

А. Н. Малов, Ю. В. Иванов

ОСНОВЫ
АВТОМАТИКИ
И
АВТОМАТИЗАЦИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ПРОЦЕССОВ

А. Н. МАЛОВ, Ю. В. ИВАНОВ

ОСНОВЫ АВТОМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

*Допущено Министерством
высшего и среднего специального образования СССР
в качестве учебника для студентов
приборостроительных специальностей высших учебных заведений*

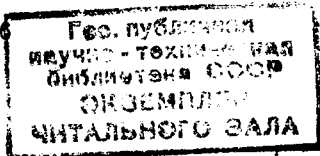


КОНТРОЛЬНЫЙ
ЭКЗЕМПЛЯР

МОСКВА „МАШИНОСТРОЕНИЕ“ 1974

M18

УДК 621.9 : 65.001.56



Д
28244

74-19584

Малов А. Н., Иванов Ю. В. Основы автоматизации и автоматизация производственных процессов. М., «Машиностроение», 1974, 368 с.

В учебнике изложены вопросы автоматизации технологических процессов применительно к приборостроительному производству. В нем описаны средства автоматизации, применяемые в технологическом оборудовании, выбор их для конкретных условий, а также рассмотрены предпосылки автоматизации.

При рассмотрении систем управления основное внимание уделено системам, автоматизирующим управление технологическими процессами обработки деталей.

Учебник предназначен для студентов высших учебных заведений, занятых подготовкой специалистов для приборостроительной промышленности. Он также может быть полезен для работников промышленности, занимающихся вопросами автоматизации.

Табл. 10, ил. 219, список лит. 24 назв.

Рецензенты: д-р техн. наук проф. С. П. Митрофанов,
кафедра автоматизации машиностроительной промышленности
Таллинского политехнического института

М $\frac{31202-034}{038(01)-74}$ 34-74

© Издательство «Машиностроение», 1974 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В директивах XXIV съезда КПСС особое внимание уделено развитию приборостроения — многообразной и сложной отрасли народного хозяйства.

Выпуск приборов, как это следует из директив, должен увеличиваться в результате реконструкции действующих предприятий, неуклонного повышения производительности общественного труда на основе комплексного перевооружения производства на базе прогрессивной технологии и ввода в строй новых заводов.

Основным средством технического прогресса, без которого невозможны высокие темпы дальнейшего роста производительности труда, является комплексная механизация и автоматизация. Автоматизация производственных процессов — генеральное направление развития народного хозяйства, одно из главных условий построения материально-технической базы коммунистического общества в нашей стране.

В социалистическом обществе комплексная механизация и автоматизация производственных процессов отвечает интересам трудящихся, облегчает и коренным образом меняет характер труда, повышает его производительность, создает условия для сокращения продолжительности рабочего дня и ликвидации существенных различий между умственным и физическим трудом. Комплексная механизация и автоматизация производственных процессов в настоящее время находят применение, главным образом, в крупносерийном и массовом производствах. В этих производствах пути автоматизации уже определились и задача, в основном, сводится к более широкому внедрению средств автоматизации. Особо важна автоматизация тех этапов производственного процесса, где в настоящее время используется много ручного труда: сборка и регулировка приборов, контроль деталей, сборочных единиц и приборов, а также в серийном, мелкосерийном и индивидуальном производствах.

Решение задач автоматизации технологического оборудования в условиях серийного и мелкосерийного производств требует принципиально новых технологических решений и, в первую очередь, широкого использования унифицированных технологических процессов и таких систем автоматического управления

технологическим оборудованием, которые смогут обеспечить быстроту перестройки оборудования при одновременной автоматизации рабочего цикла. Создаваемые системы автоматического управления должны также обеспечить возможность автоматизации существующего парка технологического оборудования путем его модернизации. Этим требованиям в значительной мере отвечает применение технологического оборудования с цикловым и особенно цифровым программным управлением. Оборудование с цифровым программным управлением позволит автоматизировать обработку деталей различных форм и высокой точности в условиях частых переналадок.

Ведущую роль в построении автоматизированных технологических процессов получают методы максимальной концентрации (совмещения) операций обработки и сборки в одной рабочей машине. Чтобы облегчить создание оборудования, построенного по принципу концентрации операций, необходимо широко использовать агрегатные станки как в крупносерийном, так и в серийном производствах деталей приборов. Находят применение в серийном и мелкосерийном производстве многооперационные и многоинструментальные станки с автоматической сменой инструмента. В ряде отраслей приборостроения найдут применение автоматические системы металлообрабатывающих, сборочных и контрольных машин, работающих с программным управлением от одного центра, оснащенного ЭВМ.

Одним из важнейших направлений автоматизации механической обработки, позволяющим повысить не только производительность оборудования, но и точность обработки, является внедрение адаптивных систем, предложенных и осуществленных на ряде универсальных металлорежущих станков лауреатом Ленинской премии, засл. деятелем науки и техники РСФСР д-ром техн. наук проф. Б. С. Балакшиным.

Развитию автоматизации производственных процессов способствовали труды известных советских ученых лауреата Государственной премии д-ра техн. наук проф. Г. А. Шаумяна, лауреата Ленинской премии д-ра техн. наук проф. С. П. Митрофанова, лауреата Государственной премии д-ра техн. наук проф. В. В. Солодовникова, а также работы научно-исследовательских институтов ЭНИМСа, Оргстанкинпрома и др.

Учебник «Основы автоматики и автоматизация производственных процессов в приборостроении» написан на основании опыта преподавания в МВТУ им. Баумана на факультете «Приборостроение» курса «Автоматизация производственных процессов в приборостроении», который является одним из завершающих в системе профилирующих дисциплин.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

§ 1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Механизация — направление развития производства, характеризующееся применением в производственном процессе машин и механизмов, заменяющих мускульный труд рабочего. Механизация может быть либо частичной, либо полной или, как ее называют, комплексной.

Частичная или малая механизация — это механизация части движений, необходимых для осуществления производственного процесса: либо главного движения, либо вспомогательных и установочных движений, либо движений, связанных с перемещением изделий (деталей и полуфабрикатов) с одной рабочей позиции на другую.

Полная или комплексная механизация — механизация всех основных, вспомогательных, установочных и транспортных движений, которые выполняются по ходу производственного процесса. При полной механизации обслуживающий персонал осуществляет только оперативное управление производственными процессами, включение и выключение в нужные моменты требуемых механизмов и управление режимом и характером их работы.

Автоматизация — направление развития производства, характеризующееся освобождением человека не только от мускульных усилий для выполнения тех или иных движений, но и от оперативного управления механизмами, выполняющими эти движения. Автоматизация может быть частичной и полной или, как чаще называют, комплексной.

Частичная автоматизация — автоматизация части операции по управлению производственным процессом при условии, что остальная часть всех операций выполняется рабочим.

Полная или комплексная автоматизация характеризуется автоматическим выполнением всех функций для осуществления производственного процесса без непосредственного вмешательства человека в работу оборудования. В обязанности человека входит настройка машины или группы машин, включение и контроль. Автоматизация — это высшая форма механизации, но вместе с этим это новая форма производства, а не простая замена ручного труда механическим, поэтому следует избегать использования традиционных конструктивных схем, не дублировать движения руки рабочего в механизмах, а искать новые решения,

используя возможности автоматических устройств. Автоматизация дает экономический эффект только при наличии определенных предпосылок.

Автоматизация — сложный процесс, она охватывает множество соотношений: технических, научных, социальных, экономических и т. п., ставит их в некое единство, где противоречивые положения сочетаются в целесообразности, обусловленной диалектикой процесса. При рассмотрении проблем, связанных с автоматизацией, необходимо различать понятие «автоматизация» и «автоматика». При разработке автоматического оборудования необходимо решать многие проблемы автоматизи: управление, контроль, сбор, переработка информации и др. Автоматика как научная дисциплина связана с изучением общих закономерностей и условий функционирования и алгоритмов управления для различных технических процессов с целью разработки принципов построения систем автоматического управления.

В неавтоматизированном производстве все производственные процессы строятся из условий совместной работы человека и машины. Неавтоматизированная рабочая машина, как и указывалось ранее, имеет только механизмы рабочих ходов, а все холостые ходы (зажим, разжим, загрузка и т. п.) совершает человек. Человек своим непосредственным воздействием выбирает и осуществляет последовательность обработки, т. е. программу обработки.

На первом этапе автоматизации осуществлялась автоматизация выполнения рабочего цикла, т. е. создавались полуавтоматы и автоматы. Второй этап автоматизации представляет комплексная автоматизация, когда создаются целые комплексы автоматически работающих машин (автоматические линии, цехи и заводы).

§ 1.2. УРОВЕНЬ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

Часто при анализе производства бывает недостаточно знать, на какой стадии механизации или автоматизации находится тот или иной технологический процесс. Степень механизации и автоматизации определяется уровнем механизации и автоматизации. Оценка уровня механизации и автоматизации осуществляется тремя основными показателями: степенью охвата рабочих механизированным трудом, уровнем механизированного труда в общих трудозатратах и уровнем механизации и автоматизации производственных процессов.

Для механических и сборочных цехов эти показатели определяются по следующим формулам.

Степень охвата рабочих механизированным трудом (в %)

$$C_m = \frac{P_m}{P_m + P_{m.p} + P_p} 100 = \frac{P_m}{P} 100. \quad (1.1)$$

Уровень механизированного труда в общих трудовых затратах (в %)

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{м.т}} &= \frac{T_{\text{м}}}{T_{\text{м}} + T_{\text{м.р}} + T_{\text{р}}} 100 \approx \\
 &\approx \frac{\sum P_a K}{P_{\text{м}} + P_{\text{м.р}} + P_{\text{р}}} 100 = \frac{\sum P_a K}{P} 100.
 \end{aligned}
 \quad (1.2)$$

Уровень механизации и автоматизации производственных процессов (в %), отражающий качественную сторону механизации, рассчитывают по формуле

$$Y_{\text{п}} = \frac{\sum P_a K ПМ}{\sum P_a K ПМ + P_{\text{м.р}} + P_{\text{р}}} 100, \quad (1.3)$$

но

$$P_{\text{м.р}} + P_{\text{р}} = P \left(1 - \frac{Y_{\text{м.т}}}{100} \right);$$

тогда формула примет вид

$$Y_{\text{п}} = \frac{\sum P_a K ПМ}{\sum P_a K ПМ + P \left(1 - \frac{Y_{\text{м.т}}}{100} \right)} 100.$$

Процент возрастания производительности труда в данном цехе (на предприятии, на участке) за счет его механизации $P_{\text{р}}$ определяют по формуле

$$P_{\text{р}} = \left[\frac{(100 - Y_{\text{м.т}_2})(100 - Y_{\text{п}_1})}{(100 - Y_{\text{м.т}_1})(100 - Y_{\text{п}_2})} - 100 \right] \frac{C_{\text{м}_2}}{C_{\text{м}_1}},$$

где индекс 1 соответствует показателям, полученным до проведения механизации, а индекс 2 — после механизации.

В формулах приняты следующие обозначения: $P_{\text{м}}$ — число рабочих, выполняющих работу механизированным способом; P — общее число рабочих на рассматриваемом участке (в цехе); $P_{\text{м.р}}$ — число рабочих, выполняющих работу при помощи ручного механизированного инструмента; $P_{\text{р}}$ — число рабочих, выполняющих работу вручную; $T_{\text{м}}$ — время механизированного труда в процессе; $T_{\text{р}}$ — время ручного труда в процессе; $T_{\text{м.р}}$ — время труда с применением ручного механизированного инструмента; \bar{P}_a — число рабочих (во всех сменах) на данном рабочем месте, занятых механизированным трудом; $\sum P_a = P_{\text{м}}$ — число рабочих (во всех сменах) на участке (в цехе), занятых механизированным трудом; K — коэффициент механизации, выражающий отношение времени механизированного труда к общим затратам времени на данном рабочем месте; Π — коэффициент производительности оборудования, характеризующий отношение трудоемкости изготовления детали на универсальном оборудовании с наименьшей производительностью, принятом за базу (T_0), к трудоемкости изготовления этой детали на действующем обо-

рудования (T_1); M — коэффициент обслуживания, зависящий от количества единиц оборудования, обслуживаемого одним рабочим (при обслуживании оборудования несколькими рабочими M меньше единицы).

Система трех основных показателей уровня механизации и автоматизации производственных процессов позволяет:

а) оценивать состояние механизации и автоматизации производства и вскрывать резервы для повышения производительности труда;

б) сравнивать уровни механизации (автоматизации) родственных заводов и отраслей приборостроения;

в) сравнивать уровни механизации соответствующих объектов по периодам внедрения, и тем самым определять состояние механизации и направления дальнейшего совершенствования производственных процессов;

г) планировать уровни механизации.

Наряду с приведенными основными показателями при анализе степени механизации и автоматизации отдельных видов производства на ряде предприятий уровень механизации определяется степенью экономии затрат труда, т. е. степенью повышения производительности труда.

Критерий уровня механизации должен количественно характеризовать, в какой мере на данной стадии механизации используются возможности экономии затрат труда, т. е. роста производительности труда, открываемые полной, комплексной механизацией производства.

Критерий уровня механизации (в %)

$$\alpha_m = \frac{\Delta t_{ч.м}}{\Delta t_{п.м}} 100 = \frac{t_p - t_{ч.м}}{t_p - t_{п.м}} 100, \quad (1.4)$$

где $\Delta t_{ч.м}$ — экономия рабочего времени при частичной механизации в чел.-ч/шт; $\Delta t_{п.м}$ — экономия рабочего времени при полной механизации в чел.-ч/шт; t_p — трудоемкость изделия при изготовлении его немеханизованным способом в чел.-ч/шт; $t_{ч.м}$ — то же, в условиях рассматриваемого уровня частичной механизации в чел.-ч/шт; $t_{п.м}$ — то же, в условиях полной, комплексной, механизации в чел.-ч/шт. Критерий α_m изменяется в пределах $0 \leq \alpha_m \leq 1$. При $\alpha_m = 0$ имеет место ручной труд. При $\alpha_m = 1$ осуществлена полная, комплексная, механизация производства. Следует отметить, что критерий α_m учитывает рост производительности труда.

Обозначив через p производительность труда и подставив в формулу для α_m вместо величин трудоемкостей величины $1/p$ с соответствующим индексом, получим

$$\alpha_m = \frac{t_p - t_{ч.м}}{t_p - t_{п.м}} 100 = \frac{1 - \frac{p_p}{p_{ч.м}}}{1 - \frac{p_p}{p_{п.м}}} 100, \quad (1.5)$$

где ρ_p — производительность в условиях ручного труда; $\rho_{ч.м}$ — в то же, в условиях частичной механизации производства; $\rho_{п.м}$ — то же, в условиях полной, комплексной, механизации производства. Критерий уровня автоматизации производства (в %) определяют аналогично формуле (1.5)

$$\alpha_a = \frac{\Delta t_{ч.а}}{\Delta t_{п.а}} 100 = \frac{t_{п.м} - t_{ч.а}}{t_{п.м} - t_{п.а}} 100, \quad (1.6)$$

где $\Delta t_{ч.а}$ — экономия рабочего времени при частичной автоматизации в чел.-ч; $\Delta t_{п.а}$ — экономия рабочего времени при полной автоматизации в чел.-ч; $t_{п.м}$ — трудоемкость изготовления рассматриваемого изделия в условиях полной, комплексной, механизации его производства в чел.-ч; $t_{ч.а}$ и $t_{п.а}$ — трудоемкость изготовления этого изделия при частичной ($t_{ч.а}$) и полной ($t_{п.а}$) автоматизации его производства в чел.-ч.

§ 1.3. КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Классификация автоматического оборудования и производственных подразделений. *Полуавтомат* — такая единица оборудования, на котором без непосредственного участия человека, т. е. автоматически, осуществляется выполнение всех операций по непосредственному воздействию на предметы труда (обрабатываемые заготовки). Повторение операций обработки (сборки) требует вмешательства человека для установки заготовки (детали), снятия ее и пуска оборудования. Основным недостатком полуавтоматического оборудования является нарушение человеком непрерывности технологического процесса, которое производится как бы внутри самой машины и поэтому ведет к ряду весьма отрицательных последствий.

Автомат — такая единица оборудования, на которой без непосредственного участия человека, т. е. автоматически, выполняются все работы, для которых она предназначена. В автоматах человек заполняет загрузочные устройства заготовками (детальями), налаживает автомат, контролирует обработку и осуществляет подналадку, а также смену инструмента и удаление отходов. На некоторых автоматах контроль обработки, подналадка автомата по результатам контроля, а также смена инструментов и удаление отходов осуществляются автоматически.

Из приведенного определения автомата следует, что в этом типе оборудования человек удален из сферы производства, его непосредственная связь с оборудованием нарушена, производственный процесс идет непрерывно, останавливаясь только для периодической загрузки, контроля, подналадки оборудования, а иногда только одной наладки.

Поточная линия — такой производственный участок, на котором постоянно или периодически изготавливается один или не-

сколько видов изделий, при этом рабочие места (станки, рабочие машины, стеллажи и т. д.), специализированные на выполнение одной или нескольких однотипных операций, расположены по ходу технологического процесса (в линию). Любая поточная линия во всех случаях характеризуется прямоточностью. В механизированных поточных линиях большая часть операций производственного процесса выполняется механизмами, машинами и другими видами оборудования и, кроме того, механизированы процессы перемещения предмета труда (заготовок, деталей, исходного материала) от одного рабочего места к другому. При этом в отдельных случаях допускается перемещение предмета труда вручную. В комплексно-механизированных поточных линиях все операции производственного процесса выполняются механизмами, машинами и другими видами оборудования с равной или кратной производительностью, и кроме того, механизированы процессы перемещения предмета труда от одного рабочего места к другому.

Автоматическая линия представляет собой группу станков-автоматов, объединенных общими транспортными устройствами с единым темпом и общей системой управления, осуществляющих без участия человека в определенной технологической последовательности комплекс операций части производственного процесса. В автоматических линиях человек выполняет только наладку, наблюдение и регулирование, а в некоторых случаях — контроль обработки и подналадку, смену инструмента при износе (затуплении), а также начальные загрузочные или конечные разгрузочные операции.

Комплексно-механизированный завод (цех, участок) — завод (цех, участок), в котором все технологические процессы основного и вспомогательного производства; транспортные, погрузочно-разгрузочные и складские работы (внутризаводские, внутрицеховые); удаление отходов производства; уборку помещений и территорий; подготовку и управление производством (подготовка технической документации, планирование, диспетчирование, учет и др.) выполняют работники завода, использующие машины, механизмы, приборы, аппараты и другие средства механизации. При этом в отдельных подразделениях допускается ручной труд.

Автоматизированный завод (цех, участок) — завод (цех, участок), в котором технологические процессы основного производства осуществляются с помощью автоматов, автоматических линий и других средств автоматизации, а вспомогательные работы и процессы (работы по инструментальному производству, службам главного механика и энергетика, транспортные, погрузочно-разгрузочные, складские); уборку помещений и территорий; подготовку и управление производством выполняют работники различных служб с помощью машин, механизмов, приборов, аппаратов и других средств механизации с элементами автоматизации отдельных работ. При этом труд на отдельных операциях,

процессах и в отдельных подразделениях может быть механизированным и ручным.

