. отнесенные к 1 мин работы линии, потери времени по организационным причинам.

Фактическая производительность линии

$$Q_{\Phi} = (60 / T_{\Sigma}) / (1 + \sum t_{с.и} / T_{\Sigma} + \sum t_0 / T_{\Sigma} + \sum t_{\text{орг}} / T_{\Sigma}) = Q_{\Sigma} (1 + B_{и} + B_0 + B_{\text{орг}}).$$

При отсутствии потерь времени по организационным причинам  $\eta = \eta_{т.и}$  и  $Q_{\Phi} = Q_p$ .

#### Понятие о надежности автоматических линий и их узлов

Коэффициент технического использования  $\eta_{т.и}$  автоматической линии, существенно влияя на ее производительность, зависит от числа узлов и элементов, входящих в линию, структуры и компоновки линии, надежности узлов и элементов, т. е. от надежности линии в целом. В соответствии с ГОСТ 13377—67 под *надежностью* автоматических линий понимаем свойство линии выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени.

Под заданными функциями понимают среднюю производительность линии при условии обработки деталей в соответствии с техническими требованиями и запланированным уровнем рентабельности.

Надежность линии характеризуется ее долговечностью, безотказностью и ремонтпригодностью.

*Долговечность* — это свойство линии длительно (с перерывами на ремонт) сохранять свою работоспособность при определенных режимах работы и определенных условиях эксплуатации. Долговечность количественно оценивается техническим ресурсом линии. Без-

*отказность* — свойство линии непрерывно сохранять работоспособность в определенных режимах и условиях эксплуатации. Количественно она оценивается вероятностью безотказной работы либо интенсивностью отказов, наработкой на отказ и другими показателями.

Под *наработкой* на отказ понимают среднее значение времени работы линии между двумя последовательно возникшими отказами.

*Ремонтопригодность* линии — это приспособленность ее к восстановлению исправности и поддержанию технического ресурса путем предупреждения, обнаружения и устранения неисправностей и отказов. Количественно ремонтопригодность оценивается трудоемкостью предупреждения, обнаружения и устранения неисправностей с учетом квалификации ремонтного персонала и уровня их технической оснащенности.

Автоматические линии, как восстанавливаемые системы многократного действия, находятся либо в эксплуатации, либо в планово-предупредительном ремонте. Поэтому различают общую и эксплуатационную надежность. Последняя определяется безотказностью и долговечностью узлов и элементов, входящих в линию, а также их ремонтопригодностью. Общая надежность, учитывающая весь срок службы линии, в том числе и длительность планово-предупредительных ремонтов, всегда несколько ниже эксплуатационной надежности.

Одним из важных показателей эксплуатационной надежности является коэффициент готовности линии

$$\eta_r = T_{\text{раб}} / (T_{\text{раб}} + T_{\text{вос}}),$$

где  $T_{\text{раб}}$  — время полезной работы в течение определенного периода эксплуатации линии;  $T_{\text{вос}}$  — время восстановления работоспособности линии из-за случайных отказов механизмов и инструментов за тот же период эксплуатации.

Коэффициент готовности может быть представлен в виде выражения

$$\eta_r = T_{\text{ц}} / (T_{\text{ц}} + \sum t_{\text{с.и}} + \sum t_0) = 1 / (1 + B_{\text{и}} + B_0),$$

если под затратами времени  $\sum t$  понимать затраты на восстановление линии из-за случайных отказов, отнесенные к длительности цикла.

Поскольку рассматриваемые отказы автоматической линии носят случайный характер, а время устранения их также является случайной величиной и зависит от многих факторов, изучение работы автоматических линий и расчет ее надежности на стадии проектирования необходимо вести на основе применения методов теории вероятности.

Вероятностные методы расчета автоматических линий были впервые разработаны в ЭНИМСе под руководством проф. Владзиевского А. П., создавшего теорию расчета однопоточных автоматических линий. Эта теория содержит обоснование и аналитическое раскрытие вероятностных закономерностей работы линий, методику расчета характеристик по частоте отказов и удельной длительности настройки, методику выбора структуры линии и оптимальных режимов резания, рассматривает влияние величины заделов деталей на эффективность работы линий.

В дальнейшем эти работы развиты в ЭНИМСе А. А. Левиным применительно к многопоточным линиям, Г. И. Меламедом [10] в области надежности и долговечности станочных систем, а также в Московском и Минском специальных конструкторских бюро по проектированию автоматических линий. Среди этих работ следует отметить монографии Ю. Б. Эрпшера [14], Н. М. Вороничева и др. [17], обобщающие опыт проектирования линий из гидрофицированных узлов и работу [15] в области надежности автоматических линий из узлов с механическим приводом. Большие исследования в области эксплуатационной надежности линий выполнены в МВТУ им. Баумана под руководством проф. Шаумяна Г. А. [13]. В этих работах показано, что время безотказной работы, а также время восстановления линии достаточно хорошо описывает экспоненциальное распределение, функцию этого распределения записывают в виде

$$F(T) = P(t \leq T) = 1 - e^{-\lambda T},$$

а плотность распределения для  $T \geq 0$

$$f(T) = dF(T)/dT = \lambda e^{-\lambda T}.$$

Здесь  $t$  — случайная величина времени безотказной работы или времени простоя линии;  $\lambda$  — параметр потока отказов, характеризующий частоту их возникновения.

Если под  $t$  понимать длительность безотказной работы, то функция распределения представляет собой вероятность отказа.

Вероятность исправной работы линии является противоположным событием, так как

$$P(t \leq T) + P(t > T) = 1,$$

следовательно,

$$P(t > T) = e^{-\lambda T}.$$

График изменения вероятности  $P(t > T)$  в зависимости от  $T$  называют *кривой надежности*.

Математическое ожидание времени безотказной работы

$$M(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt = 1/\lambda.$$

Следовательно, можно записать, что

$$P(t > T) = e^{-T/M(t)}.$$

Гистограммы [15] и кривые плотности вероятности безотказной работы показаны на рис. IV. 46, а и времени восстановления автоматической линии МЗАЛ мод. ЛМ118 — на рис. IV. 46, б.

Степень соответствия теоретической и экспериментальной кривой проверяли с помощью критерия согласия  $\chi^2$  Пирсона. Результаты расчетов показали возможность и в данном случае принять экспоненциальный закон для обеих случайных величин.

Одним из допущений, на котором основано применение экспоненциального распределения для характеристики работы линии, является

независимость потока отказов  $\lambda$  от времени работы линии, т. е. принимают  $\lambda = \text{const}$  в течение длительного времени \*. Однако в реальных условиях, когда имеет место износ механизмов линии, поток отказов не остается постоянным в течение длительного времени, а изменяется в соответствии с зависимостью, приведенной на рис. IV. 47. Здесь различают три периода. I — период пуска и освоения линии, когда отказы имеют высокую интенсивность (по терминологии теории надежности

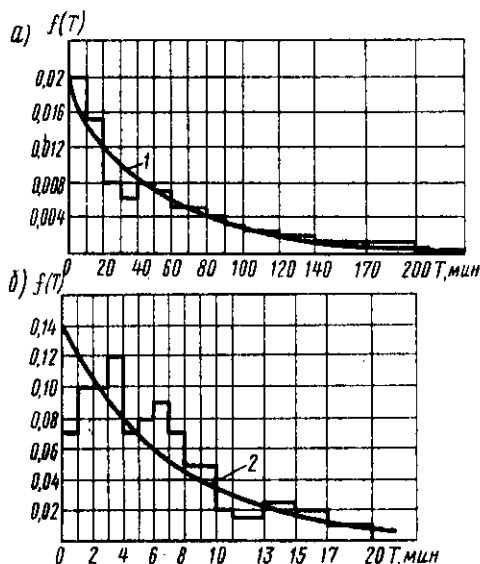


Рис. IV.46. Гистограммы и кривые плотности вероятности времени безотказной работы и времени восстановления автоматической линии:

$$1 - f(t) = \frac{1}{57,1} \exp\left(-\frac{t}{57,1}\right); 2 - f(t) = \frac{1}{6,9} \exp\left(-\frac{t}{6,9}\right)$$

Тогда функция надежности может быть записана как

$$P(t > T) = e^{-\lambda(T)T},$$

а средняя вероятность безотказной работы за период  $T$

$$P = e^{-\int_0^T \lambda(t) dt}.$$

На рис. IV. 48 дана графическая интерпретация надежности линии с учетом изменения параметра потока отказов за длительный проме-

это период «выжигания дефектов»). В период II стабильной эксплуатации частота отказов находится примерно на одном уровне с постепенной тенденцией к возрастанию вследствие прогрессирующего износа механизмов. Этот участок кривой по времени является наиболее длительным, и все характеристики надежности рассчитывают применительно к нему. Период III соответствует значительному износу линии, частым отказам. Дальнейшая эксплуатация линии нецелесообразна, необходим ее ремонт.

При рассмотрении надежности работы линии за длительный период (например, за период II) в ряде случаев нельзя рассматривать поток отказов  $\lambda = \text{const}$ . В этом случае более правильно рассматривать  $\lambda$  как функцию времени, т. е.  $\lambda = \lambda(T)$ .

\* В теории массового обслуживания такие потоки называют *простейшими*. Они характеризуются стационарностью, ординарностью и отсутствием последствия.

жуток времени  $T$ . Здесь сечения в моменты  $T_1, T_2, T_3$  поверхности, характеризующей убывание надежности с течением времени, представляют собой экспоненты с параметрами  $\lambda = \lambda(T_i)$ , однако увеличение  $\lambda(T)$  со временем приводит к уменьшению вероятности  $P(t)$  с ростом  $T$ .

Определение вида и параметров функции  $\lambda(T)$  для различного автоматизированного оборудования является в настоящее время одной из важных задач теории надежности линий.

Наряду с вероятностью безотказной работы, интенсивностью отказов, вероятностью времени восстановления линии важным показателем надежности ее, позволяющим на стадии проектирования определить ее расчетную производительность  $Q_p$ , является коэффициент готовности линии  $\eta_r$ , найденный через удельную длительность настройки оборудования и инструмента (см. формулу на стр. 344).

Поскольку в большинстве случаев экспоненциальный закон достаточно точно описывает вероятностные закономерности функционирования автоматических линий в течение промежутка времени, когда

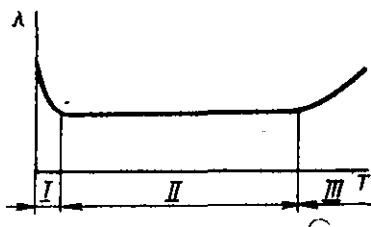


Рис. IV.47. Изменение частоты отказов оборудования в зависимости от времени

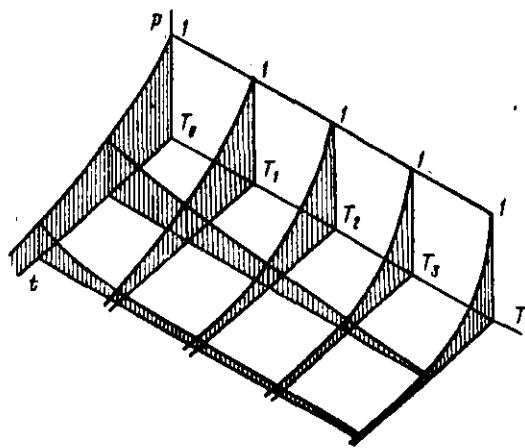


Рис. IV.48. Диаграмма изменения вероятности безотказной работы линии в зависимости от времени  $T$

$\lambda \approx \text{const}$ , можно весь период II (см. рис. IV. 47) стабильной эксплуатации разделить на ряд отрезков  $\Delta T$  и на каждом из них считать параметр потока отказов  $\lambda = 1/M(t_{\text{раб}})$  и параметр потока восстановления  $\mu = 1/M(t_{\text{вос}})$  постоянными. Это дает возможность применить марковскую методологию для вероятностного анализа работы автоматических линий, строго обосновать ранее принятые соотношения (например,  $\eta_r$ ) и получить некоторые новые зависимости.

Рассмотрим работу блоктированной автоматической линии, состоящей из  $n$  жестко связанных между собой станков, на которых для обработки детали установлено  $m$  инструментов. Поскольку при такой компоновке линии все ее элементы соединены последовательно с позиций надежности, т. е. отказ любого элемента приводит к отказу всей системы, то вероятность отказа линии

определился произведением вероятностей отказов каждого из этих элементов:

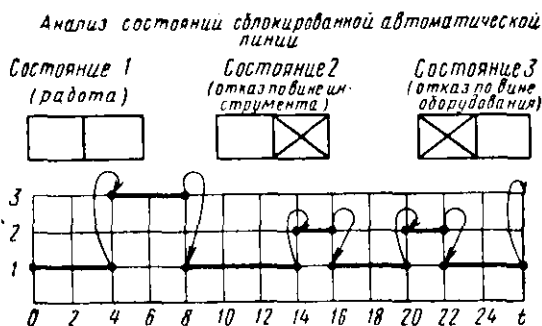
$$F_{1..n}(T) = P(t \leq T) = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots \\ \dots (1 - P_{m+n}) = 1 - e^{-T \sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i},$$

где  $\lambda_i$  — параметр потока отказов элемента  $i$ .

Целесообразно потоки отказов и потоки восстановления оборудования и инструментов разделять, так как отказы оборудования имеют место значительно реже, чем отказы инструментов, а время восстановления оборудования больше времени восстановления инструментов. Такое разделение целесообразно и с точки зрения сбора статистического материала по надежности линий, так как при этом могут быть получены характеристики надежности отдельных элементов линии, а в дальнейшем по таким характеристикам может быть подсчитана характеристика надежности любой линии, состоящая из известного числа элементов.

Рассмотрим три состояния автоматической линии: 1 — все элементы работоспособны; 2 — произошел отказ по вине инструментов; 3 — произошел отказ по вине оборудования (табл. IV. 24).

Таблица IV 24



Матрица вероятностей переходов

| Стало<br>состояние<br>было<br>состояние | 1                           | 2                    | 3                    |
|-----------------------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|
| 1                                       | $1 - \sum \lambda \Delta t$ | $\lambda_n \Delta t$ | $\lambda_o \Delta t$ |
| 2                                       | $\mu_n \Delta t$            | $1 - \mu_n \Delta t$ | 0                    |
| 3                                       | $\mu_o \Delta t$            | 0                    | $1 - \mu_o \Delta t$ |



Вероятность перехода линии из одного состояния в другое за малый промежуток времени  $\Delta t$  иллюстрирует матрица вероятностей переходов. Здесь  $\lambda_0$ ,  $\lambda_n$ ,  $\mu_0$ ,  $\mu_n$  — потоки отказов и потоки восстановления оборудования и инструментов соответственно.

Находят вероятность пребывания линии в каждом из рассмотренных состояний на протяжении времени  $\Delta t$ . Вероятность того, что линия была и останется работоспособной, определяют как  $1 - (\lambda_0 + \lambda_n) \Delta t = 1 - \Sigma \lambda \Delta t$ .

Вероятность того, что линия окажется работоспособной, если в момент  $t$  она простаивала по вине инструментов, подсчитывают из соотношения  $\mu_n \Delta t$ . Вероятность перехода из состояния 3 в состояние 1 равна  $\mu_0 \Delta t$ .

Таким образом, вероятность того, что линия будет работоспособной в течение времени  $t + \Delta t$ , определяют уравнением

$$P_1(t + \Delta t) = P_1(t) (1 - \Sigma \lambda \Delta t) + P_2(t) \mu_n \Delta t + P_3(t) \mu_0 \Delta t.$$

Соответственно вероятности пребывания линии в состоянии 2 и 3:

$$P_2(t + \Delta t) = P_1(t) \lambda_n \Delta t + P_2(t) (1 - \mu_n \Delta t),$$

$$P_3(t + \Delta t) = P_1(t) \lambda_0 \Delta t + P_3(t) (1 - \mu_0 \Delta t).$$

Отсюда могут быть получены дифференциальные уравнения вероятности состояний для рассматриваемой автоматической линии:

$$\Delta P_1 / \Delta t = P_1 \Sigma \lambda + P_2 \mu_n + P_3 \mu_0,$$

$$\Delta P_2 / \Delta t = P_1 \lambda_n - P_2 \mu_n,$$

$$\Delta P_3 / \Delta t = P_1 \lambda_0 - P_3 \mu_0.$$

Так как  $P_1 + P_2 + P_3 = 1$ , а время  $\Delta t$  мало и изменение вероятности состояния линии за этот период  $\Delta P / \Delta t = 0$ , то из приведенных ранее соотношений можно получить следующие зависимости:

$$P_1 = 1 / (1 + \lambda_n / \mu_n + \lambda_0 / \mu_0); \quad P_2 = (\lambda_n / \mu_n) / (1 + \lambda_n / \mu_n + \lambda_0 / \mu_0);$$

$$P_3 = (\lambda_0 / \mu_0) / (1 + \lambda_n / \mu_n + \lambda_0 / \mu_0).$$

Напомним, что вероятность пребывания линии в исправном состоянии характеризуется коэффициентом готовности  $\eta_r$ , а отношение  $\lambda / \mu = B$ , т. е. равно удельной длительности настройки элемента или группы элементов. Таким образом,

$$P_1 = 1 / (1 + B_n + B_0) = \eta_r,$$

что соответствует формуле (см. стр. 344), принятой нами ранее.

Вероятность простоев из-за отказов инструментов

$$P_2 = B_n / (1 + B_n + B_0).$$

Вероятность простоев из-за отказов оборудования

$$P_3 = B_0 / (1 + B_n + B_0).$$

Если располагают характеристиками  $\lambda$  и  $\mu$  для каждого узла и инструмента, входящих в линию, то нетрудно показать, что:

$$P_1 = 1 / \left( 1 + \sum_{i=1}^m \lambda_{i1} / \mu_{i1} + \sum_{j=1}^n \lambda_{j0} / \mu_{j0} \right);$$

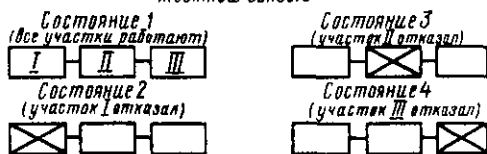
$$P_{i1} = (\lambda_{i1} / \mu_{i1}) / \left( 1 + \sum_{i=1}^m \lambda_{i1} / \mu_{i1} + \sum_{j=1}^n \lambda_{j0} / \mu_{j0} \right);$$

$$P_{j0} = (\lambda_{j0} / \mu_{j0}) / \left( 1 + \sum_{i=1}^m \lambda_{i1} / \mu_{i1} + \sum_{j=1}^n \lambda_{j0} / \mu_{j0} \right).$$

Пользуясь методом цепей Маркова, можно получить соответствующие зависимости для многоучастковых автоматических линий. Например, линия, состоящая из трех участков, жестко связанных между собой, может находиться в одном из четырех возможных состояний \*

Таблица IV.25

Анализ состояний линии из трех участков с жесткой связью



Матрица вероятностей переходов

| Состояние системы | 1                                                                  | 2                    | 3                    | 4                    |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1                 | $1 - \lambda_1 \Delta t - \lambda_2 \Delta t - \lambda_3 \Delta t$ | $\lambda_1 \Delta t$ | $\lambda_2 \Delta t$ | $\lambda_3 \Delta t$ |
| 2                 | $\mu_1 \Delta t$                                                   | $1 - \mu_1 \Delta t$ | 0                    | 0                    |
| 3                 | $\mu_2 \Delta t$                                                   | 0                    | $1 - \mu_2 \Delta t$ | 0                    |
| 4                 | $\mu_3 \Delta t$                                                   | 0                    | 0                    | $1 - \mu_3 \Delta t$ |

$$P_1 (1 + \lambda_1 / \mu_1 + \lambda_2 / \mu_2 + \lambda_3 / \mu_3) = 1,$$

откуда

$$P_1 = 1 / (1 + \lambda_1 / \mu_1 + \lambda_2 / \mu_2 + \lambda_3 / \mu_3) = 1 / (1 + B_1 + B_2 + B_3) \triangleq 1 / (1 + \sum B).$$

Следует отметить, что, простые для линий из жестко заблокированных станков или участков, рассмотренные ана-

литические решения являются довольно сложными и громоздкими для многоучастковых линий с промежуточными бункерами или магазинами-накопителями. Проф. А. П. Владзиевский предложено решение для двухучастковой линии с бункером между участками (некоторые результаты этих расчетов даны в § IV. 8). Параметры линий с более сложной структурной схемой, в том числе и многопоточных, могут быть определены на основе результатов вероятностного моделирования их на ЭЦВМ.

\* При условии, что  $\sum \lambda_{i0} + \sum \lambda_{ji} = \lambda$ ,  $\sum \mu_{i0} + \sum \mu_{ji} = \mu$ .

Основные показатели надежности автоматических линий могут быть определены расчетным путем, если известны характеристики надежности различных элементов устройств и механизмов, из которых скомпонована линия (под элементами понимают такие устройства, как насос, гидроцилиндр, золотник, винт-гайка, направляющие, подшипник, электромагнит, конечный выключатель и т. д.). В качестве таких исходных характеристик каждого элемента линии, проф. Владзиевский А. П. [1,2] предлагает численные значения двух показателей. Один из них  $r_i$  характеризует подверженность элемента  $i$  отказам, второй  $h_i$  — длительности восстановления его работоспособности. Поскольку численные значения этих показателей отнесены к единице времени бесперебойной работы линии, то  $r_i$  называют *относительным баллом подверженности отказам* (размерность 1/мин работы), а  $h_i$  — *относительным баллом удельной длительности настройки* (размерность мин ремонта/мин работы). Все виды устройств и элементов линии по функциональному признаку делят на ряд групп. Значения относительных баллов элементов каждого вида умножают на их количество в данной группе и затем суммируют по группам, образуя погрупповые баллы:

погрупповой балл подверженности отказам

$$R_k = \sum_{i=1}^m (r_i n_i) \alpha;$$

погрупповой балл удельной длительности настройки

$$H_k = \sum_{i=1}^m (h_i n_i) \alpha,$$

где  $n$  — количество одинаковых элементов;  $\alpha$  — эмпирические коэффициенты пропорциональности, учитывающие различные условия работы элементов.

По значениям погрупповых баллов определяют погрупповые характеристики частоты отказов и удельной длительности настройки

$$I_k = R_k a_k, \quad B_k = H_k b_k.$$

Здесь  $a_k$  и  $b_k$  — статистические коэффициенты, установленные опытным путем. Первый характеризует качество изготовления, второй зависит от производительности наладчиков и ремонтников.

Общие значения характеристик линий образуются как суммы таких погрупповых характеристик:

$$I = \sum I_k; \quad B = \sum B_k.$$

В автоматических линиях можно выделить следующие группы элементов: инструменты (и), приспособления (п), механическое оборудование (м), электрическое оборудование (э), гидравлическое обо-

рудование (г), пневматическое оборудование (пн), контрольные устройства (к), транспортные устройства (т), бункера (б), поэтому

$B_{\text{норм}}, \text{м.ин/мин} \cdot 10^5$

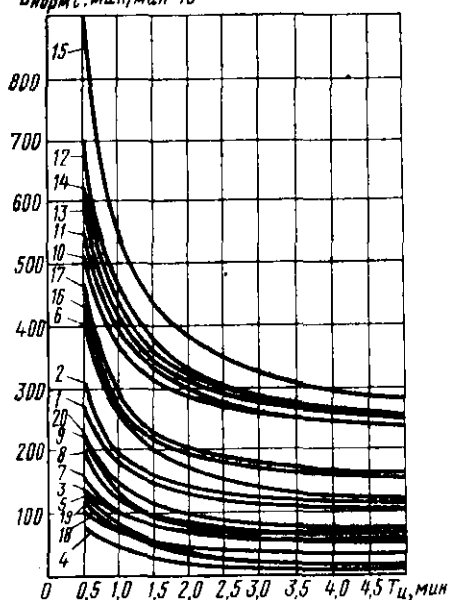


Рис. IV.49. Кривые зависимости удельной длительной настройки нормализованных узлов МЗАЛ от длительности цикла:

1 — электромеханические поворотные столы УМ4133 и УМ4143; 2 — электромеханические поворотные столы УМ4153 и УМ4163; 3 — гидростанция М9733; 4 — гидростанция смазки УМ9672; 5 — электромеханические ключи УМ4525 и УМ4526; 6 — привод поворота и фиксации барабана УМ4331 и УМ4313; 7 — фрезерная головка М3641 ( $N = 7 \text{ кат}$ ); 8 — фрезерная головка М3651 ( $N = 14 \text{ кат}$ ); 9 — фрезерная головка М3651 ( $N = 14 \text{ кат}$ ); 10 — подрезно-расточная бабка УМ3432 ( $N = 1,7 \text{ кат}$ ); 11 — подрезно-расточная бабка УМ3432 ( $N = 4,5 \text{ кат}$ ); 12 — подрезно-расточная бабка УМ3432 ( $N = 2/3 \text{ кат}$ ); 13 — подрезно-расточная бабка УМ3451 ( $N = 4,5 \text{ кат}$ ); 14 — подрезно-расточная бабка УМ3451 ( $N = 10 \text{ кат}$ ); 15 — подрезно-расточная бабка УМ3451 ( $N = 5,8 \text{ кат}$ ); 16 — силовые столы УМ2424 и УМ2434; 17 — силовые столы УМ2464 и УМ2474; 18 — бабка силовая УМ2551 ( $N = 7,0 \text{ кат}$ ); 19 — бабка силовая УМ2551 ( $N = 10 \text{ кат}$ ); 20 — столы подхватные УМ2324 ÷ УМ2374

$$B = B_{\text{н}} + B_{\text{пн}} + B_{\text{ж}} + B_{\text{з}} + B_{\text{г}} + B_{\text{тк}} + B_{\text{к}} + B_{\text{т}} + B_{\text{б}}$$

$$I = I_{\text{н}} + I_{\text{пн}} + I_{\text{ж}} + I_{\text{з}} + I_{\text{г}} + I_{\text{тк}} + I_{\text{к}} + I_{\text{т}} + I_{\text{б}}$$

Значения относительных баллов  $r_{\text{к}}$  и  $h_{\text{к}}$ , определенные в результате обследования большого количества автоматических линий в производственных условиях и статистической обработки данных этих экспериментов, сведены в таблицы [1].

Для автоматических линий и агрегатных станков, состоящих из ряда нормализованных узлов и механизмов, расчет показателей  $I$  и  $B$  может быть упрощен. Так как они включают силовые головки и столы, транспортные устройства и другие узлы, встречающиеся в разных сочетаниях во всех станках и линиях, то характеристики надежности этих узлов могут быть определены заранее, а характеристики надежности станков и линий в целом подсчитаны как сумма характеристик нормализованных узлов и специальных узлов и элементов:

$$I = \sum I_{\text{норм}} + \sum I_{\text{спец}}$$

$$B = \sum B_{\text{норм}} + \sum B_{\text{спец}}$$

Исходные данные [17] для расчета надежности станков и линий, изготовленных заводом им. Орджоникидзе из гидрофицированных узлов, даны в табл. IV. 26.

На рис. IV. 49 показаны характеристики удельной длительности настройки электромеханических нормализованных узлов  $B_{\text{норм}}$ , которые использует в своих компоновках Минский завод автоматических линий, в зависимости от длительности цикла работы линии  $T_{\text{ц}}$ . Значения  $B_{\text{норм}}$  отнесены к  $10^5 \text{ мин}$  работы автоматической линии или станка. Как видно,  $B_{\text{норм}}$  изменяется по закону гиперболы и существенно зависит от длительности цикла  $T_{\text{ц}}$ .

## Потери времени из-за отказов нормализованных и типовых узлов

| Наименование узлов                                                                                    | Средняя длительность простоев, мин, приходящаяся на 100 мин работы |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <i>Силовые</i>                                                                                        |                                                                    |
| Самодельствующая гидравлическая силовая головка (без шпиндельной коробки) габаритов:                  |                                                                    |
| 2, 3, 4 . . . . .                                                                                     | 0,18                                                               |
| 5, 6, 7 . . . . .                                                                                     | 0,25                                                               |
| Несамодельствующая гидравлическая силовая головка (без шпиндельной коробки) с гидроприводом . . . . . | 0,25                                                               |
| Силовая головка для сверления глубоких отверстий . . . . .                                            | 0,32                                                               |
| Подрезно-расточная головка с планшайбой . . . . .                                                     | 0,35                                                               |
| Пинольная подрезно-расточная головка . . . . .                                                        | 0,42                                                               |
| Пинольная силовая головка с кулачковым приводом подачи . . . . .                                      | 0,21                                                               |
| Силовой стол с гидроприводом . . . . .                                                                | 0,23                                                               |
| <i>Шпиндельные</i>                                                                                    |                                                                    |
| Сверлильно-расточная шпиндельная коробка при числе шпинделей:                                         |                                                                    |
| до 25 . . . . .                                                                                       | 0,03                                                               |
| свыше 25 . . . . .                                                                                    | 0,05                                                               |
| Сверлильно-резьбонарезная коробка при числе шпинделей:                                                |                                                                    |
| до 15 . . . . .                                                                                       | 0,06                                                               |
| свыше 15 . . . . .                                                                                    | 0,10                                                               |
| Стационарная резьбонарезная установка при числе шпинделей:                                            |                                                                    |
| до 15 . . . . .                                                                                       | 0,07                                                               |
| свыше 15 . . . . .                                                                                    | 0,12                                                               |
| Резьбонарезная установка с быстрым подводом при числе шпинделей:                                      |                                                                    |
| до 15 . . . . .                                                                                       | 0,09                                                               |
| свыше 15 . . . . .                                                                                    | 0,14                                                               |
| Фрезерная бабка с ременным приводом вращения шпинделя . . . . .                                       | 0,12                                                               |
| Фрезерная бабка с шестеренным приводом вращения шпинделя . . . . .                                    | 0,04                                                               |
| Одношпиндельная расточная бабка с ременным приводом вращения шпинделя . . . . .                       | 0,12                                                               |
| <i>Транспортные устройства</i>                                                                        |                                                                    |
| Транспорт деталей:                                                                                    |                                                                    |
| ленточный с храповыми собачками . . . . .                                                             | 0,06 + 0,061 *                                                     |
| с круглыми штангами и храповыми собачками . . . . .                                                   | 0,12 + 0,061                                                       |
| с круглыми штангами и жесткими штырями . . . . .                                                      | 0,12 + 0,021                                                       |
| Толкатель . . . . .                                                                                   | 0,02                                                               |
| Поворотный стол . . . . .                                                                             | 0,10                                                               |
| Подъемно-поворотный стол . . . . .                                                                    | 0,13                                                               |
| Поворотный барабан . . . . .                                                                          | 0,03                                                               |
| Кантователь для поворота детали вокруг двух осей . . . . .                                            | 0,12                                                               |
| <i>Контрольные устройства</i>                                                                         |                                                                    |
| Щупы для контроля наличия и глубины отверстий:                                                        |                                                                    |
| на отдельной позиции . . . . .                                                                        | 0,20                                                               |
| на шпиндельной коробке . . . . .                                                                      | 0,10                                                               |

| Наименование узлов                                                 | Средняя длительность простоев, мин. приходящаяся на 100 мин работы |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <i>Приспособления</i>                                              |                                                                    |
| Механизмы фиксации . . . . .                                       | 0,08                                                               |
| Механизм зажима:                                                   |                                                                    |
| напрямую . . . . .                                                 | 0,01                                                               |
| через рычажную систему (или клин) . . . . .                        | 0,03                                                               |
| Кондукторные втулки . . . . .                                      | 0,005 а *                                                          |
| Простои из-за попадания стружки при обработке:                     |                                                                    |
| чугуна . . . . .                                                   | 0,02                                                               |
| стали . . . . .                                                    | 0,10                                                               |
| алюминия (без смыва стружки) . . . . .                             | 0,07                                                               |
| алюминия (со смывом стружки) . . . . .                             | 0,03                                                               |
| Приспособление-спутник:                                            |                                                                    |
| без зажимного устройства . . . . .                                 | 0,01                                                               |
| с простым зажимным устройством . . . . .                           | 0,03                                                               |
| со сложным зажимным устройством . . . . .                          | 0,05                                                               |
| Загрузочное . . . . .                                              | 0,50                                                               |
| Разгрузочное . . . . .                                             | 0,50                                                               |
| <i>Различные устройства линий</i>                                  |                                                                    |
| Гидравлическое оборудование участка линии . . . . .                | 0,17 + 0,06b *                                                     |
| Электрооборудование участка линии:                                 |                                                                    |
| фрезерного . . . . .                                               | 0,50                                                               |
| других . . . . .                                                   | 1,43                                                               |
| Централизованная система охлаждения режущих инструментов . . . . . | 0,08л *                                                            |
| Транспорт стружки . . . . .                                        | 0,24                                                               |

\* *l* — длина транспортера; *a* — количество втулок; *b* — количество распределительных гидроаппаратов; *л* — количество станков.

Представляют интерес цифровые характеристики надежности как линий в целом, так и их основных элементов, полученные в результате обследования [15] работы линий в цеховых условиях. В табл. IV. 27 даны значения удельных потерь времени в % на восстановление различных элементов и механизмов линии, а в табл. IV. 28 — средние значения времени безотказной работы и времени восстановления этих элементов и механизмов.

Как видно из таблиц, чаще при работе автоматических линий выходят из строя инструменты. Потери по инструменту для обследованных линий составляют в среднем 42,8%, простои по инструментам возникают в среднем через 2,4 ч, а для большинства линий — через 0,6 ÷ 0,9 ч. Ликвидация этих простоев (замена или регулировка инструментов) для большинства линий укладывается в 3,3—6,0 мин.

После инструментов наибольшая длительность простоев имеет место по вине транспортных устройств (17,3%) и электрооборудования (14,5%). На некоторых линиях большая доля времени приходится

Соотношения простоев автоматических линий по различным причинам

| Компонент линии                                                                | Коэффициент удельных потерь, %. для моделей линии |      |                       |           |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------|-----------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                                | ЛМ36                                              | ЛМ37 | ЛМ115                 | ЛМ116/117 | ЛМ118 | ЛМ134 | ЛМ135 | ЛМ169 | ЛМ172 | ЛМ125 | ЛМ226 |
| Инструмент . . . . .                                                           | 33,9                                              | 39,2 | 16,7                  | 45,3      | 31,5  | 39,2  | 31,8  | 36,0  | 32,0  | 20,1  | 45,0  |
| Головки и столы силовые<br>с бабками или шпиндельны-<br>ми коробками . . . . . | 30,9                                              | 25,5 | Потери<br>отсутствуют | 7,8       | 1,4   | 10,9  | 2,9   | 8,4   | 24,4  | 1,1   | 1,0   |
| Транспортное устройство                                                        | 5,0                                               | 13,3 | 43,4                  | 2,8       | 8,4   | 8,8   | 27,0  | 17,0  | 0,9   | 31,7  | 17,5  |
| Приспособления и другие<br>механические конструкции                            | 11,3                                              | 17,0 | 20,0                  | 18,0      | 3,2   | 4,9   | 8,7   | 28,2  | 7,5   | 9,0   | 14,7  |
| Гидрооборудование . . . . .                                                    | 2,8                                               | 1,9  | Потери<br>отсутствуют | 4,5       | 42,0  | 17,9  | 6,8   | 5,7   | 9,5   | 31,5  | 19,3  |
| Электрооборудование . . . . .                                                  | 16,1                                              | 3,1  | 19,9                  | 21,6      | 13,5  | 18,3  | 22,8  | 4,7   | 25,7  | 6,6   | 2,5   |

Значения средних времен безотказной работы (наработка на отказ) и средних времен восстановления различных элементов автоматических линий

| Компонент линии                                               | Нарботка на отказ, ч (числитель), среднее время восстановления, мин (знаменатель)<br>для моделей линии |                     |                       |                     |                      |                      |                    |                     |                      |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
|                                                               | ЛМ36                                                                                                   | ЛМ37                | ЛМ115                 | ЛМ116/117           | ЛМ118                | ЛМ134                | ЛМ135              | ЛМ215               | ЛМ225                |
| Инструмент . . . . .                                          | $\frac{0,93}{4,5}$                                                                                     | $\frac{0,92}{4,8}$  | $\frac{12,8}{24,0}$   | $\frac{0,89}{9,5}$  | $\frac{2,60}{6,0}$   | $\frac{0,68}{3,4}$   | $\frac{0,62}{3,3}$ | $\frac{1,60}{5,3}$  | $\frac{0,76}{3,4}$   |
| Головки и столы силовые . .                                   | $\frac{3,10}{13,7}$                                                                                    | $\frac{3,62}{12,2}$ | Отказы<br>отсутствуют | $\frac{4,70}{8,6}$  | $\frac{19,20}{1,9}$  | $\frac{3,13}{4,4}$   | $\frac{6,08}{2,9}$ | $\frac{8,30}{1,5}$  | $\frac{11,53}{1,2}$  |
| Транспортное устройство . .                                   | $\frac{5,40}{3,9}$                                                                                     | $\frac{4,07}{7,2}$  | $\frac{0,71}{3,4}$    | $\frac{4,82}{3,1}$  | $\frac{6,40}{3,9}$   | $\frac{3,87}{4,4}$   | $\frac{1,08}{4,9}$ | $\frac{9,50}{25,5}$ | $\frac{11,53}{20,5}$ |
| Приспособления и другие ме-<br>ханические конструкции . . . . | $\frac{3,60}{5,8}$                                                                                     | $\frac{2,27}{5,1}$  | $\frac{0,75}{1,7}$    | $\frac{1,40}{5,9}$  | $\frac{17,0}{4,0}$   | $\frac{9,25}{5,8}$   | $\frac{1,75}{2,6}$ | $\frac{2,30}{3,2}$  | $\frac{1,72}{3,4}$   |
| Гидрооборудование . . . . .                                   | $\frac{27,00}{11,0}$                                                                                   | $\frac{48,9}{12,6}$ | Отказы<br>отсутствуют | $\frac{7,34}{7,9}$  | $\frac{3,34}{10,1}$  | $\frac{10,10}{23,4}$ | $\frac{5,48}{6,3}$ | $\frac{7,00}{36,0}$ | $\frac{6,59}{12,9}$  |
| Электрооборудование . . . . .                                 | $\frac{21,60}{49,8}$                                                                                   | $\frac{19,5}{8,1}$  | $\frac{0,96}{2,1}$    | $\frac{3,12}{15,9}$ | $\frac{10,20}{10,0}$ | $\frac{2,84}{6,7}$   | $\frac{2,02}{7,8}$ | $\frac{7,80}{8,5}$  | $\frac{92,21}{23,4}$ |
| Всего по линии . . . . .                                      | $\frac{0,51}{7,35}$                                                                                    | $\frac{0,47}{6,2}$  | $\frac{0,26}{2,9}$    | $\frac{0,37}{8,7}$  | $\frac{0,95}{6,9}$   | $\frac{0,38}{4,9}$   | $\frac{0,25}{4,3}$ | $\frac{0,65}{9,0}$  | $\frac{0,45}{4,6}$   |



на восстановление работоспособности силовых головок и столов. С учетом профилактических ремонтов и замен инструментов коэффициент технического использования линий составляет  $0,72 \div 0,89$ , тогда как коэффициент их общего использования равен  $0,30 \div 0,74$ . Разница этих двух показателей работы линий объясняется наличием простоев по организационным причинам главным образом из-за отсутствия заготовок на линии, рабочего по тем или иным причинам, электроэнергии и уборки линии в конце смены. Удельные значения времени работы, простоев по техническим причинам, а также простоев по организационным причинам для ряда обследованных линий даны в табл. IV. 29.

Таблица IV.29

Относительные значения времени работы и простоев линий  
по различным причинам

| Модель<br>линии | Период обследования,<br>смены | Распределение фонда времени за период обследования, % |                                     |                                     |                                    |                          |                                |                                |                               |       |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------|
|                 |                               | суммарное цикло-<br>вое время                         | простои вследствие<br>отказов линий | простои по организационным причинам |                                    |                          |                                |                                |                               | Всего |
|                 |                               |                                                       |                                     | отсутствие заго-<br>товок           | отсутствие конт-<br>роля заготовок | отсутствие рабо-<br>чего | отсутствие элек-<br>троэнергии | осмотр линии<br>в начале смены | уборка линии<br>в конце смены |       |
| ЛМ36            | 21                            | 74,3                                                  | 17,7                                | 0,09                                | 0,02                               | 2,36                     | 0,05                           | 2,27                           | 3,21                          | 8,0   |
| ЛМ37            | 21                            | 67,6                                                  | 14,7                                | 9,56                                | 0,15                               | 2,39                     | 0,03                           | 3,67                           | 1,40                          | 17,7  |
| ЛМ87            | 20                            | 54,5                                                  | 13,1                                | 15,90                               | 3,00                               | 1,10                     | 0,10                           | 5,00                           | 7,30                          | 32,4  |
| ЛМ107           | 54                            | 39,2                                                  | 29,5                                | 12,80                               | 3,40                               | 0,50                     | 0,30                           | 10,80                          | 3,50                          | 31,3  |
| ЛМ108           | 54                            | 56,8                                                  | 22,2                                | 9,80                                | 0,40                               | 0,30                     | 0,10                           | 7,40                           | 3,00                          | 21,0  |
| ЛМ115           | 44                            | 35,0                                                  | 6,5                                 | 53,30                               | 0,50                               | 2,20                     | 0,00                           | 0,50                           | 2,00                          | 58,5  |
| ЛМ116, 117      | 75                            | 33,0                                                  | 13,0                                | 20,40                               | 4,60                               | 0,80                     | 0,30                           | 12,70                          | 15,20                         | 54,0  |
| ЛМ118           | 75                            | 30,0                                                  | 3,6                                 | 32,30                               | 0,50                               | 4,80                     | 0,80                           | 13,0                           | 15,00                         | 66,4  |
| ЛМ119           | 63                            | 64,8                                                  | 22,7                                | 2,80                                | 0,10                               | 3,40                     | 0,40                           | 1,30                           | 4,50                          | 12,5  |
| ЛМ120           | 54                            | 51,1                                                  | 16,8                                | 19,20                               | 0,00                               | 2,00                     | 0,00                           | 5,90                           | 5,00                          | 32,1  |
| ЛМ121           | 54                            | 41,0                                                  | 15,0                                | 32,00                               | 0,00                               | 1,50                     | 0,00                           | 6,00                           | 4,50                          | 44,0  |
| ЛМ134           | 63                            | 47,6                                                  | 10,2                                | 16,50                               | 2,07                               | 0,70                     | 0,00                           | 11,60                          | 10,70                         | 41,6  |
| ЛМ135           | 63                            | 36,9                                                  | 10,5                                | 23,30                               | 1,10                               | 1,20                     | 0,00                           | 17,30                          | 9,70                          | 52,6  |
| ЛМ169           | 42                            | 48,8                                                  | 18,3                                | 4,79                                | 3,70                               | 2,32                     | 0,63                           | 15,28                          | 6,16                          | 32,9  |
| ЛМ172           | 28                            | 23,2                                                  | 28,4                                | 34,7                                | 0,40                               | 1,50                     | 0,30                           | 3,10                           | 8,40                          | 48,4  |
| ЛМ215           | 43                            | 44,0                                                  | 13,8                                | 33,08                               | 0,47                               | 3,50                     | 0,25                           | 4,90                           | 0,00                          | 42,2  |

Как видно, наибольшие потери по организационным причинам имеют место из-за отсутствия заготовок, осмотра линии в начале и конце смены. Простои вследствие отказов линии составляют 3,6—29,5%, а длительность полезной работы — 23,2—74,3% от общего фонда времени. Эти данные еще раз подтверждают возможность существенного увеличения производительности подавляющего большинства автоматических линий за счет сокращения простоев по организационным причинам.

## § IV.8. Деление линий на участки и влияние емкости накопителей на производительность

При рассмотрении классификации автоматических линий отмечалось, что по наличию заделов автоматические линии подразделяют на три вида: а) безбункерные, б) бункерные линии с гибкой связью между станками и в) линии с комбинированной связью.

Последний тип компоновки линии является наиболее распространенным, так как при прочих равных условиях он обеспечивает большую производительность за счет компенсации «наложенных» простоев, чем линия, скомпонованная по схеме а, и в то же время более низкую себестоимость изготовления деталей за счет меньшей стоимости самой линии по сравнению с компоновкой по схеме б. При проектировании линий выбор варианта ее компоновки, которая обеспечивает максимальную производительность либо минимальную себестоимость детали (минимум суммы приведенных затрат), является ответственной технико-экономической задачей.

Если безбункерная автоматическая линия с жесткой связью между станками полностью обеспечивает заданный выпуск, то вопрос о разделении линии на участки и создании заделов деталей не имеет практического смысла. Однако чем больше станков в заблокированной автоматической линии, тем меньше ее надежность. При значении коэффициента готовности каждого станка  $\eta_{гi}$  и удельной длительности его настройки  $B_i$  эти показатели для линии будут

$$\eta_{г.а.л} = \eta_{г1}\eta_{г2} \dots \eta_{гi} \dots \eta_{гk}; B_{а.л} = \sum_{i=1}^k B_i.$$

Так, при объединении 10 станков в автоматическую линию с  $\eta_{гi} = 0,95$  коэффициент  $\eta_{г.а.л} = 0,95^{10} = 0,59$ . При  $T_u = 0,5$  мин и часовой производительности станков  $Q_i = 60 \cdot 0,95/0,5 = 114$  дет/ч производительность автоматической линии  $Q_{а.л} = 60 \cdot 0,59/0,5 = 71$  дет/ч, т. е. всего 62,5% от производительности каждого из станков. Вследствие больших потерь в производительности из-за наложенных простоев автоматические линии с жесткой связью между станками состоят в большинстве случаев из 8—12 станков. С повышением надежности станков и других устройств, включаемых в линию, число заблокированных станков в линии может возрасти.

Если заблокированная линия не обеспечивает заданной производительности, ее необходимо делить на участки. В этом случае нужно решать вопрос об оптимальном числе участков, местах установки бункеров или магазинов-накопителей, а также емкости накопителей, т. е. величине компенсирующего запаса деталей, необходимо для локализации наложенных простоев соседних участков. В пределах число участков линии может быть равно числу станков, т. е. в этом смысле бункерную линию с гибкой связью между станками можно рассматривать как частный случай линии из гибкосвязанных участков.

Вопросы определения оптимального числа участков однопоточных автоматических линий, а также определения величины внутренних запасов с учетом вероятностных закономерностей работы линий впервые

были разрешены в ЭНИМСе под руководством проф. Владзиевского А. П. [1,2].

В дальнейшем эти работы применительно к многопоточным и многоучастковым линиям развиты А. А. Левиным, Е. С. Дымшицем.

Для случая деления линии на  $q$  участков с равной трудоемкостью настройки можно считать, что

$$B = B_0 \gamma / q,$$

где  $B_0$  — удельная длительность настройки заблокированной линии;  $\gamma$  — коэффициент, учитывающий степень наложения потерь времени всеми предшествующими участками на потери последнего, выпускающего участка.

Тогда повышение производительности за счет деления линии на участки можно оценить следующим образом:

$$\varphi = \eta / \eta_0 = (1 + B_0) / (1 + B) = (1 + B_0) / (1 + B_0 \gamma / q).$$

На рис. IV.50 показан график зависимости относительного увеличения производительности линии  $\varphi$  при делении ее на  $q$  участков ( $q = 1 \div 10$ ) для случая различной надежности заблокированной линии ( $\eta_0 = 0,1 \div 0,9$ ) при условии, что трудоемкость настройки бункеров  $B_0 \approx 0$ , т. е. при достаточно высокой их надежности. Из графика видно, что чем выше надежность заблокированной линии (т. е. чем больше  $\eta_0$ ), тем менее эффективно делить линию на участки. Кроме того, число участков, при котором коэффициент увеличения производительности почти не растет, падает с ростом  $\eta_0$ . График подтверждает вывод о том, что чем надежнее заблокированная линия, тем меньше оптимальное число участков, на которое надо делить линию и тем меньше эффективность такого деления. Например, для линии с  $\eta_0 = 0,7$  деление ее на более чем три участка уже не приводит к увеличению производительности. При  $q = 3$  производительность линии увеличивается примерно на 30% ( $\varphi \approx 1,3$ ). Если  $\eta_0 = 0,4$ , то увеличение  $\varphi$  прекращается при  $q = 9$  ( $\varphi = 2,18$  при  $q = 9$ , т. е. 218%). По формуле А. П. Владзиевского число участков, на которое целесообразно разделить линию для получения минимальной себестоимости обработки деталей,

$$q_{\text{с min}} \approx \sqrt{\kappa (1 - \delta) \frac{\varphi - 1}{\varphi - 2 + \kappa \delta - 1/B_0}},$$

где

$$\varphi = E_0 / E_6 \text{ и } \kappa = B_0 / B_6.$$

Здесь  $E_0$  — себестоимость станкоминуты заблокированной линии;  $B_0$  — удельная длительность настройки заблокированной линии;  $E_6$  — себе-

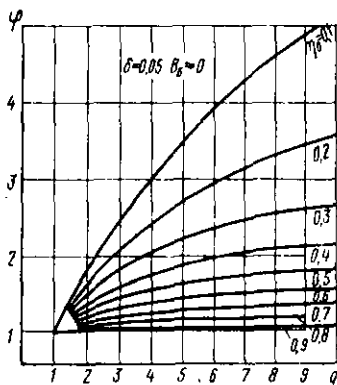


Рис. IV.50. Зависимость коэффициента  $\varphi$  повышения производительности автоматической линии от числа  $q$  участков, на которое разделена линия

стоимость станкоминуты эксплуатации одного бункера;  $B_i^*$  — удельная длительность настройки одного бункера;  $\delta$  — коэффициент межузасткового наложения потерь, учитывающий долю наложенных простоев каждого участка по отношению к собственным простоям:

$$\delta_i = 1/[1 + (z_{\max}\mu_i/2) T_u] = 1/(1 + a_{i,i-1}),$$

где  $z_{\max}$  — максимальная емкость бункера в штуках деталей;  $T_u$  — средняя длительность цикла  $i$ -го участка автоматической линии;  $\mu_i$  — интенсивность восстановления  $i$ -го участка линии;  $a_{i,i-1}$  — средний запас деталей в обобщенных единицах между  $i$  и  $i-1$  участками.

При этом коэффициент готовности линии, разделенной на  $m$  участков,

$$\eta = 1/[1 + (B_0\gamma/q) + (q-1) B_0].$$

В работе А. П. Владзиевского [1] даны зависимости  $\gamma = f(a, \kappa)$  (фиг. 8.11 — 8.14, том 1) для  $q = 2 \div 5$ .

Выполняя последовательно расчет  $\eta$  для одной и той же линии, разделенной на  $q = 2, 3, 4, 5$  участков, выбираем значение  $q$ , при котором структура линии отвечает заданному критерию оптимальности.

Максимальный запас деталей в бункере можно определить, если известна средняя длительность  $\bar{t}_{\text{пр}}$  простоя участков автоматической линии:

$$z_{\max} = \bar{t}_{\text{пр}} A / T_u.$$

По рекомендации А. П. Владзиевского,  $A \approx 10$ , что вполне приемлемо только для деталей мелких размеров. Для крупных деталей целесообразно принимать  $A \approx 5$ .

Дальнейшее развитие вопросов теории деления линий на участки на основе использования одного лишь аналитического аппарата вызывает затруднения, так как по мере усложнения структурных схем линий усложняется и расчет их основных характеристик.

Весьма эффективным инструментом дальнейшего изучения автоматических линий, построенных по сложным структурным схемам, является метод статистического моделирования их работы на электронных цифровых вычислительных машинах (ЭЦВМ). Алгоритмы функционирования автоматических линий составляют на основе вероятностных математических моделей работы отдельных ее участков и соотношений, связывающих работу участков с емкостью бункеров, находящихся между ними.

На рис. IV.51 дана схема, в которой описаны возможные состояния автоматической линии, включающей пять независимо работающих участков ( $C1 - C5$ ) и четыре бункера ( $B1 - B4$ ), расположенных между участками \*\*. Соответствующие блоки ЭЦВМ вырабатывают по определенным законам, характеризующим работу участков линии,

\* При расчетах принимают, что характеристики бункеров одинаковы, т. е.  $E_{61} = E_{62} = \dots = E_6$ ;  $B_{61} = B_{62} = \dots = B_6$ .

\*\* Моделирование линий различных компоновок выполнено автором в МАМИ.

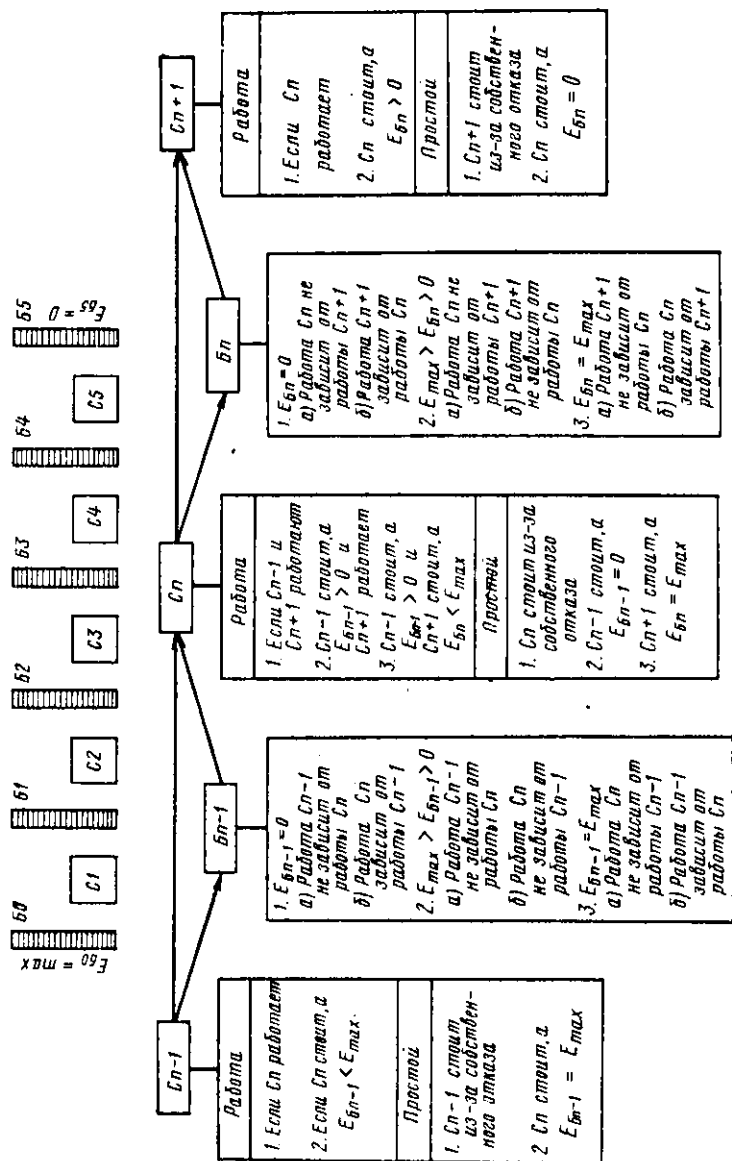


Рис. IV.51. Возможные состояния станков (участков) линии в зависимости от состояния бункеров

случайные числа, определяющие длительности безотказной работы и простоев каждого из участков. Другие блоки ведут расчет длительности работы участков с учетом наложенных простоев, вызванных как отсутствием деталей в бункере, расположенном до участка, так и переполнением бункера, стоящего за рассматриваемым участком. Расчеты эти выполняют по следующим соотношениям:

длительность работы  $C_n$

$$t_{\text{раб}n} = \tau_{\text{раб}n} - (\tau'_{\text{пр}n} + \tau''_{\text{пр}n});$$

длительность простоя  $C_n$

$$t_{\text{пр}n} = \tau_{\text{пр}n} + \tau'_{\text{пр}n} + \tau''_{\text{пр}n};$$

длительность наложенного простоя  $C_n$  из-за отсутствия заготовок

$$\tau'_{\text{пр}n} = \tau_{\text{пр}n-1} - E_{\delta n-1};$$

длительность наложенного простоя  $C_n$  из-за переполнения бункера

$$\tau''_{\text{пр}n} = \tau_{\text{пр}n,1} - (E_{\text{max}} - E_{\delta n});$$

минутная емкость бункера

$$\begin{aligned} E_{\delta} &= t_{\text{раб}nk} - t_{\text{раб}(n+1)k} = T_{nk}z, \\ &0 \rightarrow \text{max} \\ E_{\delta} &= t_{\text{раб}(n+1)k} - t_{\text{раб}nk} = T_{n(n+1)}z, \\ &\text{max} \rightarrow 0 \end{aligned}$$

где  $z$  — число деталей.

Таким образом, ЭЦВМ воспроизводит работу автоматической линии с учетом случайного времени длительности работы отдельных ее участков, случайного времени длительности ее ремонта, а также в зависимости от запаса деталей в бункерах в каждый конкретный момент времени.

На рис. IV.52 показана схема, иллюстрирующая метод статистического моделирования работы линий из пяти участков. Для каждого из участков воспроизводят длительность безотказной работы  $\tau_{\text{раб}i}$  и длительность простоя  $\tau_{\text{пр}i}$ , распределяемые по экспоненциальному закону. Затем при заданных первоначальных значениях емкости бункеров  $B_i$  проверяют возможность работы в течение времени  $t$  каждого из участков. Как видно из рис. IV.52, первым останавливается для ремонта третий участок ( $C3$ ), при этом запас деталей в бункере  $B3$  уменьшается, а в бункере  $B2$  растет. Следующим выходит из строя пятый участок ( $C5$ ), при этом  $B4$  заполняется деталями. Первый участок ( $C1$ ) выходит из строя третьим. Так как в этот момент емкость бункера  $B2$  составляет больше половины его объема, он вскоре заполняется полностью, а поскольку  $C3$  все еще ремонтируется, то останавливается и  $C2$  из-за переполнения  $B2$ , хотя отказ на втором участке еще не наступал. Наложный простой  $\tau''$  из-за переполнения бункера продолжается до момента, пока не начнет функционировать  $C3$ . Одновременно с этими событиями будет иметь место наложенный простой  $C4$  из-за отсутствия деталей в  $B3$ , который начнется в момент, когда

емкость  $B_3$  будет равна 0, а закончится с началом работы  $C_3$ , когда на  $C_4$  начнут поступать обработанные на  $C_3$  детали.

Имитация работы автоматической линии в течение длительного времени при определяемых значениях потока отказов  $\lambda_i$  и потока восстановления  $\mu_i$  каждого участка, а также при заданных максимальных значениях емкости бункеров позволяет определить среднестатистические значения основных показателей работы автоматических линий

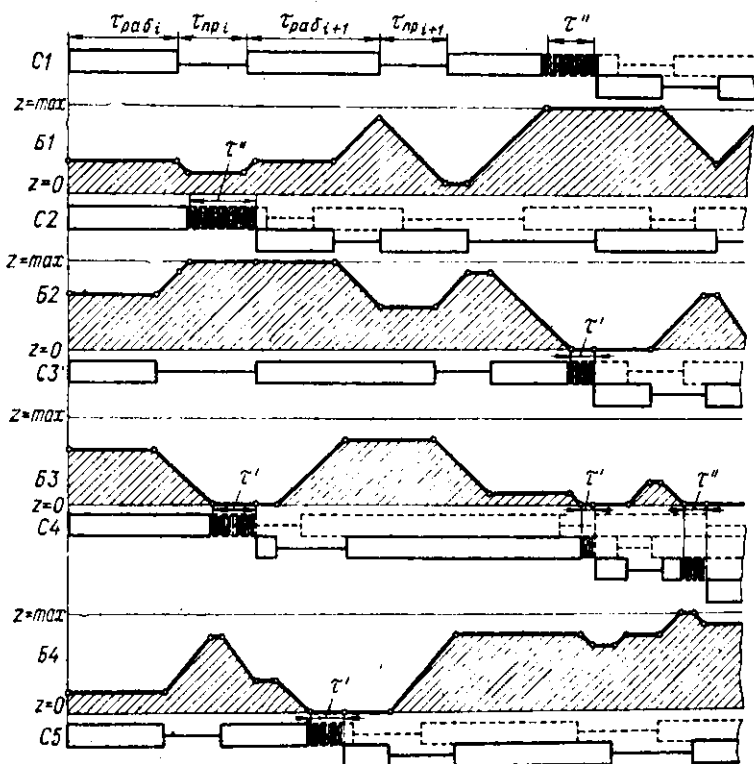


Рис. IV.52. Схема работы автоматической линии, состоящей из пяти станков (участков) при наличии заделов деталей

рассматриваемой структуры по известным характеристикам участков и известным межузастковым запасам деталей.

Е. С. Дымшицем на основе статистического моделирования большого количества вариантов автоматических линий была предложена следующая формула для расчета коэффициента многопоточной многоучастковой линии (для случая высоконадежных бункеров, т. е. для  $B_6 \approx 0$ ):

$$\eta_{\min(i, q-i)} = 1/(1 + B_i f_i),$$

где  $i$  — номер участка ( $1 \leq i \leq q$ );  $B_i$  — удельная длительность настройки  $i$ -го участка;  $q$  — общее число участков;  $f_i$  — специальная

функция, учитывающая наложение простоев и определяемая из соотношения  $f_i = P_i^i$ ;

$$P_i = 1/[1 - (q-1)\delta_i/q]; \quad y_i = 1/\bar{j}_i$$

$j_i$  — число параллельных потоков станков на  $i$ -ом участке.

Коэффициент готовности:

для многоучастковой однопоточной линии (при  $j = 1$ )

$$\eta_{\min(i, q-i)} = \frac{1}{1 + B_i \frac{1}{1 - (q-1)\delta_i/q}} = \frac{1}{1 + \frac{B_i}{1 - (q-1)\delta_i/q}};$$

для многоучастковой многопоточной линии (при  $j \neq 1$ )

$$\eta_{\min(i, q-i)} = \frac{1}{1 + B_i \left[ \frac{1}{1 - (q-1)\delta_i/q} \right]^{1/\sqrt{j}}}.$$

Здесь для каждого участка определяют

$$\delta_i = 1/(1 + \bar{a}) = 1/(1 + \mu\bar{\tau}z),$$

где  $\mu = 1/\bar{t}_{\text{рем}}$  — интенсивность восстановления работоспособности данного участка линии,  $\bar{\tau}$  — средняя длительность цикла работы участка;  $z = z_{\max}/2$  — средний запас деталей в накопителе между участками.

Расчет  $\eta$  ведут для каждого участка: вначале от первого участка к последнему, а затем от последнего к первому, тем самым учитывают наложения потерь предыдущих участков на последующие и последующих на предыдущие. Минимальное значение  $\eta_{\min}$  характеризует участок с наименьшей пропускной способностью, а  $Q_{\text{ц}}\eta_{\min}$  представляет собой максимальную расчетную производительность линии.

Расчеты по приведенным формулам показывают, что при погрешности  $5 \div 10\%$  определения значений  $B_i$  точность расчета  $\eta \approx 2\%$ .

## АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

### § IV.9. Автоматическая линия для обработки крестовины кардана

Заводом МЗАЛ изготовлено по проекту Минского СКБ несколько линий для обработки крестовины кардана. Оригинальность компоновки их в том, что линии составлены из многопозиционных агрегатных станков карусельного и барабанного типов. Одна из последних компоновок показана на рис. IV.53, а, б. Линия состоит из трех многопозиционных станков барабанного типа и одного протяжного однопозиционного станка. В начале линии установлен подъемный стол 1, на который попадают спутники с транспортера 2 возврата. Стол опускает спутник до уровня основного штангового транспортера 5, здесь рабочий снимает готовые детали и устанавливает заготовки, а затем транспортер переносит их вместе со спутником к механизму 3 ориентации и зажима деталей. После закрепления заготовок спутник попадает на верхнюю грань



Режимы обработки крестовины кардана на автоматической линии ЛМ127

| Номер станка | Номер позиции | Наименование переходов                                                                     | Количество обра-<br>ботываемых деталей,<br>шт. | Диаметр обработанн.,<br>мм | Длина обработанн.,<br>мм | Врезание и выход,<br>мм | Общая длина, мм | Скорость резания,<br>м/мин | Число оборотов,<br>об/мин | Поддача               |                     | Время, мин |       | На 1 инструмент      |                            |                              |
|--------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|------------|-------|----------------------|----------------------------|------------------------------|
|              |               |                                                                                            |                                                |                            |                          |                         |                 |                            |                           | на 1 оборот,<br>мм/об | в минуту,<br>мм/мин | машинное   | общее | Усилие подачи,<br>кг | Крутящий мо-<br>мент, кг·м | Эффективная<br>мощность, кВт |
| 1            | I             | Обточить цапфу до $\Phi 26,5$                                                              | 4                                              | 30,5                       | 29,5                     | 4,5                     | 34              | 22                         | 230                       | 0,23                  | 53,3                | 0,64       | 0,84  | 130                  | 2,1                        | 0,5                          |
|              | II            | Обточить цапфу до $\Phi 25,3^{+0,17}_{-0,17}$                                              | 4                                              | 26,5                       | 29,5                     | 4,5                     | 34              | 25                         | 300                       | 0,18                  | 53,3                | 0,64       | 0,84  | 28                   | 0,4                        | 0,12                         |
|              | III           | Снять фаску до $\Phi 24,45 \times 30^\circ$                                                | 4                                              | 25,6                       | 3                        | 31                      | 34              | 25,6                       | 320                       | 0,17                  | 53,3                | 0,64       | 0,84  | 26                   | 0,3                        | 0,1                          |
| 2            | I             | Зацентровать цапфы $12 \times 90^\circ$                                                    | 4                                              | 12                         | 6                        | 13                      | 19              | 11,3                       | 300                       | 0,12                  | 36                  | 0,53       | 0,75  | 250                  | 1                          | 0,3                          |
|              | II            | Сверлить отверстия $\Phi 8$                                                                | 4                                              | 8                          | 14                       | 5                       | 19              | 11                         | 400                       | 0,08                  | 36                  | 0,53       | 0,75  | 120                  | 0,3                        | 0,15                         |
|              | III           | Досверлить отверстия $\Phi 7,8$                                                            | 4                                              | 7,8                        | 14                       | 5                       | 19              | 10,8                       | 440                       | 0,08                  | 36                  | 0,53       | 0,75  | 120                  | 0,3                        | 0,15                         |
| 3            | I             | Сверлить отверстия $\Phi 6$                                                                | 4                                              | 6                          | 14                       | 5                       | 19              | 9,8                        | 520                       | 0,07                  | 36                  | 0,53       | 0,75  | 85                   | 0,15                       | 0,08                         |
|              | II            | Цековать торцы $\Phi 25,3$                                                                 | 4                                              | 5,8                        | 14                       | 5                       | 19              | 9,5                        | 520                       | 0,07                  | 36                  | 0,53       | 0,75  | 85                   | 0,15                       | 0,08                         |
|              | III           | Досверлить отверстия $\Phi 5,8$                                                            | 4                                              | 24,45                      | 2                        | 17                      | 19              | 61,5                       | 800                       | 0,045                 | 36                  | 0,53       | 0,75  | 120                  | 1,6                        | 1,3                          |
|              |               | Цековать торцы $\Phi 25,3$                                                                 | 4                                              | 5,8                        | 14                       | 5                       | 19              | 0,5                        | 520                       | 0,07                  | 36                  | 0,53       | 0,75  | 85                   | 0,15                       | 0,08                         |
| 4            | I             | Протянуть 5 канавок под углом $60^\circ$ , глубиной 1,3 мм и зачистить торцы с двух сторон | 4                                              | 25,3                       |                          |                         | 900             | 5000                       |                           |                       | 5000                | 0,18       |       | 1350                 |                            |                              |

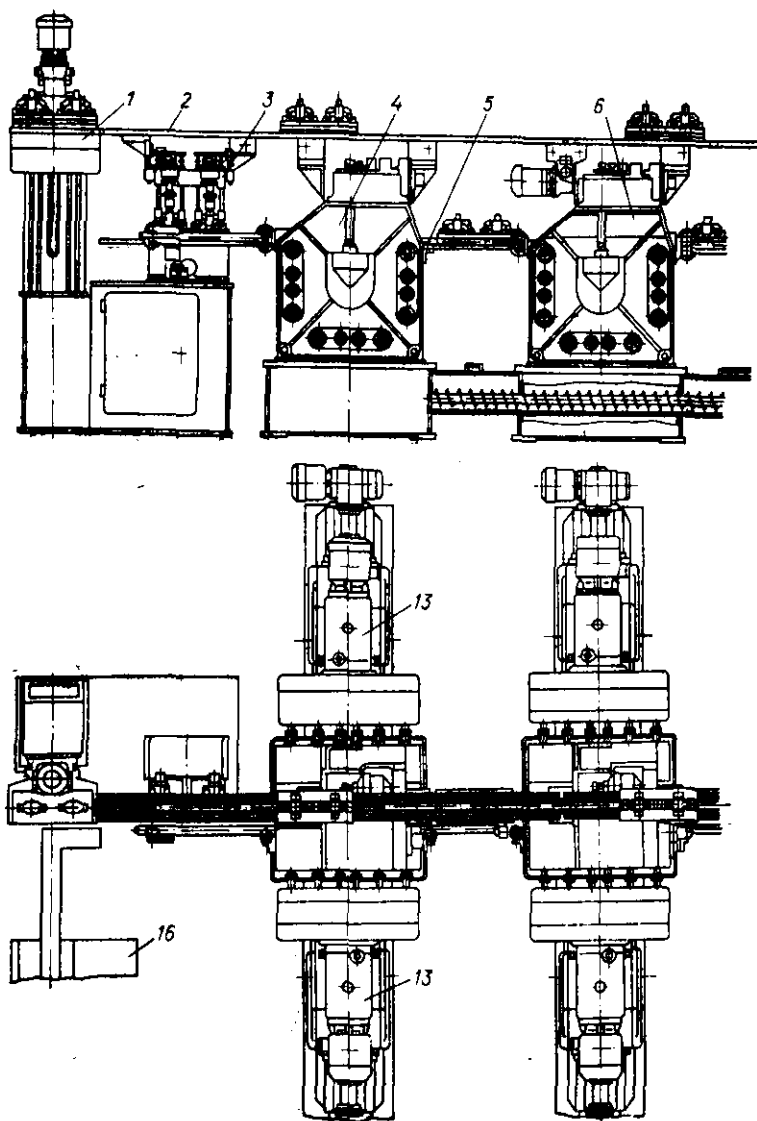
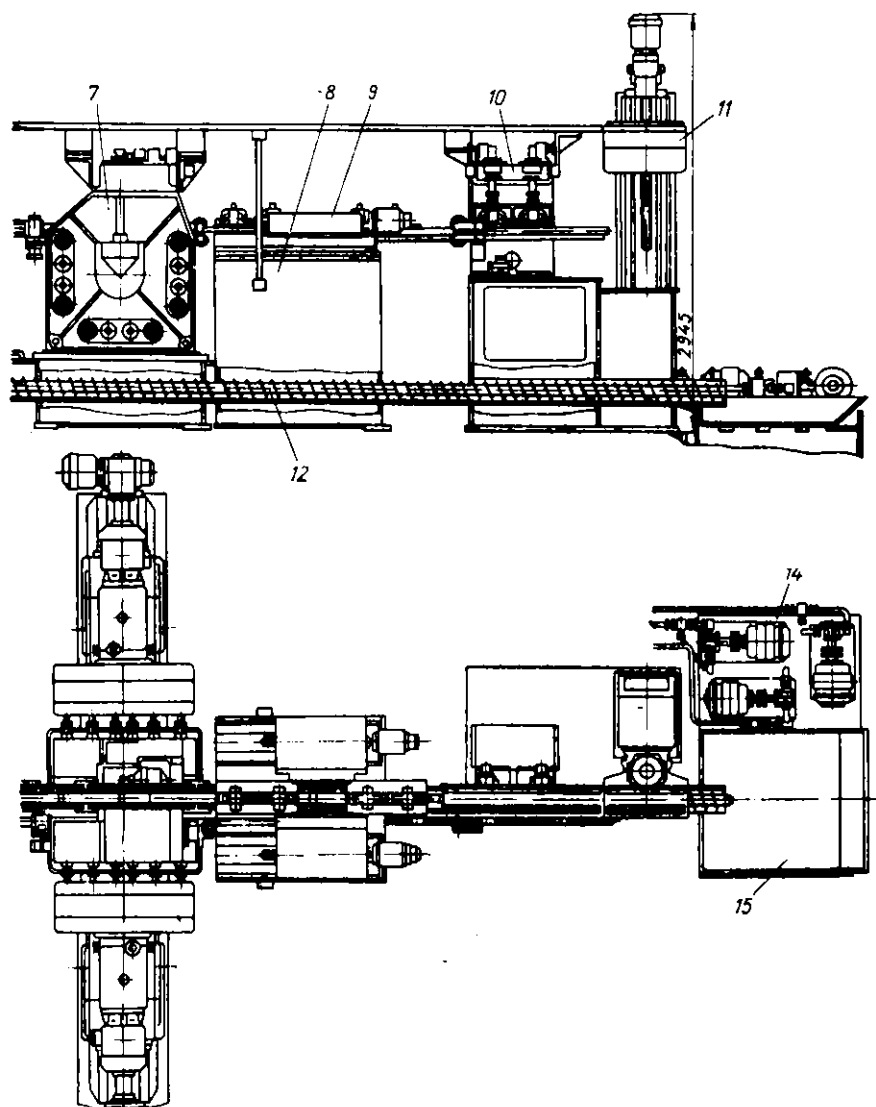


Рис. IV.53. Автоматическая линия

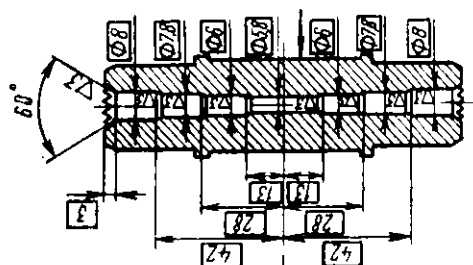
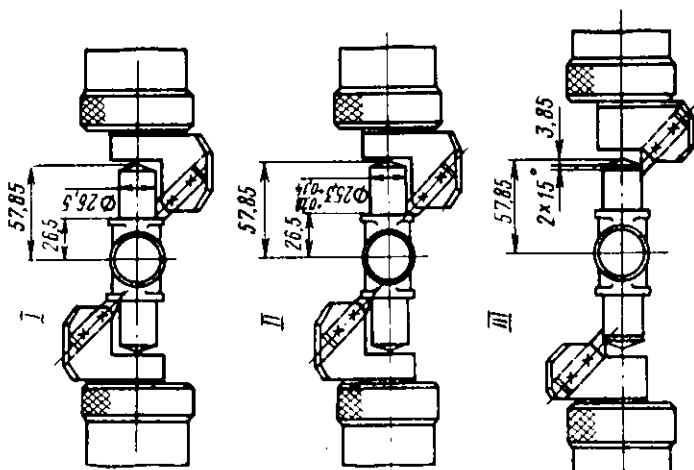
барабана агрегатного станка 4, где происходит его фиксация и закрепление. При повороте барабана детали попадают на первую рабочую позицию, где обрабатываются инструментами силовых головок 13 с двух противоположных сторон, а на загрузочной позиции оказывается спутник с обработанными на данном станке деталями. После расфиксации и открепления этот спутник передается на освободившуюся загрузочную позицию второго станка 6. После обработки на третьем



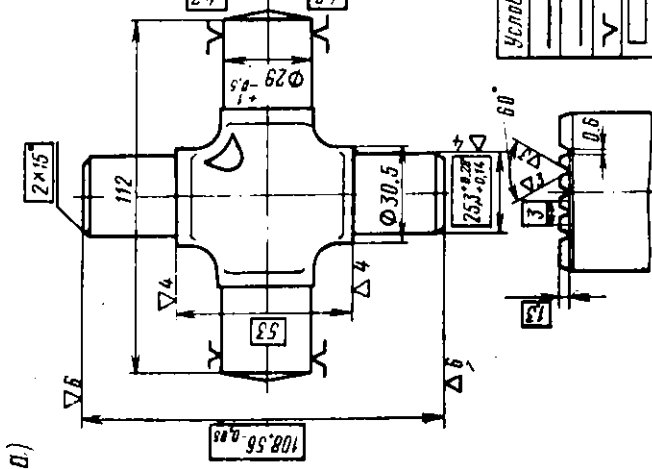
для обработки крестовины кардана

агрегатном станке 7 детали передаются на протяжной двусторонний станок 8. Протяжки здесь укреплены на силовых столах 9, которые перемещаются параллельно штанговому транспортеру линии. При ходе протяжек справа налево происходит обработка деталей, при обратном ходе — транспортировка спутников.

После протягивания детали подаются к механизму 10 разжима, где они открепляются и вместе со спутниками транспортируются к столу 11

$$1 \div N$$


|                      |   |                               |
|----------------------|---|-------------------------------|
| Условные обозначения | — | Места обработки               |
|                      | → | Прижим                        |
|                      | У | базы                          |
|                      | □ | Размеры, выполненные на листе |



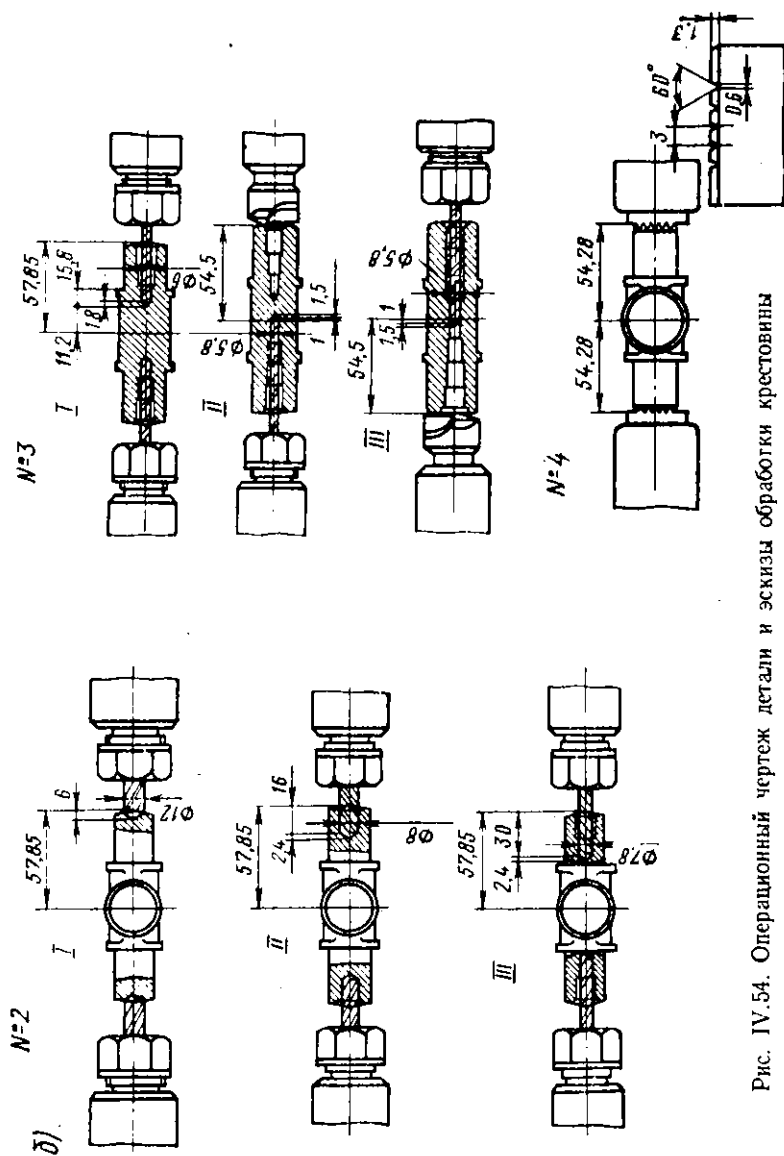


Рис. IV.54. Операционный чертеж детали и эскизы обработки крестовины

подъема. Поднятые спутники транспортером возврата передаются на разгрузочно-загрузочную позицию.