Комплексно-автоматизированный завод (цех, участок) — завод (цех, участок), в котором выполнение всех технологических процессов основного и вспомогательного производства осуществляется при помощи автоматического оборудования и устройств, а человек выполняет только функции централизованного наблюдения, регулирования и управления ходом заданного технологического процесса. При комплексно-автоматизированном производстве допускается на отдельных процессах и в подразделениях механизированный и ручной труд. Это возможно там, где механизация и автоматизация на данном этапе по технико-экономическим соображениям нецелесообразна.

Классификация технологических процессов и оборудования машиностроительного и приборостроительного производств. Технологический процесс заключается в осуществлении определенного взаимодействия между предметом труда (заготовками, деталями) и орудием труда (инструментом) или рабочей средой (химическая среда, нагретый воздух или газ и т. п.).

С точки зрения пригодности технологического процесса к автоматизации и сложности осуществления последней все применяемые в машиностроительном и приборостроительном производствах процессы можно разбить на два основных и два переходных класса.

К первому основному классу относятся процессы, которые требуют ориентации заготовки (детали) и характеризуются наличием обрабатывающего инструмента. Ко второму основному классу относятся процессы, которые не требуют ориентации заготовки (детали), в них вместо обрабатывающего инструмента используют рабочую среду. К первому переходному классу относятся процессы, которые требуют ориентации заготовки (детали), но инструмент отсутствует, и его роль выполняет рабочая среда. Ко второму переходному классу относятся процессы, которые не требуют ориентации заготовки (детали), но в них участвует обрабатывающий инструмент.

К процессам первого основного класса относятся обработка резанием, давлением, а также сборка, контроль (вместо обрабатывающего инструмента в этом случае используют инструмент для сборки или измерительный инструмент); к процессам первого переходного класса — нанесение местных покрытий, контроль твердости намагничиванием и т. п. К процессам второго основного класса относятся термическая обработка, галтовка, мойка, сушка и т. п., а второго переходного класса — производство деталей из пресспорошков, производство металлокерамических и керамических деталей и т. п. Процессы, относимые ко второму основному и переходному классам автоматизировать проще, нежели процессы первого основного и переходного классов.

Рабочие машины автоматизированного производства по степени непрерывности разбивают на три класса: дискретные, непрерывные и квазинепрерывные.

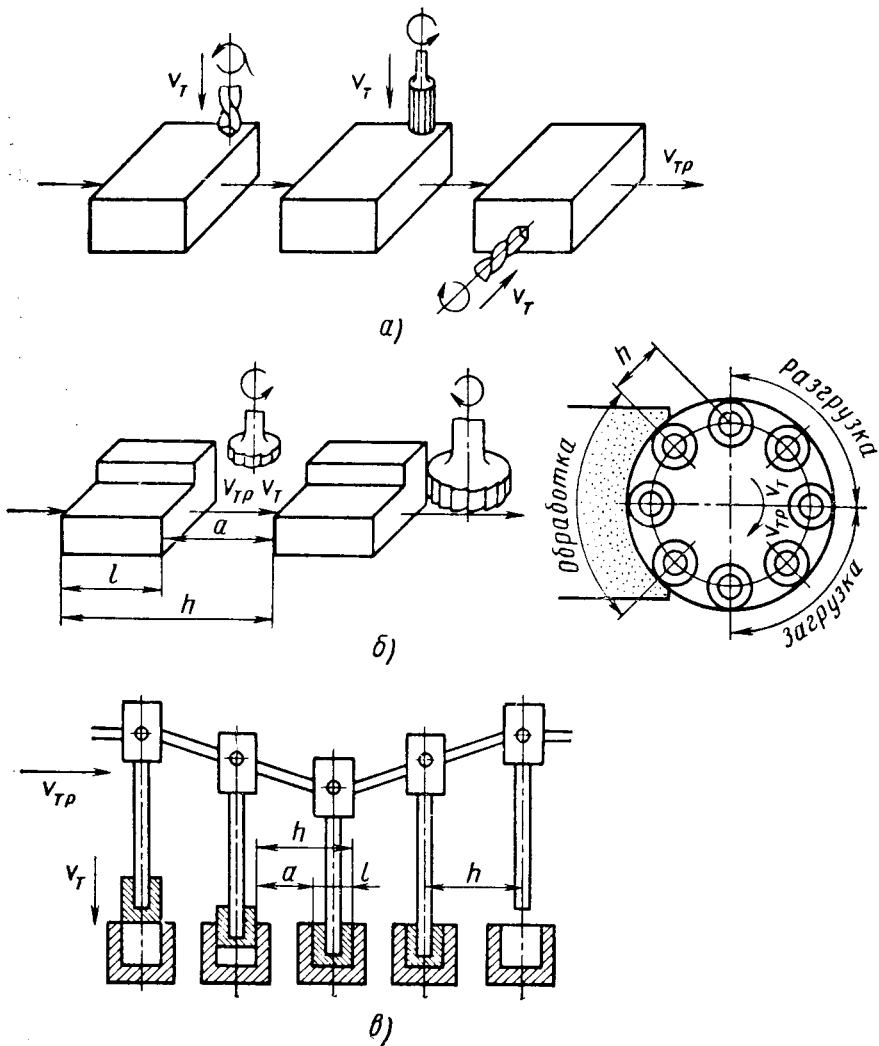


Рис. 1.1. Схемы дискретных (а), непрерывных (б) и квазинепрерывных (в) технологических машин

Машины дискретного действия (рис. 1.1, а) требуют остановки предмета труда на рабочей позиции на период выполнения рабочего процесса. Производительность таких машин

$$Q = \frac{1}{T_{ц}} = \frac{1}{t_m + t_x + t_3 + t_0 + t_{TP}}, \quad (1.7)$$

где $T_{\text{ц}}$ — время цикла; $t_{\text{м}}$ — машинное время; $t_{\text{х}}$ — время холостого хода; $t_{\text{з}}$ — время фиксации и зажима; $t_{\text{о}}$ — время освобождения (разжима и расфиксации); $t_{\text{тр}}$ — время транспортирования.

Машины непрерывного действия (рис. 1.1, б) характеризуются тем, что орудия труда занимают заданные им положения (т. е. они неподвижны), а предмет труда непрерывно движется в процессе обработки. Производительность машин этого класса

$$Q = \frac{v_{\text{т}}}{h} = \frac{v_{\text{т}}}{l + a}, \quad (1.8)$$

где $v_{\text{т}}$ — скорость технологического движения; l — размер заготовки (детали), измеренный в направлении ее движения; a — расстояние между двумя заготовками (детальями).

Машины квазинепрерывного действия (рис. 1.1, в) характеризуются тем, что предмет и орудие непрерывно перемещаются. Производительность машин этого класса

$$Q = \frac{v_{\text{тр}}}{h} = \frac{v_{\text{тр}}}{l + a}, \quad (1.9)$$

где $v_{\text{тр}}$ — скорость транспортного движения. Значения размеров l и a приведены ранее.

В квазинепрерывных машинах скорости транспортного и технологического движений независимы друг от друга. Наибольшую точность обработки дают машины дискретного действия, а наименьшую — квазинепрерывные.

По степени участия человека автоматические рабочие машины могут быть разделены на циклические, рефлекторные, самонастраивающиеся.

Циклические автоматические машины и системы машин — выполняется жестко заданная программа производственного цикла без контроля в процессе ее выполнения. За человеком в этих машинах остаются функции контроля, наблюдения, регулирования и программирования производственного процесса. Этот тип машин характеризуется жестким ритмом процесса.

Рефлекторные автоматические машины и системы машин — управление и контроль за ходом производственного процесса осуществляется в соответствии с заданной постоянной программой. При этом человек освобождается как от функции управления, так и от контроля за качеством продукции. Изменение программы или условий ее выполнения осуществляется человеком.

Самонастраивающиеся автоматические машины и системы машин — по заданным конечным параметрам производственного процесса и в зависимости от совокупности условий автоматически изыскивается и производится необходимое (или даже оптимальное) управление процессом, т. е. человек освобождается (целиком или частично) и от программирования. Работа этих машин связана с применением тех или иных счетно-решающих устройств и устройств для управления и контроля.

§ 1.4. ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ АВТОМАТИЗАЦИИ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Важнейшей объективной предпосылкой, определяющей возможность использования передовой техники производства, и, в частности, средств автоматизации, является достаточный объем выпуска однородной продукции на данном предприятии и ее стабильность. Важным средством решения этой задачи является специализация производства на изготовлении как определенных типов приборов, так и отдельных сборочных единиц и деталей к ним на базе наибольшей нормализации и стандартизации. Весьма важно проектирование новых приборов осуществлять с учетом созданных ранее, т. е. необходима приемственность конструкции, единообразие их, унификация как родственных изделий, так и сборочных единиц и деталей, имеющих одинаковое служебное назначение. Не менее важным является унификация отдельных элементов, деталей.

Унификация деталей в любом изделии оценивается с помощью коэффициента применяемости сборочных единиц и деталей

$$K_{\text{пр}} = \frac{\Sigma_c + \Sigma_{\text{п}} + \Sigma_3}{\Sigma_c + \Sigma_{\text{п}} + \Sigma_3 + \Sigma_0} 100.$$

Коэффициент применяемости заимствованных деталей (без учета покупных и стандартизованных), характеризующий степень унификации данного изделия по оригинальным деталям,

$$K_{\text{пр.з}} = \frac{\Sigma_3}{\Sigma_c + \Sigma_{\text{п}} + \Sigma_3 + \Sigma_0} 100.$$

В формулах приняты обозначения: Σ_c , $\Sigma_{\text{п}}$, Σ_3 и Σ_0 — количество наименований типоразмеров деталей соответственно стандартизованных (в том числе нормализованных по действующим нормам), покупных, заимствованных, оригинальных.

Очевидно, чем выше значения $K_{\text{пр}}$ и $K_{\text{пр.з}}$ по данной машине (прибору), тем выше степень ее унификации. Наряду с коэффициентом применяемости следует определять коэффициент повторяемости

$$K_{\text{п}} = \frac{\Sigma_{\text{с.ш}} + \Sigma_{\text{п.ш}} + \Sigma_{3.ш} + \Sigma_{0.ш}}{\Sigma_c + \Sigma_{\text{п}} + \Sigma_3 + \Sigma_0},$$

где $\Sigma_{\text{с.ш}}$, $\Sigma_{\text{п.ш}}$, $\Sigma_{3.ш}$, $\Sigma_{0.ш}$ — общее количество деталей по группам, входящих в изделие, в штуках. Коэффициент $K_{\text{п}}$ всегда больше единицы.

Исключительное значение для решения проблемы автоматизации имеет комплексность разработки конструкции изделий и методы их изготовления, т. е. технологичность.

Технологичность конструкций — это свойство отдельных деталей, сборочных единиц и изделия в целом, которое для данных

условий завода, данного масштаба выпуска и данных тактико-технических требований к изделию обеспечивает наиболее быстрое и экономичное освоение его в производстве, а также рациональное его изготовление.

Специфика автоматизации требует особого конструктивного оформления изделий, и эта задача решается в каждом конкретном случае. Ряд рекомендаций по технологичности изделий (сборочных единиц, деталей) приведен в книге [10].

Для решения проблемы автоматизации не менее важное значение, особенно для серийного производства, имеет унификация технологических процессов.

Существует два направления унификации технологических процессов: метод типизации процессов и метод групповой технологии [6, 14].

Особое значение для автоматизации имеет метод групповой обработки, позволяющий в условиях серийного и мелкосерийного производства широко использовать прогрессивные методы обработки и сборки и их автоматизацию. Степень автоматизации и механизации производственных процессов находится в тесной связи с формами их организации.

Между уровнем техники производства и формами его организации существует органическое единство: совершенствование техники, прежде всего орудий труда, порождает новые формы организации производства, а появление последних создает предпосылки для дальнейшего развития техники. Степень совершенствования организации производства зависит от того, насколько полно воплощены принципы специализации, пропорциональности, параллельности, прямоочности, непрерывности и ритмичности.

Приведенные предпосылки механизации и автоматизации позволяют сделать следующие выводы:

1. Основой автоматизации является технологический процесс, который должен быть прогрессивным; интенсификация технологических процессов обработки и сборки позволяет резко повысить производительность и тем самым обеспечить внедрение новой техники.

2. Автоматизацию следует внедрять при всех типах производства, но способы осуществления, т. е. используемые орудия производства, организация производства, характер технологических решений (работа по индивидуальным или унифицированным процессам) зависят от типа производства и определяются им.

3. Существенное значение в условиях серийного и мелкосерийного производства имеет работа по унифицированным технологическим процессам (групповым и типовым).

4. Конструктивное оформление изделий (сборочных единиц, деталей) должно учитывать возможность осуществления автоматизированного производства.

§ 1.5. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Автоматизация технологического оборудования, использующая новейшие достижения вычислительной техники, автоматики, теории управления и др., обеспечивает технический прогресс и является мощным рычагом для увеличения производительности труда. Однако не всякое новое оборудование является экономически эффективным для производства. Например, оснащение универсального металлорежущего станка сравнительно несложным механизмом, автоматизирующим рабочий ход, позволяет ввести многостаночное обслуживание. Если один станочник будет

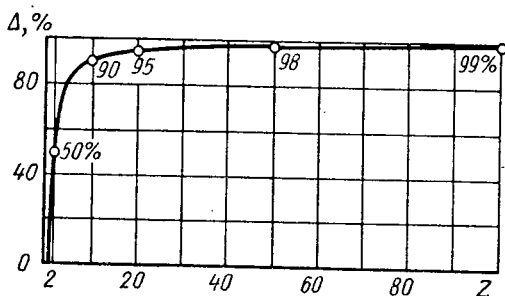


Рис. 1.2. Зависимость экономии фонда заработной платы Δ производственных рабочих от числа станков Z , обслуживаемых одним рабочим

обслуживать два станка, то получается экономия до 50% зарплаты обслуживающего персонала (рис. 1.2). Дальнейшая автоматизация универсального оборудования превратит станки в автоматы, объединит их в поточную линию, а затем и в автоматическую.

Переход от поточной линии к автоматической позволит, например, увеличить количество станков Z , обслуживаемых одним

рабочим, с 50 до 100 шт, а экономию по заработной плате при этом получить всего лишь на 1%. При всем этом потребуются введение сложного дорогостоящего комплекса автоматических устройств (автоматический транспорт, магазины-накопители, общая система управления, контрольные и блокировочные устройства и т. д.). Очевидно, что второй вариант для условий небольшого срока эксплуатации будет нерентабельным, хотя автоматическая линия оснащена новейшим оборудованием. Таким образом, кроме технических требований новое оборудование должно отвечать определенным экономическим требованиям, поэтому для оценки экономической эффективности необходим обобщенный критерий, связывающий технические характеристики машины с экономическими требованиями.

Существует несколько точек зрения на то, какому общему критерию должна отвечать новая техника. Одним из распространенных критериев является срок окупаемости, который определяется при сопоставлении капиталовложений и себестоимости выпускаемой продукции с существующей. Этот критерий оценки экономической эффективности лежит в основе методики, предложенной Госкомитетом по науке и технике Совета Министров СССР и Академией наук СССР.

Срок окупаемости новой техники

$$n_o = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2} \leq n_n, \quad (1.10)$$

где K_2 и K_1 — соответственно капиталовложения на новую автоматизированную и существующую машины в рублях; C_2 и C_1 — себестоимость продукции, выпускаемой на новой и существующей машинах, в рублях; n_n — нормативное число лет (для каждой отрасли свое), в течение которого должна окупиться новая машина.

Если расчетный срок окупаемости меньше нормативного, то автоматизация считается экономически эффективной и затраты на нее целесообразными.

Применение рассмотренной выше методики возможно только после изготовления в металле новых средств, когда становятся известными различные калькуляционные коэффициенты, входящие в формулу срока окупаемости. Методика проста, так как для определения различных затрат используются имеющиеся таблицы и номограммы, и дает хорошую количественную оценку сравнимого варианта. Однако она не позволяет оценить, насколько удачно решена новая машина с конструктивной и технологической точек зрения, удобна ли в эксплуатации, экономична ли в работе и т. д. Ее нельзя использовать для прогнозирования развития новых средств автоматизации.

Наиболее объективным критерием оценки новых средств автоматизации является производительность труда Π_r , которая определяется отношением количества выпущенной продукции W (в штуках, единицах длины, объеме) в определенный интервал времени к трудовым затратам на ее изготовление T [24]:

$$\Pi_r = \frac{W}{T}. \quad (1.11)$$

Количество выпущенной продукции зависит от времени эксплуатации техники и при неизменном годовом выпуске продукции Q определяется выражением

$$W = NQ, \quad (1.12)$$

где N — календарное время эксплуатации в годах.

В трудовые затраты входят средства, затраченные на проектирование и изготовление, транспортировку, установку и наладку оборудования и оснастки, а также на постройку здания или сооружения, где ее устанавливают. Эти средства расходуют до введения оборудования в эксплуатацию, и они не зависят от длительности работы оборудования. Другая часть затрат, расходуемая на заработную плату обслуживающего персонала, а также затраты, связанные с покупкой и эксплуатацией режущего и измерительного инструмента, ремонтом оборудования, приобретением заготовок; затраты на энергию, вспомогательные материалы — переменная величина и зависит от N . Таким образом,

$$T = T_n + (T_v + T_{ж}) N, \quad (1.13)$$

где $T_{\text{п}}$ — единовременные затраты прошлого труда на оборудование, здание, сооружение и т. д.; $T_{\text{в}}$ — годовые текущие затраты прошлого труда на материалы, инструмент, ремонт, энергию и др.; $T_{\text{ж}}$ — годовые текущие затраты живого труда, связанные с обслуживанием машин.

Используя выражения (1.11), (1.12) и (1.13), получим

$$P_{\text{т}} = \frac{NQ}{T_{\text{п}} + (T_{\text{в}} + T_{\text{ж}})N}. \quad (1.14)$$

Эта формула показывает, от каких затрат и в какой степени зависит производительность труда. Из формулы также видно, что в период ввода в эксплуатацию (N близко к нулю) новая техника обеспечивает низкий уровень производительности труда.

Все затраты прошлого труда, текущие и единовременные, могут быть реализованы лишь через живой труд, поэтому чаще производительность выражают через затраты живого труда:

$$P_{\text{т}} = \frac{NQ}{[K + (m + 1)N]T_{\text{ж}}}, \quad (1.15)$$

где $K = \frac{T_{\text{п}}}{T_{\text{ж}}}$ характеризует степень технической вооруженности производства; $m = \frac{T_{\text{в}}}{T_{\text{ж}}}$ учитывает издержки эксплуатации оборудования.

Эта формула показывает, что с увеличением степени автоматизации количество людей, обслуживающих машину, уменьшается, а количество создающих ее — возрастает. В этом заключается тенденция развития техники.