Рядом с линией установлен инструментальный шкаф 16 со счетчиками циклов для принудительной замены инструментов и гнездами для запасного комплекта. Шнековым транспортером 12 стружка транспортируется в специальный ящик 15. Здесь же расположена станция 14 для подачи к инструментам смазочно-охлаждающей жидкости.

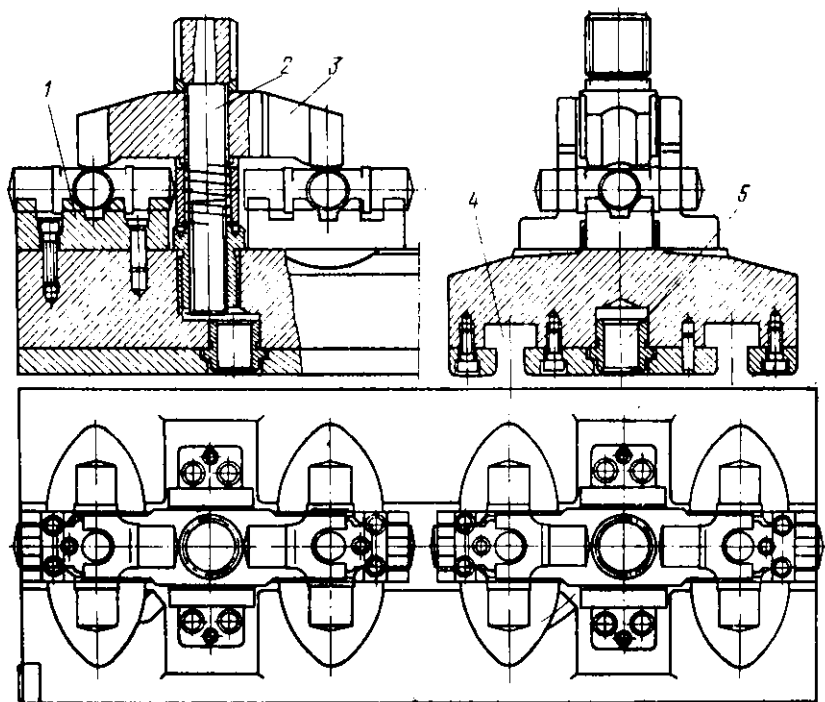


Рис. IV.55. Приспособление-спутник

Операционный чертеж детали и конструкция приспособления-спутника показаны соответственно на рис. IV.54 и IV.55. На линии производится обточка цапф, сверление глубоких многоступенчатых отверстий и протягивание канавок на торцах цапф. Базируются детали в двух призмах 1 (см. рис. IV.55), расположенных перпендикулярно, а поджимаются с помощью двуплечих прихватов 3, зажим осуществляется винтовым механизмом 2 от электромеханического ключа. Точное положение спутника в приспособлении станка обеспечивают два фиксатора, входящих во втулки 5. Зажимается спутник Т-образными прихватами, входящими в пазы 4 при установке спутника в загрузочную позицию.

На рис. IV.54, а, б даны эскизы обработки детали на линии, а в табл. IV.30 — наименование переходов и режимы обработки. Несмотря на то что в каждой позиции обрабатывают четыре детали,



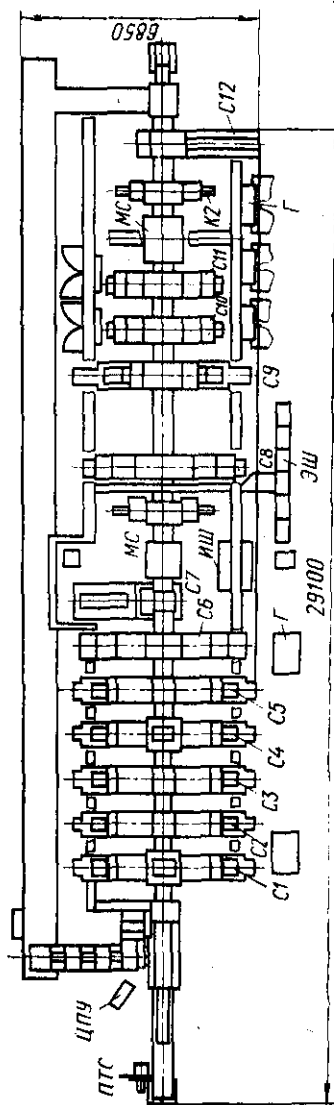


Рис. IV.57. Компоновка автоматической линии модели ЛМ157

точности обработки, мойку деталей. Деталь обрабатывают последовательно на двух автоматических линиях, которые имеют одинаковую планировку. Как первая, так и вторая линии спроектированы с базированием и закреплением детали в приспособлениях-спутниках. В каждом спутнике устанавливается по две детали. Возврат их осуществляется с помощью специального транспортера, расположенного параллельно линии.

Линия 1 (рис. IV.57) состоит из 12 станков. На станках  $C1 \div C3$  (рис. IV.57) выполняется ступенчатое сверление отверстий под шкворень. На станках  $C4-C6$  эти отверстия зенкеруются предварительно и окончательно, а также снимаются наружные и внутренние фаски. Станок  $C7$  предназначен для фрезерования внутренних поверхностей до размера  $97^{+0.3}$  (см. рис. IV.56). Станок  $C8$  представляет собой установку для запрессовки бронзовых втулок в обработанные отверстия, которые на последующих станках  $C9 \div C12$  раскатываются, дважды растачиваются и прошиваются. Перед запрессовкой бронзовых втулок, а также перед прошивкой отверстий осуществляется мойка и контроль деталей (моечные станции  $MC$  и контрольные автоматы  $K1$  и  $K2$ ).

Линия 2 включает 11 станков. На первых трех выполняется ступенчатое сверление отверстий, которые затем дважды зенкеруются и развертываются на конус на последующих трех станках. На следующих четырех станках выполняются операции свер-

ления и зенкерования отверстий, цекование со снятием фаски, а также нарезание конической резьбы в отверстиях под масленки. Пройдя через моечную станцию, детали поступают на последний станок, где выполняется раскатка конических отверстий.

Обе автоматические линии сконструированы из нормализованных силовых столов с винтовым механизмом подачи (см. рис. IV.8) и силовых сверлильных и фрезерных бабок. Закрепление и открепление деталей в спутниках осуществляется электромеханическими ключами. Для при-



вода транспортеров как продольных, так и поперечных, а также фиксации и зажима спутников используют гидравлические механизмы. Стружка с линии удаляется скребковыми транспортерами, расположенными в траншеях, идущих вдоль автоматических линий.

#### Основные технические данные линий

|                                                | Линия 1                      | Линия 2                      |
|------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Производительность при 100%-ной загрузке, шт/ч | 105                          | 105                          |
| Количество станков                             | 12                           | 11                           |
| Количество силовых узлов                       | 19                           | 18                           |
| Количество шпинделей                           | 37                           | 37                           |
| Количество рабочих позиций                     | 16                           | 12                           |
| В том числе:                                   |                              |                              |
| контрольных                                    | 2                            | —                            |
| мочных                                         | 2                            | 1                            |
| Количество спутников                           | 28                           | 24                           |
| Количество электродвигателей                   | 58                           | 57                           |
| Общая мощность электродвигателей, кВт          | 145                          | 141                          |
| Габариты линии, м                              | $29,1 \times 6,8 \times 3,7$ | $27,9 \times 6,5 \times 2,9$ |
| Вес линии, Т                                   | 69,0                         | 64,0                         |

#### § IV.11. Автоматическая линия для обработки маховиков

На рис. IV.58 показан общий вид линии, спроектированной для сверления 22 отверстий и нарезания резьбы в маховике. Линия скомпонована из шести станков, из которых два односторонних, а четыре — двусторонних, с двумя или тремя силовыми головками. На односторонних станках наклонными силовыми головками сверлят отверстия, расположенные по периферии маховика. Левый ряд головок двусторонних станков обрабатывает отверстия с широкого торца маховика, правый ряд головок — с узкого торца. Сверление, зенкерование, развертывание и снятие фасок выполняют гидравлическими силовыми головками, работающими по циклу: быстрый подвод инструментов, рабочая подача, выдержка на мертвом упоре, быстрый отвод и останов. Резьбо-нарезная головка имеет цикл: быстрый подвод корпуса, останов головки на упоре и выдвижение шпинделей с метчиками по копирным гайкам, реверс шпинделей для вывинчивания метчиков из нарезанных отверстий и быстрый отвод корпуса головки с инструментами в исходное положение. Перед резьбонарезанием происходит автоматическая смазка метчиков с помощью специального устройства.

Детали (рис. IV.59, а) устанавливают в специальных приспособлениях-спутниках (рис. IV.59, б). Зажим деталей на позиции Б и открепление на позиции А (рис. IV.58) производится с помощью электромеханических ключей. Каждую из этих позиций обслуживает отдельный оператор, около рабочих мест операторов установлены подъемники.

Базирование детали в спутнике производится на три опорные планки 1 (рис. IV.59, б), на которые маховик опирается широким торцом, и штырь 2, на который маховик садится центральным отверстием. Деталь зажимают прихватами 3 и 4. Накидная шестерня механического ключа при нажиме кнопки *Зажим* — пуск автоматически вводится в зацепление с валом-шестерней 9. При вращении этого вала втулка 8, сидя-

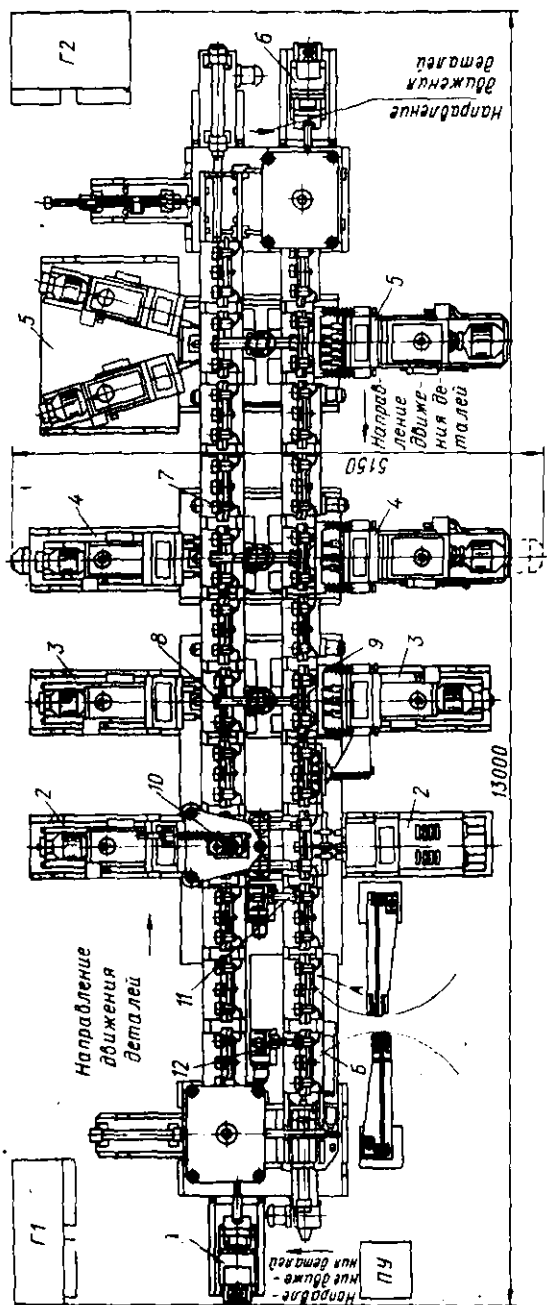


Рис. IV.58. Автоматическая линия для обработки маховиков.

1—6 — станки; 7 — приспособления-спутники; 8 — зажимные приспособления; 9 — кондукторная планка; 10 — контрольные приспособления; 11—12 — электрохимические ванны.

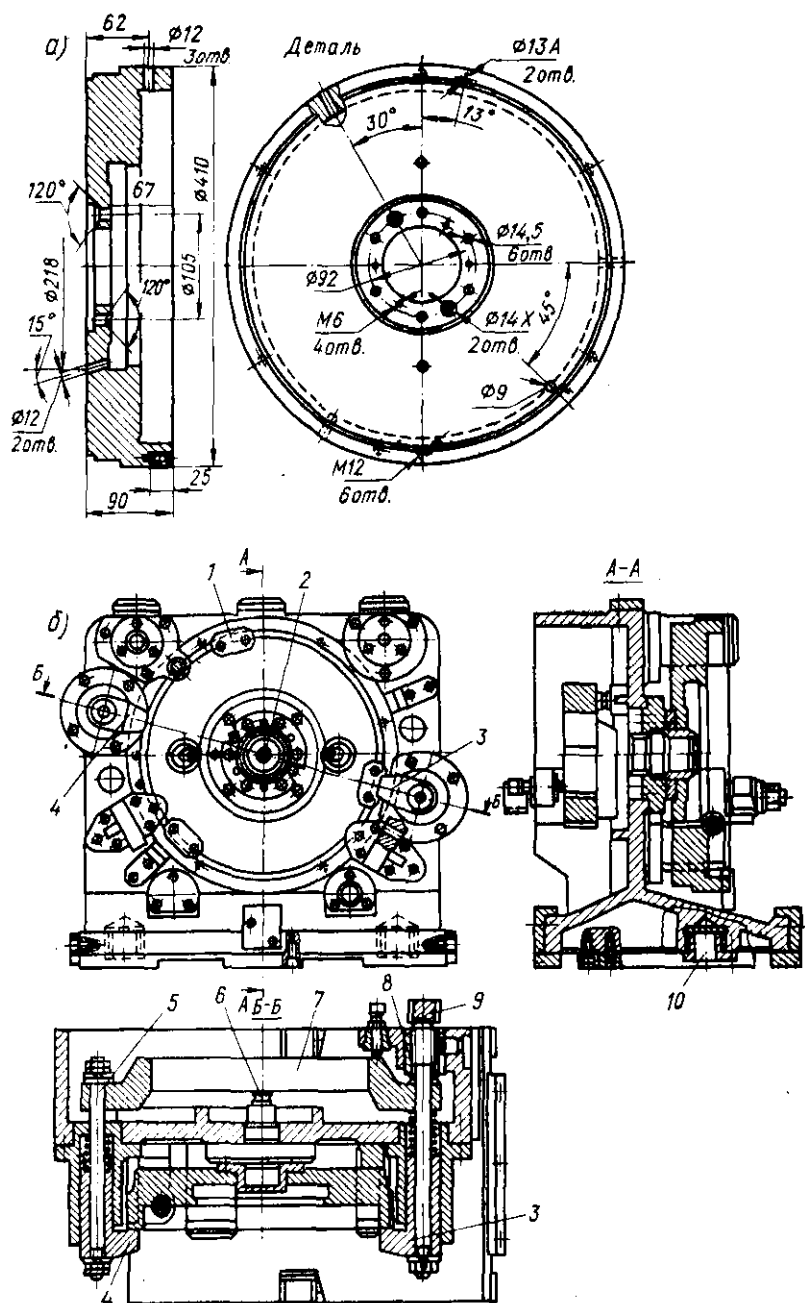


Рис. IV.59. Обработываемая деталь и приспособление-спутник для ее закрепления

щая на трапецеидальной резьбе, может совершить только осевое перемещение (от вращения она предохраняется штифтом). Вначале при вращении вала 9 втулка неподвижна, а вал вывинчивается из втулки до тех пор, пока прихват 4 не коснется детали. Затем начнется осевое перемещение втулки 8, которая начнет поворачивать прижимную раму 7 вокруг центра качания 6. Через болт 5 левый конец рамы сообщает перемещение прихвату 3. После зажима детали тарированным усилием реле времени отключает электромеханический ключ, а накидная шестерня ключа автоматически отводится от вала-шестерни 9. Затем деталь со спутником передается на станок 1 для обработки. Фиксация спутника в приспособлении станка осуществляется двумя фиксаторами; цилиндрическим и ромбическим. Фиксаторы входят во втулки 10 спутника. Спутник зажимается прихватами, аналогичными прихватам 3 и 4, через систему рычагов от гидроцилиндра.

Транспортировка спутников на линии осуществляется двумя продольными и двумя поперечными транспортерами. В связи с тем что маховик обрабатывается с двух противоположных сторон, спутники перемещаются по вытянутому прямоугольнику без поворота. За счет этого детали вначале обрабатываются левыми головками линии, а затем — правыми. Как на продольных, так и на поперечных транспортерах спутники перемещают жесткие штанги с собачками с приводом от гидроцилиндров. Шаг продольных транспортеров 675 мм, поперечных 750 мм. Для предотвращения проскакивания спутников в конце хода скорость транспортера снижается с помощью путевых дросселей.

Перед позицией резбонарезания на линии между вторым и третьим станком с правой стороны установлено контрольное приспособление (см. 10 на рис. IV.58) для проверки шести отверстий под резьбу  $M12 \times 1,75$ , расположенных по окружности  $\phi 338$  мм, и четырех отверстий под резьбу  $M6 \times 1$ , расположенных на окружности  $\phi 92$  мм.

Стружка с линии удаляется двумя шнековыми транспортерами и попадает в специальные ящики, установленные в конце линии. Шнеки приводятся во вращение от индивидуальных электродвигателей.

Общая длина линии составляет 13,0 м, ширина ее — 5,1 м, площадь, занимаемая линией, — 68,5 м<sup>2</sup>.

#### **§ IV.12. Автоматическая линия для обработки коленчатых валов V-образных двигателей**

Данная автоматическая линия изготовлена на заводе им. Орджоникидзе и предназначена для выполнения сверлильно-резбонарезных операций при обработке коленчатого вала (рис. IV.60, а), а также фрезерования шпоночной канавки. Заготовка представляет собой поковку, выполненную из стали 45. В связи с указанным комплексом операций автоматическая линия спроектирована из агрегатных станков, включающих гидравлические с перемещаемым корпусом и плоскокулачковые пинольного типа силовые головки, конструкции которых описаны ранее, а также специальные гидравлические головки пинольного типа для глубокого сверления.

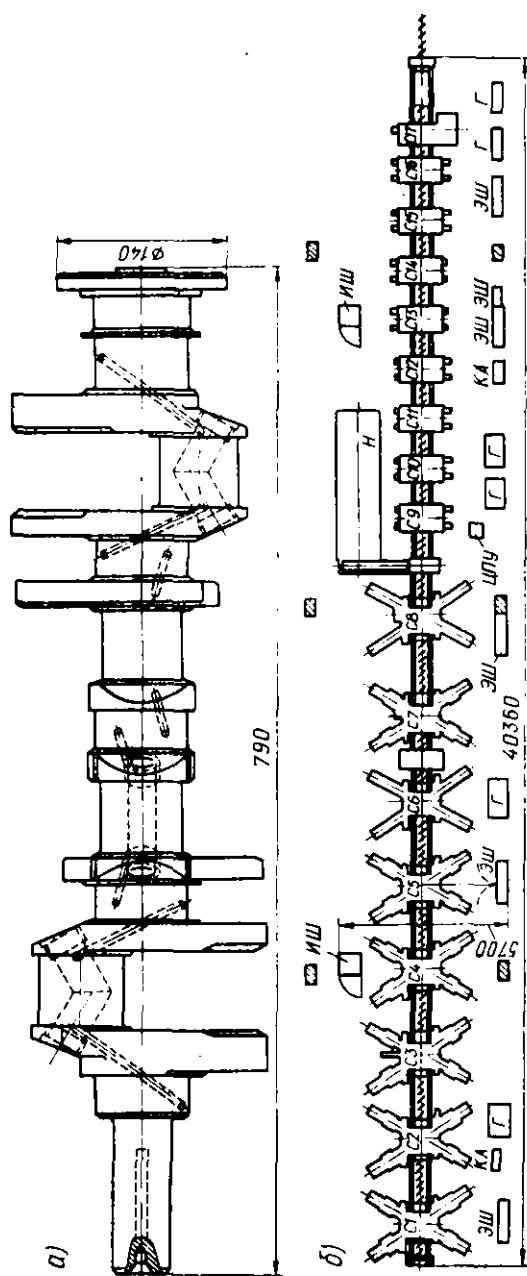


Рис. IV 60. Коленчатый вал автомобильного двигателя и компоновка линии для обработки коленчатого вала

### Основные технические данные линии

|                                                                   |                      |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Производительность при 100%-ной загрузке, <i>дет./ч</i> . . . . . | 40                   |
| Количество станков в линии . . . . .                              | 17                   |
| Количество силовых головок . . . . .                              | 80                   |
| в том числе:                                                      |                      |
| фрезерных . . . . .                                               | 1                    |
| гидравлических . . . . .                                          | 32                   |
| механических . . . . .                                            | 15                   |
| гидравлических для глубокого сверления . . . . .                  | 32                   |
| Количество шпинделей . . . . .                                    | 84                   |
| Количество рабочих позиций . . . . .                              | 25                   |
| Количество электродвигателей . . . . .                            | 91                   |
| Общая мощность электродвигателей, <i>квт</i> . . . . .            | 134,5                |
| Габарит линии (длина $\times$ ширина), <i>мм</i> . . . . .        | 40 360 $\times$ 5700 |
| Вес линии, <i>Т</i> . . . . .                                     | около 122            |

Линия (рис. IV.60, б) состоит из двух независимо работающих участков, между которыми расположен накопитель *Н* заделов. Первый участок состоит из восьми станков, второй — из девяти. Детали базируются по центровым отверстиям, выполненным ранее. На станках первого участка полностью обрабатываются камеры грязесборников, в том числе нарезается резьба под пробки, сверлятся выводные отверстия для смазки шатунов. На станках *С1* и *С2* выполняется сверление шести отверстий, затем досверливание двух отверстий, зенкерование второй пары, снятие фасок у третьей пары отверстий. После обработки на станке *С2* деталь при своем движении к станку *С3* поворачивается на 90°.

Поворот детали осуществляется с помощью штангового транспортера с подпружиненными собачками, который служит для транспортировки валов вдоль автоматической линии. Детали скользят по планкам транспортера коренными шейками, в местах поворота они наезжают на неподвижные планки, в которые упираются шатунными шейками. При дальнейшем перемещении штангового транспортера с деталью последняя поворачивается на необходимый угол без помощи специальных поворотных устройств. Переориентация детали осуществляется в шести местах автоматической линии.

На станках *С3* и *С4* выполняются аналогичные операции. В дальнейшем после второго поворота детали на станках *С5—С8* досверливаются и зенкеруются отверстия, снимаются фаски, нарезается резьба.

На станках второго участка, каждый из которых (кроме *С17*) состоит из двух позиций, ведется обработка соединительных каналов маслопровода и фрезеруется гнездо под шпонку. Сверлильные станки *С9—С16* оснащены специальными головками для сверления отверстий глубиной до 200 мм и диаметром 6—10 мм. Вывод сверл для очистки их от стружки осуществляется по команде устройств, которые следят за величиной крутящего момента на сверле. Последний при работе головки не должен превышать заданного значения. Это не только предохраняет сверла от поломки, но и уменьшает количество выводов сверл за период полной обработки отверстия. Для удобства смены сверл применяются быстросменные патроны. Кроме того, все головки пинольного типа (как гидравлические, так и кулачковые) установлены

на салазках, которые отводятся при помощи гидроцилиндров. Гидравлика используется также для привода транспортера, зажима и фиксации деталей на рабочих позициях.

Стружка с линии удаляется шнековым транспортером, который расположен в траншее, проходящей вдоль линии.

#### § IV.13. Автоматическая линия для обработки картера заднего моста малолитражного автомобиля

Данная автоматическая линия также изготовлена на заводе им. Орджоникидзе. Она предназначена для полной обработки корпусной детали крупных размеров — картера заднего моста автомобиля — и состоит из двух участков, включающих восемь агрегатных станков, шесть из которых однопозиционные, а на двух станках обработка ведется в двух позициях.

Картер (рис. IV.61, а) представляет собой сварную конструкцию, изготовленную из стали 40 и стали 10. Базирование осуществляется в специальных приспособлениях-спутниках, а зажим — с помощью трех электромеханических ключей. На первой позиции линии происходит закрепление детали, на последней позиции аналогичным образом — ее раскрепление.

Все силовые головки линии (кроме резбонарезных) имеют гидравлический привод подачи, причем две вертикальные головки выполнены как несамодельствующие, остальные — как самодельствующие с встроенным гидроприводом. Резбонарезные головки имеют механический привод: подача каждого шпинделя производится по индивидуальной копирной гайке. Это обеспечивает высокое качество резьбы.

##### Основные технические данные линии

|                                                            |                  |
|------------------------------------------------------------|------------------|
| Производительность линии при 100%-ной загрузке, шт/ч . . . | 48               |
| Количество станков в линии . . . . .                       | 8                |
| Количество силовых головок . . . . .                       | 14               |
| Количество шпинделей . . . . .                             | 49               |
| Количество рабочих позиций . . . . .                       | 13               |
| в том числе контрольных . . . . .                          | 3                |
| Количество спутников . . . . .                             | 23               |
| Количество электродвигателей . . . . .                     | 35               |
| Общая мощность электродвигателей, кВт . . . . .            | 75               |
| Габарит линии, м . . . . .                                 | 17,5 × 6,5 × 3,2 |
| Вес линии, Т . . . . .                                     | 60               |

Планировка линии показана на рис. IV.61, б. На первом участке, состоящем из пяти горизонтальных двусторонних станков, полностью обрабатываются концевые фланцы. На станке С1 последовательно двумя резцами подрезаются торцы, третий резец снимает фаски в конце хода суппорта. На двух позициях станков С2 и С3 выполняют черновое и чистовое зенкерование и развертывание отверстий под подшипники, снятие наплывов на стыковых сварных швах. Затем после обдувки сжатым воздухом деталь поступает на контрольный автомат К1. Пневмоэлектрические датчики контролируют диаметры отверстий

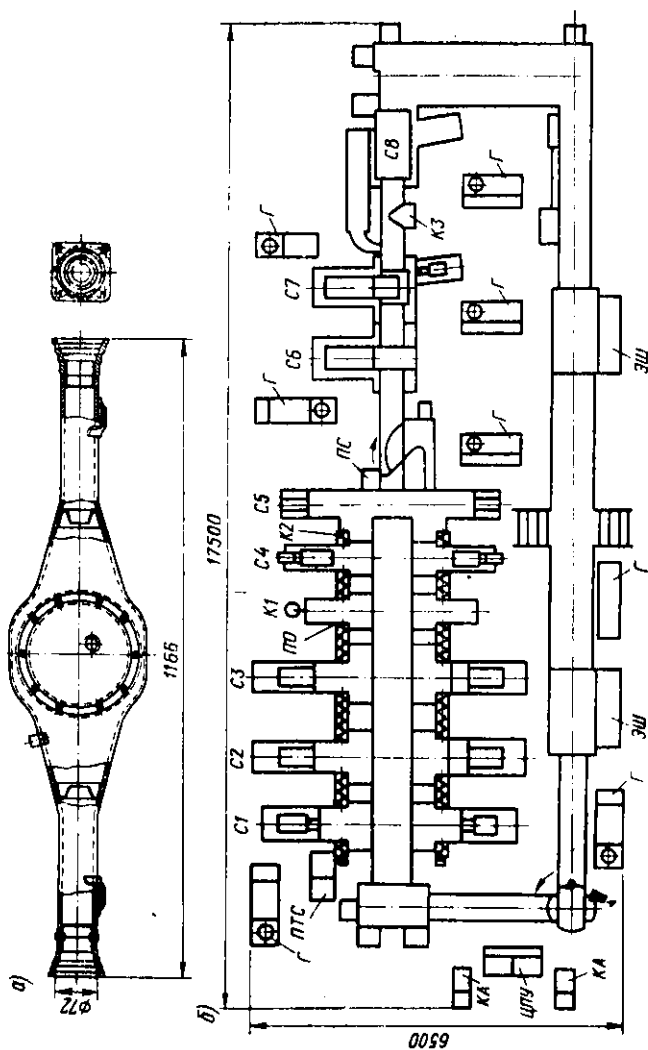


Рис. IV.61. Картер заднего моста и компоновка линии для полной обработки его



после развертывания. Шкала датчика показывает фактический диаметр обработанного отверстия. В случае приближения допуска на диаметр к нижнему пределу подается сигнал о необходимости замены соответствующей развертки, а затем линия останавливается.

На станке С4 сверлятся восемь отверстий во фланцах, затем с помощью щупов, помещенных на боковой стороне сверлильных головок (позиция К2), проверяется глубина этих отверстий и на станке С5 нарезается в них резьба. После этого спутники поступают на поворотный стол ПС, где они поворачиваются на 90° вокруг вертикальной оси.

Второй участок включает три станка. Здесь подрезается плоскость большого фланца с одновременной расточкой центрального отверстия (станок С6), сверлятся 10 отверстий во фланце  $\varnothing 6,7$  мм и одно отверстие  $\varnothing 8,7$  мм под сливную пробку (станок С7), затем проверяется глубина 10 отверстий (щупы К3) и нарезается резьба (станок С8) в просверленных отверстиях.

Транспортеры для перемещения спутников, механизмы фиксации и зажима их имеют гидравлический централизованный привод.

Для удаления стружки с линии используются шнековые транспортеры.

#### § IV.14. Автоматический участок для обработки блока цилиндров V-образных автомобильных двигателей

Комплекс из пяти линий, каждая из которых построена по сложной структурной схеме, объединен в автоматизированный участок для полной обработки двух модификаций V-образного блока цилиндров (рис. IV.62) автомобильного двигателя бензинового и дизельного. Линии изготовлены станкозаводом им. Орджоникидзе и эксплуатируются на автомо-

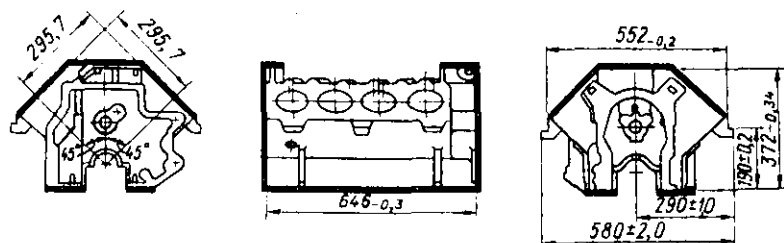


Рис. IV.62. Операционный чертеж детали

бильном заводе им. Лихачева. В линию включено выполнение чистового фрезерования основных плоскостей, чистового растачивания отверстий под коленчатый и распределительный валы, под гильзы цилиндров и толкатели, завертывание и затяжка с заданным усилием крепежных болтов крышек коренных подшипников, а также запрессовка втулок в отверстия под распределительный вал. Обе модификации детали представляют собой отливки из серого чугуна СЧ 18—36. Обработка их производится без переналадки станков.

Участок автоматических линий включает 147 станков, на которых установлено 312 силовых узлов с общим количеством шпинделей 1554. На линиях работает 455 электродвигателей, общая мощность которых составляет 2216 *квт*. Площадь автоматизированного участка 3605 м<sup>2</sup>, общий вес оборудования около 1688 Т. При 100%-ной загрузке автоматизированный участок обеспечивает обработку 86 блоков в час.

Характеристика каждой из пяти линий, входящих в участок

|                                                           | 1Л95   | 1Л96   | 1Л97   | 1Л99   | 1Л98   |
|-----------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Количество участков на линии . . . . .                    | 2      | 4      | 2      | 1      | 1      |
| Количество потоков на участке . . . . .                   | 2      | 2      | 2      | 2      | 3      |
| Общее количество станков . . . . .                        | 18     | 85     | 20 + 4 | 12     | 12     |
| Количество силовых узлов . . . . .                        | 46     | 190    | 30     | 22     | 24     |
| Количество шпинделей . . . . .                            | 58     | 1 254  | 76     | 22     | 144    |
| Количество электродвигателей . . . . .                    | 76     | 233    | 66     | 33     | 47     |
| Общая мощность электродвигателей,<br><i>квт</i> . . . . . | 607    | 1 055  | 252    | 131,5  | 171    |
| Площадь, занимаемая линией, м <sup>2</sup> . . . . .      | 688    | 1 820  | 345    | 280    | 272    |
| Габарит линии; мм:                                        |        |        |        |        |        |
| длина . . . . .                                           | 34 000 | 34 970 | 34 600 | 27 300 | 14 050 |
| ширина . . . . .                                          | 24 000 | 51 800 | 20 000 | 10 100 | 19 400 |
| высота . . . . .                                          | 3 165  | 3 165  | 2 400  | 2 900  | 2 730  |
| Вес линии, Т . . . . .                                    | 285    | 760    | 300    | 153    | 190    |

Для силовых узлов автоматических линий, поворотных механизмов, транспортных устройств, а также механизмов зажима и фиксации деталей в приспособлениях станков использованы гидравлические приводы. Для управления работой вспомогательных гидромеханизмов используют контрольно-регулирующую и распределительную аппаратуру, смонтированную на вертикальных щитах гидростанций, которые располагаются рядом с линиями. Стабильность температуры масла в гидросистемах поддерживается специальными терморегуляторами и водяными теплообменниками, расположенными в масляных резервуарах гидростанций.

Смазка всех трущихся поверхностей производится принудительно при помощи дозирующих насосов, которые автоматически включаются через определенное количество циклов.

Рядом с линиями располагают инструментальные шкафы, где хранят запасные комплекты инструментов. Здесь же установлены приспособления для настройки инструментов на размер вне линии.

Рассмотрим технологический процесс обработки блоков на линиях, а также особенности компоновок автоматических линий.

**Автоматическая линия 1Л95.** На этой автоматической линии производится обработка фрезерованием основных плоскостей блока, сверление базовых отверстий и цековка платиков. Заготовка блока подается на автоматическую линию с пятью обработанными технологическими приливами, и в контрольном приспособлении происходит проверка величины припусков. Специальные щупы проверяют высоту свода блока и припуск под протягивание замка. В случае завышенных припусков блок автоматически удаляется с линии специальным транспортером.

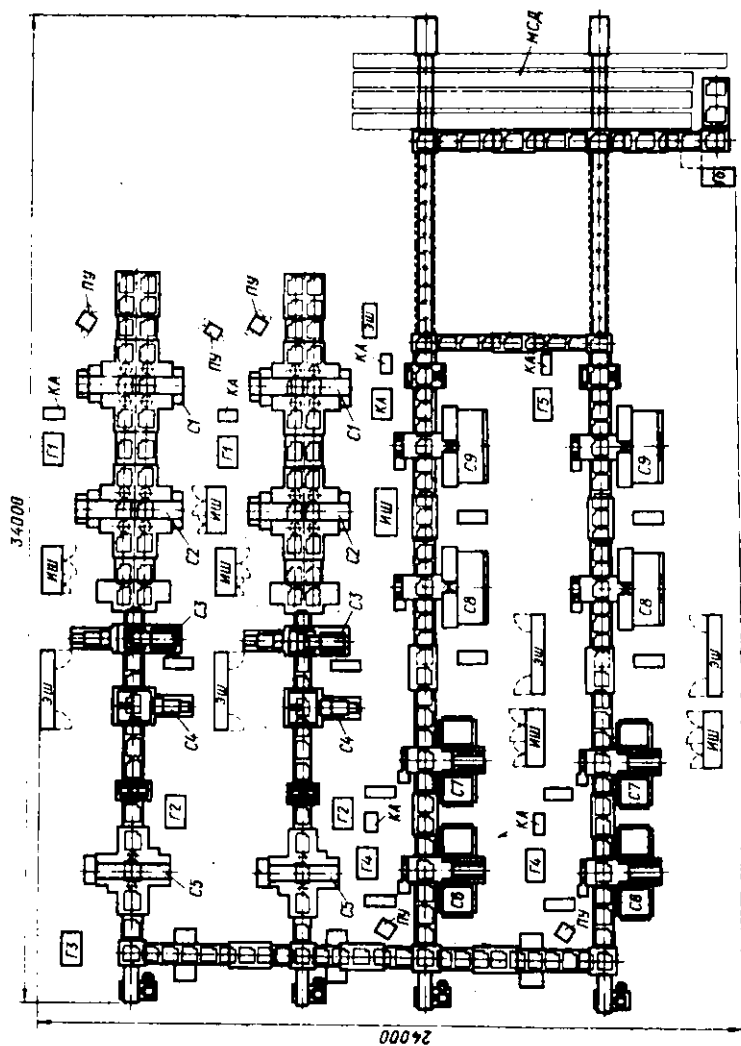


Рис. IV.63. Компоновка линии 1Л95

Линия (рис. IV.63) состоит из двух участков, в каждом из которых установлено по две цепочки станков. На четырехшпиндельных продольно-фрезерных станках *C1* и *C2* первого участка выполняется предварительное и окончательное фрезерование нижней плоскости блоков (см. рис. IV.62). Детали устанавливаются и закрепляются в четырехместном приспособлении на силовом столе, сообщаемом им движение подачи. Фрезерные бабки закреплены по две с каждой стороны портала и обеспечивают вращательное движение инструментов. Применение станков portalной конструкции, как отмечалось ранее, позволило получить необходимую жесткость системы для обработки деталей на высоких режимах. После обработки на станках *C2* детали попадают на укладчик, перекладывающий детали из двух ручьев в один (см. рис. IV.63).

Станки *C3* и *C4* выполняют обработку трех базовых отверстий  $\Phi 16A$  и технологических транспортных платиков, расположенных с двух сторон детали. На станках установлены плоскокулачковые силовые головки. После станков *C4* детали попадают в барабан, который поворачивает их вокруг горизонтальной оси на  $180^\circ$ .

Двухшпиндельные продольно-фрезерные станки *C5* предназначены для последовательной обработки за два прохода верхней плоскости блока в размер  $372_{-0,34}^{+0}$ . На этом заканчивается обработка деталей на первом участке и они попадают на поперечный транспортер.

На втором участке на станках *C6* и *C7* фрезеруются предварительно и окончательно торцовые плоскости блока, затем с помощью поворотного стола детали разворачиваются на  $90^\circ$  вокруг вертикальной оси и попадают на станки *C8* и *C9*, где в два перехода фрезеруются наклонные плоскости блока под головки. Здесь, так же как и ранее, используют силовые столы для движения подачи деталей, однако направление их перемещения на этих станках перпендикулярно движению продольного транспортера (рис. IV.63).

После обработки детали подаются в вытряхиватель стружки (поворотный барабан с гидравлическим вибратором), а затем на реверсивный поперечный транспортер, который выдает их на транспортеры, связывающие данную линию с последующей. Здесь же располагается моечная станция для блоков.

Отвод стружки с линий выполняется за счет скребковых транспортеров, расположенных под станками.

Автоматическая линия 1Л96. Вторая автоматическая линия выполняет наибольшее число технологических переходов, здесь детали обрабатываются на 85 станках с общим количеством шпинделей 1254. Линия (рис. IV.64) состоит из четырех двухпоточных секций, между которыми располагаются поперечные транспортеры-накопители заделов.

На первых двух станках *C1* и *C2* первой секции выполняется черновое и чистовое фрезерование торцов коренных подшипников набором фрез, а также проточка канавок (см. рис. IV.62). Детали получают рабочее перемещение от силовых столов, фрезерные бабки сообщают инструментам только вращательное движение.

Далее на станках *C3—C6* предварительно фрезеруются плоскости под привод распределителя и под масляный насос, производится черновое и получистовое растачивание отверстий под гильзы цилиндров.

Следующие четыре двухпозиционных сверлильных станка предназначены для обработки всех отверстий со стороны переднего и заднего торцов блока. После этих операций детали попадают на поперечный транспортер и подаются на второй участок линии, состоящий из двух потоков по 10 станков в каждом. На станках *C11—C20* выполняется обработка отверстий со стороны верхней и нижней плоскостей блока и со стороны плоскостей под привод распределителя и масляный насос.