Технико-экономическое сравнение различных вариантов автоматизации осуществляется через соотношение их производительности труда, которое принято называть коэффициентом роста производительности труда:

$$\lambda = \frac{P_2}{P_1} = \frac{NQ_2 [K_1 + N(m_1 + 1)] T_{\text{ж}1}}{NQ_1 [K_2 + N(m_2 + 1)] T_{\text{ж}2}} = \frac{Q_2 T_{\text{ж}1} [K_1 + N(m_1 + 1)]}{Q_1 T_{\text{ж}2} [K_2 + N(m_2 + 1)]}, \quad (1.16)$$

где P_2 и P_1 — соответственно производительность труда по новому и существующему варианту.

Введем безразмерные коэффициенты:

$\varphi = \frac{Q_2}{Q_1}$ — коэффициент роста производительности технологических машин;

$\epsilon = \frac{T_{\text{ж}1}}{T_{\text{ж}2}}$ — коэффициент, характеризующий сокращение живого труда;

$\sigma = \frac{T_{\text{п}2}}{T_{\text{п}1}}$ — коэффициент, учитывающий изменение стоимости средств производства;

$\delta\varphi = \frac{T_{v2}}{T_{v1}}$ — определяет изменение текущих эксплуатационных затрат на единицу продукции.

Подставляя эти обозначения в формулу (1.16), выражая K_2 и m_2 через K_1 и m_1 и разделив числитель и знаменатель на ε , получим

$$\lambda = \varphi \frac{K + N(m_1 + 1)}{K\sigma + N\left(m_1\delta\varphi + \frac{1}{\varepsilon}\right)}. \quad (1.17)$$

Из формулы (1.17) видно, что введение автоматизации во втором варианте потребовало увеличения числа людей, занятых в создании средств производства, в σ раз, людей, обеспечивающих эксплуатацию машины, в δ раз, а количество рабочих, непосредственно занятых обслуживанием машины, сократилось в ε раз. Увеличение роста производительности труда достигается путем улучшения технико-экономических показателей: повышения производительности машины (φ), сокращения обслуживающего персонала (увеличение ε), снижения стоимости средств производства (σ), уменьшения расхода инструмента, энергии и т. д. на каждое изготовленное изделие.

На современном этапе развития техники, оснащенной средствами автоматизации, характерным является рост производительности средств производства ($\varphi > 1$), резкое сокращение числа людей, непосредственно обслуживающих эту технику ($\varepsilon > 1$), и увеличение общей стоимости оборудования ($\sigma > 1$).

Основные пути повышения производительности труда при автоматизации. Основные положения теории производительности труда позволяют не только выявить влияние отдельных технико-экономических показателей на увеличение производительности труда, но и показать направления развития автоматизации, по которым должна совершенствоваться техника. Главные из них следующие.

1. Увеличение производительности средств производства, т. е. увеличение φ . Это достигается созданием машин непрерывного действия, применением новых высокопроизводительных технологических процессов и особенно таких, которые невозможны при ручном управлении, с оптимальной дифференциацией и концентрацией технологических процессов; созданием устройств, автоматизирующих рабочие и холостые ходы, инструментов, позволяющих вести обработку на высоких режимах резания; использованием многоинструментальных наладок, устройств для автоматической смены инструмента, средств активного контроля, оргтехники, более современных орудий производства (паяльники, пистолеты для оплетки и вязки жгутов и кабелей, монтажно-координатные столы в сборочных операциях, программные устройства в контрольно-наладочных операциях) и др.

2. Уменьшение затрат живого труда за счет сокращения рабочих, непосредственно обслуживающих машины, т. е. увеличе-

ния ϵ . Это возможно за счет многостаночного обслуживания при автоматизации рабочих, холостых и вспомогательных операций, блокирования машин в автоматические линии, за счет хорошей организации труда и др. Однако автоматизация, позволяющая вводить многостаночное обслуживание, имеет ограниченные возможности, что и отмечалось ранее. Она оказывается более эффективной в отраслях производства с малым значением K , где велики затраты живого труда.

3. Снижение стоимости средств производства, т. е. уменьшение σ . Этот путь требует непрерывного совершенствования технологии производства средств производства, применения методов групповой технологии, стандартизации и унификации механизмов, узлов и деталей машин, обеспечивающих снижение их себестоимости. Характерным для этого направления является агрегатное станкостроение, поточные методы производства, унификация средств автоматизации.

Выбор оптимального варианта. С помощью теории производительности труда можно не только прогнозировать перспективность различных направлений автоматизации, но и осуществлять выбор наиболее выгодного варианта автоматизации в зависимости от конкретных условий его применения. Например, производство деталей (сборочных единиц) машин можно выполнить на поточной линии либо на многопозиционном станке, спроектированном для этой цели. Оба варианта имеют свои преимущества и недостатки. Так, поточную линию из универсальных машин можно создать в более короткие сроки и с малыми затратами, но для ее обслуживания потребуются значительные затраты ручного труда на загрузку и снятие заготовок, межстаночную транспортировку, контрольные операции, уборку стружки и т. д. Многопозиционный станок обеспечит повышение производительности труда и сокращение числа непосредственно обслуживающих его рабочих, но потребует больших затрат на проектирование, изготовление и отладку.

Только на основе комплексного учета всех технико-экономических показателей (производительности φ , количества обслуживающих рабочих ϵ , стоимости σ и др.), а также сроков эксплуатации новой техники можно выбрать оптимальный вариант. На рис. 1.3, а показаны кривые, характеризующие производительность труда по первому и второму варианту, а также график коэффициента роста производительности труда сравниваемых вариантов в соответствии с формулой (1.17). Если число лет эксплуатации меньше n , то многопозиционный станок из-за большей стоимости невыгоден. В этих условиях производительность труда P_2 на станке ниже, чем на поточной линии, коэффициент λ здесь меньше единицы. При сроке эксплуатации, большем n , невыгодной становится поточная линия. В этом случае многопозиционный станок с более высокой производительностью ($\varphi > > 1$) и меньшим количеством обслуживающих рабочих ($\epsilon > 1$)

имеет меньшие эксплуатационные затраты, поэтому производительность труда на нем становится более высокой и коэффициент роста производительности λ будет больше единицы.

В рассматриваемом примере имелось в виду, что оба сравниваемых варианта вводятся в эксплуатацию одновременно. Однако на практике часто бывает не так. Более сложный многопозиционный станок требует на проектирование, изготовление и отладку

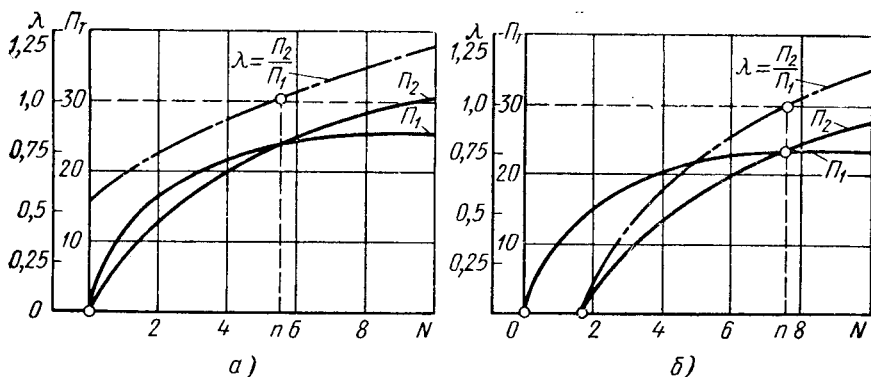


Рис. 1.3. Рост производительности труда при одновременном вводе в эксплуатацию средств автоматизации (а) и при различных сроках ввода (б)

больше времени, чем поточная линия, и вводится он в эксплуатацию, как правило, позже на L лет. Следовательно, производительность труда на нем

$$\Pi = \frac{Q_2(N-L)}{[K_2 + (N-L)(m_2 + 1)]T_{ж2}}, \quad (1.18)$$

при этом рост производительности сравниваемых вариантов будет

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{Q_2}{Q_1} \cdot \frac{N-L}{N} \cdot \frac{[K_1 + N(m_1 + 1)]T_{ж1}}{[K_2 + (N-L)(m_2 + 1)]T_{ж2}} = \\ &= \varphi \frac{(N-L)}{N} \cdot \frac{K + N(m + 1)}{K\sigma + (N-L)\left(m\delta\varphi + \frac{1}{\varepsilon}\right)}. \end{aligned} \quad (1.19)$$

Таким образом, приведенная ранее формула (1.17) является частным случаем формулы (1.19) (при $L = 0$).

На рис. 1.3, б приведены графики изменения Π_2 , Π_1 и $\lambda = \frac{\Pi_2}{\Pi_1}$, которые показывают, что к моменту ввода в эксплуатацию многопозиционного станка (Π_2) производительность поточной линии составляет уже определенную величину (при $N = L$ $\Pi_1 > 0$, $\Pi_2 = 0$ и $\lambda = 0$). Таким образом, формула (1.19) показывает, что, чем длиннее сроки освоения и ввода в эксплуатацию новой техники, тем ниже производительность труда. Поэтому даже самый совершенный многопозиционный станок, имеющий

высокую производительность и надежность в работе, который обслуживается минимальным количеством рабочих, может оказаться невыгодным, если сроки ввода его в эксплуатацию будут слишком длительными.

Если известны технико-экономические показатели φ , ϵ , σ , δ , m и K и срок ввода L , то можно по формуле (1.19) определить λ и сделать заключение, является ли новый вариант машины прогрессивным. Прогрессивной техника считается в том случае, если ее внедрение в производство обеспечит коэффициент роста производительности выше предусмотренного планом отрасли.

Производительность технологического оборудования. Работа любого технологического оборудования характеризуется периодическим повторением в заданной последовательности рабочих и холостых ходов, т. е. повторением рабочего цикла. Период рабочего цикла является важнейшим параметром, определяющим производительность оборудования.

Цикловая производительность технологического оборудования определяется количеством произведенной на нем продукции в единицу времени:

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{T_{\text{ц}}} = \frac{1}{t_{\text{р}} + t_{\text{х}}} \text{ [шт/мин]}, \quad (1.20)$$

где $Q_{\text{ц}}$ — цикловая производительность оборудования; $T_{\text{ц}}$ — продолжительность рабочего цикла; $t_{\text{р}}$ — время рабочих ходов (формообразование, сборка и т. д.); $t_{\text{х}}$ — время холостых ходов (подготовительные операции: транспортные, загрузочные, установочные, зажимные).

Для машины, у которой отсутствуют холостые ходы или совмещены с рабочими, производительность определяется длительностью рабочих ходов и называется технологической:

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{t_{\text{р}}} = k \text{ [шт/мин]}, \quad (1.21)$$

где k — технологическая производительность.

Технологическая производительность зависит от сложности детали или сборочной единицы, метода и последовательности обработки (или сборки), режимов обработки, степени совмещения операций и т. д. Повышение технологической производительности является важнейшим средством увеличения производительности машин и достигается путем интенсификации режимов обработки, дифференцированием и концентрированием технологических процессов, применением новых высокопроизводительных технологических процессов.

Анализ формулы цикловой производительности показывает, что рост производительности машины предела не имеет, если одновременно с увеличением технологической производительности уменьшать время холостых ходов. Время холостых ходов можно уменьшить модернизацией оборудования путем оснащения его

устройствами, автоматизирующими загрузочные, установочные, транспортные операции и др.

Фактическая производительность и внецикловые потери. Если проследить за работой оборудования в течение длительного периода времени, можно заметить, что оно не только выпускает продукцию, но и простаивает. Поэтому при определении фактической производительности нужно учитывать как время рабочих и холостых ходов, так и все простои (потери), следовательно,

$$Q_{\Phi} = \frac{1}{t_p + t_x + \sum t_{п}} = \frac{1}{t_p + t_x + \sum C_i + t_e + t_{o.п} + t_{\delta} + t_{пер}}, \quad (1.22)$$

где Q_{Φ} — фактическая производительность машины; $\sum t_{п}$ — суммарные внецикловые потери; t_x — потери холостых ходов (потери I вида — цикловые); $\sum C_i$ — потери, связанные с эксплуатацией инструмента (II вида); t_e — потери на ремонт и регулировку механизмов машины (III вида); $t_{o.п}$ — потери на обслуживание и управление машины (IV вида); t_{δ} — потери, связанные с браком (V вида); $t_{пер}$ — потери, идущие на переналадку машины при переходе с выпуска одного изделия на другое (VI вида).

Простои технологических машин разделяют на собственные и организационно-технические. К собственным простоям относят простои, связанные с холостыми ходами, со сменой и подналадкой инструмента, с отказами механизмов (поломки, регулирование, загрязнение механических, гидравлических, электрических устройств и др.). К организационно-техническим простоям относят простои из-за отсутствия заготовок, электроэнергии, несвоевременного прихода или ухода обслуживающих рабочих, остановки станков для очистки, уборки стружки и т. д. Собственные простои присущи работе машин, поэтому, вскрывая причины появления, их можно снизить, а организационно-технические простои при надлежащей организации труда можно устранить вообще или свести к минимуму. Таким образом, фактическая производительность получается меньше цикловой, так как учитывает все внецикловые потери.

Рассматривая потери как движущие противоречия в развитии техники, назовем основные проблемы комплексной автоматизации, решение которых определяет перспективы ее развития.

Проблемы автоматизации. 1. Автоматизация холостых ходов. Решение этой проблемы осуществляется двумя путями: модернизацией существующих машин, у которых время t_x велико, путем оснащения их механизмами холостых ходов, позволяющих уменьшить t_x , и созданием машин непрерывного действия, в которых осуществляется непрерывная обработка или сборка. Машины непрерывного действия являются наиболее совершенными, высокопроизводительными. Это машины роторного типа, гайконарезные автоматы с гибким валом и др. Создание машин

непрерывного действия является в настоящее время перспективным. Они особенно эффективны для технологических процессов с большим k .

2. Автоматизация смены и регулировки инструмента. Уменьшение потерь II вида, связанных со сменой и регулировкой инструмента, возможно путем применения более износостойкого материала режущей части инструмента, быстросменных приспособлений для крепления инструмента, позволяющих вести установку и регулировку инструмента вне машины, высокопроизводительных устройств для установки и регулировки инструмента (например, оптические устройства с экраном), автооператоров с магазином инструментов (по типу устройств для автоматической смены инструмента, применяемых на многооперационных станках).

3. Надежность. Все потенциальные возможности повышения производительности, заложенные в машинах, можно реализовать тогда, когда все механизмы и устройства будут иметь высокую надежность в работе.

Надежность есть свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки (ГОСТ 13377—67). В данном случае под изделием понимается любая технологическая машина: станок, автомат, автоматическая линия и др.

Различают надежность срабатывания, связанную с отказом того или иного механизма машины (деталь не зафиксировалась в рабочей позиции, агрегатная головка не переключалась с рабочей подачи на быстрый отвод и т. д.), и технологическую надежность, определяемую стабильностью протекания процесса, нарушение которого происходит вследствие износа трущихся поверхностей механизмов, колебаний жесткости деталей, припусков на обработку, твердости обрабатываемого материала и т. д. Причины, вызывающие нестабильность работы механизмов, носят случайный характер. Поэтому основным направлением решения этой проблемы является увеличение надежности как отдельных элементов, так и всей машины путем увеличения точности изготовления и чистоты поверхности сопрягаемых деталей, рационального подбора материала этих деталей и т. д.

4. Автоматизация управления производством. Одним из наиболее эффективных направлений за снижение потерь по организационным причинам является использование АСУП (автоматизированных систем управления производством) и различных средств вычислительной техники, так как сложность и многообразие современных процессов порождает большое количество информации. Задержка переработки этой информации без применения указанных средств приводит к простоям машин из-за отсутствия заготовок, инструмента, вспомогательных материалов и т. д.

Другим направлением сокращения организационных потерь является автоматизация транспортировки, хранения готовой про-

дукции во всех звеньях производственного процесса. На транспортировке, погрузочно-разгрузочных и складских работах затраты неавтоматизированного труда велики, поэтому здесь оказываются особенно эффективны различные автопогрузчики с программным управлением. В определенной степени сокращение простоев из-за отсутствия заготовок на автоматических линиях решает правильная установка бункеров-накопителей.

5. Качество продукции. Проблема борьбы с браком и снижение простоев, связанных с ним, является одной из наиболее важных, так как здесь имеется значительный резерв увеличения производительности. Применение средств для автоматического контроля, а также различных подналадчиков позволит повысить качество контроля и высвободить значительный штат контролеров.

6. Мобильность. Особенно актуальна эта проблема применительно к условиям мелкосерийного производства, где быстрая сменяемость объектов производства вызывает частую переналадку оборудования и при низкой мобильности большие простои его. Одним из направлений решения этой проблемы является применение программных устройств для управления работой технологического оборудования. Задача создания высокопроизводительного оборудования заключается в том, чтобы еще на стадии проектирования предусмотреть конструктивные меры и технико-организационные мероприятия для предотвращения всех потерь.

§ 1.6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Создание любого автоматизированного оборудования начинается с разработки технологического процесса. При этом решаются такие задачи, как выбор методов обработки (сборки), последовательности осуществления этих операций, разделения и концентрации (агрегатирования) их, выбора технологических баз, орудий труда (режущего, измерительного инструмента), режимов резания (или сборки) и др. Особенностью технологических процессов автоматизированного производства является их интенсификация, совмещение операций (совмещение рабочих ходов с холостыми, холостых с холостыми), интенсификация режимов обработки, применение новых высокопроизводительных методов, невозможных при ручном управлении процессом.

Одним из наиболее перспективных направлений повышения производительности машин при автоматизированном производстве является агрегатирование, т. е. деление технологического процесса на составные элементы и их концентрация в многопозиционных машинах. Различают последовательное, параллельное и смешанное агрегатирование. Знание законов агрегатирования позволит правильно решить вопросы об оптимальном количестве позиций многопозиционной машины и способе их объединения

в зависимости от конкретных производственных условий (трудоемкости технологического процесса и надежности оборудования).

Последовательное агрегатирование применяют для сложных технологических процессов с высокой трудоемкостью, для выполнения которых используют различные инструменты. Рассмотрим производительность поточной линии, представляющей собой группу станков, расставленных в технологической последовательности, и производительность многопозиционной машины с последовательным расположением позиций. Сопоставление производительности группы станков и многопозиционной машины будем вести при следующих допущениях: весь технологический процесс равномерно разбит на q операций; в поточной линии работа каждого станка не зависит от других, а в многопозиционной машине работа каждой позиции зависит полностью от других; количество позиций в автоматической линии равно числу станков поточной линии.

Производительность одного станка поточной линии (без учета потерь IV, V и VI видов)

$$Q_{ст} = \frac{1}{T_{ц} + \sum t_{п}}, \quad (1.23)$$

где $T_{ц}$ — продолжительность рабочего цикла $T_{ц} = t_{п} + t_{х}$; $\sum t_{п}$ — внецикловые потери, связанные с эксплуатацией инструмента и оборудования, $\sum t_{п} = t_{е} + \sum C_i$; здесь $t_{е}$ — потери, связанные с ремонтом; $\sum C_i$ — потери, связанные с инструментом.