Третий участок включает два независимых потока по 14 станков (*C21—C34* на рис. IV.64), на которых производится получистовое растачивание отверстий в блоке под гильзы цилиндра, обработка отверстий со стороны верхней плоскости и боковых сторон, отрезка технологических платиков. Перед резбонарезными станками *C34* установлены вытряхиватели стружки и контрольные автоматы *K* для проверки наличия и глубины просверленных отверстий.

Четвертый участок состоит из одной цепочки, включающей пять станков *C35—C39* (рис. IV. 64), предназначенных для сверления, зенкерования, снятия фасок и развертывания отверстий в блоке. Далее поток делится на два, на каждом из которых установлено по шесть резбонарезных станков *C40—C45*. Здесь производится нарезание резьбы в крепежных отверстиях с различных сторон.

Отличительной особенностью этой линии является автоматическая ее переналадка на любую из двух модификаций детали. Это осуществляется за счет отключения той части силовых головок, которая не участвует в обработке данных деталей.

Автоматическая линия *1Л97*. Третья автоматическая линия предназначена в основном для выполнения расточных операций, завертывания и тарированной затяжки крепежных болтов, а также запрессовки втулок.

Линия (рис. IV.65) состоит из двух секций. Первый участок первой секции однопоточный, включает установки *P1* и *P2* для завертывания и затяжки с тарированным моментом ( $M = 11 \div 13 \text{ кг}\cdot\text{м}$ ) болтов крышек коренных подшипников. Второй участок имеет четыре потока, в каждом из которых установлено по два станка.

Станки *C1* и *C2* аналогичны по компоновке. На первом из них в двух деталях одновременно выполняется черновое и получистовое растачивание отверстий под коленчатый и распределительный валы, на втором станке — получистовое растачивание отверстий под коленчатый вал и под втулки распределительного вала.

Блоки поджимаются к верхней плите приспособления, одновременно внутрь деталей вводятся кронштейны для направления расточных борштанг. Резцы вводятся и выводятся через продольные пазы в направляющих втулках, для точной угловой фиксации борштанг в эти моменты используют специальные механизмы.

На третьем участке на двух станках *C3* параллельно производится развертывание отверстий под распределительный вал. Две установки

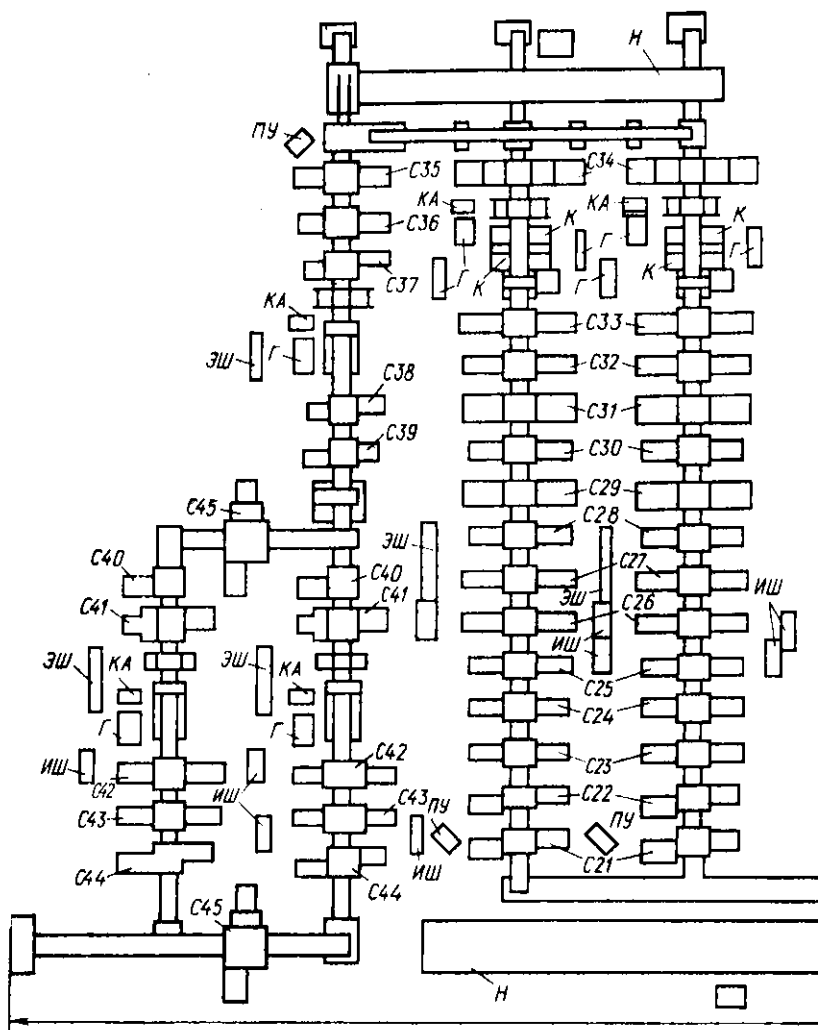
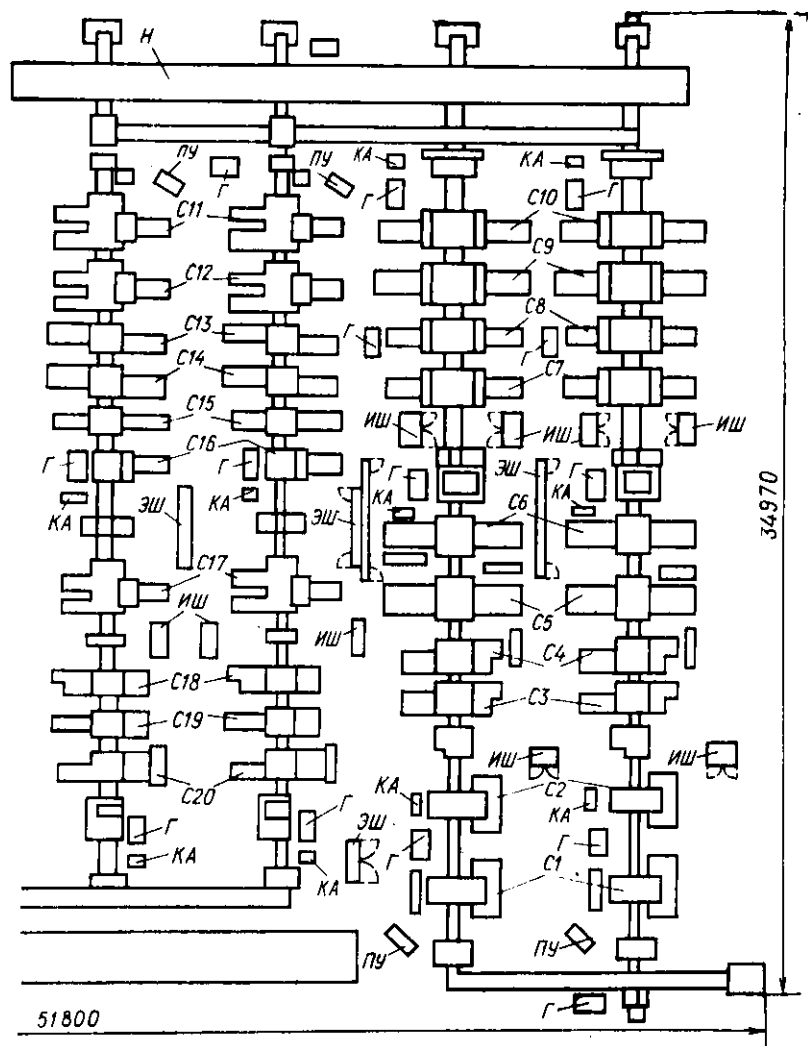


Рис. IV.64. Комп

С — станок; Р — сборочная установка; К — контрольное устройство; МС — мое; ПБ — поворотный барабан; ПС — поворотный стол; Н — накопитель; Г — гидросток; КА — командо-аппарат; СО — станция подачи охлаждающей эмульсии; ИШ — инструмент.

РЗ четвертого участка предназначены для запрессовки втулок в отверстия, развернутые на станках СЗ. Установки обслуживают операторы, которые вручную ориентируют втулки и надевают их на пуансоны.

Вторая секция включает пять параллельных потоков по два станка в каждом из них. Станки С4 предназначены для чистового растачивания отверстий под коленчатый вал и в запрессованных на установках РЗ



новка линии 1Л96:

ная станция; ПО — позиция обдувки детали; ТВ — транспортер выдачи деталей; станция; ЦПУ — центральный пункт управления; ПУ — пульт управления уча- ПТС — привод транспортера стружки; ЭШ — шкаф для электроаппаратуры; ИШ — ный шкаф

втулках распределительного вала, а также разворачивание отверстий в блоке с обоих торцов. Цикл обработки следующий: подъем детали, быстрый подвод головки без вращения шпинделей, зажим детали, рабочая подача силовой головки, выдержка на упоре, предварительный быстрый отвод головки, промежуточный останов, доводка и фиксация шпинделей в угловом положении, быстрый отвод головки без вращения шпинделей, останов в исходном положении, опускание детали.

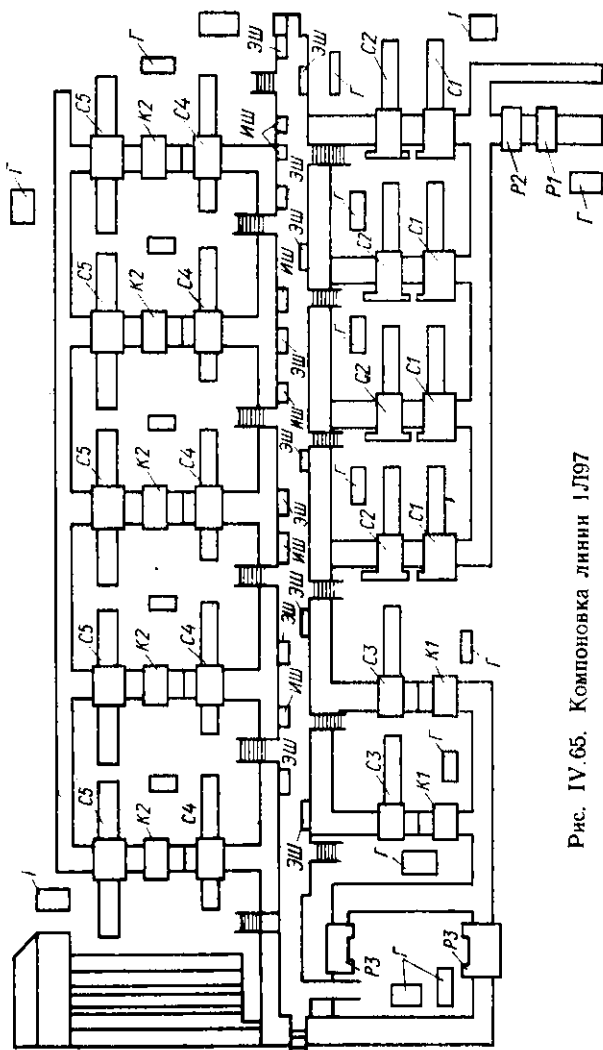


Рис. IV.65. Компоновка линии 1Л97



Двухпозиционные станки *С5* предназначены для растачивания канавок под уплотнительные кольца и подрезки торцов в отверстиях под коленчатый вал с двух сторон.

Для автоматического контроля растачиваемых отверстий на линии установлены контрольные автоматы *К1* и *К2*. Перед контролем отверстия обдуваются сжатым воздухом для очистки их от стружки.

Между первой и второй секциями помещен накопитель *Н* заделов.

Автоматическая линия *1Л99*. Данная автоматическая линия является четвертой из общего комплекса оборудования, она включает два независимых параллельных потока по шесть станков в каждом потоке. На двух двухшпиндельных продольно-фрезерных станках портального типа выполняется чистовое фрезерование плоскостей под головки блоков. Деталь базируется по отверстиям под коленчатый вал с помощью двух ромбических штырей. Приспособления установлены на подвижных столах, которые сообщают детали движения подачи. Инструмент имеет только вращательное движение.

Перед третьим станком деталь поворачивается на  $90^\circ$  вокруг горизонтальной оси, затем производится фрезерование плоскости под привод распределителя и масляный насос. На станках четвертом — шестом выполняется чистовое растачивание и развертывание отверстий под привод распределителя и масляный насос, а также обрабатывается внутренняя опорная площадка под привод распределителя.

После пятого станка на контрольно-измерительном автомате контролируются размеры отверстий  $\Phi 43^{+0,027}$  и  $\Phi 35^{+0,05}$  после развертывания.

Ряд станков данной линии оснащен ощупывающими устройствами, определяющими тип обрабатываемой детали. Так как блок дизельного двигателя на третьем — пятом станках не обрабатывается, то ощупывающие устройства отключают силовые головки этих станков при поступлении на станок блока дизельного двигателя.

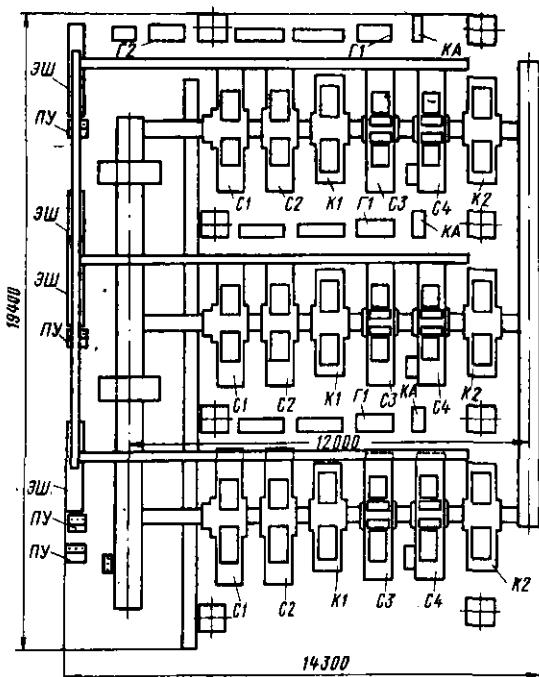


Рис. IV.66. Компоновка линии 1Л98

**Автоматическая линия 1Л98** (рис. IV.66). На этой линии завершается обработка блока цилиндров. Она состоит из трех параллельных потоков, работающих независимо, каждый из потоков включает четыре станка и два контрольных автомата. Агрегаты соединены параллельно-последовательно с помощью продольных и поперечных транспортеров.

На станке *С1* растачиваются отверстия под бурты гильз с одновременной подрезкой торцов. Расточные шпиндели помещены в отдельных корпусах, расположенных на силовых столах. Инструменты работают с упором в деталь, что обеспечивает размер глубины выточки в пределах  $5^{+0,048}$  мм.

На станке *С2* растачиваются отверстия под гильзы цилиндров. Каждый шпиндель имеет механизм точного останова и фиксации положения, что предотвращает повреждение обработанной поверхности. Кроме того, имеются механизмы автоматической подналадки резцов по мере их износа.

Станки *С3* и *С4* предназначены для растачивания и развертывания отверстий под толкатели. Контрольно-измерительные автоматы *К1* и *К2* контролируют диаметры отверстий под гильзы и толкатели, а также глубину выточек под бурты гильз.

Все автоматические линии оснащены транспортерами для уборки стружки. От станков стружка отводится ленточными транспортерами, которые сыпают ее в скребковый транспортер, расположенный ниже уровня пола.

## Глава V

### МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

---

Трудоемкость сборочных работ в машиностроении составляет примерно 20—50% от общей трудоемкости изготовления машин. В массовом производстве трудоемкость сборочных работ занимает 20% от всей трудоемкости изготовления грузового автомобиля, в единичном и серийном производстве — 40—60% от всей трудоемкости машины. На машиностроительных заводах из всего объема сборочных работ механизировано только 15—20%, а остальная часть сборочных операций выполняется вручную.

Весьма незначительное применение в машиностроении имеет автоматическая сборка, примерно 6—7% от всех видов сборки. Поэтому необходимо сокращать трудоемкость сборочных работ путем ее механизации и автоматизации. Сборочные процессы в машиностроительной промышленности отстают от механизации и автоматизации технологических процессов механической обработки деталей. Механизация и автоматизация сборочных процессов повышают производительность труда рабочих, улучшают условия их работы, сокращают число рабочих-сборщиков, повышают качество продукции, уменьшают удельную площадь цеха под сборку, снижают себестоимость выпускаемой продукции.

Применение малой автоматизации сборочных процессов, при которой производится автоматизация отдельных сборочных операций, дает небольшой эффект. При этом облегчаются условия труда рабочих, улучшается качество собираемых изделий, но число рабочих сборщиков не уменьшается.

Высшей ступенью автоматизации сборочных работ является комплексная автоматизация всех основных и вспомогательных сборочных работ. При этом производится автоматизация всех операций сборки узла или изделия с применением сборочных автоматов или автоматических линий, выполняющих сборку без участия человека. Функции рабочих-наладчиков сводятся к наблюдению за правильной работой автоматических сборочных устройств, их подналадкой, загрузкой бункеров деталями.

Наибольший технико-экономический эффект при комплексной автоматизации сборочных процессов получается от применения автоматических сборочных линий для выполнения всего комплекса сборочных операций.

Широкое применение механизации и автоматизации сборочных процессов имеет в массовом производстве, меньшее — в серийном производстве, незначительное — в единичном производстве. Слабая меха-

низация и автоматизация сборочных процессов в машиностроении объясняется недостаточной технологичностью собираемых изделий, отсутствием типовых устройств для автоматизации сборки, нестабильностью размеров собираемых деталей изделия.

Необходимо учитывать, что хорошо собираемая конструкция машины при ручной сборке может оказаться непригодной для ее перевода на автоматическую сборку. Внедрению автоматической сборки препятствуют отсутствие законченной научной методики по проектированию технологических процессов автоматической сборки узлов и машин и незначительное количество практически внедренных автоматизированных сборочных процессов.

Большим препятствием для проведения работ по автоматизации процессов сборки является необходимость проектирования специальной оснастки и ее изготовления для каждого завода. Это приводит к большой трудности изготовления автоматизированных сборочных устройств и обходится дорого.

При разработке научных основ автоматизации сборочных процессов необходимо решить ряд вопросов, таких, как выбор оптимального процесса автоматизированной сборки, выбор наилучшей степени автоматизации сборки, обеспечение заданной точности, надежности и производительности устройств автоматической сборки, выбор типа конструкции и размеров сборочной оснастки, определение требуемого темпа сборочного оборудования. Все перечисленные вопросы не имеют достаточно обоснованных научных положений и практических рекомендаций для широкого внедрения в промышленность.

Следует уделять должное внимание внедрению типовых и групповых технологических сборочных процессов в период разработки научных основ автоматизации и механизации их. Типовые сборочные процессы применяются в крупносерийном и массовом, а групповые — в серийном производствах.

Успешное внедрение типовых и групповых процессов автоматизированной сборки может осуществляться при условии проведения нормализации, унификации и улучшения технологичности собираемых узлов.

При проектировании автоматизированных процессов сборки должны быть разработаны типовые сборочные устройства определенного назначения, из которых можно компоновать различные сборочные автоматы и автоматические линии. В этом случае значительно сокращаются трудоемкость и стоимость автоматизированных сборочных устройств и уменьшаются сроки их внедрения на заводах.

В период проектирования компоновок сборочных автоматов и линий из типовых узлов следует использовать теорию размерных цепей для получения заданной точности и надежности сборки узлов изделий.

Чтобы успешно внедрять автоматизацию в серийное производство, необходимо разработать переналаживаемые сборочные автоматы с различными системами программного управления. На заводах недостаточно изучены надежность и отказы в работе автоматического сборочного оборудования и способы настройки сборочных автоматизированных устройств.

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

1) разделение всего технологического процесса сборки на ряд последовательно расположенных по времени и пространству сборочных операций, выполняемых операторами-сборщиками, которые на рабочем месте выполняют определенный комплекс сборочных работ;

2) применение специальных транспортных устройств для перемещения собираемых узлов между сборочными устройствами и обеспечения заданного темпа сборки;

3) применение специальных транспортных устройств для подачи деталей и узлов к главному сборочному конвейеру для сборки машин;

4) использование специального и унифицированного инструмента и приспособлений для механизации и автоматизации технологического процесса сборки;

5) механическую обработку деталей и сборку узлов машин в механосборочных цехах. Например, механосборочный цех двигателя производит механическую обработку деталей и сборку двигателя автомобиля, цех задних мостов — механическую обработку деталей и сборку задних мостов автомобиля и т. д.

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

Разделение сборки машин в массовом производстве на подузловую, узловую и общую сборку позволяет на всех этапах сборки применять поточную сборку в основном на подвижных транспортных устройствах (конвейерах).

В массовом производстве сборочные конвейеры по виду работ разделяются на конвейеры пульсирующего и непрерывного движения. Пульсирующие конвейеры производят периодические перемещения собираемого узла или машины между рабочими сборочными местами через определенные промежутки времени, равные темпу сборки. Конвейеры для непрерывного перемещения узлов или машин между рабочими сборочными местами движутся непрерывно и имеют значительное применение в массовом производстве.

Вид сборочных конвейеров и их конструкцию выбирают в зависимости от конструкции собираемых узлов или машин и заданной программы их выпуска.

В массовом производстве механизация и автоматизация отдельных операций производятся путем оснащения их механизированным сборочным инструментом, электро- и пневмоподъемниками и специальными механизмами и устройствами для запрессовки, клепки, пайки, сварки, окраски и контроля собранного узла. В массовом производстве автоматизируется сборка как простых, так и сложных узлов.

В автомобильной промышленности сборка узлов автомобилей производится на подвижных конвейерах. Технологический процесс сборки полностью механизирован, например собирают коробки передач автомобилей на цепном замкнутом конвейере с тележками. В процессе

сборки тележки с установленными на них поворотными приспособлениями перемещаются периодически или непрерывно движущейся цепью между сборочными рабочими местами. Рабочие-сборщики располагаются по обеим сторонам конвейера, время на выполнение каждой сборочной операции равно или кратно темпу выпуска узлов в смену. Все приемы сборочных операций механизированы, например завинчивание гаек, болтов производится электроключами, подвешенными на специальных балансирах, закрепленных на устройствах, перемещающихся по монорельсу, расположенному над сборочным конвейером.

Вдоль поточной линии сборки размещаются подсобные рабочие места, на которых производится подсборка отдельных подузлов коробок передач. В зависимости от вида сборки специальные сборочные стенды с пневматическими и эксцентриковыми прессами применяются для запрессовки на валики шестерен, втулок.

Испытание коробок скоростей производится на специальных стендах.

### **§ V.1. Методы проектирования автоматизированных технологических процессов сборки**

Все операции автоматизированного технологического процесса сборки выполняются автоматически без участия рабочих. Технологический процесс автоматической сборки включает все операции: сборку, контроль, окраску, сушку, которые проходит собираемый подузел или узел в процессе сборки.

Во время автоматической сборки подача собираемых деталей, их ориентирование, сопряжение и, если нужно, закрепление производятся автоматически. При разработке автоматизированных технологических процессов требуется решить следующие вопросы: определение технологичности конструкции отдельных деталей, подузла или узла, унификации и стандартизации деталей, поступающих на сборку, выбор оптимального варианта технологического процесса автоматизированной сборки, выбор оборудования и оснастки для всех операций сборки, выбор контрольных приборов, определение числа рабочих операторов и наладчиков для обслуживания машин, определение производительности линии, определение экономического эффекта и сроков окупаемости автоматизированной сборочной линии. Вид производства оказывает основное влияние на структуру технологического процесса автоматической сборки, выбор оборудования и оснастку, планировку оборудования для автоматической сборки.

В основном при автоматической сборке применяется метод полной взаимозаменяемости, который предусматривает 100%-ный контроль деталей, поступающих на сборку. Автоматическая селективная сборка деталей применяется в массовом производстве для увеличения точности сборки двух сопрягаемых деталей с сохранением неизменной величины допуска на неточность обработки для каждой из двух сопрягаемых деталей. При селективной сборке собираемые детали разделяются по величинам отклонений размеров сопрягаемых поверхностей на несколько

групп с последующей сборкой двух сопрягаемых деталей из одноименных групп.

Автоматизированная сборка может производиться также по методу подбора, например при сборке подшипников качения.

### **§ V.2. Технологичность конструкции деталей узлов машин при переходе на автоматическую сборку**

При проектировании автоматизированного технологического процесса сборки узлов изделий требуется дать анализ технологичности конструкции деталей, входящих в собираемые узлы изделия. В результате этого анализа зачастую вскрывается необходимость изменения конструкций некоторых деталей, входящих в сборочный узел, так как осуществить автоматизированную сборку при существующих конструкциях невозможно.

Необходимо отметить основные требования, предъявляемые к деталям, поступающим на автоматическую сборку; они должны иметь:

1) допуски на изготовление в пределах заданных классов точности, чистоты и технических условий;

2) форму и размеры, необходимые для сборки на поточной автоматизированной сборке;

3) простые базовые поверхности — цилиндрические или плоские — для надежной и точной фиксации на сборочных местах.

Для оценки технологичности конструкции деталей узла, собираемого на поточной автоматизированной сборке, нет единых достаточно четких и обоснованных критериев.

### **§ V.3. Типовые схемы автоматических и полуавтоматических сборочных агрегатов для автоматической и полуавтоматической сборки**

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

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

Изучение конструкций автоматического сборочного оборудования показывает, что оно имеет типовые узлы, входящие в конструкцию этого оборудования. Рассмотрим типовую схему сборочного устройства, представляющего собой однопозиционный сборочный автомат (рис. V.1). Сборочный автомат состоит из автоматического бункерного или магазинного устройства I, в котором находится запас собираемых деталей.

Из бункера детали по одной штуке в ориентированном положении поступают в лоток 2. Пройдя лоток, детали поступают в магазин 4, служащий для хранения небольшого запаса деталей и бесперебойной подачи их в питатель. Питатель 3 производит подачу деталей из магазина 4 на сборочную позицию 5 в ориентированном виде с заданным ритмом. На сборочной позиции 5 до момента сопряжения детали удерживаются в заданном положении специальным устройством 7 относительно ориентации и соединяемых деталей. В зависимости от вида соединений на сборочной позиции 5 могут устанавливаться механизмы 6 для закрепления соединяемых деталей: пресс, сварочный аппарат и т. д. Перемещение собранных узлов со сборочной позиции 5 производится специальным механизмом разгрузки (на рис. V.1 он отсутствует). В конструкцию сборочного автомата входит система, управляющая работой его узлов, она может быть встроена в автомат или дана на отдельном пульте управления.

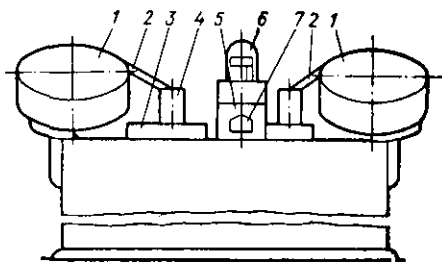


Рис. V.1. Схема компоновки однопозиционного сборочного автомата

При многопозиционной автоматизированной сборке в состав сборочного оборудования входит механизм для перемещения собираемого узла между всеми сборочными позициями.

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

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

2. Однопозиционные сборочные автоматы, в которых подача собираемых деталей из бункеров на позицию сборки узла производится автоматически. Собранный узел со сборочной позиции автомата удаляется также автоматически. Однопозиционные сборочные автоматы могут встраиваться в автоматические сборочные линии.

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



На рис. V.2, а дана схема работы сборочного полуавтомата с круглым столом, на позициях 2, 3, 4, 5, 8, 9 которого закреплены приспособления для сборки подузла.

На рис. V.2, б дан общий вид полуавтоматической машины фирмы «Вестингауз электрик корпорейшн» для сборки небольших размеров зубчатых колес с валиком. Предварительно зубчатое колесо собирают с валиком и затем вручную устанавливают в приспособление на позиции 1. Затем полуавтомат включается в работу по автоматическому циклу. После поворота стола подузел с позиции 1 перемещается на

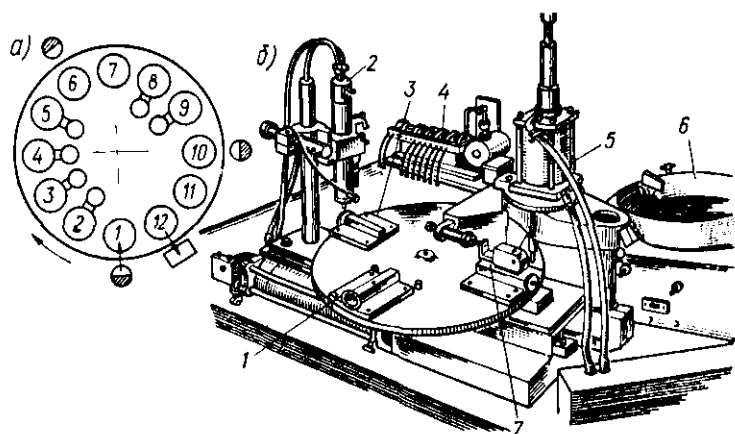


Рис. V.2. Процесс сборки подузлов, узлов на многопозиционных сборочных полуавтоматах:

а — примерная схема сборки подузлов на полуавтомате: 1 — позиция для ручной загрузки базовой детали подузла; 2, 3, 4, 5, 8, 9 — сборочные позиции, на которые подача деталей из бункеров и сборка производится автоматически; 6—10 — позиции для ручной сборки; 7 — позиция для автоматического контроля сборки; 11 — позиция для автоматической продувки и смазки; 12 — позиция для автоматического съема собранного узла; б — многопозиционный сборочный полуавтомат

позицию 3, на которой сверлильная головка 2 производит сверление отверстия в зубчатом колесе и валике под штифт. После обработки отверстия стол поворачивается и подузел со второй позиции 3 перемещается на третью позицию 7, где происходит продувка отверстия сжатым воздухом для удаления стружки. Затем из вибробункера 6 на сборочную позицию подается штифт, который запрессовывается в отверстие скалкой, установленной на штоке пневмоцилиндра 5. Работой полуавтомата управляет электропневматическое реле 4. Полуавтомат имеет большую производительность. Сборка простых узлов производится на полуавтоматах данного типа за один оборот стола. Многопозиционные сборочные автоматы применяются для сборки узлов средней сложности. Подача всех деталей на позиции производится из бункерных или магазинных загрузочных устройств автоматически. Собранный узел с последней позиции снимается автоматически.

Схема работы многопозиционного сборочного автомата с круглым столом дана на рис. V.3, а. На позициях 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 произво-

дится автоматическая сборка узла, для которой детали на сборочные позиции подаются автоматическими устройствами; 5—11 — позиции автоматического контроля; 10 — позиция продувки; 12 — позиция загрузки.

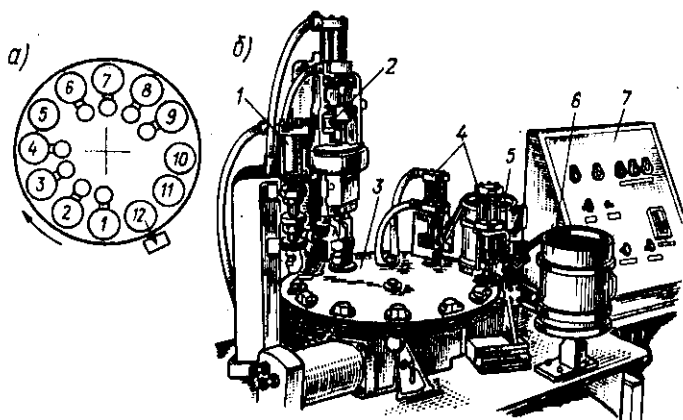


Рис. V.3. Процесс сборки полуузлов, узлов на многопозиционных сборочных полуавтоматах

На рис. V.3, б показан многшпиндельный полуавтомат, собранный путем установки вокруг круглого поворотного (делительного) стола 3 нескольких автоматических сборочных устройств 1, 2, 4 и автоматических загрузочных устройств — двух вибробункеров 5, 6. Управление работой станка производится с пульта 7.

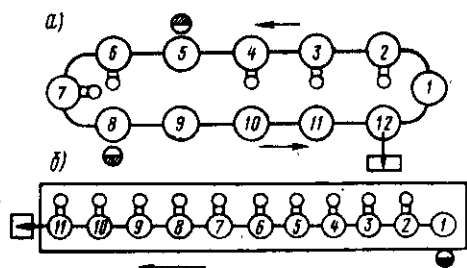


Рис. V.4. Схемы сборки узлов на автоматической или полуавтоматической линии:

а — с замкнутым размещением оборудования; 1 — позиция ручной загрузки; 2, 3, 4, 6, 7 — позиции автоматической сборки с автоматической подачей деталей из бункеров; 5—8 — позиции ручной сборки; 9, 10, 11 — позиции продувки, контроля, смазки; 12 — позиция разгрузки собранного узла; б — с линейным размещением сборочного оборудования: 1 — позиция ручной загрузки; 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 — позиции автоматической сборки узла

Автоматические и полуавтоматические линии применяются для сборки более сложных узлов или изделий. На рис. V.4, а дана схема размещения оборудования на автоматической или полуавтоматической сборочных линиях по замкнутому контуру или овалу.

В состав автоматических линий входит универсальное, или специальное полуавтоматическое или автоматическое оборудование. Собираемые узлы или изделия устанавливают и закрепляют в приспособлениях-спутниках, соединенных замкнутой цепью, и периодически через определенное время перемещаются между сборочными позициями.

Применяются автоматические и полуавтоматические схемы сборочных линий и с линейным расположением сборочного оборудования (рис. V.4, б). Они komponуются из специальных и универсальных сборочных агрегатов, размещаемых на линии в соответствии с технологическим процессом сборки узла или изделия. Собираемые узлы устанавливаются

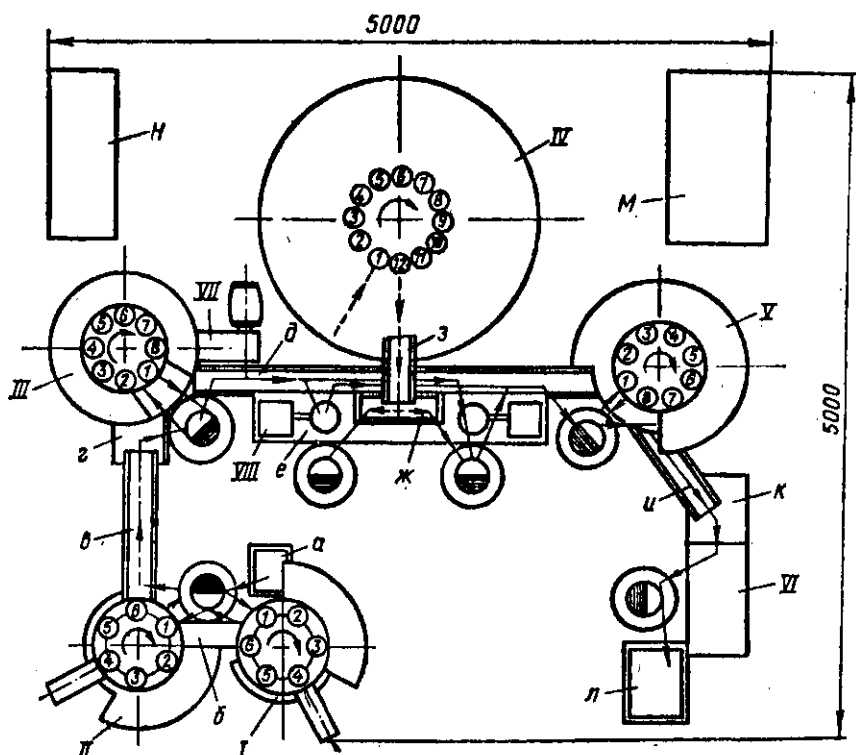


Рис. V.5. Схема автоматизированной линии сборки включателя стартера:

основное оборудование: I — полуавтомат сборки левого контакта; II — полуавтомат сборки правого контакта; III — полуавтомат сборки контактных болтов; IV — автомат сборки крышки и скоб; V — полуавтомат сборки крышки и скоб; VI — стенд контроля включателя; VII — привод транспортера; VIII — механическая отвертка; вспомогательное оборудование: а — ящик с основаниями включателя; б — стол при полуавтоматах I и II; в — лоток между полуавтоматами II и III; г — стол при полуавтомате III; д — транспортер; е — стол для сборки плунжера с основанием; ж — ящик для плунжеров; з — лоток от автомата IV; и — лоток от полуавтомата V; к — стол при стенде контроля; л — ящик готовой продукции; м, н — стеллажи

ливаются в приспособлениях-спутниках, соединенных между собой замкнутой цепью, перемещающей спутники с узлами между сборочными позициями. В начале линии производится установка базовой детали, а в конце — съем готового узла. Нижняя ветвь замкнутой цепи возвращает спутники на сборочные позиции. На рис. V.5, как пример, показана планировка автоматизированной линии сборки включателя стартера.

Полуавтоматические сборочные линии с шаговым штанговым транспортером применяют для сборки крупных узлов или изделий (рис. V.6). Базовую деталь на первую сборочную позицию линии устанавливают вручную или с помощью подъемных устройств. Сборочные узлы 1 перемещаются между позициями по направляющим планкам 3 собачками 5, закрепленными в штанге 4, и подаются на соответствующую позицию, где фиксируются пальцами 6 и закрепляются гидравлическими зажимами 2 одновременно на всех сборочных позициях.

Технически и экономически обоснованный вариант автоматизации технологического процесса сборки изделия является основным материалом для конструирования сборочных автоматов, полуавтоматов, транспортных средств, окончательной планировки сборочной линии,

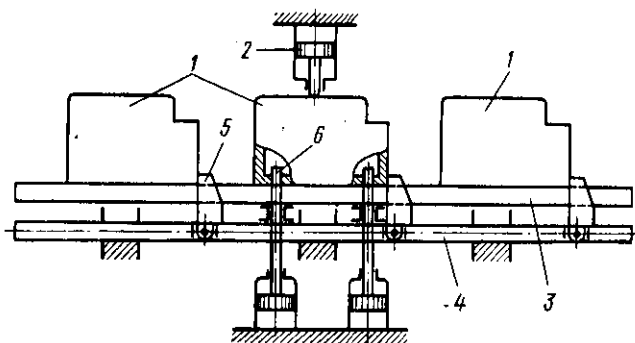


Рис. V.6. Схема полуавтоматической сборочной линии для сборки узлов с шаговым штанговым транспортером

определения площади, занимаемой линией, и числа рабочих, обслуживающих ее.

Роторные сборочные автоматы и линии применяются для сборки небольших изделий или узлов. Технологический процесс сборки происходит непрерывно без периодических остановок одного или нескольких связанных в одну систему многопозиционных столов (роторов), на которых размещаются сборочные приспособления с установленными в них собираемыми изделиями. На рис. V.7, а дана схема работы сборочного автомата роторного типа. Собираемые изделия передаются с одного сборочного ротора на другой специальными транспортными (питающими и снимающими) роторами. Автоматический сборочный ротор и обслуживающие его транспортные роторы приведены на рис. V.7, б. Подача деталей к питающим роторам производится из бункерных или магазинных загрузочных устройств. На автоматических роторных сборочных установках или линиях можно производить запрессовку, развальцовку, обжимку и другие сборочные операции, а также контролировать узлы по заданным размерам.

При сборке узлов из нескольких деталей сборочные роторные автоматы имеют два-три питающих ротора, расположенных последовательно против соответствующих позиций. Роторные автоматы могут иметь

автоматические измерительные устройства для контроля правильного положения собираемых деталей и т. д.

На автоматических сборочных линиях нет заделов между сборочными агрегатами, так как сборочные механизмы и инструменты не требуют частой смены и подналадки. Наладочные и подналадочные работы на автоматической линии сборки на всех агрегатах производятся между сменами.