Производительность поточной линии

$$\begin{aligned} Q_{гр\ q} &= \frac{1}{\frac{t_{п}}{q} + t_{х} + t_{е} + \frac{\sum C_i}{q}} = \\ &= \frac{k_0 q}{1 + q k_0 (t_{х} + t_{е}) + k_0 \sum C_i}, \end{aligned} \quad (1.24)$$

где k_0 — технологическая производительность до деления процесса,

$$k_0 = \frac{1}{t_{п}} = \frac{1}{kq}.$$

Производительность многопозиционной машины

$$\begin{aligned} Q_q &= \frac{1}{\frac{t_{п}}{q} + t_{х} + \left(t_{е} + \frac{\sum C_i}{q} \right) q} = \\ &= \frac{q k_0}{1 + k_0 q (t_{х} + q t_{е}) + q k_0 \sum C_i}. \end{aligned} \quad (1.25)$$

Эта зависимость показана на рис. 1.4, а.

В поточной линии дифференциация уменьшает рабочее время t_p и потери по инструменту, в многопозиционной машине внецикловые потери увеличиваются в q раз. Последнее обстоятельство приводит к тому, что с увеличением числа позиций производительность Q_q сначала растет, затем падает за счет интенсивного увеличения внецикловых потерь. Таким образом, при большом количестве позиций можно получить многопозиционную машину с низкой производительностью.

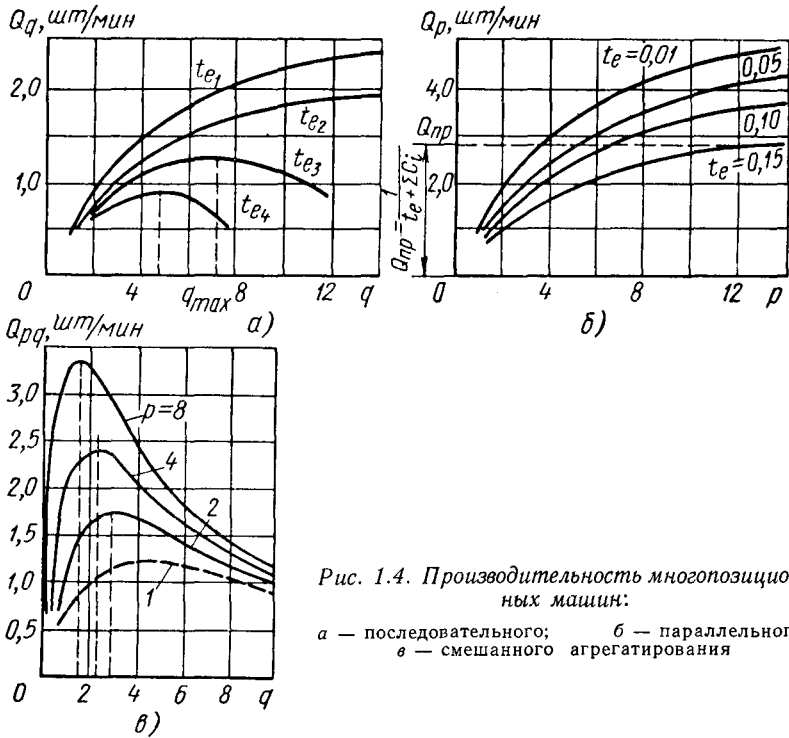


Рис. 1.4. Производительность многопозиционных машин:

а — последовательного; б — параллельного; в — смешанного агрегатирования

Оптимальное количество позиций зависит от трудоемкости технологического процесса и сложности оборудования (его надежности):

$$q_{opt} = \sqrt{\frac{1}{k_0 t_e}} \quad (1.26)$$

Таким образом, для оборудования с высокой надежностью число допустимых позиций будет больше. Этим положением широко пользуются в практике автоматостроения. Так, многопозиционные машины в полупроводниковом и электровакуумном машиностроении, где условия работы более легкие, усилия и износ незначительны, имеют большое число позиций (24, 36, 48 и выше). В металлообработке — наоборот: автоматы и полуавтоматы имеют

лишь 4, 6, 8 позиций. Это объясняется тяжелыми условиями работы (большие усилия, стружка, повышенный износ).

Параллельное агрегатирование применяют для сравнительно простых технологических процессов, имеющих низкую трудоемкость, где дробление операций нецелесообразно. Время обработки детали на одной позиции при параллельном агрегатировании не меняется. Производительность для многопозиционных машин с параллельным агрегатированием

$$Q_p = \frac{pk_0}{1 + k_0 t_x + pk_0(t_e + \sum C_i)}, \quad (1.27)$$

где p — число параллельно расположенных позиций.

Производительность группы независимо работающих машин

$$Q_{гр. p} = \frac{pk_0}{1 + k_0(t_x + t_e) + k_0 \sum C_i}. \quad (1.28)$$

График производительности машин параллельного действия (рис. 1.4, б) показывает, что кривые не имеют минимума, а максимальная производительность зависит лишь от внецикловых потерь, и она тем больше, чем меньше потери.

Производительность машин параллельно-последовательного действия (рис. 1.4, в)

$$Q_{pq} = \frac{pqk_0}{1 + qk_0 t_x + pqk_0(qt_e + \sum C_i)}, \quad (1.29)$$

максимальное число позиций

$$q_{max} = \sqrt{\frac{1}{pk_0 t_e}}. \quad (1.30)$$

Смешанное агрегатирование сочетает в себе последовательное и параллельное агрегатирование на различных участках.

Сведения по расчету производительности автоматических линий, их надежности и принципу построения будут приведены в гл. 7.

Глава 2

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

§ 2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Всякий процесс управления подразумевает наличие одного или нескольких объектов управления и управляющей ими системы.

Под системой управления (СУ) понимается совокупность средств, стремящихся обеспечить группе объектов, объединенных общностью задач, достижение определенной цели. Применительно к задачам производства объектами управления являются технологические машины, а целью их работы — выполнение заданных технологических процессов.

Система управления считается автоматической, если основные функции управления осуществляются в ней без участия человека — автоматически. Комплекс устройств, осуществляющий автоматическое поддержание заданного параметра, прямо или косвенно определяющего технологический процесс на определенном уровне или изменяющий его по известному закону, называется *системой автоматического регулирования (САР)*. Процесс автоматического регулирования следует рассматривать как частный случай процесса автоматического управления, поэтому в дальнейшем изложении материала под общим термином «системы управления» будут подразумеваться все системы автоматического регулирования (системы стабилизации, системы программного регулирования и следящие системы). В системах автоматической стабилизации управляющее воздействие представляет собой постоянную величину. *Системами программного регулирования* являются системы, у которых управляющее воздействие — известная функция времени. САР, в которых изменение управляющего воздействия определяется процессами, протекающими вне рассматриваемой системы, и заранее точно не может быть указано, называются следящими системами.

Различают системы управления отдельными механизмами, выполняющими элементарные циклы, и системы, обеспечивающие управление общим циклом работы машины (оборудования). Дальнейшую классификацию систем управления удобно провести по информационным признакам, включающим источники и носители информации, количество и структуру потоков информации, вид и методы переработки ее. Информационные признаки

наиболее полно отвечают сущности работы систем управления и их назначению.

Основным источником информации служит программа управления. Эта информация известна до начала технологического процесса. Она может быть сообщена системе заранее и называется задающей информацией. Задающая информация, зафиксированная тем или иным способом, является программой, а материальный носитель, на котором она зафиксирована, — программоносителем. В программе даются сведения о характере движения рабочих органов, их синхронизации, режимах работы (например, режимах резания), различные технологические и другие команды.

Другим источником информации является сам технологический процесс. Существующие датчики позволяют получать информацию о фактическом положении, скорости движения рабочего органа, деформациях обрабатываемой поверхности, температурных и силовых деформациях в системах СПИД, температуре в зоне резания, уровне вибрации и т. п. Эту информацию называют информацией обратной связи, а датчики, с помощью которых она собирается, — датчиками обратной связи.

Источником информации о возмущениях служит окружающая среда (температура, влажность, колебания припуска заготовки, твердости материала, уровень вибрации и др.).

Носитель программы. Программа управления может быть зафиксирована с помощью упоров, переключателей, кулачков, копиров, штеккерных табло, номеронабирателей и быстросменных носителей: перфо-, киноленты, перфокарты, магнитных барабанов, дисков.

Количество информации, их структура в определенной степени определяют качество работы СУ. Чем больше используется каналов информации, тем качество работы СУ выше, шире ее функциональные возможности. Системы управления, использующие только задающую информацию, имеют разомкнутую структуру, их называют разомкнутыми СУ. В них отсутствуют контроль о выполнении заданной программы и обратная связь. Чаще всего по разомкнутому циклу работают СУ с нерегулируемыми приводами (исключение составляют шаговые СУ). В разомкнутой системе используется один поток информации. Задающая информация перерабатывается в удобную форму для управления приводом, выполняющим тот или иной элементарный цикл технологического процесса. На технологический процесс действуют также возмущения, информация о которых не используется в разомкнутой СУ. Такую структуру имеют СУ с шаговыми исполнительными механизмами и СУ, работающие от кулачков и упоров. Использование только одного канала информации значительно упрощает конструкции СУ. Однако нормальное функционирование такой СУ требует высокого качества изготовления отдельных ее элементов.

Обширный класс составляют замкнутые СУ, в которых для снижения технологических требований к отдельным элементам и повышения качества работы СУ применяют обратную связь. В этом случае используется не один канал, а два: канал задающей информации и канал обратной связи. Информация обратной связи может содержать сведения о фактической скорости перемещения рабочего органа, его положении, об окончании цикла или отдельных его элементов и другие сведения о протекании технологического процесса.

Системы управления, работающие на основе совместного использования задающей информации и информации обратной связи, называются замкнутыми СУ. Сопоставление задающей информации с информацией обратной связи осуществляется в сравнивающем устройстве, на выходе которого вырабатывается команда, необходимая для управления приводом. Качество работы замкнутой СУ, в частности точность отработки заданной программы, выше, чем в разомкнутой при некотором усложнении ее конструкции. В замкнутых СУ обычно используются управляемые приводы; структуру с замкнутой схемой управления имеют большинство систем программного управления и копировальные СУ.

Для получения оптимального управления течением технологического процесса необходимо использовать два и более каналов дополнительной информации. Дополнительной информацией может быть информация о величине силы резания, об изменении припуска, о твердости материала заготовки, об износе инструмента и др. Системы управления, использующие два и более каналов дополнительной информации и имеющие устройство для коррекции управляющего сигнала, можно отнести к классу приспособляющихся СУ (самонастраивающиеся, самоорганизующиеся и самообучающиеся системы).

Самонастраивающиеся системы имеют постоянную структуру, а в процессе работы изменяются лишь управляющиеся воздействия или параметры (коэффициенты передаточных функций). В *самоорганизующихся* системах во время работы изменяются не только управляющие воздействия и параметры, но и структура СУ. *Самообучающиеся* системы характеризуются изменением в процессе работы алгоритма, по которому они построены. Приспособляющиеся СУ еще не реализованы для управления технологическим оборудованием (за небольшим исключением самонастраивающихся СУ), применяемым в системах с программным управлением, поэтому они рассматриваться не будут.

Вся информация, как задающая, так и от обратной связи, может быть выражена либо в виде аналога (уровня напряжения, величины силы тока и др.), либо последовательностью импульсов. В зависимости от вида информации, которая используется системами, последние делят на непрерывные, импульсные и смешанные СУ.

В непрерывных СУ информация представлена в виде непрерывной величины. Так, регулируемая величина (например, скорость перемещения или величина перемещения рабочего органа) выражается амплитудой или сдвигом фазы напряжения. Всякое изменение регулируемой величины в замкнутой схеме вызывает также непрерывное изменение других, связанных с ней параметров.

В импульсных СУ информация выражена последовательностью импульсов. Различают три вида импульсной информации с модулированием: по амплитуде (амплитудно-импульсная модуляция АИМ), по длительности (ширине) импульсов (широтно-импульсная модуляция ШИМ) и по частоте (частотно-импульсная модуляция ЧИМ).

Система управления всей работой технологического оборудования включает в себя ряд систем управления элементарными циклами работы отдельных механизмов и осуществляет либо функциональное управление ими, либо просто включение, синхронизацию и блокировку. Такие системы называют системами управления общим автоматическим циклом или системами группового управления.

§ 2.2. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЩИМ ЦИКЛОМ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ

Для управления всем технологическим циклом работы оборудования, в том числе и системами, осуществляющими выполнение отдельных циклов, применяют СУ общим циклом. Эти системы в зависимости от степени централизации и вида синхронизации подразделяют на централизованные, децентрализованные и комбинированные.

Централизованные СУ осуществляют управление работой всех имеющихся приводов от единой общей программы. Классическим примером таких СУ служат кулачковые системы управления от распределительного вала или от командоаппарата. Такие системы имеют жесткую синхронизацию работы целевых механизмов. Продолжительность технологического цикла в них — величина постоянная. Благодаря своей простоте и надежности эти СУ нашли широкое применение в токарных автоматах для обработки, в некоторых сборочных машинах и в автоматических линиях.

К недостаткам централизованных СУ следует отнести необходимость иметь дополнительные предохранительные устройства, позволяющие исключать аварии в случае неполадок отдельных механизмов, так как управляющие команды от центрального пульта управления подаются к приводам вне зависимости от действительного положения исполнительных рабочих органов.

Децентрализованные СУ представляют собой, фактически, набор систем управления отдельными циклами, имеющими свои блоки управления БУ и свои программы с задающей информацией. Синхронизация работы этих систем чаще всего осуществляется

с помощью датчиков и различных переключателей, включаемых упорами, установленными на движущихся рабочих органах. Все основные целевые механизмы здесь связаны между собой так, что выполнение отдельного цикла одним механизмом разрешает работу другому. Такое управление позволяет обойтись без сложной блокировки.

Недостатки этих СУ заключаются в том, что датчики, выдающие информацию о завершении цикла тем или иным механизмом, часто устанавливаются близко к зоне резания или в агрессивной среде. Такие условия работы датчиков снижают их надежность.

Комбинированные СУ представляют собой промежуточное решение между централизованными и децентрализованными СУ. Они имеют центральный пульт управления ПУ, от которого управляется большинство приводов агрегата. Задающая информация поступает на этот пульт от общей программы. Такое управление позволяет также иметь системы, управляющие отдельными циклами. Эти СУ снабжены индивидуальными блоками управления БУ и индивидуальными программами.

Комбинированные системы являются собой более гибкое управление. Современные агрегаты в основном оснащают комбинированными системами управления.

§ 2.3. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫМИ ЦИКЛАМИ. СИСТЕМЫ С УПОРАМИ, КУЛАЧКАМИ И КОПИРАМИ

Системы управления отдельными циклами можно разделить на две группы: системы не числового и числового программного управления. К первой группе относятся системы путевого управления, кулачковые системы и системы управления от копиров.

Системы путевого управления применяют при автоматизации прямолинейных движений инструмента (или другого органа) с постоянной скоростью. Длина пути задается здесь соответствующей расстановкой упоров на барабанах, линейках или на самом станке. Упоры могут выполнять функцию ограничителя перемещения (называются жесткими упорами). Для исключения поломок в цепи привода устанавливают звенья, реагирующие на превышение крутящего момента или давления (воздуха, жидкости). В качестве предохранительных звеньев в электромеханических системах применяют предохранительные муфты, а в гидравлических и пневматических — предохранительные клапаны.

Упоры могут быть также переключателями соответствующей аппаратуры управления приводами. На рис. 2.1 приведена схема системы управления с такими переключателями. При достижении рабочим органом 1 заданного положения упоры 6 действуют либо на управляющие элементы 5 (на золотники, клапаны гидравлических, пневматических приводов или на кулачковую муфту электромеханического привода, разрывая кинематическую цепь), либо на переключающие устройства приводов через блок управ-

ления или непосредственно на них. В качестве переключаемых механизмов могут применяться простейшие маломощные приводы, электромагниты, поршневые приводы, пилоты и другие устройства. В системах управления широко применяют электрические конечные выключатели и микропереключатели контактного и бесконтактного действия.

Говоря о путевых системах, следует отметить следующее. Точность работы этих систем часто недостаточна. Только в наиболее совершенных системах, оснащенных устройствами для

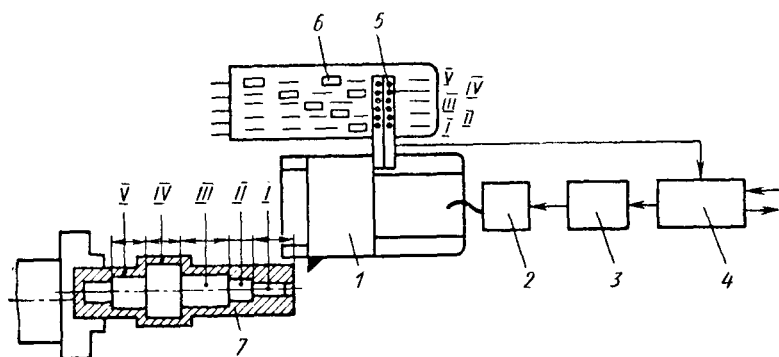


Рис. 2.1. Схема путевого управления:

1 — рабочий орган; 2 — привод; 3 и 4 — блоки управления; 5 — управляющие элементы (датчики); 6 — упоры; 7 — обрабатываемая деталь; I—V — обрабатываемые ступени

снижения скорости при подходе к упору, точность находится в пределах 0,01—0,06 мм, а в обычных — 0,1 мм и ниже.

Учитывая, что жесткие упоры воспринимают ударные усилия, связанные с инерционностью движущихся масс, они подвержены интенсивному износу и разрушению, и указанная выше точность сравнительно быстро теряется. К тому же системы с упорами имеют низкую мобильность, позволяют автоматизировать лишь небольшое количество мерных перемещений и непригодны для функционального управления. Достоинством этих систем является сравнительная конструктивная простота и невысокая стоимость. В силу этих качеств системы с упорами нашли применение при автоматизации токарных, револьверных и фрезерных станков и других технологических машин в условиях крупносерийного производства.

Системы с автоматической установкой упоров. Дальнейшим развитием систем управления от упоров являются системы, позволяющие вести установку упоров автоматически. Длина перемещения в них набирается с помощью блока барабанов, снабженных комплектом эталонных прутков (рис. 2.2). Поворачивая барабаны I на соответствующие углы, выбирают прутки необходимой длины так, чтобы суммарная их длина составила заданную величину перемещения исполнительного органа. Эталонные прутки выпол-

нены по 1-му классу точности и защищены от пыли, поэтому обеспечивают перемещение с точностью до 0,01 мм. Выбранные таким образом прутки совмещаются в одну линию, между ними выбирается зазор с помощью подвижного упора 4, прижимающего прутки к неподвижному упору (эталлонному прутку) 2, и заданный размер готов.

Поворот барабанов осуществляется от вала 3 за счет сил трения до положения, определяемого фиксаторами 5, управляемыми электромагнитами, кото-

рые расположены вокруг барабанов 1. При достижении барабанами определенного положения электромагниты срабатывают и фиксаторы останавливают барабаны. Управление электромагнитами осуществляется с пульта управления соответствующим положением рукояток или электрической коммутацией (штекерами, переключателями и др.). В рассмотренной системе трудоемкость переналадки на новый размер снизилась, но при этом уменьшилась универсальность системы. Такие системы, в которых программируется не величина размера, а команды, соответствующие размеру, в литературе

иногда называют цикловыми системами программного управления. В них также могут быть заданы не только команды о длине прямолинейного (или кругового) движения, но и различные вспомогательные команды на включение, переключение и выключение отдельных приводов.