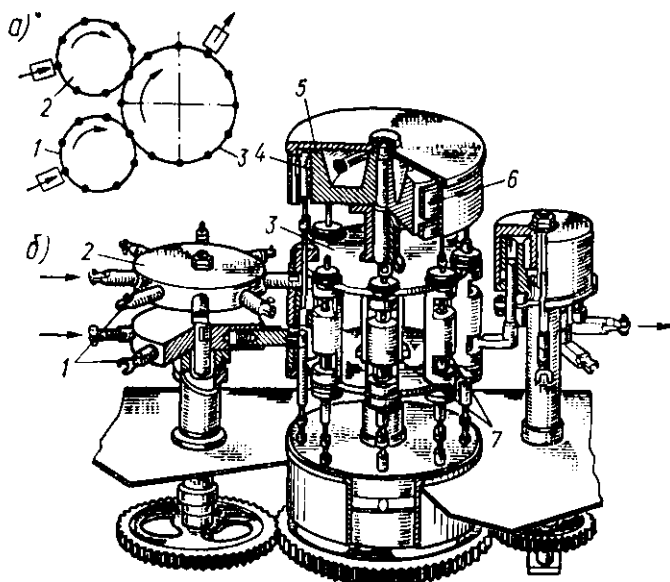


Рис. V.7. Роторный сборочный автомат:

*а* — схема: 1, 2 — головки питающих роторов; 3 — ротор; 6 — общий вид компоновки конструкции транспортных и сборочного роторов; 1 — ползуны с губками (клещами) для захвата деталей; 2 — двухъярусная головка транспортного ротора; 3 — пуансон; 4 — ползун; 5 — барабан; 6 — профилированный шаблон; 7 — блоки инструмента

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

Любая система управления должна обеспечивать:

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

В централизованных системах управления применяются командо-аппараты с непрерывно или периодически вращающимся распределительным валом с кулачками, которые управляют работой технологических и вспомогательных органов непосредственно или через промежу-

точные связи. Системы управления разрабатывают на основании циклограммы работы автомата или сборочной автоматической линии.

Децентрализованные системы управления применяют для управления работой весьма сложных сборочных автоматов и автоматических линий. Эти системы допускают включение любого исполнительного органа после получения сигнала об окончании работы предыдущего органа. В децентрализованных системах управления подача сигналов производится в функции пути путевыми переключателями или в функции времени реле времени.

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

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

В зависимости от конструкции собираемых узлов или изделий в состав сборочной автоматической линии могут входить следующие устройства: бункерные или штабельные загрузочные устройства — питатели, транспортные устройства, приспособления для установки и зажима собираемых узлов, делительные и фиксирующие устройства, контрольно-измерительные устройства, устройства для выполнения различных сборочных соединений и т. д.

Если автоматическая сборка изделий или узлов производится на основе взаимозаменяемости, то общая конструктивная схема автоматической сборочной линии получается относительно простой. При автоматической сборке изделий или узлов, осуществляемой на основе селективной сборки, конструктивная схема автоматической сборочной линии усложняется введением устройств для автоматической сортировки деталей и запоминающих устройств. При этой сборке число бункеров в линии зависит от количества деталей в узле или изделии, а также количества групп, на которые разделяются сопрягаемые детали. Большое внимание следует уделять контролю установки деталей и подузлов в начальном и конечном положениях.

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

В качестве таких устройств применяют упоры с электроконтактными или пневматическими датчиками для крупных деталей и фотоэлементы для мелких деталей. Если на одной из позиций сборочной линии обнаружено неправильное положение детали или отсутствие ее, то автоматическая сборочная линия с централизованной системой

управления останавливается в результате срабатывания блокировочного устройства. На автоматической сборочной линии с децентрализованной системой управления при обнаружении бракованных деталей на одной из позиций линии последняя останавливается, бракованный узел перемещается транспортным устройством на следующие позиции линии, но исполнительные органы на последующих операциях, не получая соответствующего сигнала с предыдущей операции, не производят работу по сборке. Следовательно, собираемый узел, получив дефект на какой-либо сборочной операции, проходит все последующие операции поточной линии, но сборочные работы на этом узле не производят и в конце линии дефектный узел идет в брак.

#### **§ V.4. Автоматизация подачи деталей на сборку**

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

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

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

Конструкция магазинных устройств для питания деталями сборочных автоматов в основном не отличается от устройств для питания

штучными деталями металлорежущих станков-автоматов. Перемещение деталей среднего веса в магазинном устройстве происходит под действием силы тяжести, а более легких деталей — грузом, пружиной и т. д.

Загрузка деталей в магазинное устройство производится рабочим периодически через определенное время.

### § V.5. Автоматическая ориентация деталей в загрузочных приспособлениях

При автоматизации сборочного процесса собираемые детали получают заданную ориентацию на лотке внутри корпуса бункера посредством специальных устройств или вне его при перемещении к сборочной позиции автомата, где они устанавливаются в положении, требуемом для сборки.

Для возможности движения в ориентированном состоянии деталь должна иметь из шести степеней свободы одну. Поэтому при ориен-

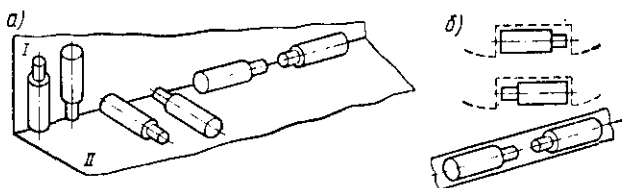


Рис. V.8. Различные положения ступенчатого валика:

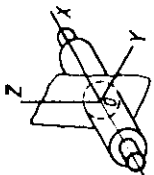
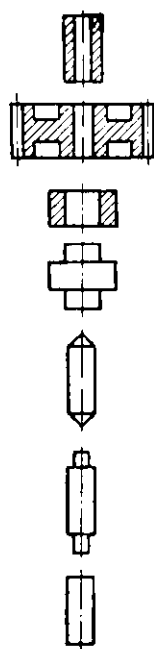
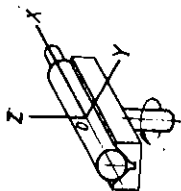
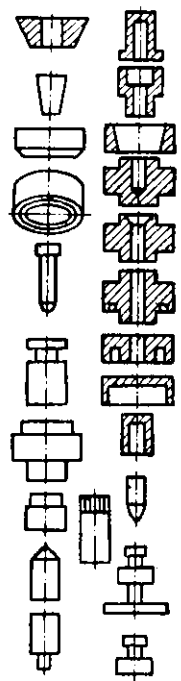
*I* — направляющая плоскость; *II* — основная плоскость

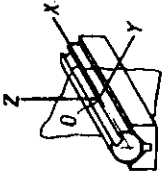
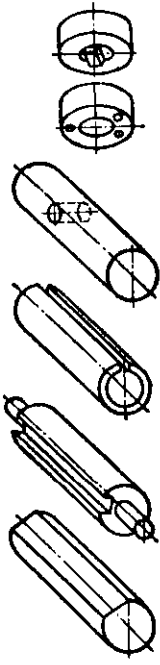
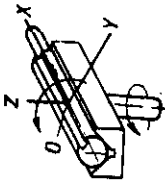
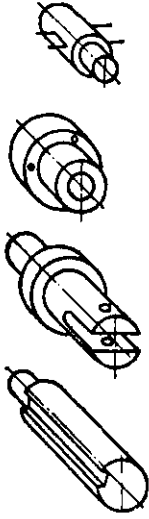
тации в загрузочных устройствах каждая перемещаемая деталь должна быть лишена пяти степеней свободы. Количество различных положений, в которых может быть зафиксирована каждая перемещаемая деталь, зависит от формы и размеров детали. Например, двухступенчатый валик при перемещении может занять любое из шести различных положений (рис. V.8, а). В бункерных загрузочных устройствах перемещаемые детали получают полную или частичную ориентацию. Следовательно, при выходе деталей из бункера количество различных положений резко сокращается. Ступенчатый валик (рис. V.8, б) получает основную ориентацию, перемещаясь по спиральному лотку вибробункера, где он лишается четырех различных положений и, выйдя из бункера, может иметь только два положения: меньшей шейкой вперед или назад.

Устройства автоматического ориентирования деталей в загрузочных автоматах имеют механизм для контроля правильного положения деталей и исполнительный механизм для подачи команды на сбрасывание неправильно расположенных деталей или на изменение их положения на заданное. В большинстве конструкций контрольный и сортировочный механизмы объединены в один.



Классификация деталей формы тел вращения

| Способы ориентации<br>деталей        | Эскиз                                                                               | Класс<br>деталей | Типы деталей                                                                      |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Только по оси симметрии              |  | I                |  |
| По оси симметрии и по ее направлению |  | II               |  |

| Способы ориентации деталей                                                   | Эскиз                                                                               | Класс деталей | Типы деталей                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <p>По оси симметрии и поворотом относительно этой оси</p>                    |  | <p>III</p>    |  |
| <p>По оси симметрии, по ее направлению и поворотом относительно этой оси</p> |  | <p>IV</p>     |  |

В табл. V.1, предложенной А. Н. Рабиновичем, дана классификация деталей, имеющих форму тел вращения, в зависимости от способа их ориентации. В класс I включены симметричные детали: валики, втулки, шестерни, ось вращения которых совпадает с осью симметрии и плоскость симметрии располагается перпендикулярно оси детали. Ориентируют детали класса I только по оси симметрии, поэтому при ориентации требуется совместить ось вращения с одной осью координат. К классу II относятся детали, имеющие только одну симметричную ось (ось вращения): валики, имеющие различную форму торцов, диски с канавками, детали типа колпачков и т. д. Ориентируют детали класса II путем совмещения оси вращения с одной из осей координат (осью симметрии  $x$ ) и поворота детали в плоскости  $xOy$  или  $xOz$ , проходящей через эту ось.

К классу III относятся детали, на цилиндрической поверхности которых имеются лыски, канавки, пазы. Такие детали имеют две плоскости симметрии, одна проходит через ось вращения и другая располагается перпендикулярно оси. Ориентация деталей класса III требует совмещения оси вращения с одной из осей координат (осью  $x$ ) и поворота детали в плоскости  $zOy$ , перпендикулярной этой оси. К классу IV относятся детали, имеющие формы тел вращения, а на поверхности — лыски, прорези. Эти детали имеют только одну плоскость симметрии, проходящую через ось вращения. При ориентации деталей класса IV требуется совместить ось вращения детали с одной из осей координат (осью  $x$ ) и повернуть деталь в плоскости  $xOy$  или  $xOz$ , проходящей через эту ось, и в плоскости  $yOz$ , перпендикулярной этой оси. Следовательно, если детали классов II и III требуют двух ступеней ориентации, то детали класса IV — трех ступеней ориентации.

Детали класса I, перемещаясь по лотку вибробункера, ориентируются по оси поворота специальными устройствами. Детали класса II во время перемещения по лотку вибробункера получают частичную или полную ориентацию. При перемещении в лотке вибробункера детали класса III получают частичную ориентацию, так как полную ориентацию таких деталей в бункере осуществить очень трудно. Детали класса IV выходят из бункера ориентированными только по оси вращения и в дальнейшем проходят еще две ступени ориентации.

Перемещение собираемых деталей от бункера к сборочной позиции производится тремя способами: под действием собственного веса, специальными питателями, в вибрационных лотках под действием сил инерции.

## § V.6. Ориентация сопрягаемых деталей перед сборкой

Рассмотрим возможности сопряжения гладкого цилиндрического валика со втулкой; валик входит во втулку сверху. На рис. V.9 дана втулка с наружным диаметром  $D_n$  и допуском  $\delta_n$ . В соответствии с допуском размеры наружного диаметра  $D$  втулки изменяются в пределах допуска от  $D_{\min}$  до  $D_{\max}$ . Внутренний диаметр  $d_0$  втулки имеет допуск

$\delta_n$ . Размеры  $d_0$  изменяются в пределах от  $d_{0\min}$  до  $d_{0\max}$ . Ось отверстия втулки может не совпадать с осью наружной цилиндрической поверхности втулки, т. е. между осями возникает эксцентриситет  $e$ . Жесткие упоры на сборочной позиции для фиксации положения валика и втулки размещаются с двух противоположных сторон (рис. V.9, г) или с одной стороны (рис. V.9, д).

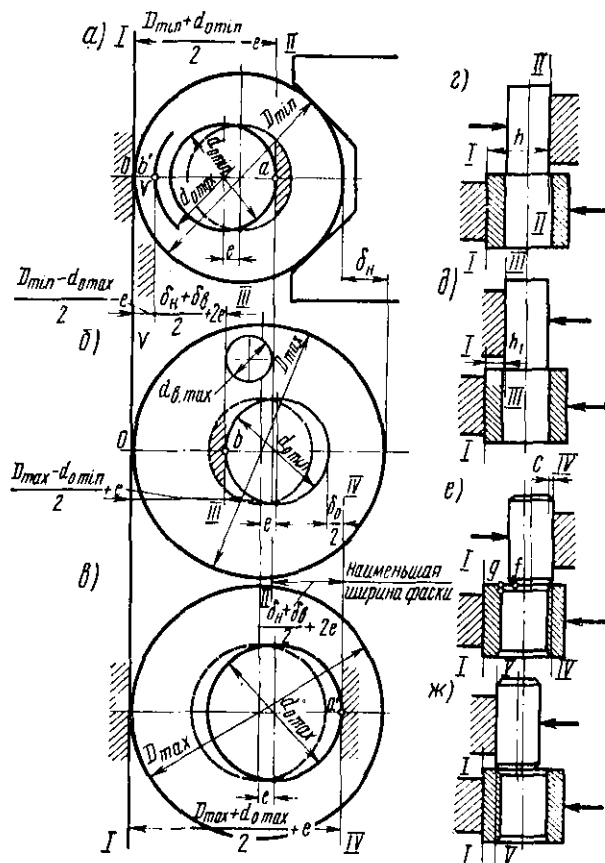


Рис. V.9. Относительная ориентация двух собираемых деталей валика и втулки

На рис. V.9, а собираемая втулка имеет минимальные наружный  $D_{\min}$  и внутренний  $d_{0\min}$  диаметры; при таком сочетании диаметров втулка имеет наибольший эксцентриситет  $e$  между осями, и точка  $a$  на правой поверхности отверстия втулки занимает крайнее левое положение. Для этого случая расстояние  $Oa$  — от жесткого упора для втулок до крайней правой точки  $a$  на поверхности отверстия — определяется равенством

$$h = (D_{\min} + d_{0\min})/2 - e.$$

Следовательно, при установке упоров для валиков и втулок с двух противоположных сторон (см. рис. V.9, з) расстояние между ними должно равняться  $h$ .

Если втулка имеет наибольший наружный диаметр  $D_{\max}$  (рис. V.9, б), а ее отверстие — наименьший диаметр  $d_{0\min}$ , то наибольший эксцентриситет  $e$  находится на горизонтальной оси, вправо от оси втулки. При таком сочетании диаметров  $D_{\max}$  и  $d_{0\min}$  втулки крайняя левая точка на поверхности отверстия втулки будет находиться в положении  $b$ . Для этого случая расстояние  $Ob$  от жесткого упора для втулок до крайней левой точки  $b$  на поверхности отверстия

$$h_1 = (D_{\max} - d_{0\min})/2 + e.$$

При расположении упоров для валиков и втулок с одной стороны (см. рис. V.9, д) расстояние между упорами должно быть равно  $h_1$ . Следовательно, при любом сочетании размеров наружного и внутреннего диаметров втулки между точками  $a$  и  $b$  во втулке всегда имеется зазор, поэтому если наибольший предельный размер валика  $d_{0\max}$  не больше отрезка  $ab$  и упоры для валика и втулки  $h$  и  $h_1$  определены по приведенным равенствам, то соединение валика со втулкой будет возможно.

Величина отрезка

$$\begin{aligned} ab = Oa - Ob &= \frac{D_{\min} + d_{0\min}}{2} - e - \left( \frac{D_{\max} - d_{0\min}}{2} + e \right) = \\ &= d_{0\min} - \left( \frac{D_{\max} - D_{\min}}{2} \right) - 2e = d_{0\min} - \frac{\delta_{\text{н}}}{2} - 2e. \end{aligned}$$

Следовательно, для нормального сопряжения валика и втулки должны соблюдаться неравенства:

$$d_{\text{в max}} \leq ab; \quad d_{\text{в max}} \leq d_{0\min} - \delta_{\text{н}}/2 - 2e; \quad d_{0\min} - d_{\text{в max}} \geq \delta_{\text{н}}/2 + 2e.$$

Разность  $d_{0\min} - d_{\text{в max}} = \Delta_{\min}$  — минимальный зазор между минимальным внутренним диаметром отверстия втулки и максимальным диаметром сопрягаемого валика.

Возможность сопряжения валика со втулкой можно выразить неравенством

$$\Delta_{\min} \geq \delta_{\text{н}}/2 + 2e.$$

Если сопрягаемые детали имеют допуски на размеры, не удовлетворяющие приведенному неравенству, то для осуществления автоматической сборки на торцовых поверхностях сопрягаемых деталей необходимо иметь фаску.

Размер фаски

$$c = d_{\text{в max}} - ab = d_{\text{в max}} - d_{0\min} + \delta_{\text{н}}/2 + 2e,$$

или

$$c = \delta_{\text{н}}/2 - \Delta_{\min} + 2e.$$

Фаски бывают на наружной поверхности валика или на внутренней поверхности втулки, но могут быть и на поверхности валика и втулки.

При наибольшем наружном диаметре втулки  $D_{\max}$  и наибольшем диаметре ее отверстия  $d_{0\max}$  и расположении эксцентриситета  $e$  по горизонтальной оси вправо точка  $a'$  (рис. V.9,  $\theta$ ) на внутренней поверхности отверстия будет занимать предельное правое положение. В этом случае расстояние между упорами определяется прямой

$$Oa' = h' = (D_{\max} + d_{0\max})/2 + e.$$

При наименьшем наружном диаметре  $D_{\min}$  втулки и наибольшем диаметре  $d_{0\max}$  отверстия втулки и расположенном эксцентриситета  $e$  по горизонтальной оси влево точка  $b'$  (см. рис. V.9,  $a$ ) на поверхности отверстия будет находиться в крайнем левом положении. Для этого случая расстояние между упорами определяют отрезком

$$Ob' = h'_1 = (D_{\min} - d_{0\max})/2 - e.$$

На двух сопрягаемых деталях при напряженных посадках размер фаски  $c$  должен быть равен отрезку между точками  $aa'$  или  $bb'$ :

$$c = aa' = Oa' - Oa = (D_{\max} + d_{0\max})/2 + e - [(D_{\min} + d_{0\min})/2 - e] = \\ = (D_{\max} - D_{\min})/2 + (d_{0\max} - d_{0\min})/2 + 2e; \quad c = \delta_n/2 + \delta_b/2 + 2e.$$

Жесткие неподвижные упоры для валика и втулки устанавливают так же, как и при свободных сопряжениях валика и втулки с фасками. При этом расстояние между упорами определяют по приведенным равенствам  $h'$  и  $h'_1$ .

Проверяют возможность сборки валика и втулки по напряженной посадке. Жесткие упоры на сборочной позиции валика и втулки могут размещаться с двух сторон (рис. V.9,  $e$ ) или с одной стороны (рис. V.9,  $ж$ ). Чтобы валик нижним торцом (точка  $f$  на рис. V.9,  $e$ ) не уперся в торец втулки (точка  $g$ ), при отсутствии на ее верхнем торце фаски необходимо соблюдать условие

$$a'b > d_{b\max} - c.$$

Длина отрезка

$$a'b = Oa' - Ob = (D_{\max} + d_{0\max})/2 + e - [(D_{\max} - d_{0\min})/2 + e] = \\ = (d_{0\max} + d_{0\min})/2$$

или отрезок  $a'b = d_{0\min} + \delta_n/2$ .

Следовательно, для возможности сопряжения валика и втулки по напряженной посадке должно быть

$$d_{0\min} + \delta_n/2 > d_{b\max} - c,$$

после переноса членов получим

$$d_{b\max} - d_{0\min} < c + \delta_n/2.$$

Подставив в неравенство  $\Delta_{\max}$  — наибольший натяг посадки двух сопрягаемых деталей, получим

$$\Delta_{\max} < c + \delta_n/2,$$

так как

$$d_{b\max} - d_{0\min} = \Delta_{\max}.$$

При автоматизированной сборке деталей необходимо обеспечить правильное их базирование на рабочих позициях сборочного агрегата, которое выполняют по правилу шести точек. При сборке валиков со втулками базирование производится по их наружным цилиндриче-

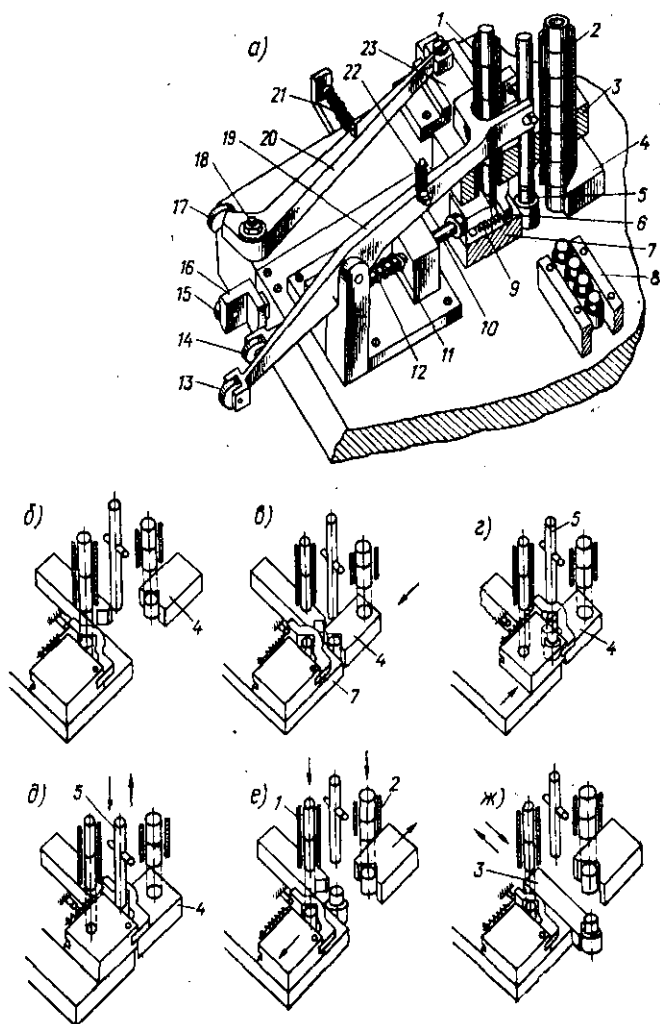


Рис. V.10. Схема сборки валиков и роликов цепей

ским поверхностям. Рассмотрим технологический процесс автоматизированной сборки валиков и роликов для цепей на автоматическом сборочном механизме: на рис. V.10, а дана конструктивная схема механизма для сборки валиков с роликами (втулками) для цепей, на рис. V.10, б — ж — последовательное положение узлов механизма,

которые совершают определенные перемещения при сборке валиков с роликами. Из бункерных загрузочных устройств ролики поступают в трубчатый лоток 2, а валики — в трубчатый лоток 1, которые размещены в плите 3. В корпусе сборочного механизма имеется призма 4, в гнездо которой из лотка 2 поступают втулки, и толкатель 10, в гнездо которого из лотка 1 поступают валики. Втулки и валики падают в гнезда призмы 4 и толкателя 10 под действием собственного веса (см. рис. V.10, б). Толкатель 10, подающий валики, размещается выше призмы 4, подающей втулки, на величину, большую высоты втулки. От кулачка распределительного вала через ролик 15 и тягу 16 призма 4 перемещается вместе с втулкой к центру сборочной позиции (см. рис. V.10, в) до момента прижима ролика к плоскому неподвижному упору 7. На толкателе 10 установлен подвижный прижим 6, который притягивается к толкателю пружиной 9 в направлении призматического установочного гнезда толкателя. Когда толкатель 10 переместится влево, то подпружиненный прижим 6 упором отождется вправо и отойдет от призматического установочного гнезда толкателя. В этот момент очередной валик из лотка 1 западает в призматическое гнездо толкателя. Перемещение толкателя с валиком, прижатым рычагом 6 к центру сборочной позиции, производится от кулачка распределительного вала через ролик 14 и шток 11 (см. рис. V.10, г). На сборочной позиции валик размещается над отверстием ролика (см. рис. V.10, д). Затем стержень 5, перемещаясь вниз, вводит валик в отверстие ролика. Перемещение стержня 5 вниз производится от кулачка распределительного вала через ролик 13 и рычаг 19. После сборки валика с роликом призма 4, толкатель 10 и стержень 5 перемещаются в исходное положение. Толкатель 10 отводится пружиной 12, стержень 5 перемещается вверх пружиной 22, а призма 4 перемещается от кулачка распределительного вала и рычажного механизма. В исходном положении в призматическое гнездо призмы 4 западает ролик, а в призматическое гнездо толкателя 10 — валик из трубчатых лотков 1 и 2 (см. рис. V.10, е). После сборки валика с роликом выталкиватель 23 перемещает из сборочной позиции механизма собранный подузел на сборочную линию 8. Перемещение выталкивателя 23 вперед производится кулачком распределительного вала через ролик 17 и изогнутый рычаг 20, установленный на оси 18, а отход выталкивателя 23 назад — пружиной 21 (см. рис. V.10, ж).

## **§ V.7. Автоматизация сборки резьбовых деталей**

Резьбовые соединения имеют большое применение в машиностроении. Соединение резьбовых деталей производится свинчиванием. Сопрягаемые детали, входящие в резьбовое соединение, могут иметь различную форму и размеры. Например, две детали с гладкими отверстиями стягиваются винтом и гайкой или винт соединяется с гайкой. Применение автоматизированной сборки резьбовых соединений предъявляет ряд жестких требований к деталям, входящим в резьбовое соединение, а также к оборудованию, которое используют для соединения резьбовых пар. При автоматизированной сборке резьбовых соединений может возникать срыв резьбы при свинчивании соединяемых деталей. При-



чинами срыва резьбы могут быть неточное изготовление элементов резьбы, неправильная ориентация собираемых деталей перед началом свинчивания, нарушение технологических условий свинчивания.

На рис. V.11 схематично показана автоматическая сборка с относительной ориентацией двух собираемых резьбовых деталей. Собираемая деталь — гайка 3 — центрируется на сборочной позиции 4 подпружиненным пальцем 5. Винт 1 автоматически подается в отверстие втулки 2, которая ориентирует его. Ось отверстия ориентирующей втулки и ось центрирующего пальца имеют некоторое смещение, определяемое допуском. Смещение осей двух собираемых резьбовых деталей является замыкающим звеном размерной цепи, характеризующим погрешность базирования (см. рис. V.11):

$$e = e_1 + e_2 + e_3,$$

где  $e_1$  — смещение осей установочного пальца 5 для гайки и ориентирующей втулки 2 для винта;  $e_2$  — максимальное смещение оси винта 1 относительно оси отверстия ориентирующей втулки 2:

$$e_2 = \Delta_{\text{гар}}/2 + \delta_n/2 + \delta_{\text{ор}}/2,$$

$\Delta_{\text{гар}}$  — гарантированный зазор между отверстием ориентирующей втулки и собираемым винтом;  $\delta_n$  — допуск на наружный диаметр винта;  $\delta_{\text{ор}}$  — допуск на изготовление отверстия ориентирующей втулки;  $e_3$  — максимальное смещение оси собираемой гайки относительно оси центрирующего пальца:

$$e_3 = \Delta'_{\text{гар}}/2 + \delta_r/2 + \delta_n/2,$$

$\Delta'_{\text{гар}}$  — гарантированный зазор между отверстием собираемой гайки и центрирующим пальцем;  $\delta_r$  — допуск на изготовление отверстия гайки;  $\delta_n$  — допуск на изготовление центрирующего пальца.

Максимальное допустимое параллельное смещение осей двух собираемых резьбовых деталей, при котором возможно свинчивание,

$$e_1 + e_2 + e_3 \leq 0,325s,$$

где  $s$  — шаг резьбы собираемых деталей.

Это равенство определяет возможность сборки резьбовых деталей без фасок на их торцах. При наличии фаски на торце хотя бы у одной из собираемых резьбовых деталей допустимое параллельное смещение осей резьбовых деталей

$$e_1 + e_2 + e_3 \leq c,$$

где  $c > 0,0325 s$  — ширина фаски.

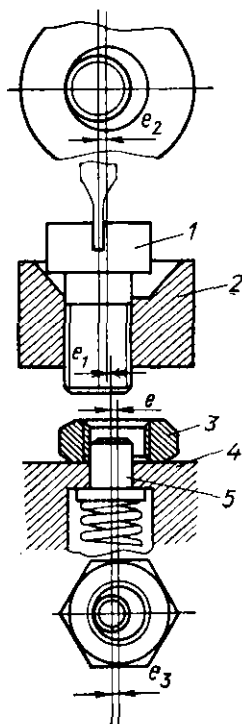


Рис. V.11. Несовпадение осей при сборке двух резьбовых деталей

На рис. V.12 показан случай перекоса осей винта и гайки. Если при перекосе виток винта попал в канавку гайки через шаг, то в начале свинчивания произойдет заедание резьбы винта в гайке. В условиях автоматизированной сборки при таком перекосе винта происходит срыв резьбы.

Наибольшее значение угла  $\beta$  обозначим через  $\beta_{\max}$ . При относительной ориентации двух сопрягаемых деталей перед сборкой перекося осей винта 1 и гайки 2 на угол больше  $\beta_{\max}$  недопустим. Для резьб М2—М10 по ГОСТ 9150—59 можно принять

$$\operatorname{tg} \beta_{\max} = 0,5s/d.$$

Для обеспечения надежного свинчивания угол  $\beta$  должен быть меньше угла  $\beta_{\max}$ . Если угол  $\beta$  больше угла  $\beta_{\max}$ , то при свинчивании резьбовой пары будет заедание и срыв резьбы.

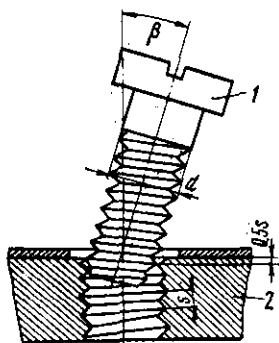


Рис. V.12. Допустимый угловой перекося оси винта при сборке в начале свинчивания

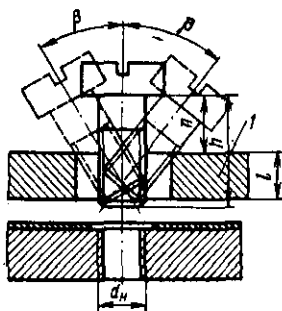


Рис. V.13. Свинчивание резьбовой пары с ориентацией винта направляющей втулкой

В условиях автоматизированной сборки применяют различные способы автоматической относительной ориентации сопрягаемых резьбовых деталей. На рис. V.13 показан способ ориентации винта разрезной направляющей втулкой 1. После заворачивания винта на два-три оборота разрезная втулка автоматически раздвигается. Направляющая втулка должна иметь относительно большой диаметр отверстия и сравнительно небольшую высоту для более легкого западания винта в отверстие втулки.

Минимальная допустимая длина направляющей части втулки при условии допустимого перекося винта

$$l_{\min} = d_{n \min} \Delta / 0,5s,$$

где  $d_{n \min}$  — наименьший наружный диаметр резьбы винта;  $\Delta$  — зазор между винтом и отверстием направляющей втулки.

Для винтов М3—М8 принимают  $\Delta = 0,3 + 0,8 \text{ мм}$ . Чтобы в начальный период свинчивания резьба винта надежно закрепилась в гайке,

винт должен выходить из втулки нижним концом на величину  $3s + b$  ( $b$  — высота фаски резьбы винта).

При западании винта в отверстие направляющей втулки в начальный момент свинчивания винта с гайкой часть его стержня располагается между головкой винта и верхней плоскостью направляющей втулки (расстояние  $n$ ). Следовательно, вся высота стержня винта состоит из следующих частей:

$$h = n + l + 3s + b,$$

где  $n$  — расстояние между нижней поверхностью головки винта и верхней плоскостью направляющей втулки;  $l$  — длина направляющей части отверстия ориентирующей втулки;  $s$  — шаг резьбы;  $b$  — высота фаски.

Длина направляющей части втулки

$$l = h - n - 3s - b.$$

Помимо рассмотренных способов относительной ориентации сопрягаемых резьбовых деталей существуют и другие, зависящие от типов сопрягаемых резьбовых деталей.

## § V.8. Сборочные размерные цепи узлов машин и механизмов

*Сборочной размерной цепью* называют цепь, выражающую взаимосвязь между размерами деталей, входящих в данный узел или машину. Примеры сборочных размерных цепей приведены на рис. V.14, б. Размеры, обозначенные буквой  $B$ , относятся к валу 1, буквой  $K$  — к корпусу 3. Размеры, обозначенные другими буквами, можно определить по деталям, входящим в узел. Зазор между подшипником 9 и крышкой 10 обозначен буквой  $s$ . Концы вала 1, выступающие из подшипников 4 и 9, — буквами  $f$  и  $f'$  (5 и 8 — втулки, 6 и 7 — цилиндрические зубчатые колеса).

Основные факторы, характеризующие сборочную размерную цепь. Сборочная размерная цепь должна содержать только по одному размеру от каждой детали, входящей в размерную цепь.

Помимо звеньев — размеров деталей — в сборочную размерную цепь входит исходное звено, т. е. конструктивно лимитируемый размерный параметр механизма. В сборочных размерных цепях (1 — общей для узла и 2, 3 — для его отдельных деталей — рис. V.14, б) к исходным звеньям относятся  $s$ ,  $f$ ,  $f'$ . Выявляют сборочные размерные цепи при размерном анализе деталей узла путем рассмотрения взаимосвязи всех деталей, входящих в сборочный узел. Решая сборочные размерные цепи, устанавливают предельные отклонения размеров деталей, входящих в размерные цепи.

На размерах деталей узла, входящих в сборочные размерные цепи, проводят размерные линии и на них ставят буквенные или численные обозначения. Выявление размеров звеньев сборочной размерной цепи начинают с нахождения таких величин размерной цепи узла (зазоров, смещения одних деталей относительно других), которые определяют возможность сборки деталей узла и нормальную его работу.

**Способы решения сборочных размерных цепей.** В зависимости от требований к исходному звену сборочную размерную цепь можно решать бескомпенсационным или компенсационным способом.

При бескомпенсационном способе решения размерной цепи замыкающим звеном сборочной размерной цепи является исходное звено цепи. В этом случае размерная цепь решается так: величину допуска исходного звена распределяют между номинальными размерами отдельных звеньев цепи, определяя предельные отклонения для каждого звена цепи.

Затем производят расчет замыкающего звена цепи в соответствии с установленными предельными размерами звеньев, составляющих размерную цепь, проверяя правильность принятых предельных численных значений для составляющих звеньев размерной цепи (т. е. проверяют замкнутость размерной цепи). В случае компенсационного способа решения размерной цепи в числе звеньев сборочной размерной цепи должно быть компенсирующее звено, численное значение которого может меняться в зависимости от действительных размеров звеньев, входящих в цепь. При этом в размерной цепи должна быть деталь (или совокупность деталей), представля-

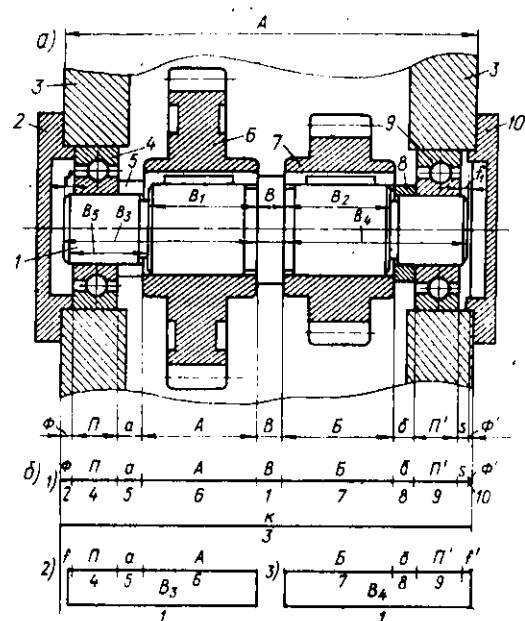


Рис. V.14. Сборочный чертеж узла (а) со сборочными размерными цепями (б)

являющая собой компенсирующее звено (компенсатор). Компенсирующее звено размерной цепи является замыкающим звеном цепи.

Возможно замыкание размерной цепи компенсирующим и исходными звеньями совместно, при расчете цепи совокупность компенсирующего и исходного звеньев рассматривается как одно звено. В случае бескомпенсационного и компенсационного способов решения сборочных размерных цепей допуски на размеры звеньев, входящих в цепь, выбирают с учетом возможных технических и экономических точностей тех поверхностей деталей, которые являются составляющими звеньями размерной цепи. При решении сборочной размерной цепи бескомпенсационным способом достигают полную взаимозаменяемость собираемых деталей в узле, а компенсационным способом — неполную взаимозаменяемость деталей в узле.

**Пример V.1.** Для узла, изображенного на рис. V.14, а, решить сборочную размерную цепь 1 (рис. V.14, б) бескомпенсационным способом (расчет на максимум и

минимум). В табл. V.2 приведены размеры звеньев, входящих в размерную цепь I. Принимаем, что по конструктивным соображениям допуск замыкающего звена (зазора)  $s$  будет  $\Delta s = 1,2$  мм.

Решение. Напишем уравнение сборочной размерной цепи I и определим номинальную величину зазора  $s$ :

$$K - \Phi - П - a - A - B - Б - б - П' - s - \Phi' = 0,$$

откуда

$$s = K - \Phi - П - a - A - B - Б - б - П' - \Phi' = 0 = 292 - 10 - 22 - 30 - 80 - 18 - 70 - 30 - 22 - 10 = 0.$$

Решим уравнение сборочной размерной цепи I относительно составляющего звена  $s$ . Подставим из табл. V.2 вместо букв их числовые значения, проставленные на деталях узла, в зависимости от их назначения и проанализируем, правильно ли выбраны предельные отклонения размеров деталей, составляющих размерную цепь I.

Предельные отклонения на ширину шарикоподшипников  $П$  и  $П'$  установлены ГОСТом и, следовательно, конструктор не может их изменить. Для остальных номинальных размеров  $a, A, B, Б, б$  и  $K$  деталей конструктор должен установить предельные отклонения по таблицам ГОСТа в соответствии с назначением детали в узле. Для размеров  $\Phi$  и  $\Phi'$  буртов крышек принимают такие предельные отклонения, которые могут обеспечить получение в цепи зазора. Принятые предельные отклонения звеньев, составляющих размерную цепь I, приведены в графе 2 табл. V.2.

Рассчитаем предельные отклонения для номинальной величины замыкающего звена  $s$  размерной цепи I, применяя способ расчета на максимум и минимум:

$$bz = \sum_i bP_i - \sum_i HN_i,$$

$$Hz = \sum_i HP_i - \sum_i bN_i,$$

где  $b$  — верхнее отклонение, мкм;  $H$  — нижнее отклонение, мкм;  $bz$  — верхнее отклонение размера  $z$ , мкм;  $Hz$  — нижнее отклонение размера  $z$ , мкм;  $z$  — размер замыкающего звена, мкм;  $P_i$  — увеличивающий (положительный) размер, входящий в размерную цепь;  $N_i$  — уменьшающий (отрицательный) размер, входящий в размерную цепь;  $bP_i$  — сумма верхних отклонений увеличивающих размеров размерной цепи;  $HP_i$  — сумма нижних отклонений, увеличивающих размеров размерной цепи;  $HN_i$  — сумма нижних отклонений уменьшающих (отрицательных) размеров размерной цепи;  $bN_i$  — сумма верхних отклонений уменьшающих (отрицательных) размеров размерной цепи.