Системы управления от кулачков. Задающая информация в этих системах заложена в профиле кулачков. Основу кулачковых систем составляют кулачковые механизмы в сочетании с рычажными (или без них). Кулачковые системы одновременно выполняют две функции: силового механизма и системы управления. Управление движением перемещаемого органа осуществляется законом, заложенным в профиле кулачка, который воспринимается (считывается) толкателем механизма. Для этой цели кулачок вращается или линейно перемещается относительно толкателя с помощью распределительного вала с приводом и другого механизма, выпол-

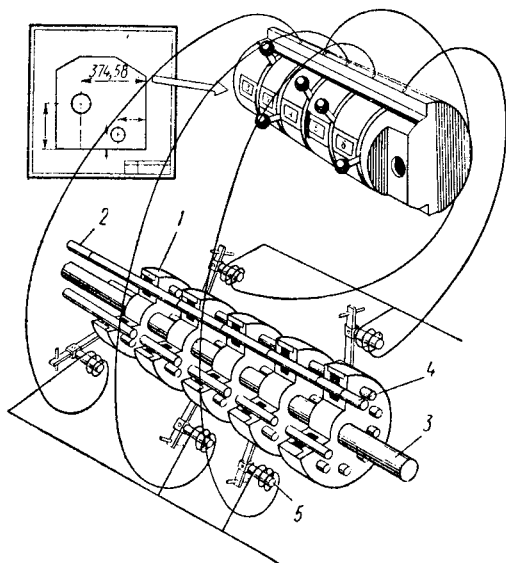


Рис. 2.2. Схема с автоматической установкой упоров:

1 — барабан; 2 — эталонные прутки; 3 — приводной вал; 4 — подвижной упор; 5 — управляемые фиксаторы

няющего функцию устройства ввода, информации. Рычажный механизм (если он имеется) выполняет функцию преобразователя направления движения и одновременно усилителя, однако усиление здесь получается небольшое (из-за ограниченности размеров). Поэтому кулачковый механизм должен развивать силы, соизмеримые с силой резания. Это вызывает значительные силы трения в зоне контакта толкателя с кулачком, а также в опорах рычажного механизма, которые снижают к. п. д. механизма и приводят к интенсивному износу его.

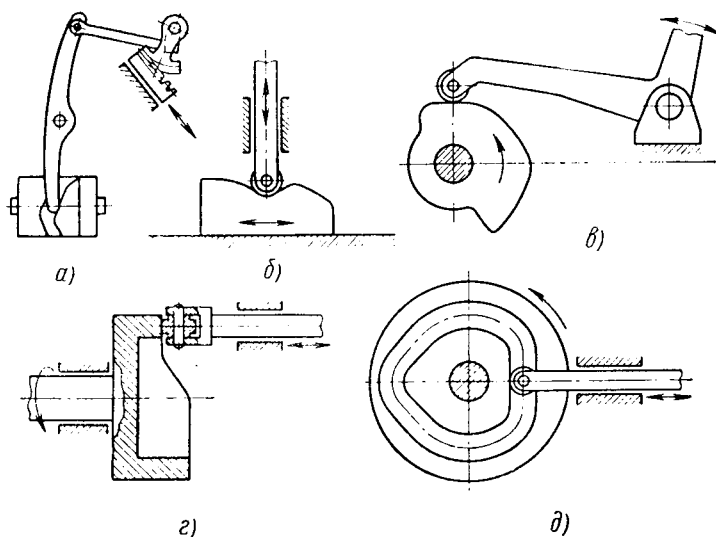


Рис. 2.3. Системы с кулачками:

а — с цилиндрическим; б — плоским; в — дисковым открытым; г — торцовым; д — дисковым закрытым

В зависимости от типа применяемых кулачков различают системы с цилиндрическими (рис. 2.3, а), плоскими прямолинейно движущимися (рис. 2.3, б), дисковыми (рис. 2.3, в) и торцовыми кулачками (рис. 2.3, г). Кулачки могут быть открытыми (рис. 2.3, в), закрытыми (рис. 2.3, д) и комбинированными.

Проектирование кулачковых механизмов выполняется в следующей последовательности: выбор типа механизма, выбор и обоснование закона движения, определение основных размеров звеньев, графическое построение или аналитический расчет профиля кулачка, расчет размеров звеньев на основе динамических и прочностных условий.

Здесь лишь рассмотрим основные вопросы профилирования кулачков. Профиль у открытых кулачков сделать проще, но для замыкания механизма толкатель необходимо поджимать к кулачку пружиной или массой груза. Это снижает к. п. д. и быстродействие механизма, поэтому открытые кулачки применяют в сравни-

тельно тихоходных устройствах или при небольших передаваемых усилиях, где усилия перемещения невелики.

Неодинаковы у перечисленных кулачков (см. рис. 2.3) реализуемые величины ходов. В механизмах, где нужны небольшие ходы, применяют дисковые кулачки, для значительных перемещений наиболее удобны цилиндрические. Благодаря жесткой связи между кулачком и толкателем в кулачковых системах возможно осуществление движения по любому закону. Закон движения выбирают в зависимости от требований технологического

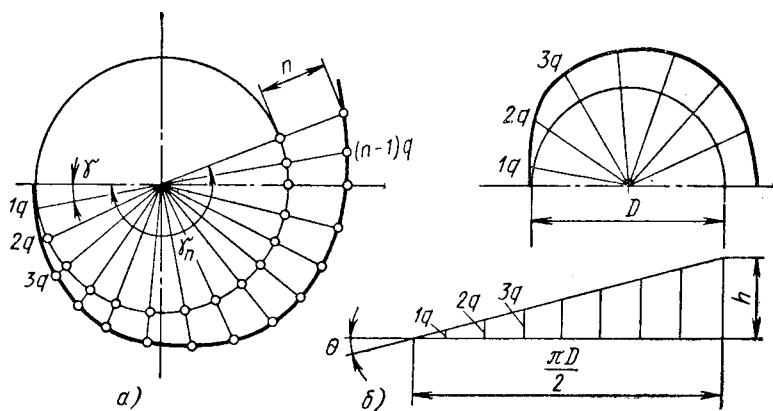


Рис. 2.4. Построение профиля кулачка:

а — архимедова спираль; б — построение профиля по архимедовой спирали

процесса либо величины инерционных сил. Для рабочих ходов металлорежущих станков наиболее характерно равномерное движение с постоянной скоростью. Этому закону соответствует на дисковом кулачке логарифмическая спираль, на торцевом кулачке — винтовая линия, на плоском прямолинейно движущемся кулачке — наклонная прямая.

Логарифмическая спираль — единственная кривая, имеющая постоянный угол подъема, а следовательно, обеспечивающая движение толкателя с постоянной скоростью. Однако изготовление кулачков с логарифмической кривой затруднительно, поэтому чаще применяют кулачки с архимедовой спиралью (рис. 2.4). Профиль таких кулачков можно получить обычными методами на фрезерных и токарно-затыловочных станках.

Величины размеров архимедовой спирали, взятые через равные углы γ , образуют арифметическую прогрессию. Если q — разность прогрессии, то

$$r_2 = r_1 + q; r_3 = r_1 + 2q; \dots; r_n = r_1 + (n - 1) q. \quad (2.1)$$

Угол подъема архимедовой спирали

$$\theta_{\max} = \operatorname{arctg} \frac{1}{r} \frac{h}{\gamma_n}, \quad (2.2)$$

где γ_n — угол между начальным r_1 и конечным r_n радиусами; h — полный подъем кривой.

Закон движения с постоянной скоростью показан на рис. 2.5, а. Такой закон используется в плоских кулачках для осуществления

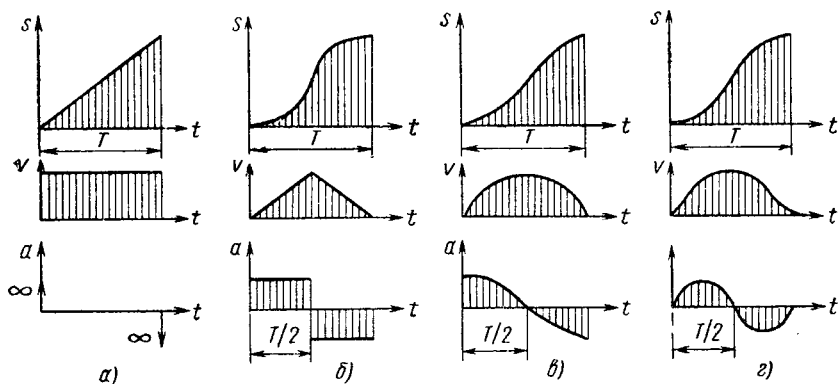


Рис. 2.5. Законы движения толкателей:

а — с постоянной скоростью; б — с постоянным ускорением; в — синусоидальный; г — косинусоидальный; s — путь; v — скорость; a — ускорение; t — время; T — продолжительность цикла

рабочих ходов, где скорости перемещения невелики, или для перемещения механизмов с небольшими движущимися массами. Как видно из графика ускорений, у такого закона имеются две «неприятные» точки: начало и конец.

В этих точках теорически ускорения возрастают до бесконечности, что крайне нежелательно для надежной работы механизмов. Однако практически, вследствие упругих деформаций звеньев, эти ускорения имеют вполне конкретные, но большие значения.

Для осуществления холостых ходов и вспомогательных приемов применяют законы, при которых действие инерционных сил распределяется более равномерно на всем пути перемещения, а именно закон равномерного ускорения (рис. 2.5, б), представленный двумя участками параболы, косинусоидальный (рис. 2.5, в) и синусоидальный (рис.

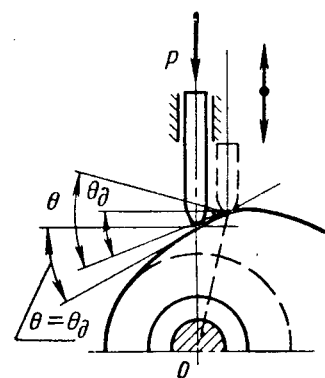


Рис. 2.6. Угол давления:

P — внешняя сила

2.5, в). Одним из центральных вопросов при разработке кулачкового механизма является выбор угла давления θ_d (рис. 2.6), образованного между касательной к кривой в точке касания толкателя с кулачком и линией, перпендикулярной к направлению движения толкателя. Угол давления влияет на величину и характер распределения сил в механизме, на габа-

ритные размеры кулачка, на величину скорости и ускорения толкателя. При выборе угла θ_d следует искать компромиссное решение между двумя противоположными требованиями: с одной стороны, исходя из желания иметь минимальные размеры кулачка и высокие скорости толкателя (для холостых ходов), нужно выбрать возможно больший θ_d ; с другой — θ_d должен исключать заклинивание механизма.

Оптимальное значение угла давления для толкателя без ролика

$$\theta_{d, \text{ опт}} = \text{arctg} \frac{1 - \mu_1 \mu_2}{k_0 (\mu_1 + \mu_2)}, \quad (2.3)$$

где μ_1 — коэффициент трения в зоне контакта толкателя и кулачка; μ_2 — коэффициент трения в направляющих толкателя; k_0 — коэффициент надежности работы механизма.

Допустимые углы давления находятся в пределах от 20 до 60°.

Установка на конце толкателя ролика позволяет уменьшить силу трения в месте контакта в $\frac{d}{D}$ раз. Здесь D — диаметр ролика, а d — диаметр оси ролика. В этом случае увеличивается к. п. д. механизма, снижается угол трения и минимально допустимая величина угла α . Так, при отношении $\frac{d}{D} = 0,5$ и коэффициенте трения скольжения $\mu_1 = 0,1$ угол трения снижается с 5° 43' до 2° 52'.

Сам кулачок, точнее его профиль, характеризуется углом подъема кривой θ , под которым понимают угол между касательной к кривой в точке касания толкателя с кулачком и линией, перпендикулярной к радиус-вектору кулачка. Когда направление движения толкателя совпадает с радиус-вектором, угол давления θ_d равен углу подъема θ . Этот случай на рис. 2.6 показан контурными линиями. Наиболее общий случай представлен штриховыми линиями, когда $\theta_d < \theta$.

Если профиль кулачка построен в прямоугольных координатах, то значение угла профиля для разных типов кривых можно определить по следующим формулам:

для наклонной линии

$$\theta = \text{arctg} \frac{h}{\gamma};$$

для параболы

$$\theta = \text{arctg} \frac{4h}{\gamma^2} \gamma_n;$$

для косинусоиды

$$\theta = \text{arctg} \frac{\pi h}{2\gamma} \sin \left(\pi \frac{\gamma_n}{\gamma} \right);$$

для синусоиды

$$\theta = \text{arctg} \frac{h \left[1 - \cos \left(2\pi \frac{\gamma_n}{\gamma} \right) \right]}{\gamma},$$

где γ — угол цикла, в пределах которого осуществляется полный подъем кулачка; γ_n — текущий угол кривой; h — полный подъем кривой.

Системы управления от распределительного вала. Эти системы управления являются разновидностью кулачковых систем. Если в автомате использованы кулачковые системы, то для управления работой каждого механизма служит свой кулачок, свой кулачковый механизм. Для вращения кулачков могут быть использованы индивидуальные приводы. Однако такое решение является нецелесообразным, так как сильно усложняет конструкцию оборудования и сводит на нет преимущества кулачковой системы. Поэтому в большинстве агрегатов для вращения кулачков используют один привод, сообщающий одну или две скорости валу с кулачками. Вал с размещенными на нем управляющими кулачками называют распределительным.

Рассмотрим принцип работы системы управления с распределительным валом на примере металлорежущего автомата (рис. 2.7).

На распределительном валу 10 установлены четыре кулачка: один дисковый 7 и три торцовых 6, 8, 9. Кулачки 6 и 7 управляют холостыми и рабочими движениями суппортов 4 и 5, кулачок 9 — механизмом подачи 2 прутка 1 и кулачок 8 — работой зажимного устройства 3. Распределительный вал 10 получает вращение от привода 12 через настроенную цепь 11.

Исходным документом для настройки кулачков служит циклограмма, построенная в полярных (круговая) или прямоугольных (развернутая) координатах.

На рис. 2.8 приведены циклограммы для токарного автомата, изготовляющего винт.

По принципу осуществления холостых ходов системы управления с распределительным валом делятся на три группы. К первой группе относятся системы, в которых все кулачки (основных и вспомогательных механизмов) установлены на одном распределительном валу, вращающемся с одной настроенной угловой скоростью (рис. 2.9, а). На распределительном валу 5 установлены кулачки 3 и 4, управляющие работой основных механизмов, и кулачки 1 и 2, управляющие вспомогательными механизмами. Распределительный вал получает вращение от привода 7 через узел настройки 6 (одну скорость). У систем этой группы кулачки, управляющие холостыми ходами, являются постоянными, а обеспечивающие рабочие движения — сменными. При больших рабочих ходах время на холостые ходы будет больше, так как скорость вращения распределительного вала выбирается по рабочим ходам. При малой же продолжительности рабочих ходов скорость холостого хода может быть выше скорости, допускаемой прочностью механизмов. В этом случае приходится сознательно увеличивать продолжительность рабочих ходов, чтобы обеспечить надежную работу механизмов холостых перемещений. Такие системы удобно применять в тех случаях, когда продолжительности холостых и

рабочих перемещений близко друг другу. Системы управления, работающие по схеме рис. 2.8, а, нашли применение в химических, пищевых, а также некоторых металлорежущих (1110, 110, КА76) автоматах.

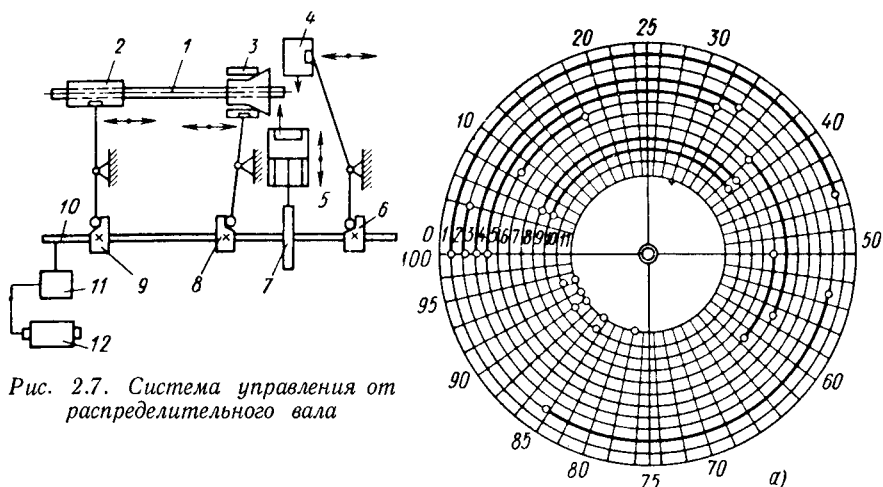


Рис. 2.7. Система управления от распределительного вала

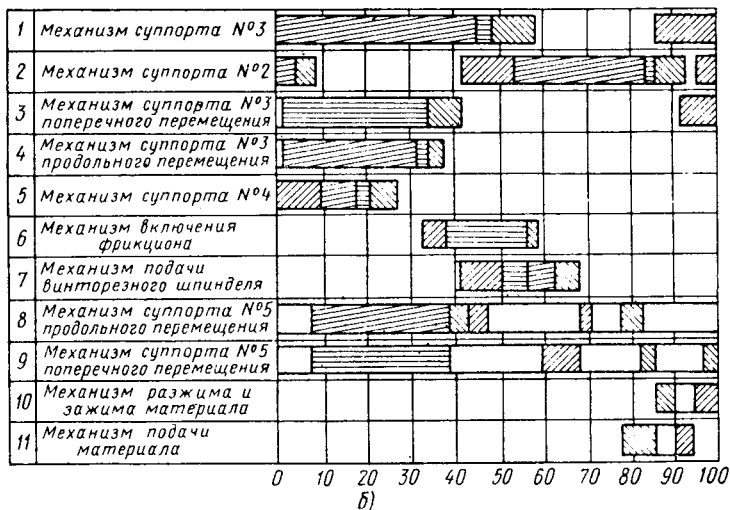


Рис. 2.8. Циклограммы:

а — круговая; б — прямоугольная

Вторую группу составляют системы, работающие по схеме, приведенной на рис. 2.9, б. В этих системах все кулачки основных и вспомогательных механизмов также установлены на одном валу, но распределительный вал имеет две скорости вращения: одну настроечную — для рабочих подач и другую (без звена настройки) — для быстрых холостых ходов. Системами управления

второй группы оснащены большинство металлорежущих автоматов (123, 1261, 1240, 1225, 1290, полуавтомат 116).