Определим верхнее отклонение для номинальной величины замыкающего звена  $s$  размерной цепи I:

$$\begin{aligned} bz = bs = bK - H\Phi - HП - Ha - HA - HB - HБ - Hб - HП' - \\ - H\Phi' = 0 - (-0,10) - (-0,15) - (-0,05) - (-0,12) - (-0,13) - \\ - (-0,12) - (-0,05) - (-0,15) - (-0,1) = +0,97 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Определим нижнее отклонение для номинальной величины замыкающего звена  $s$  размерной цепи I

$$\begin{aligned} Hz = Hs = HK - b\Phi - bП - ba - bA - bB - bБ - bб - \\ - bП' - b\Phi' = -(-0,34) - (+0) - (+0) - (+0) - (+0) - (-0,06) - \\ - (+0) - (+0) - (+0) - (+0) = -0,28 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Следовательно, номинальная величина замыкающего звена  $s$  размерной цепи имеет предельные отклонения

$$s = 0^{+0,97}_{-0,28}.$$

Определим допуск замыкающего звена:

$$\Delta s = bs - Hs = 0,97 - (-0,28) = 0,97 + 0,28 = 1,25 \text{ мм.}$$

Данные для расчета сборочной размерной цепи I (рис. V.14, а, б)

| Обозначения составляющих звеньев цепи | Бескомпенсационный способ                       |                                    |                                       |                                       | Компенсационный способ                          |                                    |                                       |                                       | Принятые коэффициенты для двух способов |   |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|---|
|                                       | номинальные размеры деталей узла с отклонениями | среднее отклонение размера деталей | половина поля допуска размера деталей | половина поля допуска размера деталей | номинальные размеры деталей узла с отклонениями | среднее отклонение размера деталей | половина поля допуска размера деталей | половина поля допуска размера деталей | $\alpha$                                | R |
|                                       |                                                 |                                    |                                       |                                       |                                                 |                                    |                                       |                                       |                                         |   |
| 1                                     | 2                                               | 3                                  | 4                                     | 5                                     | 6                                               | 7                                  | 8                                     | 9                                     |                                         |   |
| $\Phi$                                | $10C_4 = 10 - 0,100$                            | -0,05                              | 0,05                                  | $10C_5 = 10 - 0,200$                  | -0,100                                          | 0,100                              | 0                                     | 1,2                                   |                                         |   |
| $\Pi$                                 | $22 - 0,150$                                    | -0,075                             | 0,075                                 | $22 - 0,150$                          | -0,075                                          | 0,075                              | +0,3                                  | 1,2                                   |                                         |   |
| $a$                                   | $30C_3 = 30 - 0,050$                            | -0,025                             | 0,025                                 | $30C_{3a} = 30 - 0,100$               | -0,050                                          | 0,050                              | +0,3                                  | 1,2                                   |                                         |   |
| $A$                                   | $80C_{3a} = 80 - 0,120$                         | -0,060                             | 0,060                                 | $80C_4 = 80 - 0,200$                  | -0,100                                          | 0,100                              | +0,3                                  | 1,2                                   |                                         |   |
| $B$                                   | $18Ш_3 = 18 - 0,130$                            | -0,095                             | 0,035                                 | $18Ш_4 = 18 - 0,360$                  | -0,300                                          | 0,060                              | +0,3                                  | 1,2                                   |                                         |   |
| $B$                                   | $70C_{3a} = 70 - 0,120$                         | -0,060                             | 0,060                                 | $70C_4 = 70 - 0,200$                  | -0,100                                          | 0,100                              | +0,3                                  | 1,2                                   |                                         |   |
| $b$                                   | $30C_3 = 30 - 0,050$                            | -0,025                             | 0,025                                 | $30C_4 = 30 - 0,140$                  | -0,070                                          | 0,070                              | +0,3                                  | 1,2                                   |                                         |   |
| $\Pi'$                                | $22 - 0,150$                                    | -0,075                             | 0,075                                 | $22 - 0,150$                          | -0,075                                          | 0,075                              | +0,3                                  | 1,2                                   |                                         |   |
| $\Phi'$                               | $10C_4 = 10 - 0,100$                            | -0,050                             | 0,050                                 | $10C_5 = 10 - 0,200$                  | -0,100                                          | 0,100                              | 0                                     | 1,2                                   |                                         |   |
| $K$                                   | $292C_1 = 292 - 0,340$                          | -0,170                             | 0,170                                 | $292C_5 = 292 - 0,680$                | -0,340                                          | 0,340                              | +0,3                                  | 1,2                                   |                                         |   |

Принимаем  $\Delta s = 1,3$  мм.

Проверяем правильность произведенного расчета по правилу: допуск замыкающего звена  $s$  равен сумме допусков звеньев, составляющих размерную цепь  $I$ ,

$$\Delta z = \sum_i \Delta c_i,$$

где  $z$  — замыкающее звено размерной цепи, мм;  $c_i$  — составляющее звено цепи, мм;  $\Delta$  — символ допуска;  $\Delta z$  — допуск замыкающего звена размерной цепи, мм;  $\Delta c_i$  — допуск составляющего звена размерной цепи, мм;

$$\begin{aligned} \Delta z = \Delta s = \sum_i \Delta c_i &= \Delta \Phi + \Delta \Pi + \Delta a + \Delta A + \Delta B + \Delta \delta + \\ &+ \Delta \delta + \Delta \Pi' + \Delta \Phi' + \Delta K = 0,1 + 0,15 + 0,05 + 0,12 + 0,07 + \\ &+ 0,12 + 0,05 + 0,15 + 0,1 + 0,34 = 1,25 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Все звенья, составляющие размерную цепь, подразделяют на увеличивающие (положительные) и уменьшающие (отрицательные).

Равенство выдержано, следовательно, расчет сделан правильно.

Можно произвести расчет предельных отклонений замыкающего звена  $s$  размерной цепи более кратким способом:

$$\begin{aligned} s = K - \Phi - \Pi - a - A - B - \delta - \Pi' - \Phi' &= (292_{-0,840}) - (10_{-0,1}) - (22_{-0,15}) - \\ &- (30_{-0,35}) - (80_{-0,120}) - (18_{-0,09}) - (70_{-0,12}) - (30_{-0,05}) - (22_{-0,15}) - \\ &- (10_{-0,10}) = 0_{-0,97}^{+0,97}. \end{aligned}$$

**Пример V.2.** Для узла (рис. V.14, а) решить сборочную размерную цепь  $I$  (см. рис. V.14, б) бескомпенсационным способом, применяя теоретико-вероятностный метод (на основе теории вероятностей). Размеры звеньев, входящих в размерную цепь  $I$ , приведены в табл. V.2.

**Решение.** При решении размерных цепей теоретико-вероятностным методом для определения верхнего и нижнего отклонений замыкающего размера применяют формулы:

$$bz = cz + \delta z; \quad H_z = cz - \delta z,$$

где  $c$  — среднее отклонение соответствующего размера;  $cz = (bz + H_z)/2$  — среднее отклонение размера  $z$ ;  $\delta z$  — половина допуска размера  $z$  замыкающего звена;  $\Delta z$  — допуск размера  $z$  замыкающего звена.

Среднее отклонение  $cz$  размера  $z$  замыкающего звена размерной цепи

$$cz = \sum_i (cP_i + \alpha_i \delta P_i) - \sum_i (cN_i + \alpha_i \delta N_i),$$

где  $cP_i$  — среднее отклонение увеличивающего (положительного) размера, входящего в размерную цепь;  $\delta P_i$  — половина поля допуска увеличивающего (положительного) размера, входящего в размерную цепь;  $cN_i$  — среднее отклонение уменьшающего (отрицательного) размера, входящего в размерную цепь;  $\delta N_i$  — половина поля допуска уменьшающего (отрицательного) размера, входящего в размерную цепь;  $\alpha_i$  — коэффициент относительной асимметрии распределения действительных размеров (отклонений) в пределах поля допуска; при симметричном распределении размеров относительно середины поля допуска коэффициент  $\alpha = 0$  (коэффициент  $\alpha = \pm 0,25$ ).

Рассчитаем среднее отклонение  $cz$  замыкающего звена  $s$  размерной цепи  $I$ . Данные для расчета среднего отклонения  $cz$  приведены в табл. V.2:

$$\begin{aligned} cz = cs &= (cK + \alpha_K \delta K) - (c\Phi + \alpha_\Phi \delta \Phi) - (c\Pi + \alpha_\Pi \delta \Pi) - (ca + \alpha_a \delta a) - (cA + \alpha_A \delta A) - \\ &- (cB + \alpha_B \delta B) - (c\delta + \alpha_\delta \delta \delta) - (c\Pi' + \alpha_{\Pi'} \delta \Pi') - (c\Phi' + \alpha_{\Phi'} \delta \Phi') = \\ &= (-0,170 + 0,3 \cdot 0,170) - (-0,05 + 0 \cdot 0,05) - (-0,075 + 0,3 \cdot 0,075) - \\ &- (-0,025 + 0,3 \cdot 0,025) - (-0,060 + 0,3 \cdot 0,060) - (-0,095 + 0,3 \cdot 0,035) - \\ &- (-0,060 + 0,3 \cdot 0,060) - (-0,025 + 0,3 \cdot 0,025) - (-0,075 + 0,3 \cdot 0,075) - \\ &- (-0,050 + 0 \cdot 0,050) = -0,119 + 0,05 + 0,0527 + 0,0175 + 0,042 + 0,0845 + \\ &+ 0,042 + 0,0175 + 0,0527 + 0,05 = +0,2899 \approx +0,289 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Определяем половину поля допуска  $\delta s$  звена  $s$  размерной цепи  $I$ :

$$\delta z = \delta s = \sqrt{\sum_i R_i^2 (\delta c_i)^2},$$

где  $R_i$  — коэффициент относительного рассеивания, определяющий, в какой мере распределение данного звена отличается от распределения замыкающего звена размерной цепи; при распределении размеров по закону Гаусса  $R_i = 1$  (коэффициент  $R_i = 1 \div 1,4$ ). Принимаем коэффициент  $R_i = 1,2$ ;  $\delta c_i$  — половина допуска размера  $c_i$ ;  $\delta s$  — половина допуска размера  $s$  замыкающего звена;

$$\delta z = \delta s = \sqrt{\sum_i R_i^2 (\delta c_i)^2} = 1,2 \sqrt{0,05^2 + 0,075^2 + 0,025^2 + 0,06^2 + 0,035^2 + 0,06^2 + 0,025^2 + 0,075^2 + 0,05^2 + 0,170^2} \approx 1,2 (76/316) = 0,29 \text{ мм.}$$

Определяем верхнее и нижнее отклонения для замыкающего звена  $s$  размерной цепи  $I$ :

$$bs = cs + \delta s = +0,289 + 0,29 = 0,579 \text{ мм} \approx +0,6 \text{ мм};$$

$$Hs = cs - \delta s = +0,289 - 0,29 = -0,001 \text{ мм.}$$

Так как фактический допуск звена размерной цепи (представляющего собой зазор) равен примерно 0,6 мм, т. е. меньше заданного допуска  $\Delta s = 1,2$  мм, то расчет допуск  $\Delta s = 0,3$  мм и поэтому применение бескомпенсационного способа с технологической точки зрения невозможно. Компенсацию в данной конструкции узла можно выполнить двумя технологическими способами.

**Пример V.3.** Для узла (см. рис. V.14, а) решить сборочную размерную цепь  $I$  (см. рис. V.14, б) компенсационным способом. Номинальные размеры звеньев размерной цепи  $I$  с отклонениями приведены в табл. V.2 (графа 5). Конструктором задана величина зазора исходного звена  $s = 0,2 \div 0,5$  мм, принимают допуск исходного звена  $\Delta s = 0,3$  мм.

**Решение.** Применение компенсационного метода решения сборочной размерной цепи вызывается тем, что исходное звено размерной цепи имеет небольшой допуск  $\Delta s = 0,3$  мм и поэтому применение бескомпенсационного способа с технологической точки зрения невозможно. Компенсацию в данной конструкции узла можно выполнить двумя технологическими способами.

Первый способ — точное протачивание упорного торца буртика крышки 2 или 10 (см. рис. V.14, а) и, следовательно, изменение размера  $\Phi$  или  $\Phi'$  в соответствии с получившимся в сборочном узле сочетании действительных размеров собираемых деталей узла. В этом случае звено  $\Phi$  или  $\Phi'$  будет являться компенсирующим звеном цепи и, следовательно, замыкающим звеном размерной цепи.

Второй способ — установка в качестве компенсатора набора прокладок между крышкой 2 или 10 и корпусом 3 (см. рис. V.14, а). При этом способе в размерную цепь войдет новое звено  $Pr$  (размер толщины набора прокладок), которое будет компенсирующим и, следовательно, замыкающим звеном размерной цепи  $I$ . Применяя компенсационный способ решения сборочной размерной цепи, можно допустить увеличение допусков на номинальные размеры звеньев цепи.

Номинальные размеры с увеличенными допусками приведены в графе 5 табл. V.2.

Решим размерную цепь  $I$  компенсационным методом с применением первого способа: точного протачивания упорного торца буртика 10. При этом замыкание размерной цепи производим одним компенсирующим звеном  $\Phi'$  бурта крышки 10 и в размерную цепь  $I$  вводим среднюю величину зазора  $s = 0,35$  мм.

Применяя при компенсационном методе решения размерной цепи способ расчета на максимум и минимум, определяем номинальный размер и предельные значения для компенсирующего звена  $\Phi'$  размерной цепи  $I$ . Определяем номинальный размер компенсирующего звена  $\Phi'$  размерной цепи  $I$ :

$$\Phi' = K - \Phi - П - a - A - B - Б - б - П' - s = 292 - 10 - 22 - 30 - 80 - 18 - 70 - 30 - 22 - 0,35 = 9,65 \text{ мм.}$$



Определяем верхнее и нижнее отклонения компенсирующего звена  $\Phi'$  размерной цепи  $I$ :

$$\begin{aligned} b\Phi' &= bK - H\Phi - H\P - Ha - HA - HB - HB - H6 - HP' - Hs = \\ &= 0 - (-0,2) - (-0,15) - (-0,1) - (-0,2) - (-0,36) - (-0,2) - (-0,14) - \\ &\quad - (-0,15) - 0 \approx +1,5 \text{ мм;} \\ H\Phi' &= HK - b\Phi - b\P - ba - bA - bB - bB - b6 - bP' - bs = -0,680 - \\ &\quad - (0) - (0) - (0) - (0) - (-0,240) - (0) - (0) - (0) - (0) = -0,44 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Следовательно, компенсирующее звено будет иметь отклонения  $\Phi' = 9,65^{+1,5}_{-0,44}$ . Примем номинальный размер компенсирующего звена цепи  $\Phi' = 10$  мм, тогда  $\Phi' = 10^{+1,15}_{-0,79}$ ;  $\Phi'_{\max} = 11,15$  мм и  $\Phi'_{\min} = 9,21$  мм.

Разность  $b\Phi' - H\Phi' = +1,5 - (-0,44) = 1,94$  мм представляет собой величину компенсации.

Наибольший предельный размер  $\Phi'_{\max} = 11,15$  мм должен быть минимальным размером при изготовлении бурта крышки  $10$ , поэтому для получения величины зазора исходного звена  $s = 0,2 \div 0,5$  мм задаемся размером бурта крышки  $10$ :

$$\Phi'_{\text{изг}} = 11,15^{+0,3}_{-0,13} = 10^{+1,45}_{-1,13}.$$

Максимальный общий припуск на торец выступа крышки  $10$  при определенном сочетании действительных размеров звеньев, входящих в размерную цепь  $I$ ,

$$h_{\max} = \Phi'_{\text{изг}, \max} - \Phi'_{\min} = 11,45 - 9,21 = 2,24 \text{ мм.}$$

Можно произвести расчет номинального размера и предельных отклонений для замыкающего, или компенсирующего, звена размерной цепи следующим более сокращенным способом:

$$\begin{aligned} \Phi' &= K - \Phi - \Pi - a - A - B - B - b - P' - s = (292 - 0,68) - (10 - 0,2) - \\ &- (22 - 0,15) - (30 - 0,1) - (80 - 0,2) - (18 - 0,34) - (70 - 0,2) - (30 - 0,14) - \\ &- (22 - 0,15) - 0,35 = 9,65^{+1,5}_{-0,44} \text{ мм.} \end{aligned}$$

**Пример V.4.** Решить размерную цепь  $I$  компенсационным методом с применением второго способа — установки в качестве компенсатора набора прокладок между крышкой  $10$  и корпусом  $3$  (см. рис. V. 14, а).

**Решение.** При этом способе в размерную цепь войдет новое звено  $Pr$  (размер толщины набора прокладок), которое будет компенсирующим (замыкающим) звеном размерной цепи  $I$ .

В случае введения в размерную цепь узла нового звена  $Pr$  (набор прокладок) сборочная размерная цепь  $I$  определяется уравнением следующего вида:

$$\Phi + \Pi + a + A + B + B + b + P' + s + \Phi' - Pr - K = 0,$$

где  $Pr$  — размер толщины набора прокладок, мм.

Для установки в узле меньшего числа прокладок производим замыкание размерной цепи совокупностью компенсирующего и исходного звеньев (т. е. стремимся получить минимально необходимую компенсацию).

Расчет производим теоретико-вероятностным способом. Размеры звеньев, входящих в размерную цепь, приведены в табл. V.2. Решая уравнение размерной цепи  $I$  относительно замыкающего звена, получим

$$(Pr - s) = \Phi + \Pi + a + A + B + B + b + P' + \Phi' - K.$$

Обозначим замыкающее звено  $(Pr - s)$  размерной цепи через  $z$ , т. е.  $(Pr - s) = z$ .

При решении размерной цепи теоретико-вероятностным способом для определения верхнего и нижнего отклонений размера замыкающего звена  $(Pr - s) = z$  применяем формулы:

$$bz = cz + \delta z; \quad Hz = cz - \delta z,$$

где  $cz$  — среднее отклонение размера  $z$ ;  $cz = (bz + Hz)/2$ ;  $\delta z$  — половина поля допуска размера  $z$ ;  $\delta z = \Delta z/2$ .

Определяем среднее отклонение  $cz$  размера  $z$ :

$$cz = \sum_i (cP_i + \alpha_i \delta P_i) - \sum_i (cN_i + \alpha_i \delta N_i) = (c\Phi + \alpha_\Phi \delta \Phi) + (c\Pi + \alpha_\Pi \delta \Pi) + \\ + (c\alpha + \alpha_\alpha \delta \alpha) + (cA + \alpha_A \delta A) + (cB + \alpha_B \delta B) + (c\beta + \alpha_\beta \delta \beta) + (c\Pi' + \alpha_{\Pi'} \delta \Pi') + (c\Phi' + \alpha_{\Phi'} \delta \Phi') - (cK + \alpha_K \delta K) = \\ = (-0,10 + 0 \cdot 0,10) + (-0,075 + 0,3 \cdot 0,075) + (-0,050 + 0,3 \cdot 0,050) + \\ + (-0,10 + 0,3 \cdot 0,10) + (-0,30 + 0,3 \cdot 0,060) + (-0,10 + 0,3 \cdot 0,10) + \\ + (-0,070 + 0,3 \cdot 0,070) + (-0,075 + 0,3 \cdot 0,075) + (-0,10 + 0 \cdot 0,1) - \\ - (-0,340 + 0,3 \cdot 0,340) = -0,303 \approx -0,3 \text{ мм.}$$

Определяем половину поля допуска  $\delta z$  замыкающего звена  $z = (\Pi p - s)$ :

$$\delta z = \sqrt{\sum_i R_i^2 (\delta c_i)^2} = 1,2 \sqrt{0,1^2 + 0,075^2 + 0,05^2 + 0,1^2 + 0,06^2 + \dots + 0,1^2 + 0,07^2 + 0,075^2 + 0,1^2 + 0,34^2} = 1,2 \cdot 0,42 \approx 0,5 \text{ мм.}$$

Определяем верхнее и нижнее отклонения замыкающего звена  $z = (\Pi p - s)$ :

$$bz = cz + \delta z = -0,3 + 0,5 = +0,2 \text{ мм;}$$

$$Hz = cz - \delta z = -0,3 - 0,5 = -0,8 \text{ мм.}$$

Следовательно, исходные данные для расчета числа и размеров прокладок

$$z = 0_{-0,8}^{+0,2} \text{ мм и } s = 0_{+0,3}^{+0,5}.$$

Величина  $z = (\Pi p - s)$ , поэтому

$$bz \approx b\Pi p - Hs;$$

$$Hz = H\Pi p - bs.$$

Определим из приведенных формул:

$$b\Pi p = bz + Hz = +0,2 + (+0,2) = +0,4 \text{ мм;}$$

$$H\Pi p = Hz + bs = -0,8 + (+0,5) = -0,3 \text{ мм.}$$

Определим допуск на толщину прокладок:

$$\Delta \Pi p = b\Pi p - H\Pi p = +0,4 - (-0,3) = +0,7 \text{ мм.}$$

В приведенных формулах  $b\Pi p$  дано в сочетании с  $Hs$ , а  $H\Pi p$  — в сочетании с  $bs$ . Из этого можно сделать заключение, что в предельных случаях максимальный размер набора прокладок обеспечивает получение только наименьшего зазора, а минимальный размер набора прокладок — получение наибольшего зазора. В этом и выражается минимальная необходимая компенсация.

Определяем число прокладок:  $n = \Delta \Pi p / \Delta s = 0,7 / 0,3 \approx 2,3$  прокладки; принимаем  $n = 3$  прокладки. Следовательно, между крышкой 10 и корпусом 3 нужно установить три прокладки с размером по ширине  $h_1 = 0,23 \text{ мм}$ .

## § V.9. Автоматы и автоматические линии для сборки узлов автомобиля и трактора

Автомат для сборки болта с гайкой. На рис. V.15, а показан общий вид автомата для сборки болта с гайкой, а на рис. V.15, б — собираемые детали (болт и гайка) отдельно и в собранном виде. Автомат имеет один дисковый бункер для выдачи болтов и другой бункер для выдачи гаек. На столе автомата смонтированы два диска, расположенные один над другим. Ввинчивание болта в гайку производится специальной резьбозавертывающей головкой.

Бункер с гайками вращается от электродвигателя, гайки из бункера подаются в лоток, затем в приемник 1 (рис. V.16, а) и далее в специальный паз 2 нижнего диска 1 (рис. V.16, б). Бункер с болтами вращается от электродвигателя; из бункера болты через лоток проходят в приемник 4 и затем в паз 3 верхнего диска, где устанавливаются в вертикальном положении головкой вверх (см. рис. V.16, б).

Стол автомата поворачивается мальтийским крестом от электродвигателя через червячный редуктор. При последовательных поворотах стол вместе с верхним диском, несущим в пазах болты, и нижним

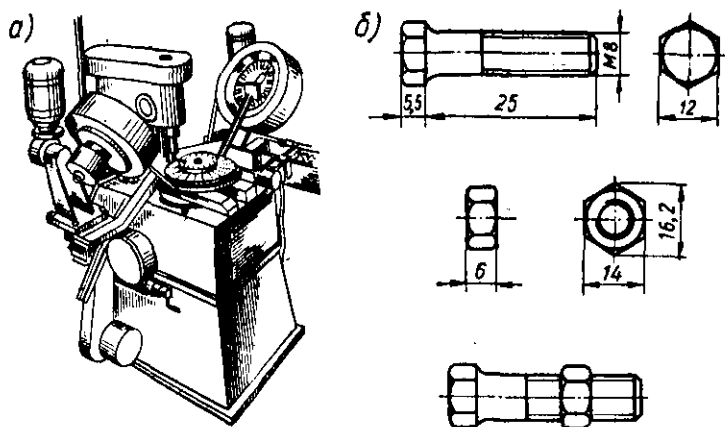


Рис. V.15. Автомат для сборки болта с гайкой, собираемые детали и узел в сборе

диском, несущим в пазах гайки, приходит на рабочую сборочную позицию 3 (см. рис. V.16, а). На рабочей позиции 3 на нижний конец плунжера 5 (см. рис. V.16, б) нажимает копир и поднимает его вместе с гайкой вверх до тех пор, пока гайка не упрется в нижний конец болта. В это время конец шпинделя электромеханического гайковерта захватывает головку болта и заворачивает болт в гайку; при этом гайка поднимается по направляющим поверхностям верхнего диска.

Во время последующего поворота стола с дисками болт, собранный с гайкой, упираясь головкой в упор 2 (рис. V.16, а), сбрасывается в лоток и, перемещаясь по лотку, падает в тару.

Автомат изготовлен и работает на Горьковском автозаводе.

#### Основные технические данные автомата

|                                      |               |
|--------------------------------------|---------------|
| Производительность, комплектов в час | 1800          |
| Количество собираемых деталей, шт.   | 2             |
| Количество электродвигателей, шт.    | 4             |
| Система управления автомата          | электрическая |
| Габаритные размеры, мм:              |               |
| ширина                               | 1000          |
| длина                                | 1500          |

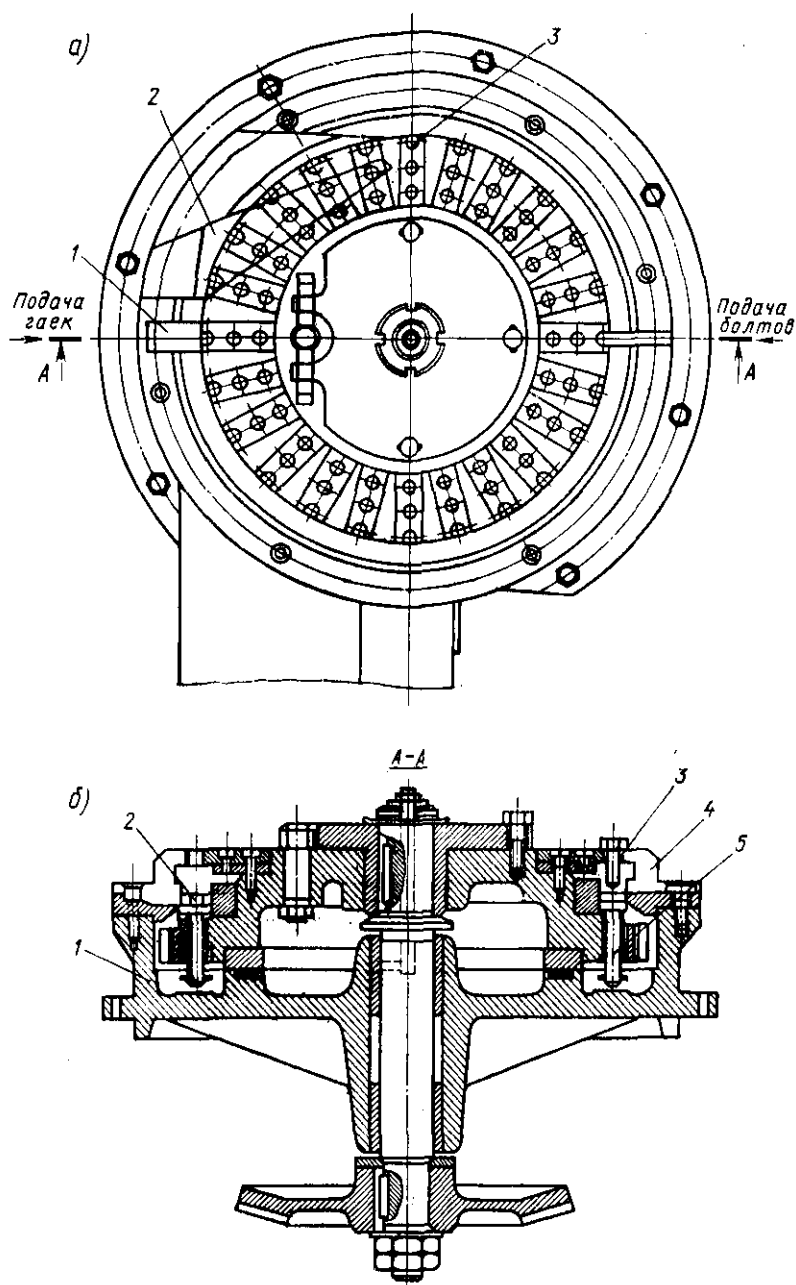


Рис. V.16. Вид сверху на круглый поворотный стол автомата (а) и продольный разрез стола (б)

Автоматическая установка для сборки шатунно-поршневой группы тракторного двигателя СМД, сконструированная НИИТракторсельхозмашем. В собираемый узел (рис. V.17) входят следующие детали: шатун, поршень, поршневой палец, два стопорных кольца и пять компрессионных и маслосъемных колец. Автоматическая установка с круглым поворотным столом имеет шесть позиций, на которых установлены различные устройства для последовательной автоматической сборки шатунно-поршневой группы. При помощи транспортеров, магазинов и кассет собираемые детали по группам подаются к сборочной установке.

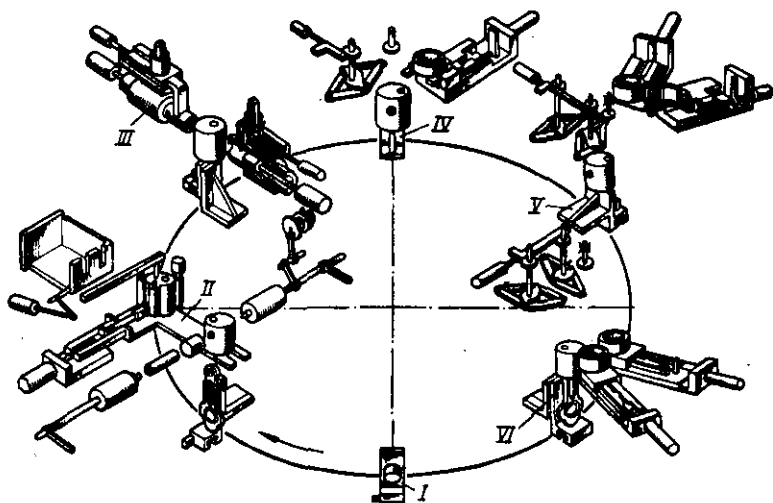


Рис. V.17. Схема сборки шатунно-поршневой группы двигателя СМД на автомате с круглым столом

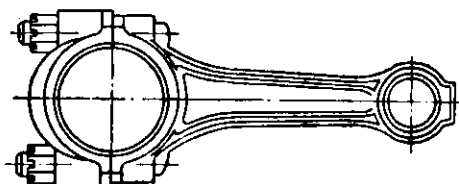
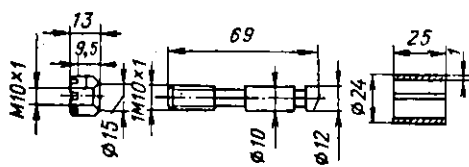
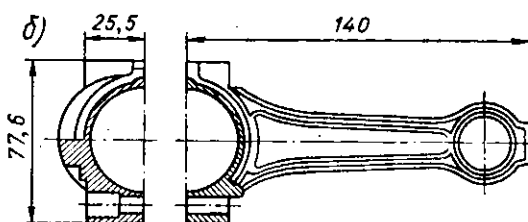
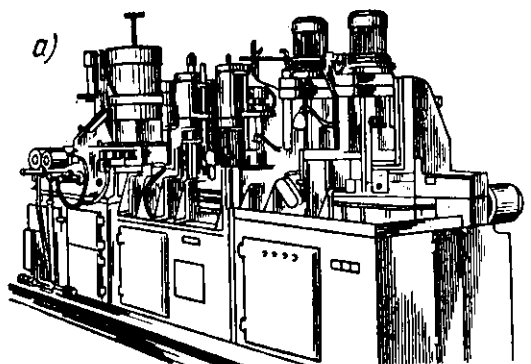
На загрузочно-разгрузочной позиции *I* рабочий-оператор снимает собранный узел и устанавливает шатун, который является базовой деталью собираемой группы.

На позиции *II* установлены механизмы для подачи и ориентации поршня, а также подачи, ориентации и запрессовки поршневого пальца. Поршни подаются на сборочную позицию *II* автоматически из моечно-нагревательного агрегата, расположенного рядом со сборочной установкой. В автоматическом агрегате поршни проходят мойку, сушку и небольшой нагрев. Поршень нагревают для увеличения диаметра отверстия под поршневой палец и уменьшения усилия при запрессовке поршневого пальца в поршень. Позиция *III* служит для одновременной установки в канавки отверстия под поршневой палец два пружинных стопорных кольца, препятствующих поршневому пальцу перемещаться вдоль его оси. На позиции *IV* на поршень устанавливается нижнее маслосъемное кольцо. На поршень надеваются второе маслосъемное и нижнее компрессионное кольца на позиции *V* и два верхних компрессионных кольца на позиции *VI*.

# Основные технические данные установки

|                                                              |                                                       |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Производительность шатунно-поршневых узлов в смену . . . . . | 4000                                                  |
| Темп работы, сек . . . . .                                   | 6                                                     |
| Число обслуживающих рабочих . . . . .                        | 2                                                     |
| Суммарная мощность электродвигателей, <i>квт</i> . . . . .   | 6,2                                                   |
| Система управления автомата . . . . .                        | электрогидравлическая с помощью конечных выключателей |
| Габаритные размеры, мм . . . . .                             | 1650 × 2400 × 3900                                    |
| Вес, кг . . . . .                                            | 3500                                                  |

**Автоматическая линия для механической обработки и сборки шатуна автомобиля «Москвич».** Автоматическая линия разработана



НИИТАвтопромом и работает на заводе малолитражных автомобилей. Линия (рис. V.18, а) состоит из трех автоматических агрегатов. Перемещение шатунов между агрегатами линии осуществляется пульсирующим транспортом. На рис. V.18, б показаны детали шатуна и шатун в сборе. Операционные эскизы сборки и механической обработки шатуна на представлены на рис. V.19, а—з.

На первом агрегате происходят запрессовка болтов, наживление гаек и окончательное завинчивание гайк двумя электрическими гайковертами с требуемым крутящим моментом, на втором агрегате — подача втулок к первому прессу, который производит запрессовку втулок и проглаживание их прошивкой. Третий агрегат состоит из трех

Рис. V.18. Автоматическая линия сборки и частичной механической обработки шатуна автомобиля (а) и шатун в сборе (б)

пневмогидравлических сверлильных головок: две головки производят последовательное подрезание торцов и снятие фаски во втулке малой головки шатуна, а третья головка сверлит отверстие для масла в малой головке шатуна. На третьем агрегате установлен механизм, поворачивающий шатун на  $180^\circ$  для обработки торцов малой головки шатуна с двух сторон.

В начале линии рабочий-оператор берет шатун, спаренный с крышкой, и кладет на транспортер, который перемещает его к первому агре-

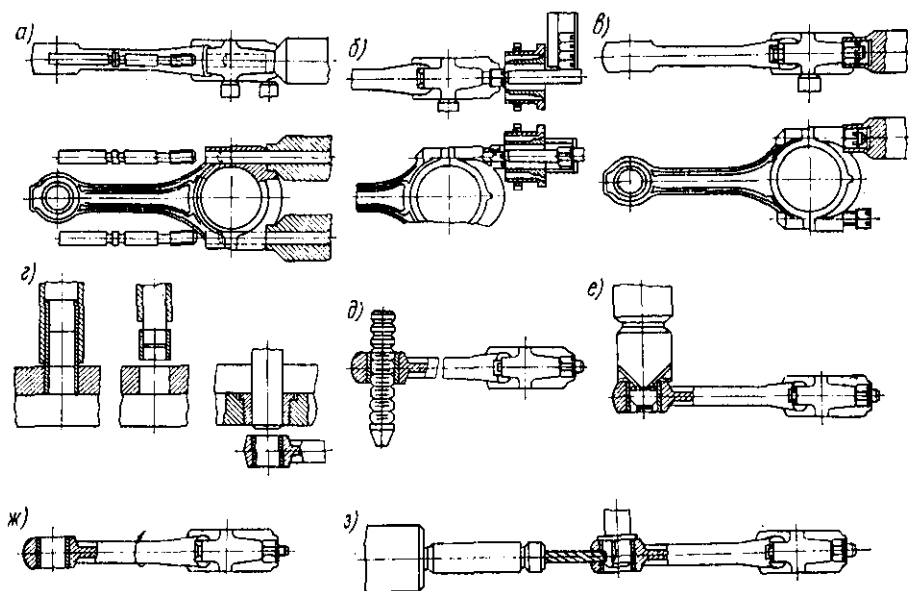


Рис. V.19. Процесс сборки и частичной механической обработки шатуна автомобиля:

*а* — запрессовка болтов; *б* — наживление гаск; *в* — завинчивание гаск; *г* — запрессовка втулки; *д* — проглаживание втулки; *е* — зенкование и подрезание торца втулки; *ж* — поворот шатуна; *з* — сверление смазочного отверстия в малой головке шатуна

гату линии. В дальнейшем все операции на линии выполняются автоматически.

**Автоматизированная линия для сборки автомобильного двигателя.** Автоматизированная сборочная линия 1Л129 применяется для сборки V-образных автомобильных двигателей различных типоразмеров. Линия спроектирована МосСКБ-1, изготовлена станкозаводом им. Орджоникидзе и работает на автозаводе им. Лихачева.

В табл. V.3 дана компоновка автоматической линии, состоящей из трех секций (участков) 1Л129А, 1Л129Б, 1Л129В.

Часть сборочных операций двигателя производится на автоматических сборочных станках, а часть — на сборочных агрегатах вручную. В начале сборки на линию устанавливается базовая деталь — блок цилиндров в сборе с картером сцепления. В конце сборочной линии

собранный автомобильный двигатель снимается и направляется в окраску.

Маршрутный технологический процесс сборки двигателя с указанием базовых установочных поверхностей 4, 6, 8 двигателя на транспортных устройствах и мест сборки поверхностей 1, 2, 3, 4, 5, 6 и

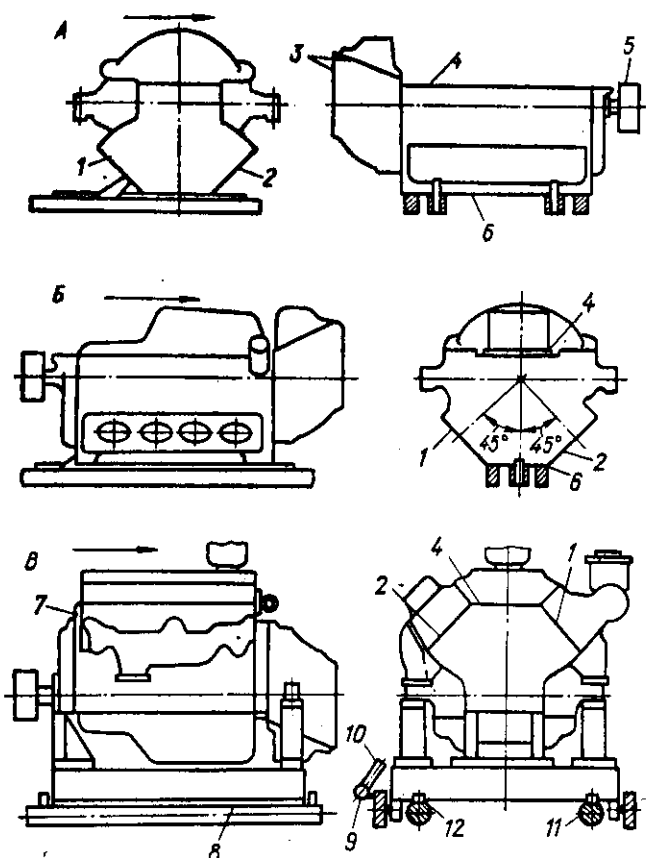


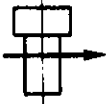
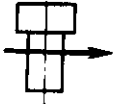
Рис. V.20. Автоматическое перемещение двигателя вдоль сборочной линии при прохождении секций А, Б и В (участков) (стрелки показывают направление транспортировки)

положение оси двигателя при его перемещении по линии даны в табл. V.3 и на рис. V.20.