В системах третьей группы (рис. 2.9, в) имеются два вала с кулачками: основной распределительный вал 5, на котором размещены кулачки 3 и 4 рабочих движений и часть холостых, и вспомогательный 8 с остальными кулачками 1 и 2 холостых ходов. Распределительный вал 5 (основной) имеет одну настроенную

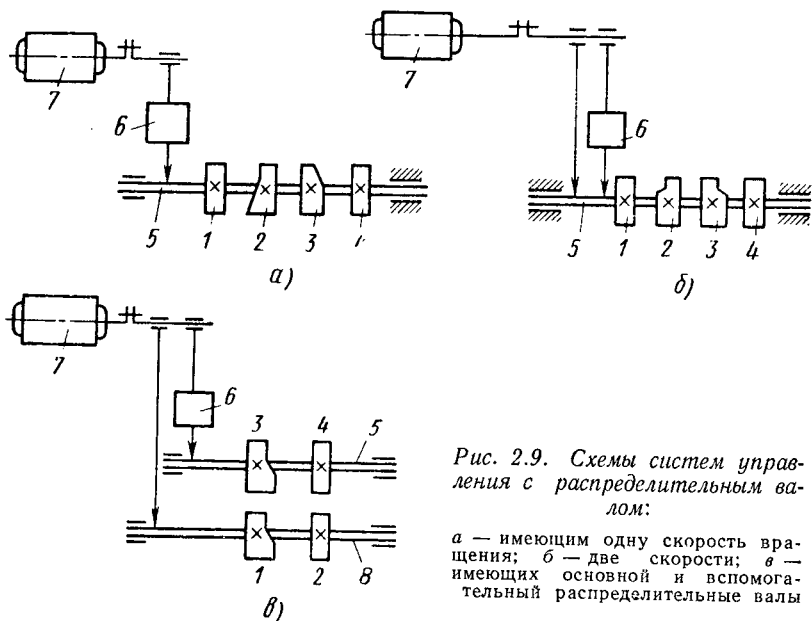


Рис. 2.9. Схемы систем управления с распределительным валом:

а — имеющих одну скорость вращения; б — две скорости; в — имеющих основной и вспомогательный распределительные валы

скорость, вспомогательный вал 8 вращается со скоростью, определяемой холостыми ходами. Системы управления третьей группы нашли применение в таких металлорежущих автоматах, как 1112, 1118, 1124, 1136 и 1140.

Системы с распределительным валом сравнительно просты по конструкции, имеют большую жесткость и обеспечивают высокую точность повторения размеров. Работают они с жесткой синхронизацией цикла. Недостатком этих систем является низкая мобильность, так как операция замены каждого кулачка или тем более его секторов в совокупности для всех кулачков является трудоемкой. Универсальность таких систем тоже низкая, так как она определяется (кроме кулачков) еще и рычажными механизмами. Наличие развитой системы рычагов делает эту систему громоздкой. Системы управления с распределительным валом нашли широкое распространение в крупносерийном и массовом производстве, однако использование методов групповой технологии позволяет их эффективно применять и для серийного производства.

Командоаппараты (с кулачками). Эти системы управления являются дальнейшим развитием кулачковых систем в направле-

нии повышения их мобильности. В командоаппаратах сменные кулачки смонтированы на быстросменной втулке, что в значительной степени упрощает их замену. Другой особенностью командоаппаратов является замена рычажных передаточных звеньев на шариковые, гидравлические и электрические передающие устройства, которые позволяют дистанционно осуществлять движение рабочих органов. Эта особенность командоаппаратов дала возможность вынести распределенный вал с кулачками и своим приводом в удобное место.

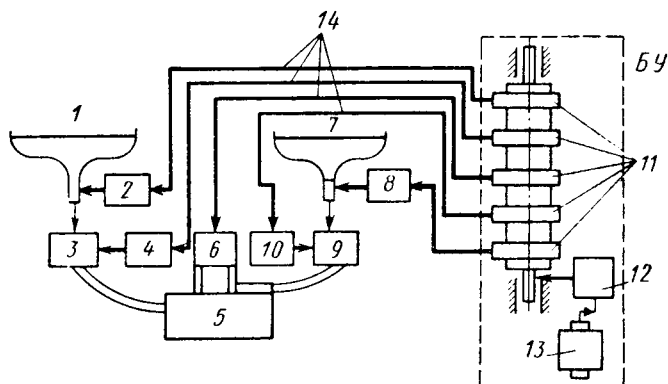


Рис. 2.10 Блок-схема сборочного автомата, управляемого от командоаппарата

На рис. 2.10 представлена упрощенная блок-схема сборочного автомата, управление работой которого осуществляется командоаппаратом (БУ). Собираемые детали проходят индивидуальную ориентацию в загрузочных устройствах 1 и 7 с приводами 2 и 8, затем правильность ориентации проверяется с помощью контрольных механизмов 3 и 9, работающих от приводов 4 и 10. Устройство 5, перемещаемое приводом 6, осуществляет сборку деталей в узел. Управление рабочими механизмами осуществляется от блока кулачков 11 через передаточные устройства 14. Блок вращается от привода 13 через настроечную цепь 12.

На рис. 2.11 показано шариковое передаточное устройство, где движение от кулачка 1 передается через шарики 4 к рабочему органу. Поджим толкателя к кулачку 1 осуществляется пружиной (на схеме не показана). Прокладочные шайбы 3 и труба 2 изготовлены из медных сплавов для уменьшения трения.

Удобство расположения блока управления (БУ) и блочная конструкция кулачков позволили свести время замены одного блока на другой до нескольких минут (в системах с распределительным валом замена кулачков длится от 2 до 8 ч). Увеличение мобильности командоаппаратов позволяет применять их даже в серийном производстве. Применение командоаппаратов значительно упрощает компоновку оборудования, увеличивая тех-

нологичность конструкций. Однако их применение становится менее эффективным для автоматизации механизмов, длительность работы которых значительно отличается друг от друга.

На практике получили распространение гидравлические, электрические и комбинированные командоаппараты.

Основной недостаток всех кулачковых механизмов, в том числе систем с распределительным валом и командоаппаратами, заключается в кулачках: в их интенсивном износе и потере точности, связанными с совмещением функций силового механизма и функций управления; в трудности изготовления и корректирования профиля кулачков. К тому же кулачковые механизмы обеспечивают сравнительно небольшие ходы перемещения (до 200—300 мм).

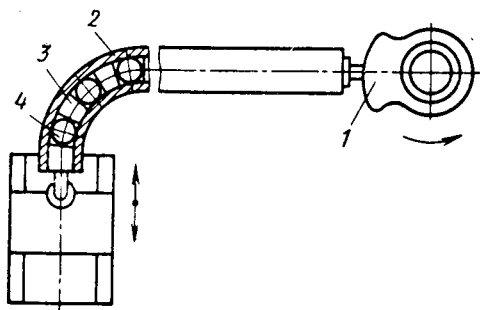


Рис. 2.11. Шариковый передаточный механизм

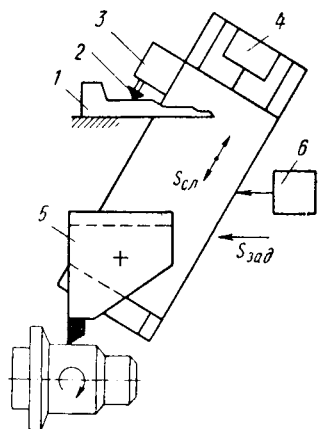


Рис. 2.12. Схема системы управления от копира

Системы управления копирами (или копируемые системы) применяют для автоматического управления скоростью и перемещением рабочего органа, находящегося длительное время в работе. В этих системах управления задающую информацию несет копир. Системы получили распространение в металлорежущем оборудовании для обработки ступенчатых и фасонных поверхностей. В копируемых системах управления задающая информация зафиксирована в профиле копира 1 (рис. 2.12) и считывается щупом 2 копируемого прибора 3. Для считывания информации с копира щуп должен перемещаться относительно копира. Это относительное движение щупа и вместе с ним всего суппорта обеспечивает привод 6 с задающей подачей $s_{зад}$. Копируемый прибор, состоящий из щупа 2 и преобразующего устройства 3, следуя за изменениями профиля копира, управляет приводом 4 и обеспечивает следящую подачу $s_{сл}$ рабочему органу 5.

Различают копируемые системы прямого и непрямого действия. В системах прямого действия (рис. 2.13) копир непосредственно воздействует на щуп и жестко связанный с ним рабочий орган, минуя различные преобразующие и усиливающие устройства. Системы с прямым копированием просты по конструк-

ции, их недостаток в большой удельной силе, возникающей в зоне контакта щупа и копира, соизмеримой с силой резания. Совмещение функции управления и силового механизма в системах с прямым копированием приводит к быстрой потере точности. Для уменьшения износа копиры изготавливают из высокопрочных материалов, что повышает их стоимость. К тому же эти системы не позволяют осуществлять дистанционное управление.

В значительной степени от указанных недостатков свободны системы непрямого копирования, которые получили наибольшее распространение для автоматизации управления технологическим оборудованием. В этих системах копир действует не на рабочий орган, а на чувствительный датчик (копировальный прибор), сигнал с которого, пропорциональный изменению профиля копира, является управляющим для регулируемого привода рабочего органа.

По принципу осуществления движения копира относительно копировального прибора системы управления от копировальных приборов подразделяют на системы с ручным и автоматическим обходом контура копира. Копировальные системы с ручным управлением являются наиболее простыми, но постоянное участие рабочего в управлении делает их в большинстве случаев нерентабельными.

подавляющее большинство копировальных систем составляют системы с автоматическим обходом контура копира. Рассмотрим принцип работы такой системы (рис. 2.14, а). При перемещении копира 1 от задающего привода 6 относительно копировального прибора 2 профиль копира воздействует на его подвижный элемент — щуп 5, смещая последний относительно неподвижной части. Чувствительный датчик копировального прибора улавливает это относительное перемещение и преобразует его в один из удобных для привода видов сигнала управления (электрический, гидравлический и реже пневматический). Сигнал управления, усиливаясь, поступает в регулируемый привод 3 рабочего органа 4. С поступлением сигнала управления привод начинает перемещать траверсу вместе с рабочим органом 4 и неподвижной частью копировального прибора в направлении, соответствующем уменьшению смещения (рассогласования) неподвижной части копировального прибора относительно щупа 5, т. е. в направлении, соответствующем уменьшению сигнала управления. Таким образом, в копировальных системах непрямого действия используется сервопривод или следящий привод. Источником информации

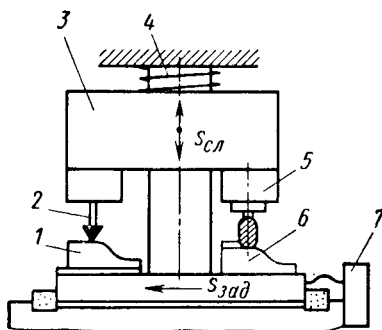


Рис. 2.13. Схема прямого копирования:

1 — копир; 2 — щуп; 3 — траверса; 4 — пружина; 5 — шпиндельная головка с фрезой; 6 — задающий привод; 7 — привод задающего движения

и ее носителем в этих системах управления является профиль копира (плоского или объемного). Информация с копира считывается копировальной головкой: контактным или бесконтактным способом. Передача и преобразование считанной информации осуществляются различными преобразователями непрерывного и релейного принципа действия. Информация здесь перерабатывается регулирующими приводами (чаще электрическими и гидра-

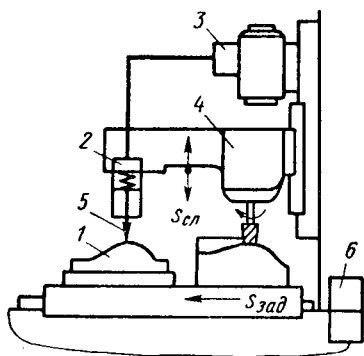
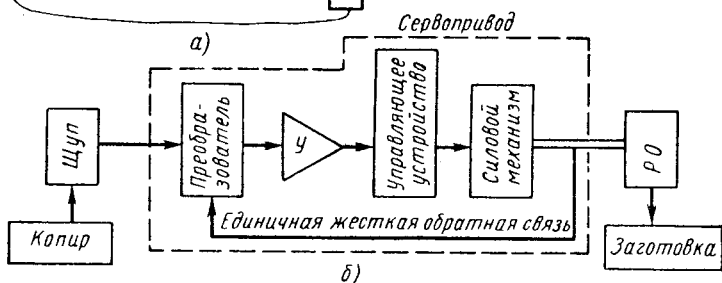


Рис. 2.14. Система непрямого копирования (а) и ее блок-схема (б)



влическими). В качестве дополнительного источника информации служит единичная жесткая обратная связь по перемещению рабочего органа, механически соединяющая рабочий орган с корпусом копировального прибора.

Копировальные системы непрямого действия можно классифицировать по нескольким признакам: по виду воздействия копира на копировальный прибор (контактные и бесконтактные), по виду управляющего сигнала (непрерывные и релейные), по виду энергии, используемой в силовом приводе (электромеханические, электрические, гидравлические, пневматические и комбинированные), по количеству управляемых координат (одно-, двух- и трехкоординатные), по виду задающей подачи и другим признакам.

В контактных копировальных системах копир находится в непосредственном контакте с копировальным прибором и воздействует на его подвижный элемент (щуп), превращая рельеф копира в механическое перемещение щупа. В бесконтактных копировальных системах копировальный прибор не контактирует с копиром, а лишь косвенно следует за его профилем, улавливая изменение

зазора или плотности тока либо изменение освещенности. Контактные копировальные системы бывают релейными и непрерывными. Контактные релейные копировальные системы осуществляют

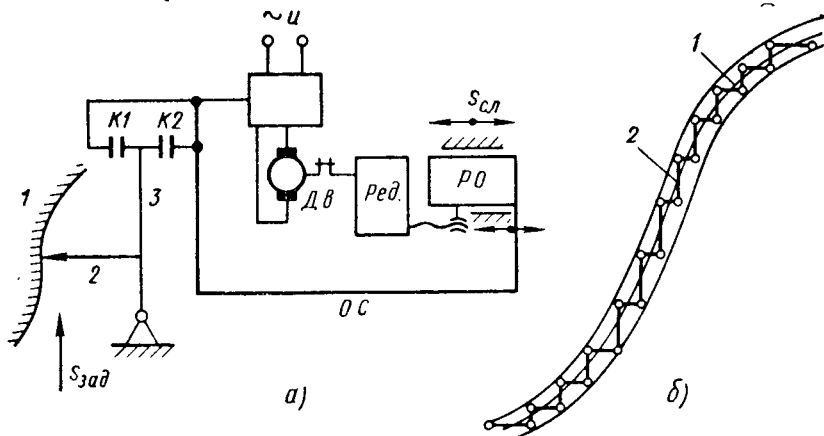


Рис. 2.15. Схема релейной копировальной системы (а) и траектория движения (б):
1 — заданная; 2 — рабочего органа

в основном лишь переключение привода (рис. 2.15, а), т. е. его реверсирование. Основу релейных систем составляют копировальные головки с трехпозиционным переключателем. В процессе

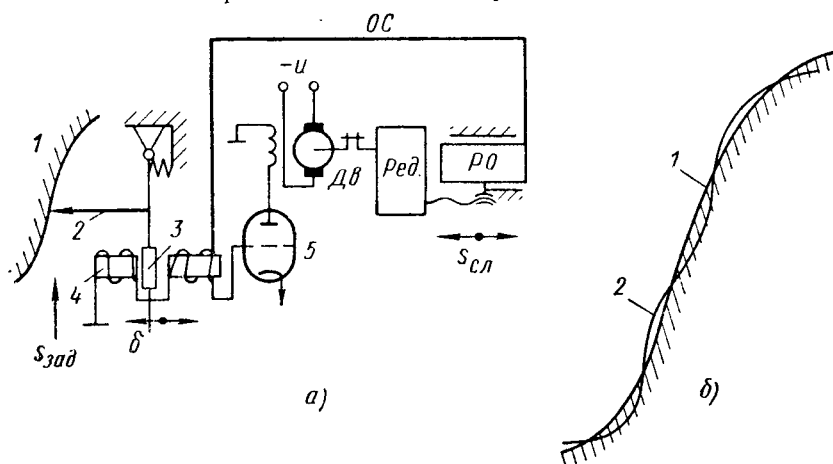


Рис. 2.16. Схема непрерывного управления от копира (а) и траектории движения (б):
1 — заданная; 2 — рабочего органа

копирования рычаг 3 , жестко связанный со щупом 2 , который обходит копира 1 , может замыкать либо контакт $K1$, либо $K2$. Контакты $K1$ и $K2$ реверсируют вращение асинхронного электродвигателя $Дв$. В таких системах используется, как правило, не-

регулируемый привод. При этом траектория движения рабочего органа (кривая 2) получается ступенчатой (рис. 2.15, б). Такие достаточно простые системы часто (применительно к металлорежущим станкам) не удовлетворяют требованиям по точности.

В контактной копировальной системе непрерывного действия всякое изменение профиля копира превращается в непрерывный управляющий сигнал. На рис. 2.16, а показана такая электрическая система копирования.

Копир 1, воздействуя на копировальный щуп 2, через рычаг 3 изменяет воздушный зазор δ электромагнита 4. Изменение воздушного зазора приводит к изменению напряжения на сетке лампы 5 электронного балансного усилителя. Этот сигнал используется для управления скоростью вращения электродвигателя постоянного тока Дв, а значит, и скоростью движения рабочего органа РО через редуктор Ред. В качестве чувствительных датчиков-преобразователей

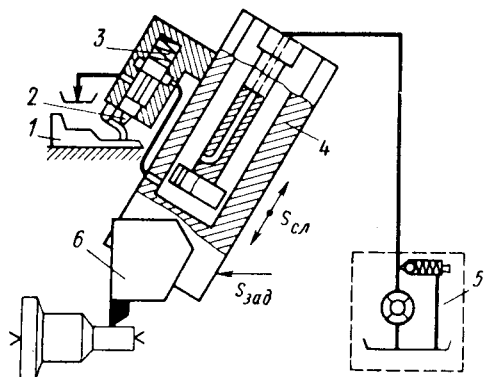


Рис. 2.17. Схема гидросуппорта:

- 1 — копир; 2 — копировальный палец (щуп);
3 — пружина; 4 — исполнительный цилиндр с рецедержателем; 5 — насосная установка;
6 — рецедержатель

в копировальных приборах этих систем могут быть использованы различные реостатные, индуктивные, емкостные, гидравлические и пневматические устройства.

В копировальных системах широкое распространение получили гидравлические системы с цилиндром поступательного движения, так как они прежде всего просты по конструкции. Использование гидравлической жидкости в качестве носителя энергии позволяет непосредственно использовать большие мощности при небольших размерах исполнительных устройств, минуя серию дополнительных усилительных устройств, а функцию чувствительного элемента передать непосредственно распределителю (золотниковому, струйному, игольчатому и др.). Применение в качестве исполнительного двигателя цилиндра поступательного движения позволяет исключить из кинематической цепи привода может служить серийно выпускаемый гидросуппорт (рис. 2.17).

Копировальные системы с независимой задающей подачей осуществляют управление следящей подачей по закону, изображенному на рис. 2.18, а. Характерной особенностью такого закона управления является переменное значение не только следящей

подачи $s_{с.л.}$, но и результирующей s_p при постоянном значении задающей $s_{зад}$, т. е.

$$s_p = \text{var}, \quad s_{с.л.} = \text{var}, \quad s_{зад} = \text{const};$$

$$s_{с.л.} = s_{зад} \operatorname{tg} \alpha, \quad \text{при } \alpha = 0^\circ \quad s_{с.л.} = 0, \quad \text{при } \alpha = 90^\circ \quad s_{с.л.} \rightarrow \infty;$$

$$s_p = \sqrt{s_{с.л.}^2 + s_{зад}^2}, \quad s_p = s_{зад} \quad \text{при } \alpha = 0, \quad s_p \rightarrow \infty \quad \text{при } \alpha \rightarrow 90^\circ.$$

Системы, реализующие этот закон, отличаются сравнительной простотой. Однако такой закон не всегда удовлетворяет требованиям технологического процесса. Так, при обработке деталей

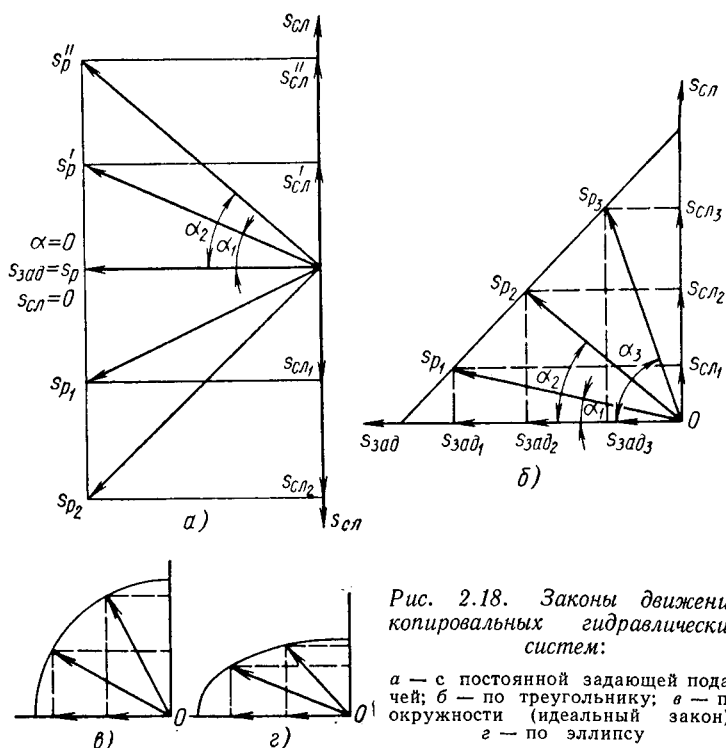


Рис. 2.18. Законы движения копировальных гидравлических систем:

а — с постоянной задающей подачей; б — по треугольнику; в — по окружности (идеальный закон); г — по эллипсу

сложной конфигурации желательно результирующую подачу иметь постоянной вдоль контура. Это необходимо для нормального течения процесса резания, оптимальной стойкости инструмента и получения удовлетворительной чистоты обрабатываемой поверхности. Более приемлемым для процессов резания при обработке криволинейных поверхностей является закон треугольника, показанный на рис. 2.18, б. Такой закон применяется в копировальных системах с зависимой задающей подачей.

Особенностью его является то, что s_p изменяется в меньшей степени, а $s_{с.л.} + s_{зад} = \text{const}$,

$$\text{при } \alpha = 0 \quad s_p = s_{зад}, \quad s_{с.л.} = 0;$$

$$\text{при } \alpha = 90^\circ \quad s_p = s_{с.л.}, \quad s_{зад} = 0.$$

Примером копируемых систем, реализующих такой закон, является система, показанная на рис. 2.19, где задающая подача обеспечивается гидроцилиндром 5, скорость движения поршня которого автоматически управляется в функции изменения следящей подачи регулятором скорости РС, установленным на сливе.

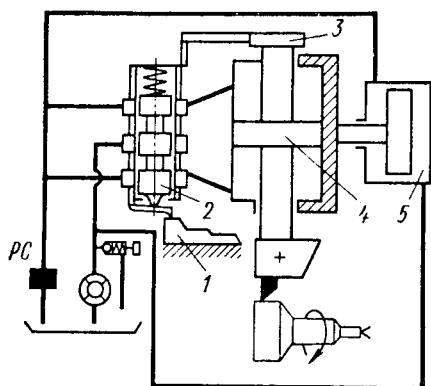


Рис. 2.19. Схема гидроконтролируемой системы с зависимой задающей подачей:

1 — копир; 2 — копирующий прибор (щуп); 3 — жесткая обратная связь; 4 — поршень, жестко связанный с суппортом; 5 — цилиндр задающей подачи; РС — регулятор скорости

Оптимальным вариантом управления является закон постоянной результирующей скорости (см. рис. 2.18, в). Но такой закон довольно сложно реализовать. Встречаются системы, в которых закон распределения скоростей подчиняется закону эллипса (см. рис. 2.18, г).

Общим недостатком всех копируемых контактных систем является давление щупа на копир. Всякое уменьшение давления влечет за собой усложнение конструкции копируемой

системы, которое, в конечном счете, все же не исключает этого давления. Желание освободиться от него, сделать копир неизнашиваемым, привело к созданию бесконтактных копируемых систем.

Бесконтактные копируемые системы управления позволяют воспроизводить заданный копиром закон движения, не касаясь его. Восприятие (считывание) задающей информации в этих системах осуществляется электроразрядными или фотоэлектрическими копируемыми приборами.

В копируемых системах с электроразрядным датчиком копир должен иметь токопроводящий слой, например слой графита или алюминиевой краски (0,01—0,05 мм). Копиром может служить контур чертежа, выполненный на бумаге или другом диэлектрике графитовым карандашом или токопроводящей тушью. При изменении копируемого профиля (рис. 2.20) в процессе обхода щупом 2 копира 1 электроразрядный копирующий прибор (щуп 2) выдает сигнал управления, снимаемый с катода лампы 3,

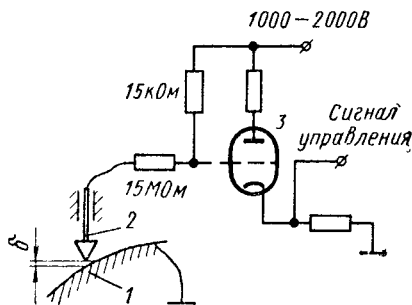


Рис. 2.20. Схема бесконтактного электроразрядного копирования

который пропорционален изменению электроразрядного промежутка δ . После соответствующего усиления сигнал управляет работой регулируемого привода.

В фотокопировальных системах управления в качестве копировальной головки используют фотокопировальную головку, принципиальная схема которой представлена на рис. 2.21. В качестве копира здесь может быть использован чертеж, выполненный в масштабе 1:1 или в увеличенном масштабе. Линии контура чертежа должны резко выделяться на основном фоне. Головка работает следующим образом. Луч от источника света 6 формируется в конденсоре 5, проходит через полупрозрачное зеркало 4, призму 3 и превращается в световое пятно 8. Лучи, отраженные чертежом 1, фокусируются параболическими зеркалами 2 на зеркало 4, которое для отраженного света является непрозрачным. От зеркала 4 лучи поступают на фотозащитный элемент 7, открывая его. Величина фототока фотозащитного элемента, являющаяся выходным параметром фотоголовки, зависит от величины отраженного света, т. е. от относительного положения фотоголовки и линии контура чертежа. Усиленный выходной сигнал с фотоголовки служит управляющим сигналом для соответствующего регулируемого привода. Большим недостатком бесконтактных копировальных систем управления является необходимость в точном (прецизионном) чертеже-копире, трудоемкость изготовления которого высока.

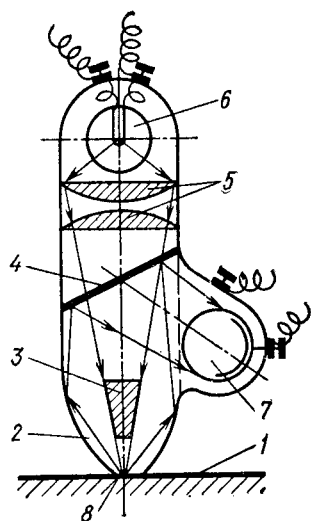


Рис. 2.21. Схема фотокопировальной головки

Общими недостатками всех копировальных систем управления являются: необходимость точно изготовлять и устанавливать копир; трудность автоматизации изготовления копира; невозможность автоматизации установки копира; невысокая точность задания закона движения профилем копира; недостаточная мобильность. Область применения копировальных систем — серийное производство.

§ 2.4. СИСТЕМЫ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

К системам программного управления (СПУ) относятся такие системы автоматического управления, в которых задающая информация (программа) выражена последовательностью чисел, зафиксированных на перфолентах, магнитных лентах и других быстросменяемых носителях. Эти системы предназначены для авто-

матизации технологического оборудования, применяемого в мелкосерийном производстве при частой смене объектов производства. Например, в технологических процессах обработки системы программного управления особенно эффективны для обработки деталей со сложными криволинейными поверхностями. Обработка их на станках с программным управлением более выгодна, чем на копировальных или других станках общего назначения, тем, что не требует изготовления сложной оснастки, а переналадка станка с изготовления одной детали на другую занимает несколько секунд (время на замену перфоленты или магнитной ленты). Таким образом, применение СПУ повышает мобильность оборудова-

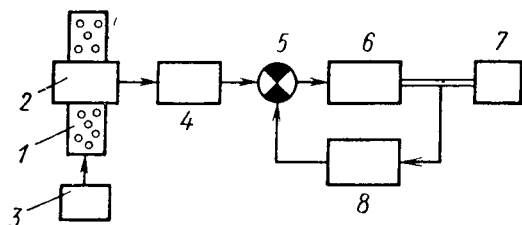


Рис. 2.22. Блок-схема системы программного управления

дования, заключающуюся в быстроте переналадки его с одной программы на другую. Аналогичные примеры можно привести из контрольных, сборочных и других технологических операций.

Особенность задания программы в СПУ в виде чисел позволяет полностью автоматизировать процесс расчета и изготовления ее путем использования для этого цифровых вычислительных машин, причем организация централизованного ее изготовления и передача по каналам связи к потребителю значительно снижают стоимость и упрощают хранение. Такая форма программы повышает точность выполнения технологического процесса, а также значительно облегчает автоматическое корректирование ее в зависимости от изменившихся условий. Применение СПУ совместно с цифровыми вычислительными машинами позволяет управлять целым комплексом оборудования. С точки зрения задач управления СПУ способны решать все функции: осуществлять управление перемещением, положением исполнительных органов, включать и переключать приводы, синхронизировать выполнение отдельных циклов работы механизмов, вести сбор, переработку информации о течении техпроцесса и его корректирование при изменении условий.

В общем случае систему программного управления можно упрощенно представить в виде, показанном на рис. 2.22. Вся задающая информация по управлению, представленная последовательностью чисел и зафиксированная в определенном коде на программноносителе **1**, считывается устройством **2**. Устройство **3**

осуществляет подачу (ввод) определенного участка программноносителя под головку считывающего устройства 2. С выхода устройства 2 задающая информация в виде определенных электрических сигналов поступает в устройство 4, которое формирует, усиливает их до определенного уровня и передает в сравнивающее устройство 5. В устройство 5 также поступает информация от датчика обратной связи 8. В результате сравнения задающей информации и информации обратной связи устройство 5 вырабатывает сигнал ошибки (сигнал рассогласования), который служит для управления работой привода 6, перемещающего рабочий орган 7 по определенному закону, заложенному в сигнале управления. В некоторых системах после сравнивающего устройства (или перед ним) устанавливают еще одно устройство, преобразующее выходной сигнал в сигнал, удобный для управления приводом. В системах программного управления используют различные программноносители и считывающие устройства.

Перфолента. Для записи информации в закодированном виде применяют перфоленту на бумажной (или пластмассовой) основе шириной 17,5 мм для записи на пяти дорожках и шириной 25,4 мм — для шести-, семи- и восьмидорожечной записи. Реже применяют ленту (киноленту) шириной в 35 мм. Независимо от числа дорожек и ширины ленты шаг между перфорированными отверстиями по строке и между строками составляет 2,5 мм, диаметр кодирующих отверстий 1,8 мм, диаметр транспортных отверстий 1,2 мм. Достоинством бумажной перфоленты является сравнительно малая цена и наличие дешевых стандартных перфораторов (СТА-35, скорость печатания 382 знака в минуту — для пятидорожечной ленты; ПЛ-20, скорость печатания 1200 знаков в минуту — для шести-, семи- и восьмидорожечной записи).

Для считывания информации с перфоленты применяют устройства, работающие по принципу последовательного и параллельного считывания. При последовательном считывании информация кадра считывается строка за строкой последовательно при неподвижной ленте. После считывания определенного количества строк перфолента перемещается на такое же количество строк. Быстродействие таких устройств невысокое, поэтому их применяют для автоматизации медленно протекающих процессов, либо в системах, где допустимы остановки между кадрами. При параллельном считывании лента перемещается на всю длину кадра, останавливается, а затем читающая головка считывает весь кадр одновременно. Преимуществом параллельного считывания (при контурном управлении) является значительное упрощение системы управления, так как отпадает необходимость в одном электронном запоминающем устройстве. При этом упрощается электронная часть системы управления, а электромеханическая — усложняется.

В настоящее время распространены электромеханические контактные и фотоэлектрические бесконтактные считывающие

устройства. В электромеханических считывающих устройствах (рис. 2.23, а) штифт под действием легкой пружины прижимается к перфоленке и при наличии отверстия замыкает (или размыкает) связанные с ним контакты. В этом случае устройство запоминает «единицу». Если отверстия нет, схема запоминает «нуль». Такие считывающие устройства достаточно просты и с этой точки зрения надежны, но наличие контактов, склонных к подгоранию и загрязнению, снижает надежность. Работают они как на последова-

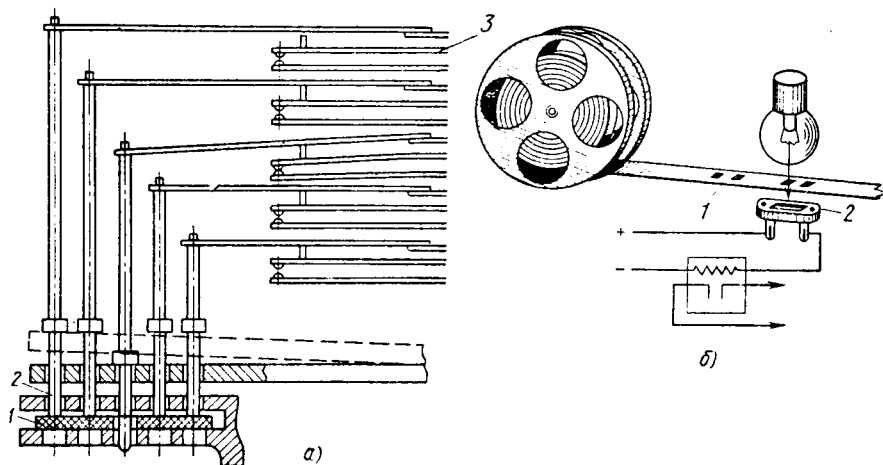


Рис. 2.23. Считывание информации с перфоленки (перфокарты):

а — контактное электромеханическое считывание: 1 — перфокарта, 2 — штифт, 3 — контакты; б — бесконтактное фотоэлектрическое считывание: 1 — перфоленка, 2 — фотодиод

тельном, так и на параллельном принципе считывания. Электромеханическое контактное считывающее устройство последовательного действия обеспечивает скорость считывания кадра до 60 строк в секунду в обоих направлениях перемотки. Для функциональных систем ПУ такие устройства непригодны.

Наиболее совершенными являются фотоэлектрические считывающие устройства (рис. 2.23, б), которые превосходят по скорости считывания все другие (при последовательном считывании они обеспечивают до 1500 знаков в секунду. Устройство ФСУ-1, предназначенное для считывания сигналов с пяти- и восьмидорожечной телеграфной перфоленки, имеет скорость считывания до 200 строк в секунду. Луч света, попадая через отверстие в перфоленке или перфокарте 1 на фотосопротивление 2, возбуждает ток, который, проходя через усилительную лампу, преобразуется в командный импульс. Достоинство этих устройств — высокое быстродействие; недостатки — относительно высокая стоимость и чувствительность к загрязнениям.

Перфокарты выполняют в виде прямоугольника (82×187 мм) из листового картона (0,18 мм) с низкой электропроводностью;

несмотря на имеющийся комплект оборудования для записи, считывания и контроля, перфокарты имеют ограниченное применение в СПУ из-за малой емкости (на 45-колоночной перфокарте размещается лишь 540 знаков, а на 80-колоночной — 960 знаков). Следствием этого является неудобство их транспортировки, громоздкость устройства ввода и считывающего устройства. Перфокарты удобны для связи с вычислительными машинами и особенно при автоматическом программировании, когда на них вводится исходная информация в универсальную вычислительную цифровую машину.

Запись информации на перфокартах осуществляется стандартными перфораторами (например, ПД-45-2, ПД-80-2). Считывание информации с них возможно так же, как и с перфолент, электро-механическими, пневматическими и фотоэлектрическими способами с последовательным и параллельным считыванием. При последовательном считывании перфокарта считывается по частям, а при параллельном — полностью одновременно.

Магнитную ленту изготавливают на пластмассовой основе с нанесением на ее поверхность ферромагнитной эмульсии окисла железа Fe_3O_4 толщиной 0,01—0,02 мм. Задающая информация на ней может быть записана как в виде последовательности импульсов (унитарный код), так и в аналоговом виде.

В СПУ для записи программы нашла применение неперфорированная магнитная лента шириной 35 мм типа 2, 6, 7ВТ. Более качественную запись и воспроизведение дают ленты типа 6 и 7ВТ, но цена их в несколько раз выше, чем у ленты типа 2.

Запись электрических сигналов (импульсов) на магнитной ленте (как и на других магнитных носителях: барабанах и дисках) основана на свойстве ферромагнитного тела намагничиваться под действием изменяющегося магнитного поля и сохранять это намагничивание при снятии поля. Запись и считывание программы, записанной на магнитной ленте, аналогичны записи и считыванию в магнитофонах (рис. 2.24, а). Запись можно осуществить, например, магнитной головкой ГМВ-35/9. Головка создает переменное магнитное поле при протекании по ее катушке тока переменного напряжения. Под воздействием переменного магнитного поля происходит направленная ориентация диполей. При считывании происходит обратный процесс — магнитные силовые линии ленты замыкаются через сердечник магнитной головки (рис. 2.24, б). От взаимодействия магнитного поля ориентированных диполей, перемещающихся относительно головки, в ее сердечнике появится переменный магнитный поток, который наведет в обмотке э. д. с. При считывании магнитная головка реагирует на скорость изменения магнитного потока (рис. 2.24, в), поэтому для качественного воспроизведения необходима определенная скорость движения ленты (0,05—0,2 м/с). Это ограничение уменьшает плотность записи информации, и все же магнитная лента имеет бóльшую плотность по сравнению с перфолентой, перфокартой и другими

немагнитными носителями. Плотность записи на магнитной ленте составляет 10—12 знаков на 1 мм. Кроме того, магнитная лента имеет сравнительно высокую механическую прочность, на ней можно исправлять ошибки записи путем стирания и перезаписи. Контроль записанной информации осуществляется на координатографах. Недостатками магнитной ленты является ее относительно высокая стоимость и восприимчивость к шумам, а также невозможность визуального контроля записанной информации.