Сборка двигателя на секциях 1Л129А и 1Л129Б производится без приспособлений-спутников, а на секции 1Л129В — в приспособлениях-спутниках на автоматических станках. На секциях 1Л129А и 1Л129Б собираемый двигатель перемещается по транспортеру штангой с подпружиненными собачками. При перемещении штанги вперед собачки захватывают двигатель и передвигают его по неподвижным планкам на следующую позицию, а при перемещении штанги назад



## Компоновка линии

| Секция | Плоскость транспортировки (рис. V.20) | Место сборки (рис. V.20) | Положение оси двигателя                                                                                                            | Краткое содержание операции                                                                                                                  |
|--------|---------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| А      | 4                                     | 5                        | Перпендикулярно направлению транспортировки<br>   | Загрузка блока с картером сцепления в сборе; установка распределительного вала                                                               |
|        |                                       | 1 и 2                    |                                                                                                                                    | Установка гильз цилиндров                                                                                                                    |
|        | 6                                     | 4                        |                                                                                                                                    | Съем крышек коренных подшипников; установка вкладышей и сальника в блок; установка коленчатого вала, вкладышей и крышек коренных подшипников |
|        |                                       | 5                        |                                                                                                                                    | Установка упорной шайбы и зубчатого колеса на коленчатый вал; установка передней крышки и шкива на коленчатый вал                            |
|        |                                       | 3                        |                                                                                                                                    | Установка вилки включения сцепления, щитка и крышки картера сцепления                                                                        |
| Б      | 6                                     | 1 и 2                    | Параллельно направлению транспортировки<br>     | Установка правой и левой поршневых групп                                                                                                     |
|        |                                       | 4                        |                                                                                                                                    | Установка перегородки масляного картера, самого масляного картера и масляного насоса                                                         |
|        |                                       | 1 и 2                    |                                                                                                                                    | Установка толкателей и головок в сборе с выпускным коллектором                                                                               |
|        |                                       | 4                        |                                                                                                                                    | Установка впускной трубы в сборе с фильтром и центрифугой                                                                                    |
| В      | 8                                     | 7                        | Перпендикулярно направлению транспортировки<br> | Установка насоса гидроусилителя руля в сборе; установка компрессора; установка водяного насоса в сборе; съем собранного двигателя            |

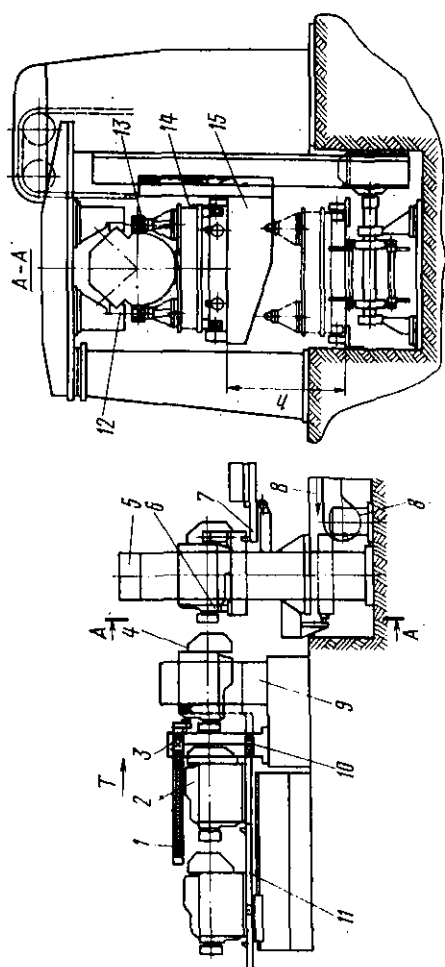


Рис. V.21. Поворотный барабан и устройства для загрузки, транспортирования и разгрузки двигателя на спутниках

подпружиненные собачки, упираясь в двигатель, поворачиваются на осях и, скользя по его нижней поверхности, проходят под неподвижным двигателем.

На секции 1Л129В линии двигатель устанавливается в приспособления-спутники, и перемещение спутников производится по роликам, закрепленным на неподвижных планках с помощью поворотных круглых штанг 11 с жесткими собачками. Перед перемещением штанга 11 поворачивается около оси так, чтобы собачки 12 заняли вертикальное положение. Затем собачки, упираясь в спутники, перемещают их по транспортеру на один шаг. Далее штанга 11 с собачками 12 поворачивается около оси и возвращается в исходное положение.

На сборочных позициях спутники фиксируются при повороте штанги 9 с жесткими упорами 10, входящими в гнезда спутников. На секциях А и Б фиксация двигателя на сборочных позициях производится фиксаторами, входящими

в технологические отверстия двигателя. Положение двигателя относительно продольной оси линии изменяется посредством поворотных столов и кантователей.

На рис. V.21 показано автоматическое устройство для загрузки, транспортирования и разгрузки двигателей на спутниках на станках секции 1Л129В линии. Установленный в конце секции 1Л129Б барабан 9 поворачивает собираемый двигатель на  $180^\circ$  так, чтобы он выходил из кантователя масляным картером вниз, далее двигатель перемещается штангой 11 по стрелке Т. За один ход штанга 11 через шестерни 10, 3 и рейку-толкатель 1 выводит из барабана 9 перевернутый на  $180^\circ$  блок 4 и вводит блок 2 для поворота. Повернутый блок 4 устанавливается на неподвижных планках 12 подъемника 5, имеющего подвижную платформу 15, перемещаемую по вертикали гидроприводом. При опус-

кании платформы на величину  $h$  на нее устанавливается спутник 14 цепным транспортером 8 возврата спутников.

При подъеме платформы 15 со спутником 14 последний подается под блок и фиксируется двумя пальцами 13, входящими в отверстия в картере сцепления двигателя.

Базовые площадки на картере сцепления и передней крышке опираются на соответствующие опорные площадки 6 на спутнике. После фиксации блока двигателя на спутнике транспортер 7 перемещения захватывает спутник и передвигает его на следующую позицию сборки.

В конце секции 1Л129В собранный двигатель снимается и поступает на окраску, а спутник перемещается на подвижную платформу, которая может занимать верхнее и нижнее положения (аналогично платформе 15).

Транспортер 7 перемещения спутников загружает спутники 14 на подвижную платформу, находящуюся в верхнем положении. Затем платформа со спутником опускается и спутник цепным транспортером 8 передвигается к началу секции, к подъемнику по стрелке В для загрузки.

Спутники перемещаются в вертикальной плоскости по замкнутому прямоугольнику, на верхней части которого производятся сборка и перемещение спутников с двигателями штангой в направлении стрелки Т. На нижней части транспортера спутники возвращаются цепным транспортером в направлении стрелки В. В начале секции спутники поднимаются на величину  $h$ , в конце ее опускаются на ту же величину.

Все переходы сборки контролируются по пути перемещения узла конечными выключателями. Если собранный двигатель не был снят на разгрузочной позиции, то блокировка воздействует на конечный выключатель, он сработает и не допустит опускания платформы с двигателем.

На автоматизированной линии автоматизированными операциями являются в основном наиболее трудоемкие и сложные операции, требующие высокого качества сборочных работ. К ним относятся установка распределительного и коленчатого валов, установка головок на блок, завинчивание болтов и гаек и т. д.

Рассмотрим выполнение некоторых сборочных операций на автоматических станках. На рис. V.22 дана схема станка для сборки распределительного вала двигателя автомобиля. Станок состоит из сварной станины 1, устройства 13 для фиксации блока, каретки 4 для перемещения распределительного вала 9 в блок и призм 2 и 11, последовательно поддерживающих распределительный вал 9 при его перемещении в блок. На призме 2 вал размещается вне блока, а на призме 11 — внутри блока. Призмы 2 и 11 перемещаются в вертикальном направлении от штоков гидроцилиндров 21 и 17. Блок цилиндров подается на сборочную позицию станка штанговым транспортером 18, а распределительный вал 9 — транспортером-перекладчиком 14.

На сборочной позиции станка блок 10 фиксируется по отверстию в нижней базовой плоскости пальцем 20, перемещающимся штоком гидроцилиндра 19, и по отверстию в боковой стенке блока ромбиче-

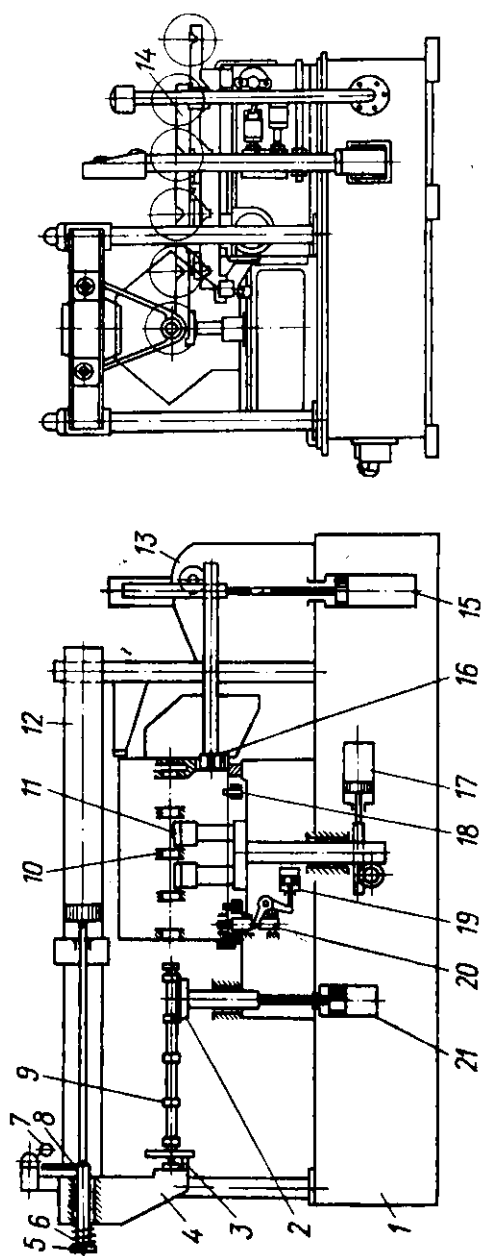


Рис. V.22. Схема автоматического станка для сборки распределительного вала двигателя автомобиля

ским пальцем 16, перемещающимся штоком гидроцилиндра 15 через реечно-шестеренную передачу.

Перед установкой распределительного вала в блок шестерня распределительного вала 9 размещается на двух штырях 3 каретки 4, а правый конец вала поддерживается призмой 2.

Конечные выключатели контролируют наличие распределительного вала 9 и блока 10 на станке перед сборкой. Затем блок 10 фиксируется, смазываются шейки вала 9, поднимается призма 11, и каретка 4 перемещает распределительный вал 9 в блок в требуемое положение. При этом, когда шестерня на правом конце распределительного вала подходит к призме 2 и последняя опускается вниз, правый конец вала уже поддерживается призмой 14.

Каретка 4 перемещается вправо и влево штоком гидроцилиндра 12. На конце штока закреплена тяга 5 с тарированной пружиной 6 на определенное усилие. Если при перемещении кареткой 4 распределительного вала 9 в блок 10 усилие увеличивается больше допустимого, необходимого для нормального ввода вала в блок, то каретка 4 останавливается, пружина 6 сжимается и палец 8, закрепленный на тяге 5, нажимает на ролик конечного выключателя 7, который подает команду на

останов станка и включение аварийного сигнала (лампы). При такой остановке станка оператор-сборщик в наладочном цикле перемещает каретку 4 в левое исходное положение, снимает дефектный вал и автоматический цикл работы станка возобновляется.

На рис. V.23 дана схема работы станка для установки коленчатого вала в блок. Станок состоит из станины 1, на которой расположено приспособление 2 подъемно-поворотного устройства 12, загрузочной позиции 9, коленчатого вала и механизма 8 для установки шайбы упорного подшипника.

Блок цилиндров подается на рабочую позицию станка штанговым транспортером 3, а коленчатый вал — транспортером 10, расположенным параллельно транспортеру 3.

На рабочей позиции станка блок цилиндров перемещается штоком цилиндра 4 к упору 15. На конечной позиции транспортера 10 на коленчатый вал надевается шайба упорного подшипника с помощью загрузочного устройства. В магазине 22 загрузочного устройства шайбы упорного подшипника установлены пакетом и поджимаются диском на конце штока пневмоцилиндра 23. Шайбы из магазина 22 штоком гидроцилиндра 21 по одной штуке перемещаются на загрузочную позицию. На загрузочной позиции шток пневмоцилиндра 24 толкателем 25 устанавливает шайбу на конец коленчатого вала.

Коленчатый вал устанавливается в блок подъемно-поворотным устройством 12, состоящим из механизмов подъема, поворота и захвата вала. Перемещение подъемно-поворотного устройства по вертикали производится гидроцилиндром 13 через ролик 11. Поворот подъемного устройства производится от штока гидроцилиндра через рейку 5, шестерню 6, вал 7, в пазу которого перемещается шпонка, жестко соединенная с устройством 12.

На подъемно-поворотном устройстве 12 консольно закреплена планка, на которой установлены клещи, зажимающие коленчатый вал за шатунные шейки. Зажим клещами коленчатого вала производится под действием пружин 16 и веса вала. Разжим клещей происходит при перемещении вниз поршней 17 гидроцилиндров 14, штоки которых через подвески 18 разводят рычаги 20 клещей, расположенных на оси 19.

После установки шайбы упорного подшипника на коленчатом валу на загрузочной позиции 9 устройство 12 зажимает коленчатый вал и поднимает его на высоту 1, затем поворачивается на  $180^\circ$  и, опускаясь на величину 1, устанавливает коленчатый вал в блок цилиндров. Далее клещи разжимаются, устройство поднимается на высоту 1, поворачивается на  $180^\circ$  и занимает исходное положение. Затем цикл работы станка повторяется.

На рис. V.24 дана схема станка для установки в блоке шатунно-поршневой группы. Этот станок является полуавтоматом, так как на станке автоматически поворачивается блок цилиндров на  $45^\circ$ , а установка шатунно-поршневой группы производится вручную. Транспортирование двигателя производится в положении I, сборка левой поршневой группы — в положении II, сборка правой поршневой группы — в положении III.

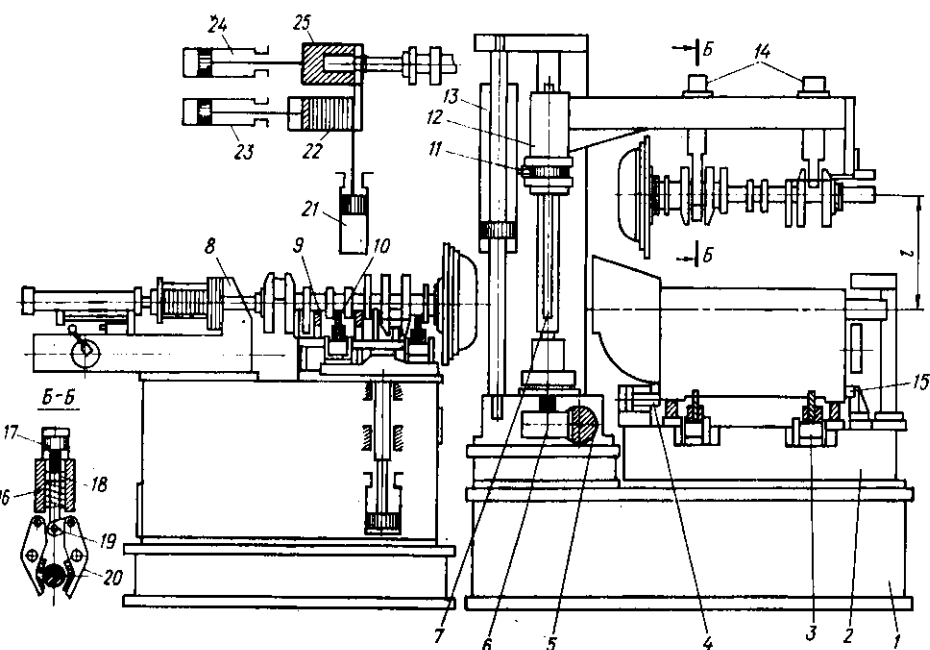


Рис. V.23. Схема автоматического станка для установки и под сборки коленчатого вала двигателя автомобиля

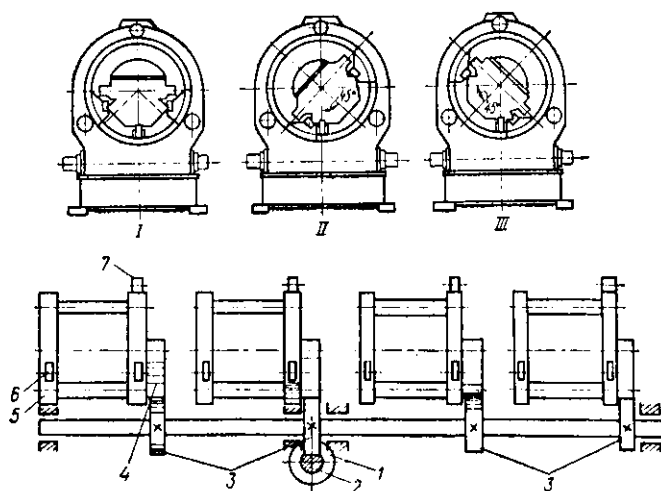


Рис. V.24. Схема полуавтоматического станка для сборки шатунно-поршневой группы двигателя автомобиля

Правая и левая поршневые группы собираются на двух станках. Каждый станок имеет четырехпозиционный барабан с горизонтальной осью вращения, параллельной оси сборочной линии. На каждой из четырех позиций барабана устанавливается один комплект поршня с шатуном в сборе. Четыре позиции 5 барабана поворачиваются на  $45^\circ$  одновременно от штока гидроцилиндра 1 через рейку 2, шестерни 3 и зубчатые секторы 4. Поворотная часть каждой позиции 5 барабана установлена на роликах 6, а ролик 7 не допускает смещения поворотной части по вертикали.

После ручной установки шатунно-поршневой группы в блок двигателя оператор нажимает кнопку *Пуск* на оперативном пульте, позиции 5 барабана автоматически поворачиваются в положение 1 для транспортирования, и цикл повторяется.

Транспортер блока при ходе вперед перемещает собранные двигатели из позиции барабана и подает новые для сборки. При любом положении двигателя при транспортировке и сборке транспортная штанга проходит через поворотные устройства как одно целое.

Система управления автоматизированной сборочной линией устроена так, что на всех рабочих позициях с ручной сборкой имеются оперативные пульты управления с кнопками *Пуск*. Каждый сборщик после окончания своей операции нажимает кнопку *Пуск* на своем пульте. Ход транспортера линии вперед возможен только после нажатия кнопки *Пуск* всеми сборщиками. На каждом пульте сборщика имеются красная и зеленая лампочки. Кнопка *Стоп* на оперативных пультах сборщиков позволяет остановить сборку.

На всех автоматических сборочных станках установка деталей и узлов на двигатель производится автоматически. Габариты всей линии  $117 \times 8 \times 3,2$  м.

## Глава VI

# ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ

---

### § VI.1. Краткий обзор

Автоматические средства управления механизмами, выполняющими технологические процессы обработки, сборки и транспортирования, позволяют резко сократить трудоемкость и поднять качество продукции. Например, автоматизация процесса изготовления поворотных кулаков автомобиля ЗИЛ-130 позволяет избежать появления некондиционной продукции уже в течение многих лет. Тем не менее, начиная с послевоенного времени, имеется также немало примеров, когда применение сложных и дорогих автоматических систем оказалось неоправданным и предприятия вынуждены были впоследствии от них отказываться, понеся соответствующие убытки. Причиной тому является необоснованное увлечение новизной техники и объемом автоматизации в ущерб экономически целесообразным решениям.

Одним из первых трудов в технологии машиностроения, обосновавших применение автоматизированного оборудования с позиций экономической целесообразности, была книга проф. докт. техн. наук Демьянюка Ф. С. [1], переведенная на иностранные языки рядом зарубежных стран. В этой книге автор рекомендует применение в цехах передовой автоматизированной техники при условии окупаемости дополнительных вложений за счет экономии основной заработной платы в течение приемлемого периода времени, например двух-трех лет.

В свете решений XXIV и предыдущих съездов КПСС, а также пленумов ЦК КПСС перед проектными организациями неоднократно ставятся важные задачи по повышению выпуска продукции, росту производительности труда, облегчению и оздоровлению труда при сокращении сроков окупаемости капитальных вложений по сравнению с лучшими достижениями отечественной и зарубежной науки и техники.

Экономическая эффективность капиталовложений и новой техники принадлежит к числу важнейших проблем социалистической экономики. В 1960 г. были созданы типовые методики, определяющие экономическую эффективность капиталовложений и новой техники в народном хозяйстве СССР с учетом специфики отдельных отраслей [2], явившихся, несмотря на ряд незатронутых вопросов, весьма ценным вкладом в решение поставленных задач. Указанные типовые методики легли в основу всех более поздних трудов, связанных с вопросом установления экономической эффективности новой техники, в том числе и автоматизации процессов производства, из которых следует упомянуть методику ЭНИМСа, а также наиболее фундаментально разработанную



научно-исследовательской лабораторией Ленинградского института им. Тольятти «Методику расчета экономической эффективности новой техники в машиностроении» [3].

Типовая методика в переработанном виде, с учетом задач по совершенствованию планирования и усилению экономического стимулирования производства, утверждена Госпланом СССР и Президиумом АН СССР от 8 сентября 1969 г. [5]. Методикой предусматриваются расчеты общей (абсолютной) экономической эффективности капитальных вложений и сравнительной их экономической эффективности.

**Общая экономическая эффективность.** Для оценки ее по отдельным предприятиям и объектам, мероприятиям и проблемам рекомендуют показатель  $\mathcal{E}_{к.п}$  в виде отношения прибыли к капитальным вложениям:

$$\mathcal{E}_{к.п} = (Ц - С) / K,$$

где  $Ц$  — стоимость годового выпуска продукции (по проекту) в оптовых ценах предприятия (без налога с оборота);  $С$  — себестоимость годового выпуска продукции;  $K$  — капитальные затраты по осуществлению мероприятия, проблемы.

Для характеристики общей экономической эффективности определяют сроки окупаемости  $T_{к.с}$  (лет) общих объемов капиталовложений от снижения себестоимости:

$$T_{к.с} = K / (C_1 - C_2),$$

где  $C_1$  и  $C_2$  — годовые себестоимости продукции до и после осуществления капитальных вложений.

Наряду с указанными анализируют факторы, влияющие на изменение эффективности  $\mathcal{E}_{к.п}$ , к числу которых относятся: а) изменение трудоемкости (высвобождение рабочих); б) изменение материалоемкости (высвобождение ресурсов); в) изменение фондоемкости (капитальных вложений).

**Сравнительная экономическая эффективность капитальных вложений.** Для оценки ее рекомендуют определять минимум приведенных затрат. Приведенные затраты по каждому варианту представляют собой сумму текущих затрат (себестоимости) и капитальных вложений, приведенных к одинаковой размерности в соответствии с нормативом эффективности:

$$C_i + E_n K_i = \text{минимум (или } C_i + T_n K_i = \text{минимум),}$$

где  $C_i$  — текущие (годовые) затраты (себестоимость) соответственно;  $E_n$  — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (величина, обратная нормативному сроку окупаемости вложений  $T_n$ );  $K_i$  — капитальные вложения по каждому варианту.

Показатели  $C_i$  и  $K_i$  применяют как в виде полной суммы капитальных вложений и себестоимости годовой продукции, так и в виде удельных величин на единицу продукции.

Нормативный коэффициент эффективности по народному хозяйству в целом установлен на уровне не ниже 0,12. При необходимости, по соображениям стимулирования технического прогресса, учета неодинаковых уровней зарплаты, различий уровня цен, долговремен-

ности строительных программ допускаются отклонения от установленного значения по согласованию с Госпланом СССР.

По типовой методике 1961 г. рекомендовалось устанавливать нормативные сроки окупаемости по мероприятиям, связанным с частичной механизацией и автоматизацией производства, до трех лет ( $E_{н.ч} = 0,33$ ), а по мероприятиям, связанным с перестройкой технологических схем предприятий, существенной заменой оборудования до шести лет ( $E_{н.ч} = 0,165$ ). В связи с новым уровнем цен на оборудование (с 1967 г.) значение нормативного коэффициента понижается.

При определении величины экономического эффекта от внедрения мероприятий в конкретных условиях за базу сравнения принимают показатели наиболее распространенных методов решения данной задачи, а при внедрении новой техники — показатели старой техники. В случае расчета эффективности необходимо соблюдать сопоставимость затрат сравниваемых вариантов по роду производств, времени и получения эффекта, ценам и методам исчисления. Так, если по сравниваемым вариантам капиталовложения осуществляются в разные сроки, а текущие затраты изменяются во времени, то сравнивать варианты следует приведением затрат более поздних лет к текущему моменту путем применения коэффициента приведения:

$$B = (1 + E_{н.ч})^{-t},$$

где  $E_{н.ч}$  — норматив, значение которого в условиях действующего порядка начисления амортизации основных фондов устанавливают в размере 0,08 (пояснение дано при описании графо-аналитического способа расчета экономической эффективности);  $t$  — период времени приведения, годы.

Рекомендуют пользоваться отраслевыми методиками при приведении в сопоставимость базового варианта по показателю себестоимости к вновь устанавливаемому объему производства. В частности, приведение себестоимости базового варианта к значению, соответствующему проектируемой годовой программе, при укрупненных способах расчета может быть выполнено, основываясь на ее структуре, по итогам сметы производства:

$$C_{с.кор} = C_{с.баз} \left[ \frac{M_{баз}}{100} + \frac{З_{баз}}{100} (1 - \Delta) + \frac{H_{баз}}{100} \cdot \frac{0,65 (\gamma + \eta_{и} - 1) + 0,35 \gamma (1 - \Delta)}{\gamma} \right],$$

где  $C_{с.кор}$  — скорректированная исходная себестоимость базового варианта  $C_{с.баз}$  в условиях большей проектируемой программы без изменения исходного материала и состава заготовок;  $M$ ,  $З$  и  $H$  — представляют собой структуру сметы производства:  $M$  — стоимость материалов, полуфабрикатов и готовых изделий (за вычетом возвратной стоимости стружки);  $З$  — основной фонд заработной платы производственных рабочих;  $H$  — накладные расходы базового варианта

$$(M_{баз} + З_{баз} + H_{баз} = 100\% \text{ сметы}); \gamma = N_{пр} / N_{баз},$$

в котором  $N$  представляют собой объемы производства, соответственно проектируемого и базового;  $\eta_{и}$  — средний коэффициент использования оборудования во времени по базовому варианту;  $\Delta = (s_p - s_{р.баз}) / s_{р.баз}$ ,

в котором  $s_p$  — коэффициенты многостаночного обслуживания соответствующих объемов производства  $N_{пр}$  и  $N_{баз}$  при сохранении уровня технологии.

Коэффициент многостаночного обслуживания представляет собой отношение станкочемкости к трудоемкости. Принимают  $\Delta = 0,05 \div 0,2$ .

**Пример VI.1.** Себестоимость крышек коренных подшипников М-402 составляла 1150,11 руб. за 1000 комплектов при программе (округленно) 80 тыс. комплектов в год. Структура себестоимости:

|                                                      |             |                    |
|------------------------------------------------------|-------------|--------------------|
| Полуфабрикаты . . . . .                              | 860,95 руб. | $M_{баз} = 75\%$   |
| Основная зарплата производственных рабочих . . . . . | 77,05 руб.  | $Z_{баз} = 6,7\%$  |
| Накладные расходы . . . . .                          | 212,11 руб. | $H_{баз} = 18,3\%$ |

Итого . . . . . 1150,11 руб.  $C_{баз} = 100\%$

Трудоемкость за 1000 комплектов составляла 215,8 ч, обработка деталей выполнялась на 15 станках. Загрузка определяющих станков составляла 80 и 95%, в то время как средняя загрузка основных операций в пролете  $\eta_n = 39,65\%$ . Основную часть простоев станков (48%) составляла занятость рабочих на операциях в условиях многостаночного обслуживания.

**Решение.** При этом значение коэффициента многостаночного обслуживания

$$s_{p. баз} = \frac{15 \cdot 4000 \cdot 0,3965}{215,8 \cdot 80} = 1,38.$$

В случае повышения программы производства до 120 тыс. комплектов в год при неизменной технологии, а следовательно, и структуре оборудования, использовании рабочих также полностью потребное количество оборудования составит 17 единиц, а загрузка его возрастет до 59%. Коэффициент многостаночного обслуживания изменится до

$$s_p = 17 \cdot 4000 \cdot 0,59 / 215,8 \cdot 120 = 1,52;$$

тогда

$$\Delta = (1,52 - 1,38) / 1,38 = 0,10.$$

Приведенная (скорректированная) себестоимость составит

$$\begin{aligned} C_{с.кор} &= 1150,11 \left[ 0,75 + 0,067(1 - 0,1) + 0,183 \times \right. \\ &\times \left. \frac{0,65(1,5 + 0,3965 - 1) + 0,35 \cdot 1,5(1 - 0,1)}{1,5} \right] = 1150,11 \cdot 0,84 = \\ &= 973 \text{ руб. за 1000 комплектов,} \\ &\text{где } \gamma = 120/80 = 1,5. \end{aligned}$$

Такой результат является закономерным, поскольку всякое увеличение программы выпуска приводит к улучшению экономических показателей, в связи с тем что так называемые условно постоянные затраты как по линии эксплуатации, так и по линии капиталовложений будут уменьшаться на единицу продукции [3].

Пользуясь методикой Ленинградского экономического института, к условно постоянным расходам в эксплуатации относят большую часть общецеховых расходов, связанных с амортизацией и ремонтом специального оборудования и оснастки и его обслуживанием, затраты на возобновление инструмента специального назначения, содержание, ремонт и амортизацию помещения, необходимого для указанного оборудования, в том числе основную и дополнительную зарплату цехового

персонала, работающего на этом оборудовании, начисления и соответствующие общезаводские расходы.

К условно постоянным расходам в капитальных вложениях относят стоимость специального оборудования, оснастки и помещения, занятого этим оборудованием.

К условно переменной части себестоимости относят затраты на основные и вспомогательные материалы технологического назначения, зарплату производственных рабочих с начислениями, стоимость технологической энергии, амортизацию универсального оборудования, включая его содержание и ремонт, амортизацию и ремонт универсальной оснастки, ремонт и содержание помещения, занятого универсальным оборудованием, и соответствующие затраты на вспомогательный персонал. Эти расходы на оборудование, оснастку и помещение включают в условно переменную часть затрат по эксплуатации лишь в тех случаях, когда эти средства будут догружаться полностью при изготовлении других изделий, в противном случае их относят к постоянной части затрат.

К условно переменным расходам в капвложениях относят стоимость универсального оборудования, оснастки и соответствующего помещения при соблюдении указанных условий.

При автоматизации процессов обработки путем замены прежней техники следует иметь в виду, что новая техника должна быть настолько эффективна, чтобы окупить не только вызываемые ею капитальные вложения, но и тот ущерб, который понесет хозяйство от выбытия неамортизированного оборудования, за вычетом реализуемой суммы (хотя бы по цене лома). Чем меньший срок успело проработать старое оборудование, тем более эффективной должна быть новая техника, поскольку средства, затраченные в свое время на приобретение прежней техники, получают малую степень погашения.

В соответствии с Типовой методикой оценки экономической эффективности новой техники результаты внедрения автоматического управления наиболее рельефны при графо-аналитическом методе расчета, изложенном акад. В. А. Трапезниковым. Процесс автоматизации представлен им состоящим из трех последовательных этапов. Начиная с момента принятия решения об автоматизации, процесс завершается моментом пуска системы, включающим все необходимые затраты. Вторым этапом, начинающийся с момента ввода автоматического управления, когда автоматизация начинает давать экономический эффект, простирается до момента окупаемости затрат на его создание. После этого следует третий этап, когда затраты полностью окупились и дают чистый доход от автоматизации.

Динамика изменения расходов и роста экономического эффекта по времени представлена диаграммой (рис. VI.1). Кривая А, характеризующая затраты первого этапа, отражает увеличение темпа затрат по мере приближения момента пуска и свидетельствует о некотором расширении фронта работ. Срок создания системы  $t_y$  по координате времени характеризуется отрезком 0—2, а затраты  $C_y$  на разработку, создание и пуск автоматизации по координате стоимости — отрезком 2—1.

С момента пуска система управления начинает давать экономический эффект (линия Д) и одновременно начинаются расходы на ее содержание (обслуживание, ремонт, амортизация) — линия 1—3. Вычитание расходов из доходов определяется линией 2—И, а исключение капитальных затрат из дохода заставляет перенести начало линии И из точки 2 в точку 1, после чего она займет новое положение — линия Э<sub>пр</sub>. Точка 2а получается от пересечения линии Э<sub>пр</sub> с осью времени  $t$  и характеризует срок окупаемости системы автоматического управления для цеха.

Однако в этой диаграмме не учтен прирост средств, пущенных в обращение, в виде ежегодного процента от суммы вклада (как это имеет

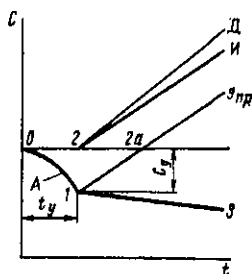


Рис. VI.1. Динамика изменения расходов при автоматизации

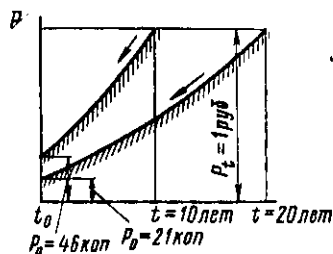


Рис. VI.2. Пример приведения эффективности затрат к одному времени

место, например, в сберегательной кассе). Таким образом, за срок  $t$  лет начальный вклад  $P_0$ , будучи пущен в обращение, получит прирост

$$P_t = P_0 (1 + E_{н.п})^t.$$

Из этого выражения можно также установить начальную величину  $P_0$ , зная  $P_t$ :

$$P_0 = P_t (1 + E_{н.п})^{-t}.$$

Параметр  $(1 + E_{н.п})^{-t} = B$  называют *функцией выгод* и используют для пересчета средств с масштаба одного момента времени на масштаб другого, в чем и заключается задача приведения всех доходов и расходов к одному моменту времени. Знак показателя степени  $t$  этой функции зависит от направления движения по времени. Он является положительным при движении по течению времени и отрицательным при движении против течения времени.

С помощью функции выгод кривые (рис. VI.2) показывают, что экономия в 1 руб., полученная через 10 лет, эквивалентна лишь 46 коп., сэкономленным сегодня. А если экономия в 1 руб. сможет быть полученной лишь через 20 лет, то ее ценность с сегодняшних позиций упадет до 21 коп. Соотношения  $\delta$  между величинами доходов  $P_t$ , полученных через ряд лет, и их ценностью  $P_0$  в настоящее время следующие:

|                    |       |       |      |      |       |      |      |      |      |
|--------------------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|
| $t$ , лет          | 1     | 2     | 3    | 4    | 5     | 10   | 15   | 20   | 25   |
| $\delta = P_0/P_t$ | 0,925 | 0,835 | 0,79 | 0,73 | 0,675 | 0,46 | 0,31 | 0,21 | 0,14 |

Из сказанного следует, что доходы или издержки, связанные с внедрением автоматизации, должны учитывать изменения, приносимые фактором времени вкладываемых или извлекаемых средств. С этих позиций, когда доходы от автоматизации сами изменяются во времени, как, например, экономия эксплуатационных издержек (линия  $I$  на рис. VI.1), они не изменяются по прямолинейному закону. Чтобы

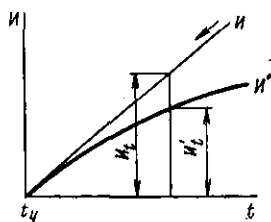


Рис. VI.3. Изменение доходов с учетом фактора времени

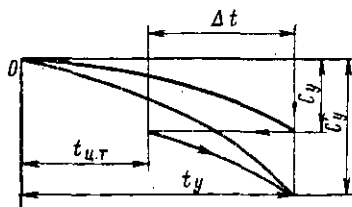


Рис. VI.4. Оценка влияния фактора времени при вложении общей суммы неравными частями

выразить эти доходы в любой момент времени  $t$  соответствующим моменту  $t_y$ , необходимо приращение координат каждой точки линии  $I$  умножить на соответствующий коэффициент  $\delta$ . В результате получится кривая  $I'$  (рис. VI. 3).

Сложнее обстоит дело с оценкой влияния фактора времени при вложении общей суммы затрат неравными частями, когда изменение са-

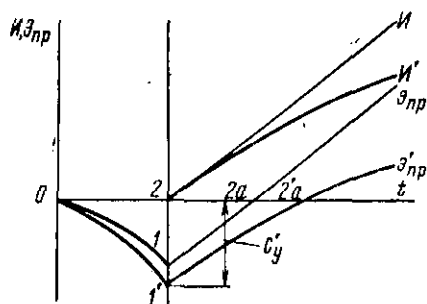


Рис. VI.5. Диаграмма экономической эффективности с учетом влияния фактора времени

мого вклада происходит не по прямолинейному (как экономия эксплуатационных издержек), а по криволинейному закону (как,

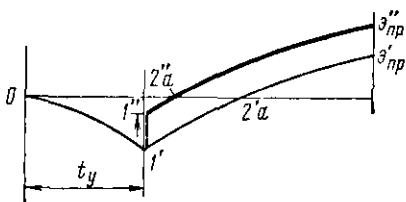


Рис. VI.6. Влияние учета дополнительных мощностей, сопутствующих автоматизации, на экономическую эффективность

например, вложения  $C_y$ , см. рис. VI.1). Чтобы упростить пересчет на масштаб времени  $t_y$  (приведение к моменту пуска  $t_y$ ), можно воспользоваться искусственным приемом, суть которого состоит в том, что суммарную стоимость  $C_y$  системы автоматизации переносят в точку  $t_{ц.т.}$ , соответствующую центру тяжести затрат по годам, и рассматривают как единовременный (мгновенный) расход. Это позволяет определить приведенные затраты  $C'_y = C_y (1 + E_{ц.т.})^{\Delta t}$  на создание системы, в которых показатель степени  $t$  заменен параметром  $\Delta t = t_y - t_{ц.т.}$ , приближенно принимаемый равным  $0,5t_y$  (рис. VI.4).

При учете влияния фактора времени диаграмму экономической эффективности автоматизации (см. рис. VI.4) можно представить в виде кривых (рис. VI.5). Зависимость  $\mathcal{E}_{\text{пр}}$  характеризует приведенный экономический эффект, полученный цехом (заводом) в результате внедрения автоматизации. Точка  $2'a$  пересечения этой кривой с осью времени  $t$  характеризует срок окупаемости автоматизации в более строгой оценке.

Приведенный графо-аналитический метод определения сроков окупаемости затрат на автоматизацию не включает дополнительных выгод, которые часто получает предприятие и народное хозяйство от сокращения брака и повышения общей производительности, что равносильно созданию дополнительных мощностей.

Оценку дополнительных мощностей в денежном выражении нужно рассматривать, как получаемую в момент  $t_y$  — ввода автоматической системы в действие. Этим самым точку  $I'$  на диаграмме эффективности переносят по вертикали вверх (соответственно масштабу цен) в точку  $I''$ , например. При этом кривая экономической эффективности  $\mathcal{E}_{\text{пр}}$  пройдет параллельно и выше  $\mathcal{E}_{\text{пр}}$ . Точка, соответствующая окупаемости затрат, переместится из  $2'a$  в  $2''a$  (рис. VI.6).

## § VI. 2. Методика расчетов эффективности автоматизации \*

А. Для конкурирующих вариантов автоматизации, осуществляемых за счет средств фонда развития производства и банковских кредитов, полный расчет себестоимости продукции выполнять нецелесообразно и достаточно ограничиться расчетами технологической себестоимости [3] (табл. VI.1).

Б. Рассчитывают приведенные капитальные затраты для всех сопоставляемых вариантов по установленному для отрасли нормативному коэффициенту эффективности, например 0,15 (табл. VI.2).

В. Определяют приведенные затраты по минимуму их из выражений  $C_i + E_{\text{п}} K_i$ .

Г. При определении величины экономической эффективности в конкретных условиях типовой методикой предусматривается принимать за базу сравнения показатели заменяемой техники. Соответственно этому рассчитывают изменение капиталовложений варианта, имеющего минимум приведенных затрат и того, что подлежит замене, а именно:  $K_{i \text{ опт}} - K_{i \text{ баз}} = \Delta K$ . Соответствующие изменения технологической себестоимости рассчитывают по выражению

$$\Delta C = C_{i \text{ опт}} - C_{i \text{ баз}},$$

если получается  $+\Delta C$ , то это перерасход, а если  $-\Delta C$ , то экономия.

Д. Определяют:

срок окупаемости дополнительных капиталовложений экономией на себестоимости из  $T_{\text{к.с}} = \Delta K / |\Delta C|$  (лет);

расчетную экономическую эффективность дополнительных капитальных вложений из  $E_p = \Delta C / \Delta K$  (руб/год/руб).

\* Из практики экономических расчетов эффективности технологических процессов по МКЗ.

## Расчет технологической себестоимости

| Статьи текущих затрат                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Сумма, руб.             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| <p>Заработная плата производственных рабочих с дополнительной зарплатой и начислениями:</p> $З_0 R_{\text{пр}} \cdot 1,06 \cdot 1,077 \cdot 12 = 13,7 \cdot З_0 R_{\text{пр}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $\Sigma З_0$            |
| <p>где <math>З_0</math> — среднемесячная основная зарплата производственных рабочих, руб.; <math>R_{\text{пр}}</math> — количество производственных рабочих при работе в две смены; 1,06 — коэффициент, учитывающий дополнительную зарплату; 1,077 — коэффициент, учитывающий начисления в соцстрах; 12 — число месяцев в году</p> <p>Зарплата наладчиков (аналогично)</p> $13,73_{\text{нал}} R_{\text{нал}}$                                                                                                                                                  | $\Sigma З_{\text{нал}}$ |
| <p>где <math>З_{\text{нал}}</math> — среднемесячная основная зарплата наладчиков; <math>R_{\text{нал}}</math> — количество наладчиков при работе в две смены</p> <p>Затраты на силовую энергию</p> $\Sigma M_y \eta_i \eta_c \Phi_d c_э$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $\Sigma э$              |
| <p>где <math>\Sigma M_y</math> — установленная мощность токоприемников; <math>\eta_i = 0,7 \div 0,8</math> — коэффициент использования оборудования во времени (для цеха); <math>\eta_c = 0,3 \div 0,4</math> — коэффициент спроса для металлорежущего оборудования; <math>\Phi_d</math> — годовой фонд действительного времени работы оборудования, ч (округленно <math>\Phi_d = 4000</math> ч при двух сменах); <math>c_э</math> — стоимость 1 кВт · ч, руб. (например, 0,0105)</p> <p>Затраты на содержание производственной площади</p> $F_{\text{пр}} z_F$ | $Z_F$                   |
| <p>где <math>F_{\text{пр}}</math> — величина производственной площади, м<sup>2</sup>; <math>z_F</math> — затраты на содержание 1 м<sup>2</sup> производственной площади в год при двухсменной работе (например, 11 руб.)</p> <p>Затраты на содержание оборудования:</p> <p>механического</p> $\Sigma P_{\text{сл}} z_S$                                                                                                                                                                                                                                         | $Z_S$                   |
| <p>где <math>P_{\text{сл}}</math> — величина категории ремонтной сложности, рассчитываемая по единой системе планово-предупредительного ремонта (см. примечание); <math>z_S</math> — стоимость содержания 1 единицы ремонтной сложности в год при двухсменной работе (например, 15,3 руб.);</p> <p>энергетического</p> $\Sigma P_э z_э$                                                                                                                                                                                                                         | $Z_э$                   |
| <p>где <math>P_э</math> — величина категории ремонтной сложности энергоприемников, рассчитываемая согласно единой системы планово-предупредительного ремонта; <math>z_э</math> — стоимость содержания 1 единицы категории ремонтной сложности электрооборудования при двухсменной работе в течение года (например, 12,9 руб.).</p> <p>Амортизация здания</p> $K_F \cdot 0,025_1$                                                                                                                                                                                | $A_з$                   |



| Статьи текущих затрат                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Сумма, руб.                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <p>где <math>K_F = F_{\text{пр}} z_F</math> — стоимость производственной площади (<math>z_F</math> — стоимость 1 м<sup>2</sup> производственной площади, например 70—100 руб.; <math>F_{\text{пр}}</math> — требующаяся производственная площадь, м<sup>2</sup>; 0,025 — доля годовых затрат на амортизацию помещения, что соответствует проценту амортизации 2,5%)</p> <p>Амортизация оборудования</p> $K_0 \cdot 0,14,$ <p>где <math>K_0</math> — начальная стоимость оборудования без оснастки, включая стоимость автоматизации процесса обработки, упаковку, доставку и монтаж; 0,14 — соответствует проценту амортизации 14%</p> <p>Ежегодное списание технологической оснастки</p> $K_n \cdot 0,5,$ <p>где <math>K_n</math> — стоимость первого комплекта оснастки (при большом количестве оборудования принимают около 10% от стоимости его); 0,5 соответствует двум годам погашения затрат</p> | <p><math>A_0</math></p> <p><math>A_n</math></p> |
| Итого текущих затрат:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $C_i$                                           |

Таблица VI.2

## Расчет приведенных капитальных затрат

| Наименование расходов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Варианты |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Капиталовложения в оборудование (включая спецоснастку, а также стоимость выполнения проектных работ и автоматизации) <math>K_0</math></li> <li>2. Стоимость зданий и сооружений <math>K_z</math></li> <li>3. Стоимость транспортных устройств <math>K_{\text{тр}}</math></li> <li>4. Стоимость оборотных средств <math>K_{\text{об}}</math></li> <li>5. Реализуемые капиталовложения заменяемой техники по остаточной стоимости <math>K_{\text{реал}}</math></li> <li>6. Стоимость новых капиталовложений <math>K_i = \sum p (1 \div 4) - п 5</math></li> <li>7. Приведенные капиталовложения с учетом нормативного коэффициента <math>E_n K_i</math></li> </ol> |          |

При этом прирост прибыли, отнесенный на рубль затрат ( $E_p$ ), должен обеспечить внесение соответствующей платы за фонды, оплату кредита банка и создание фондов предприятия.

**Примечание.** Автоматизация технологических процессов сопровождается как заменой одного вида оборудования другим с большей степенью автоматизации и концентрации операций, так и реконструкцией имеющегося оборудования, добавлением автоматизирующих устройств. Как в том, так и в другом случае повышается

ремонтная сложность системы, требующая увеличения затрат по ремонту и обслуживанию.

Затраты, связанные с обслуживанием и ремонтом внедряемой автоматизации, по системе планово-предупредительного ремонта учитываются значением категорий ремонтной сложности механического оборудования, пневмогидравлических и электрических комплексов, включаемых

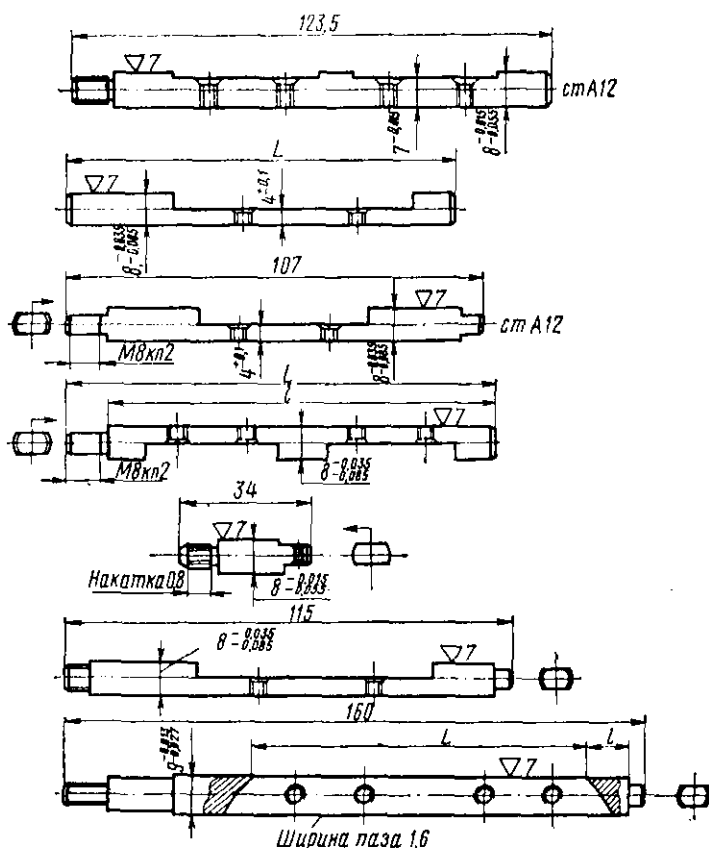


Рис. VI.7. Валики карбюраторов

в автоматизируемую систему, при установленной для данного предприятия среднегодовой стоимости одной единицы ремонтной сложности.

Рекомендуемые значения перечисленных величин следует выбирать из соответствующих таблиц, помещенных в Единой системе планово-предупредительного ремонта.

**Пример VI.2.** Рассчитать экономическую эффективность автоматизации.

Рис. VI.7 иллюстрирует 10 типоразмеров валиков карбюраторов, изготовление которых в действующем производстве осуществлялось на нескольких переналаживаемых поточных линиях, где использовались специальные и универсальные станки. Трудоемкость обработки типового валика на таком базовом варианте технологического процесса  $T = 1,0767$  мин.

Используя опыт завода и зарубежной техники, при разработке новых технологических процессов для программы 1,5 млн. валиков в год были составлены три варианта автоматизированных процессов.

А. В первый вариант, отражающий наиболее полно автоматизацию процесса, положена идея создания одного агрегата, на котором, при минимальных переналадках, можно последовательно обрабатывать все 10 типоразмеров валиков. Представление о таком агрегате дает рис. VI.8.

Заготовку валика, нарубленную из прутка на кривошипном прессе и пропущенную через бесцентрово-шлифовальный станок до размера, заданного чертежом (когда

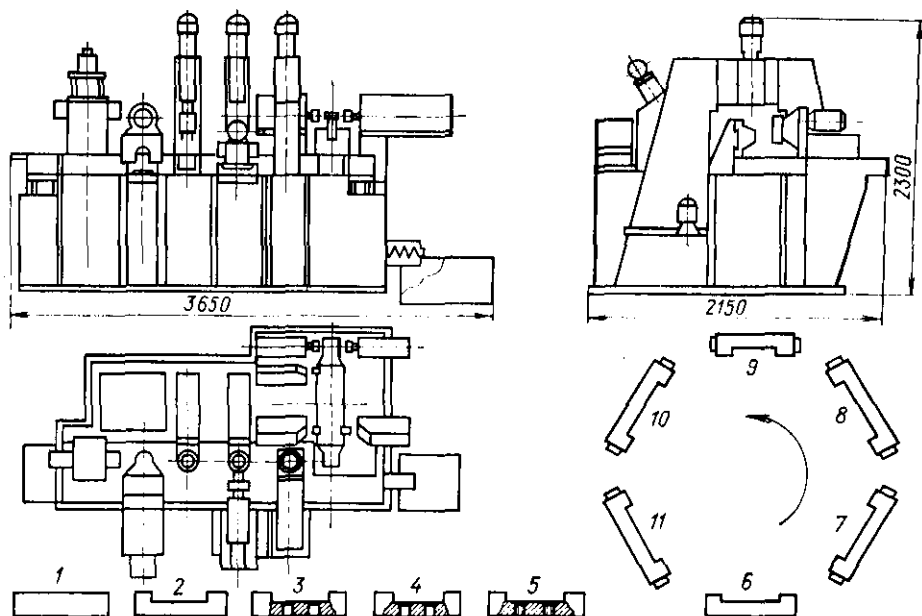


Рис. VI.8. Автоматический агрегат для изготовления валиков карбюраторов:

позиции: 1 — установка заготовки в спутник; 2 — фрезерование паза; 3 — сверление двух отверстий; 4 — фрезерование торцов, зенкование отверстий; 5 — нарезание резьбы в отверстиях; 6 — загрузка агрегатных позиций; 7 — проточка концов; 8 — нарезание резьбы; 9 — фрезерование лысок; 10 — зачистка резьбы; 11 — обдувка сжатым воздухом

нельзя получить гладко тянутую сталь нужного размера), укладывают в магазин агрегата, откуда она автоматически передается и закрепляется в одноместном приспособлении-спутнике, а затем обрабатывается на всех позициях, включая позиции поворотного стола, без раскрепления. Полностью обработанная деталь возвращается со спутником к началу цикла, где производится раскрепление и сталкивание ее в лоток при установке новой заготовки. Трудоемкость полной обработки валика  $T = 0,273$  мин, поскольку один рабочий легко обслуживает три агрегата, требующихся по программе.

Б. Вторым вариантом предусмотрено использование вместо указанного агрегата три отдельных типа автоматизированных станков, в том числе специальный автомат для точения и нарезания концов, протяжный станок тоннельного типа для протягивания паза и лысок и агрегатный станок для остальной обработки. С учетом многостаночного обслуживания (7 станков в этом случае), а также прессы для рубки заготовок и бесцентрово-шлифовального станка трудоемкость обработки по варианту Б  $T = 0,665$  мин.

В. В качестве третьего варианта предусматривалось шлифование прутков длиной 3—3,5 м на бесцентрово-шлифовальном станке, затем обработка деталей

из прутка на специальных автоматах, включающих отрезку, торцовку, обтачивание концов и нарезание резьбы с одного конца, при выполнении всех остальных операций на 8 позиционных агрегатных станках. При общей потребности в 7 станках, с учетом многостаночного обслуживания, трудоемкость обработки валика  $T = 0,463$  мин.

Решение 1. Технологическую себестоимость изготовления валиков можно представить табл. VI.3.

Таблица VI.3

Расчет технологической себестоимости

| Статьи затрат                                                                                    | Стоимость по вариантам, руб. |                |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------|-------|-------|
|                                                                                                  | Д                            | А              | Б     | В     |
| 1. Основная зарплата производственных рабочих исходя из среднемесячной зарплаты 132 руб. . . . . | 22850                        | 5540           | 13350 | 9150  |
| 2. Дополнительная зарплата . . . . .                                                             | 1370                         | 332            | 800   | 549   |
| 3. Начисления в соцстрах . . . . .                                                               | 1860                         | 452            | 1090  | 752   |
| 4. Затраты на электросиловую энергию . . . . .                                                   | 836                          | 605            | 738   | 563   |
| 5. Содержание производственных площадей . . . . .                                                | 1454                         | 1100           | 1440  | 1500  |
| 6. Содержание оборудования . . . . .                                                             | 3575                         | 5730           | 3415  | 5735  |
| 7. Амортизация здания . . . . .                                                                  | 231                          | 175            | 230   | 238   |
| 8. Амортизация оборудования . . . . .                                                            | 5340                         | 12450          | 7120  | 10400 |
| 9. Списание технологической оснастки . . . . .                                                   | 946                          | Включено в п.8 |       |       |
| Итого $C_i$ . . . . .                                                                            | 38462                        | 26394          | 28183 | 28887 |

Примечание. Стоимость зарплаты наладчиков принята одинаковой и не включается. Д — действующий вариант.

2. Капитальные вложения по вариантам представлены в табл. VI.4.

Таблица VI.4

Расчет капитальных вложений

| Наименование расходов                                                                      | Варианты, руб.            |                 |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------|-------|-------|
|                                                                                            | Д                         | А               | Б     | В     |
| 1. Капиталовложения в оборудование (включая спецоснастку) . . . . .                        | 37846                     | 91834           | 52334 | 76315 |
| 2. Здания и сооружения по цене 50 руб/м <sup>2</sup> . . . . .                             | 6640                      | 5000            | 6500  | 6800  |
| 3. Транспортные устройства . . . . .                                                       | —                         | Включены в п. 1 | 500   | 500   |
| 4. Оборотные средства . . . . .                                                            | Изменения несутельственны |                 |       |       |
| 5. Реализуемые капитальные вложения заменяемой техники (по остаточной стоимости) . . . . . | —                         | 14194           |       |       |
| 6. Капиталовложения $K_i$ . . . . .                                                        | 44486                     | 82640           | 45180 | 69421 |
| 7. Приведенные капвложения $0,15K_i$ . . . . .                                             | 6670                      | 12360           | 6770  | 10400 |

3. Приведенные затраты характеризуются  $C_i + E_n K_i$  (табл. VI.5).

Расчет приведенных затрат

| № п.п.  | Варианты | Значения приведенных затрат | %    |
|---------|----------|-----------------------------|------|
| Базовый | Д        | $38462 + 6670 = 45132$      | 100  |
| 1       | А        | $26394 + 12360 = 38754$     | 84,5 |
| 2       | Б        | $28183 + 6770 = 34953$      | 76,7 |
| 3       | В        | $28887 + 10400 = 39287$     | 86   |

Минимуму приведенных затрат отвечает вариант Б, что в значительной степени является конъюнктурным результатом установленных высоких цен на новую технику относительно уровня заработной платы.

В типовой методике указывается, что при определении экономической эффективности следует производить анализ факторов, влияющих на ее повышение или понижение. К числу их относится изменение трудоемкости продукции [5]. В сопоставляемых вариантах этот показатель выглядит так:

|                             | Д      | А     | Б     | В     |
|-----------------------------|--------|-------|-------|-------|
| Трудоемкость, мин . . . . . | 1,0767 | 0,273 | 0,665 | 0,463 |
| То же, % . . . . .          | 100    | 25,15 | 61,6  | 43    |

Поскольку данное сопоставление подтверждает преимущество варианта А над вариантом Б, дальнейшие расчеты проводят при сравнении вариантов А и Б с вариантом Д.

4. Изменение текущих расходов Д и А, Д и Б представлено в табл. VI.6.

Таблица VI.6

Расчет текущих расходов по вариантам

| По вариантам         | Суммы затрат в год, руб. | Экономия (—) или перерасход (+), руб. |
|----------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| $A - Д = \Delta C'$  | $26394 - 38462$          | -12068                                |
| $B - Д = \Delta C''$ | $28183 - 38462$          | -10279                                |

5. Дополнительные капиталовложения вариантов А и Б в сравнении с действующим вариантом Д технологического процесса:

варианты А и Д:  $82\ 640 - 44\ 486 = 38\ 154$  руб.;

варианты Б и Д:  $45\ 180 - 44\ 486 = 694$  руб.

6. Сроки окупаемости дополнительных затрат (лет):

вариант А:  $38\ 154 : 12\ 068 = 3$  года (меньше 6,6 лет);

вариант Б:  $694 : 10\ 279 = 0,0665$  года (также меньше 6,6 лет).

7. В соответствии с § 32 Типовой методики сравнительная экономическая эффективность вариантов капиталовложений на действующих предприятиях, производимых за счет средств фонда развития производства и кредитов банка по внедрению новой техники и автоматизации, предусматривает, чтобы полученная в результате проведения мероприятий прибыль обеспечивала внесение соответствующей платы за фонды, оплату кредитов банка, а также создание фондов предприятия.

Определяя плату за фонды в размере 6% годовых, кредит банка 3%, а на создание фондов предприятия 18%, получим необходимую рентабельность дополнительных вложений в сумме:

*Вариант А.* Плату за фонды и на создание фондов предприятия, а также плату за кредит банка необходимо исчислять от полной суммы капиталовложений, вкладышаемых дополнительно к капиталовложениям по варианту Д, а именно с суммы:  $96\ 834 - 44\ 486 = 52\ 348$  руб.

Сумма отчислений

$52\ 348 \cdot 0,27 = 14\ 130$  руб.

Вариант Б (аналогично).

Дополнительная сумма платежей по фондам

59 374 — 44 486 = 14 888 руб.

Сумма отчислений

14 888 · 0,27 = 4020 руб.

При сопоставлении с прибылью получим для вариантов А и Б соответственно:

14 130 — 12 068 = +2062 руб. (перерасход),

4 020 — 10 279 = —6251 руб. (экономия).

Очевидно, что для запроектированных соотношений стоимости новой техники и зарплаты рабочих предпочтение имеет вариант Б.

Дополнительные условия, связанные со сроками внедрения новой техники, характеризуются следующим. Период времени  $t_y^*$  для осуществления варианта Б, при котором используют типовое оборудование, от момента принятия решения тре-

бует не более двух лет. Осуществление варианта А требует новых компоновочных решений на базе стандартизованных силовых головок и, по данным завода станкостроения, необходимо 4 года для реализации в металле, т. е.  $t_y^* = 4$ .

Учитывая неравномерность вложений при реализации варианта Б с дополнительной стоимостью затрат  $C_y = 14\,888$  руб. (и последующим возмещением банку 14 194 руб., поскольку старая техника должна работать до вступления в строй новой техники), можно считать с вероятностью смещения центра тяжести расходов на середину второго года из общих двух лет =  $t_y$ , необходимых для осуществления варианта, т. е.  $\Delta t = 0,25 t_y$ .

Тогда

$$\begin{aligned} C_y' &= C_y (1 + E_{н.п})^{\Delta t} = \\ &= 14888 (1 + 0,08)^{0,25 \cdot 2} = \\ &= 15500 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Рис. VI.9. Графики нахождения сроков окупаемости капиталовложений с учетом фактора времени при автоматизации производства валиков карбюраторов

Срок погашения банковского кредита в сумме 14 194 руб. оценивается равным 0,5 года после реализации варианта Б, что равносильно уменьшению  $C_y'$  в момент  $t_y$  на сумму

$$\Delta C_y' = 14194 (1 + 0,08)^{-0,5} = 13600 \text{ руб.}$$

Для значений  $H_t' = f(t)$ , представляющих доходы с учетом фактора времени, расчет представляется таблицей для значений  $t$  от 1 до 10 лет по формуле  $\Delta H_t = \Delta C'' B$ , в которой  $\Delta C''$  представляет годовую прибыль, а  $B = 1 : (1 + E_{н.п})^t$  при  $E_{н.п} = 0,08$  и  $\Delta C'' = 10\,279$  руб.:

|                     |       |       |       |       |           |       |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|
| $t$ , лет           | 1     | 2     | 3     | 4     | 5 и т. д. | 10    |
| $B_t$               | 0,925 | 0,855 | 0,795 | 0,732 | 0,676     | 0,458 |
| $\Delta H_t$ , руб. | 9500  | 8780  | 8160  | 7520  | 6850      | 4700  |
| $H_t$ , руб.        | 9500  | 18280 | 26440 | 33960 | 40810     | 68130 |

Рис. VI.9 иллюстрирует графически решение поставленной задачи. Точка Б пересечения  $H_t'$  с линией времени представляет в масштабе срок окупаемости затрат с учетом фактора времени, который для варианта Б составит 0,2 года.

Аналогичные расчеты, выполненные по исходным данным варианта А,  
 $C_y^* = 52348 \cdot 1,08^{0,25 \cdot 4} = 56600$  руб. при  $t_y^* = 4$  годам;  $\Delta C_y^* = \Delta C_y = 13600$  руб.

Приведенное значение расходов по варианту А ко времени  $t_y$  пуска системы по варианту Б:

$$C_{y, \text{пр}}^* = (C_y^* - \Delta C_y) B = (56600 - 13600) [1/(1,08)^2] = 36800 \text{ руб.}$$

Значение доходов  $H_t^* = \Delta C' B$ , когда  $\Delta C' = 12068$  руб. представлены следующей таблицей при  $t_y^*$

| $t$ , лет    | 1     | 2     | 3     | 4     | 5 и т. д. | 10    |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|
| $B_t$        | 0,925 | 0,855 | 0,795 | 0,732 | 0,676     | 0,458 |
| $\Delta H_t$ | 11180 | 10320 | 9600  | 8840  | 8160      | 5530  |
| $H_t^*$      | 11180 | 21500 | 31100 | 39940 | 48100     | 80210 |

Соответствующие точки кривой доходов  $H_t^*$  представлены после пересчета следующим образом при  $t_y^*$ :

| $t$ , лет | 1    | 2     | 3     | 4     | 5 и т. д. | 10    |
|-----------|------|-------|-------|-------|-----------|-------|
| $H_t^*$   | 9560 | 18400 | 26600 | 34200 | 41100     | 68700 |

Эти значения нанесены на диаграмму штриховыми линиями. Как видно, точка А пересечения кривой доходов с линией времени определяет окупаемость новой техники позднее варианта Б на 4,2 года.

## Глава I

1. Автоматизация привода и управления машин. Под общей ред. акад. В. И. Дикущина. «Наука», 1967.
2. В. А. Барун, А. А. Будинский. Станки с программным управлением и программирование обработки. «Машиностроение», 1965.
3. В. А. Барун, А. А. Будинский. Автоматическое управление металлорежущих станков. «Машиностроение», 1964.
4. Н. С. Ачеркан [и др.]. Металлорежущие станки. Том 2, «Машиностроение», 1965.
5. Г. А. Шаумян [и др.]. Автоматизация производственных процессов. «Высшая школа», 1967.

## Глава II

1. А. П. Владзиевский, А. П. Белоусов. Устройство автоматических линий. Машгиз, 1963.
2. А. П. Владзиевский, А. П. Белоусов. Основы автоматизации и механизации технологических процессов в машиностроении. «Высшая школа», 1966.
3. В. П. Бобров. Проектирование загрузочно-транспортных устройств к станкам и автоматическим линиям. «Машиностроение», 1964.
4. А. Н. Малов. Загрузочные устройства для металлорежущих станков. «Машиностроение», 1965.
5. А. Н. Малов. Механизация и автоматизация универсальных металлорежущих станков. «Машиностроение», 1969.
6. В. И. Дементьев [и др.]. Средства автоматизации механической обработки. Машгиз, 1962.
7. Автоматизация процессов механической обработки и сборки. Под общей ред. акад. В. И. Дикущина. «Наука», 1967.

## Глава III

1. Г. А. Апарин, И. Е. Городецкий. Допуски и технические измерения. Изд. 2-е. Машгиз, 1950. Изд. 3-е. Машгиз, 1956.
2. И. М. Берклайд, В. С. Вихман [и др.]. Контрольные автоматы. Машгиз, 1961.
3. Г. Д. Бурдун [и др.]. Приборы и средства для активного контроля размеров на металлообрабатывающих станках. «Машиностроение», 1965.
4. И. М. Берклайд [и др.]. Датчики и измерительные головки. Машгиз, 1960.
5. А. В. Высоцкий [и др.]. Приборы и устройства для активного контроля размеров в машиностроении. Машгиз, 1961.
6. С. С. Волосов. Основы точности активного контроля размеров. «Машиностроение», 1969.
7. Б. А. Гипп [и др.]. Контрольные приспособления. Машгиз, 1960.
8. Е. М. Добрынин. Приборы автоматического контроля. Машгиз, 1960.
9. М. И. Коченов [и др.]. Контрольно-измерительные автоматы и приборы для автоматических линий. «Машиностроение», 1965.
10. В. А. Трапезников [и др.]. Автоматический контроль линейных размеров изделий. Оборонгиз, 1947.
11. П. М. Полянский. Основные направления автоматизации круглого шлифования с применением измерительно-управляющих устройств. Сб. под ред. Ф. С. Демьянюка «Новые процессы обработки резанием». «Машиностроение», 1968.
12. Сотсков Б. С. Основы расчета и проектирования элементов автоматических и телемеханических устройств. Госэнергоиздат, 1953.



13. Материалы Госкомитета стандартов, мер и измерительных приборов. Бюро взаимозаменяемости и ОКБ МСиИП.

#### Глава IV

1. А. П. Владзиевский. Автоматические линии в машиностроении. Машгиз, 1958.
2. А. П. Владзиевский. Некоторые вопросы эксплуатации и проектирования автоматических станочных линий. Машгиз, 1953.
3. А. П. Владзиевский, А. П. Белоусов. Основы автоматизации и механизации технологических процессов в машиностроении. «Высшая школа», 1966.
4. Л. И. Волчков. Надежность автоматических линий. «Машиностроение», 1969.
5. Ф. С. Демьянюк. Технологические основы поточного и автоматизированного производства. «Высшая школа», 1968.
6. Ф. С. Демьянюк [и др.]. Увеличение производительности многопозиционных токарных и агрегатных полуавтоматов. ГНТК СМ СССР, 1960.
7. А. И. Дашенко, Е. Г. Нахпетян. Проектирование, расчет и исследование основных узлов автоматических линий и агрегатных станков. «Наука», 1964.
8. Л. Н. Кошкин [и др.]. Автоматические линии роторного типа. Тула, ЦБТИ, 1961.
9. Н. А. Клусов, А. Р. Сафарянц. Роторные линии. «Машиностроение», 1969.
10. Г. И. Меламед, Ф. Е. Счастливенко. Надежность и долговечность станочных систем. Минск, «Беларусь», 1967.
11. А. С. Проников. Расчет и конструирование металлорежущих станков. «Высшая школа», 1967.
12. Г. А. Шаумян. Автоматы и автоматические линии. Машгиз, 1961.
13. Г. А. Шаумян [и др.]. Автоматизация производственных процессов. «Высшая школа», 1967.
14. Ю. Б. Эрпшер. Надежность и структура автоматических станочных систем. Машгиз, 1962.
15. Надежность и производительность автоматических станочных линий. НИИМАШ МС и ИП. Москва, 1968.
16. Стационарные, роторные и цепные автоматические линии. МДНТП им. Дзержинского, 1967.
17. Н. М. Вороничев [и др.]. Автоматические линии из агрегатных станков. «Машиностроение», 1971.

#### Глава V

1. А. П. Владзиевский, А. П. Белоусов. Основы автоматизации и механизации технологических процессов в машиностроении. «Высшая школа», 1966.
2. А. Н. Гаврилов [и др.]. Автоматизация производственных процессов в приборостроении и агрегатостроении. «Высшая школа», 1968.
3. А. Н. Рабинович. Механизация и автоматизация сборочных процессов в машиностроении и приборостроении. «Машиностроение», 1964.

#### Глава VI

1. Ф. С. Демьянюк. Технологические основы поточно-автоматизированного производства. «Высшая школа», 1969.
2. Новые направления в проектировании машиностроительных предприятий. ДНТП, М., 1961.
3. Научно-исследовательская лаборатория промышленно-экономических исследований при Ленинградском инженерно-экономическом институте имени Пальмиро Тольятти. Методика расчета экономической эффективности новой техники в машиностроении. Л., «Машиностроение», 1967.
4. В. А. Трапезников. Автоматическое управление и его экономическая эффективность. «Наука и жизнь», 1965, № 11 и № 12.
5. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. «Экономическая газета», 1969, № 39.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                        | Стр. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Предисловие . . . . .                                                                                                  | 3    |
| Введение . . . . .                                                                                                     | 4    |
| <b>Глава I</b>                                                                                                         |      |
| <b>Системы автоматического управления металлорежущими станками</b>                                                     |      |
| § 1.1. Различные систем автоматического управления по основным признакам . . . . .                                     | 6    |
| § 1.2. Системы управления с упорами . . . . .                                                                          | 7    |
| § 1.3. Кулачковые системы . . . . .                                                                                    | 8    |
| § 1.4. Системы управления с копирами . . . . .                                                                         | 9    |
| § 1.5. Гидравлические следящие копировальные системы . . . . .                                                         | 11   |
| § 1.6. Электромеханические следящие копировальные системы . . . . .                                                    | 18   |
| § 1.7. Электродгидравлические следящие копировальные системы . . . . .                                                 | 21   |
| § 1.8. Пневмогидравлические следящие копировальные системы . . . . .                                                   | 22   |
| § 1.9. Системы числового программного управления металлорежущими станками . . . . .                                    | 23   |
| § 1.10. Виды систем программного управления станками в зависимости от командного сигнала . . . . .                     | 36   |
| § 1.11. Элементы систем программного управления станками . . . . .                                                     | 37   |
| § 1.12. Счетчики импульсов в системе программного управления станками . . . . .                                        | 40   |
| § 1.13. Шаговые исполнительные двигатели и гидравлические усилители . . . . .                                          | 42   |
| § 1.14. Разработка программ для обработки деталей на станках с программным управлением . . . . .                       | 45   |
| § 1.15. Обработка ступенчатых валиков на многолезцовом станке с программным управлением . . . . .                      | 46   |
| § 1.16. Запись программы при обработке криволинейных поверхностей деталей на фрезерном станке . . . . .                | 47   |
| § 1.17. Фазовая система программного управления станками . . . . .                                                     | 50   |
| § 1.18. Агрегатная система программного управления (АСПУ) . . . . .                                                    | 54   |
| § 1.19. Токарный гидрокопировальный полуавтомат с программным управлением модели 1712ПА1 . . . . .                     | 54   |
| § 1.20. Вертикально-фрезерный станок с программным управлением модели 6Н13-ПР . . . . .                                | 60   |
| § 1.21. Автоматическая смена инструмента на станках с программным управлением . . . . .                                | 64   |
| <b>Глава II</b>                                                                                                        |      |
| <b>Автоматизация загрузки металлорежущих станков</b>                                                                   |      |
| § II.1. Классификация автоматических загрузочных приспособлений для металлорежущих станков . . . . .                   | 68   |
| § II.2. Лотки загрузочных приспособлений . . . . .                                                                     | 79   |
| § II.3. Бункерные загрузочные приспособления и расчет их параметров . . . . .                                          | 84   |
| § II.4. Питатели автоматических загрузочных приспособлений . . . . .                                                   | 101  |
| § II.5. Отсекатели автоматических загрузочных приспособлений . . . . .                                                 | 105  |
| § II.6. Типовые конструкции автоматических загрузочных приспособлений для загрузки станков штучными деталями . . . . . | 107  |
| <b>Глава III</b>                                                                                                       |      |
| <b>Автоматизация контроля размеров в машиностроении</b>                                                                |      |
| § III.1. Задачи автоматического контроля. Классификация средств автоматического контроля . . . . .                     | 125  |

|   |                                                                                                                      |     |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4 | § III.2. Погрешности измерения . . . . .                                                                             | 130 |
| 3 | § III.3. Измерительные преобразователи (датчики) и измерительные системы автоматического контроля размеров . . . . . | 135 |
|   | Системы с прямым преобразованием . . . . .                                                                           | 136 |
|   | Системы с промежуточным преобразованием . . . . .                                                                    | 146 |
|   | Сравнительная характеристика измерительных преобразователей (датчиков) и систем автоматического контроля . . . . .   | 154 |
|   | § III.4. Средства активного контроля . . . . .                                                                       | 156 |
|   | Средства активного контроля в процессе обработки . . . . .                                                           | 162 |
|   | Средства послеоперационного активного контроля . . . . .                                                             | 183 |
|   | § III.5. Контрольные приспособления . . . . .                                                                        | 189 |
|   | § III.6. Контрольные и контрольно-сортировочные автоматы . . . . .                                                   | 191 |
|   | § III.7. Расчет точности средств автоматического контроля . . . . .                                                  | 203 |

## Г л а в а IV

### Автоматические линии

|  |                                                                                                                             |     |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|  | Устройство автоматических линий . . . . .                                                                                   | 210 |
|  | § IV.1. Типы автоматических линий и их классификация . . . . .                                                              | 210 |
|  | § IV.2. Основные узлы и механизмы автоматических линий . . . . .                                                            | 221 |
|  | Силовые головки . . . . .                                                                                                   | 221 |
|  | Расчет и выбор основных технологических параметров силовых головок . . . . .                                                | 252 |
|  | Транспортные устройства автоматических линий . . . . .                                                                      | 277 |
|  | Механизмы зажима и фиксации деталей . . . . .                                                                               | 284 |
|  | § IV.3. Вспомогательные механизмы автоматических линий . . . . .                                                            | 285 |
|  | Агрегаты накопления и выдачи деталей . . . . .                                                                              | 285 |
|  | Механизмы изменения положения деталей . . . . .                                                                             | 286 |
|  | Устройства для отвода стружки . . . . .                                                                                     | 288 |
|  | § IV.4. Конструкции автоматических линий . . . . .                                                                          | 288 |
|  | Автоматические линии из универсальных станков . . . . .                                                                     | 288 |
|  | Автоматические линии из агрегатных станков . . . . .                                                                        | 290 |
|  | Автоматические линии из типовых специализированных станков . . . . .                                                        | 301 |
|  | Автоматические линии из специальных станков . . . . .                                                                       | 301 |
|  | Роторные автоматические линии . . . . .                                                                                     | 304 |
|  | § IV.5. Основные направления в проектировании автоматических линий . . . . .                                                | 308 |
|  | Вопросы теории проектирования автоматических линий . . . . .                                                                | 320 |
|  | § IV.6. Основные положения по проектированию технологических процессов обработки деталей на автоматических линиях . . . . . | 320 |
|  | Требования к обрабатываемым деталям . . . . .                                                                               | 320 |
|  | Выбор варианта технологического процесса . . . . .                                                                          | 320 |
|  | Определение оптимальной концентрации операций и выбор структурной схемы станков-автоматов и автоматических линий . . . . .  | 322 |
|  | § IV.7. Производительность и надежность автоматических линий . . . . .                                                      | 340 |
|  | Определение производительности заблокированных линий . . . . .                                                              | 340 |
|  | Понятие о надежности автоматических линий и их узлов . . . . .                                                              | 343 |
|  | Характеристики надежности автоматических линий . . . . .                                                                    | 351 |
|  | § IV.8. Деление линий на участки и влияние емкости накопителей на производительность . . . . .                              | 358 |
|  | Автоматические линии для обработки типовых деталей . . . . .                                                                | 364 |
|  | § IV.9. Автоматическая линия для обработки крестовины кардана . . . . .                                                     | 364 |
|  | § IV.10. Автоматические линии для обработки поворотных кулаков автомобиля ГАЗ . . . . .                                     | 371 |
|  | § IV.11. Автоматическая линия для обработки маховиков . . . . .                                                             | 373 |
|  | § IV.12. Автоматическая линия для обработки коленчатых валов V-образных двигателей . . . . .                                | 376 |
|  | § IV.13. Автоматическая линия для обработки картера заднего моста малолитражного автомобиля . . . . .                       | 379 |

|                                                                                                                |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| § IV.14. Автоматический участок для обработки блока цилиндров V-образных<br>автомобильных двигателей . . . . . | Стр.<br>381 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|

## Г л а в а V

|                                                                                                                                          |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Механизация и автоматизация процессов сборки</b>                                                                                      | <b>391</b> |
| § V.1. Методы проектирования автоматизированных технологических про-<br>цессов сборки . . . . .                                          | 394        |
| § V.2. Технологичность конструкции деталей узлов машин при переходе на<br>автоматическую сборку . . . . .                                | 395        |
| § V.3. Типовые схемы автоматических и полуавтоматических сборочных<br>агрегатов для автоматической и полуавтоматической сборки . . . . . | 395        |
| § V.4. Автоматизация подачи деталей на сборку . . . . .                                                                                  | 403        |
| § V.5. Автоматическая ориентация деталей в загрузочных приспособлениях                                                                   | 404        |
| § V.6. Ориентация сопрягаемых деталей перед сборкой . . . . .                                                                            | 407        |
| § V.7. Автоматизация сборки резьбовых деталей . . . . .                                                                                  | 412        |
| § V.8. Сборочные размерные цепи узлов машин и механизмов . . . . .                                                                       | 415        |
| § V.9. Автоматы и автоматические линии для сборки узлов автомобиля и<br>трактора . . . . .                                               | 422        |

## Г л а в а VI

### Экономическая эффективность автоматизации

|                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| § VI.1. Краткий обзор . . . . .                                 | 436 |
| § VI.2. Методика расчетов эффективности автоматизации . . . . . | 443 |
| Литература . . . . .                                            | 452 |

*Алексей Петрович Белоусов, Анатолий Иосифович Дашенко,  
Павел Миронович Полянский, Александр Владиславович Шулешкин*

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Редактор О. М. Смирницкая  
Художник Ю. Г. Асафов  
Художественный редактор Н. К. Гуторов  
Технический редактор Н. А. Битюкова  
Корректор Г. И. Кострикова

---

Т-06464. Сдано в набор 30/1-73 г. Подп. к печати 17/IV-73 г. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Объем  
28,5 печ. л. Уч.-изд. л. 31,09. Изд. № СТД-126. Тираж 31 000 экз. Заказ № 590.  
Цена 1 р. 32 к.

План выпуска литературы издательства «Высшая школа» (вузы и техникумы) на 1973 г.  
Позиция № 105

---

Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14, Издательство «Высшая школа»  
Ордена Трудового Красного Знамени Ленинградская типография № 1 «Печатный Двор»  
имени А. М. Горького Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета  
Министров СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли, Ленинград,  
Гатчинская ул., 26.