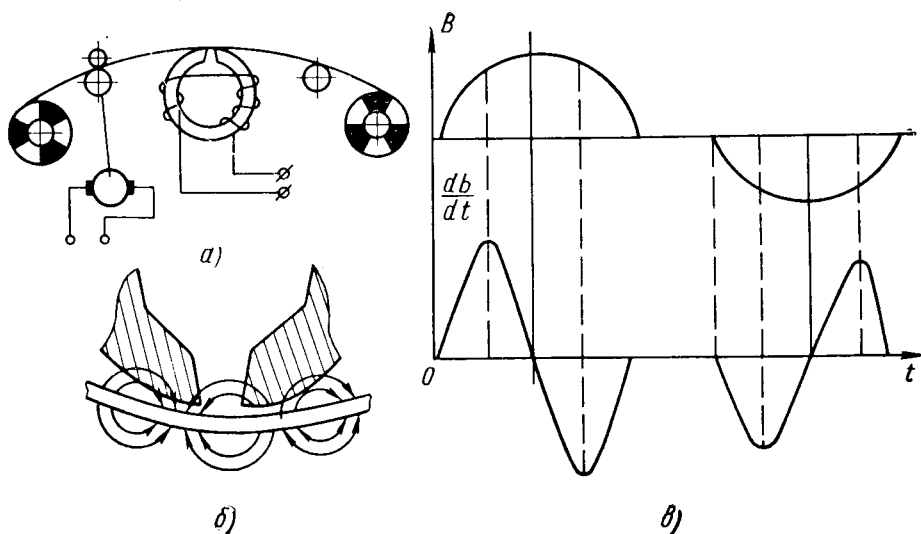


Рис. 2.24. Считывание с магнитной ленты

В большинстве случаев для фиксирования программы на магнитной ленте используется многодорожечная запись, т. е. каждый канал информации записывается на отдельную дорожку.

Штеккерные табло (ламельные коммутаторы) представляют собой панели с выходами и входами различных устройств (дешифраторов, устройств совпадения и др.). Такие панели позволяют быстро менять схему соединения цепей блока управления путем соответствующей установки штеккеров в гнезда панели. На рис. 2.25 изображена схема штеккерного табло на 15 гнезд (их может быть больше) с подсоединенными к ним пятью реле ($P1—P5$), которые являются декодирующими устройствами и преобразуют набранную программу на коммутаторе в команды для исполнительных механизмов *ИМ*. Шаговый искатель *ШИ* выполняет роль последовательного считывающего устройства. Установкой штеккера соединяются две половины штепсельного гнезда 6 и 7, образуя электрическую цепь. Шаговый искатель при соответствующем положении подключает к ней напряжение, которое необходимо для обмоток реле, включающих привод исполнительного механизма *ИМ*.

Штеккерное устройство отличается сравнительной простотой, но емкость его весьма ограничена. В этом его недостаток. Вторым недостатком заключается в том, что набор программы здесь нельзя автоматизировать. Аналогично штеккерным таблицам для набора программы применяют панели с декадными переключателями и номеронабирателями.

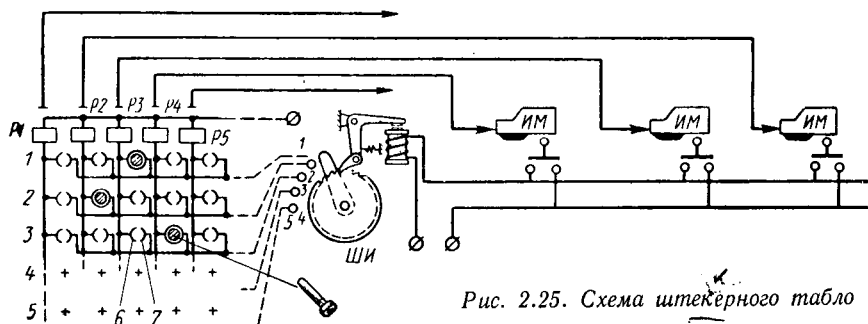


Рис. 2.25. Схема штеккерного табла

§ 2.5. КЛАССИФИКАЦИЯ СПУ

Классификационными признаками СПУ являются те же признаки, что и для всех систем управления, рассмотренные нами ранее (технологическое назначение, количество потоков информации, тип воздействия на исполнительный механизм и др.). В зависимости от технологического назначения системы программного управления можно разделить на два класса: позиционные и функциональные.

Позиционные СПУ

К позиционным (или координатным) СПУ относятся такие системы программного управления, которые управляют положением рабочего органа и устанавливают его в заданную координату. Программа для них содержит числовую информацию о значении длины пути до заданного положения по каждой из координат. Управление здесь однокоординатное, так как отсутствует функциональная связь между координатами, хотя исполнительный механизм может перемещаться по нескольким координатам одновременно. В этих СПУ неважно, по какой траектории перемещается рабочий орган, важно, чтобы он пришел точно в заданное положение, затратив при этом минимум времени. Последнее обстоятельство связано с производительностью оборудования. С целью увеличения производительности за счет сокращения потерь первого вида (потерь на холостые хода) необходимо стремиться перемещать рабочие органы на высоких скоростях. В современных позиционных СПУ скорости достигают 6—8 м/мин. При таких скоростях движения возможны большие

перебеги при позиционировании, связанные с инерционностью движущихся масс. Чтобы уменьшить эти перебеги, скорость движения при подходе к заданной координате снижают до величины «ползучей» (2—10 мм/мин). Переход на «ползучую» скорость можно осуществить с помощью изменения механической редукции либо использованием двух асинхронных двигателей или одного многоступенчатого, а сигнал на переключение подавать от специальных устройств. Таким образом, в позиционных СПУ следящий привод в принципе не обязателен. Это упрощает конструкцию системы.

Технологическое назначение позиционных СПУ — автоматизировать те процессы, где необходимо перемещать исполнительный механизм в точку, заданную координатами программы, и чем больше этих точек, тем применение систем эффективнее. Так, в металлообработке позиционные СПУ применяют для автоматизации сверлильных операций (сверления печатных плат, фланцев и других деталей), расточных и координатно-расточных работ, в измерительных процессах — для измерения размеров в определенных точках (сечениях), в полупроводниковом производстве, в производстве интегральных схем для фотолитографических процессов (в установках совмещения, генераторах изображения и др.). Требования по точности, предъявляемые к ним, также разнообразны, как и разнообразно их применение. В позиционных СПУ, предназначенных для совмещения изображений, для координатно-расточных работ точность позиционирования составляет от десятых до нескольких микрометров; при расточных работах — 0,005—0,01 мм, при сверлильных — 0,05—0,1 мм.

Эффективность позиционных СПУ возрастает, если наряду с автоматизацией многочисленных координатных перемещений автоматизируются все или большинство вспомогательных команд по управлению циклом работы оборудования. В этих условиях становится целесообразным применение в качестве программиста перфоленты, а при программировании — средств вычислительной техники. При сравнительно небольшом объеме информации программа может задаваться на штекерных табло с помощью номеронабирателей или декадных переключателей. Большое количество позиционных СПУ по методу представления информации может быть сведено к трем группам: кодовым, счетно-импульсным и аналоговым.

Кодовые СПУ. Принцип работы кодовой СПУ заключается в сопоставлении кода числа, выражающего значение программируемой координаты, с кодом числа, определяющего фактическое положение рабочего органа, измеренного кодовым датчиком обратной связи. Блок-схема типичной кодовой СПУ для одной координаты приведена на рис. 2.26. Задающая информация, определяющая значение заданной координаты, выраженная кодом числа, поступает из задающего устройства ЗУ в схему совпадения СС, которая через схему логического запрета (схему НЕТ) и переключатель напряжения ПН включает и выключает двигатель Дв.

От него движение через редуктор *Ред.* передается на рабочий орган *РО*. Фактическое положение рабочего органа измеряется кодовым датчиком обратной связи *КДОС*, который преобразует пройденный рабочим органом путь в соответствующий код числа и посылает его в устройство совпадения *СС*. При поступлении задающей информации в устройство совпадения последнее дает команду на включение двигателя. Перемещение рабочего органа будет осуществляться до тех пор, пока код задающего числа не совпадет с кодом датчика обратной связи *КДОС*. При совпадении кодов на выходе устройства совпадения управляющий сигнал отсутствует и переключатель напряжения отключает двигатель. Движение рабочего органа прекращается.

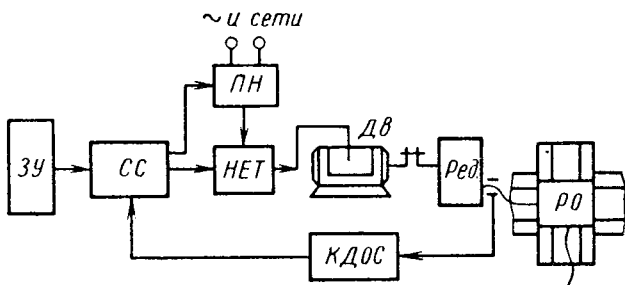


Рис. 2.26. Блок-схема кодовой СПУ

Элементы кодовых СПУ. Кодовый датчик обратной связи. Основным элементом кодовой системы является кодовый датчик обратной связи, однозначно преобразующий фактическое положение рабочего органа в код числа. Кодовые датчики могут быть круговые и линейные, контактного и бесконтактного принципа действия. Принцип работы кодового датчика рассмотрим на примере кругового датчика контактного принципа действия, показанного на рис. 2.27, а.

Этот датчик представляет собой диск, изготовленный из непроводящего ток материала. Торцовая поверхность диска разбита на концентричные кольца, количество которых равно числу двоичных разрядов наибольшего считываемого значения координаты. Диск имеет шесть колец, что соответствует наибольшему двоичному числу 1000000. Шестью двоичными разрядами можно выразить 64 числа (от 0 до 63). В соответствии с этим весь диск разбивается на 64 сектора. Таким образом, в каждом секторе получается шесть ячеек, каждая из которых может быть проводящей либо не проводящей. Токпроводящие ячейки соответствуют цифре 1, а изолированные — 0. На рисунке токпроводящие участки заштрихованы. Рассматривая чертеж, можно видеть, что сочетания участков, соответствующих «1» и «0», образуют в каждом секторе код двоичного числа. Эти числа возрастают последовательно от 0 до 63. Считывание этих кодированных чисел осуще-

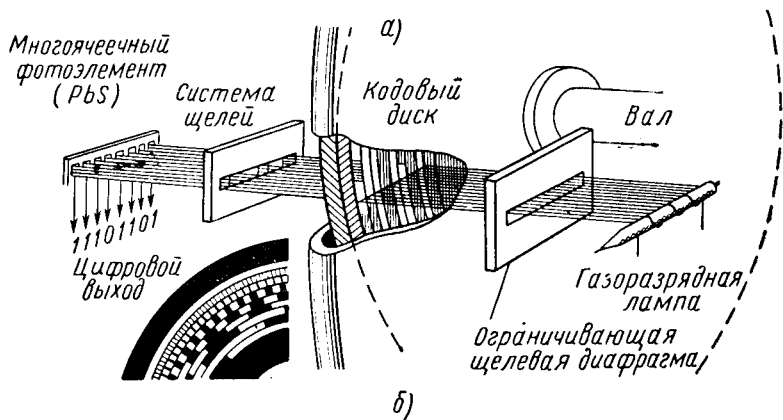
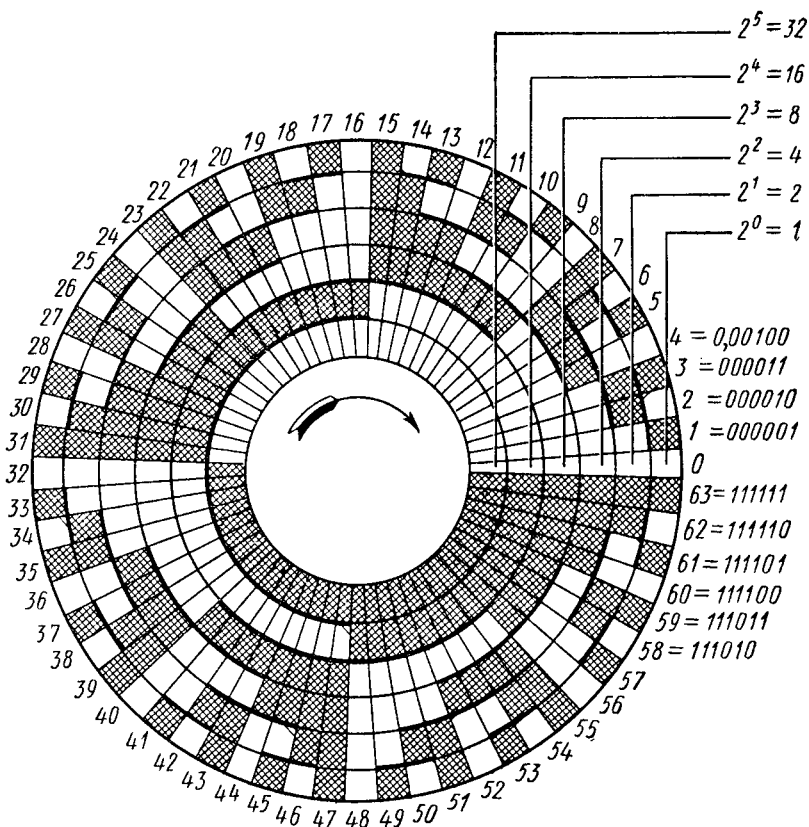


Рис. 2.27. Кодовые датчики контактного (а) и бесконтактного (б) принципа действия

ствляется контактной головкой с шестью взаимно изолированными щетками, каждая из которых контактирует только с ячейками, расположенными на одном концентрическом кольце. Диск кинематически связан с перемещаемым органом и при перемещении последнего на некоторый элементарный шаг поворачивается на один сектор. Щетки соединены с соответствующими реле, поэтому при замыкании щетки с токопроводящей ячейкой срабатывает соответствующее реле, которое вводит считанное число в схему совпадения.

При больших перемещениях кодовый преобразователь может быть выполнен с двумя дисковыми датчиками, соединенными между собой через соответствующий редуктор, образуя систему грубого и точного измерения. Примером линейных кодированных дисков могут служить кодированные шкалы. Имеются также кодовые барабаны, работающие аналогичным образом. Кодовые линейки и барабаны были применены в СПУ для управления работой координатно-расточного станка 262.

Недостатком контактных кодированных датчиков является недостаточная их надежность, связанная с наличием контактов, низкая скорость считывания и плохая помехозащищенность.

Примером бесконтактного кодового датчика может служить круговой фотоэлектрический датчик, показанный на рис. 2.27, б, обеспечивающий скорость считывания до 20 000 знаков в секунду. Диск этого датчика выполнен из прозрачного материала, на который механическим или фотохимическим способом нанесена кодовая шкала с прозрачными и непрозрачными участками. С одной стороны такого диска установлен источник света (газоразрядная лампа), с другой — фотоэлементы. Свет, проходя через прозрачные участки кодирующего диска, попадает на фотоэлементы, открывая их. Этот сигнал используется для передачи кода числа обратной связи в устройство совпадения.

Устройство совпадения (УС) определяет, отработан ли код числа заданной координаты и, в связи с этим, выдает сигналы, необходимые для торможения и остановки двигателя. Кроме того, УС в некоторых конструкциях вырабатывает сигнал, определяющий направление перемещения в зависимости от того, больше или меньше будет новое значение координаты. Для сопоставления кодов чисел устройство совпадения имеет ячейки, выполняющие логические операции. Число ячеек соответствует количеству разрядов датчика. Принцип работы устройства совпадения можно проследить на релейной схеме совпадения, представленной на рис. 2.28. Схема рассчитана на 15-разрядный кодовый датчик. На этой схеме реле $P1—P15$ срабатывают от заданного устройства, а реле $P'1—P'15$ — от кодового диска. В зависимости от того, какое число больше, заданное или отработанное (с датчика обратной связи), срабатывает реле P_n , дающее команду на перемещение вперед, или реле P_n , включающее двигатель на перемещение

ние назад. При полном совпадении кодов включается реле P_c , отключающее двигатель.

З а д а ю щ е е у с т р о й с т в о . В качестве задающего устройства чаще используют устройства, осуществляющие считывание и хранение информации с перфоленты или перфокарты. Кроме

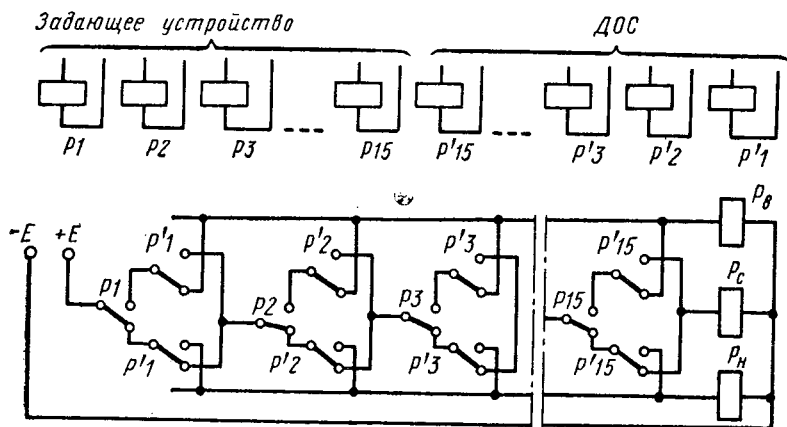


Рис. 2.28. Принципиальная схема устройства совпадения на релейных элементах

перфоленты и перфокарты для задания программы в координатных СПУ, в том числе и в кодовых СПУ, применяют различные коммутаторные таблицы: штекерные, с декадными переключателями, кнопочными выключателями и номеронабирателями.

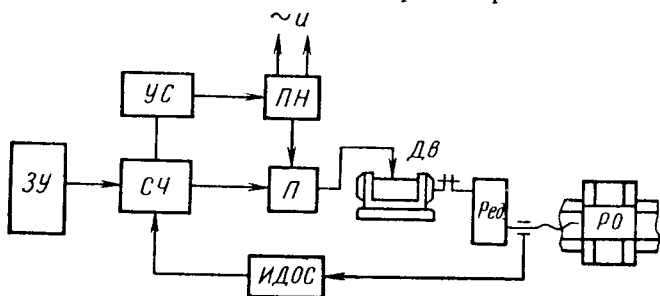


Рис. 2.29. Блок-схема счетно-импульсной системы

Счетно-импульсные СПУ. Основной особенностью счетно-импульсных позиционных СПУ является наличие различных счетчиков импульсов, преобразователей импульсного типа. Известно несколько разновидностей таких СПУ. В наиболее общем случае счетно-импульсная позиционная СПУ имеет вид, изображенный на рис. 2.29.

Программа в виде закодированного числа импульсов, соответствующего перемещению, из задающего устройства ЗУ поступает

в счетное устройство *СЧ*, где запоминается. Счетное устройство дает команду на пускатель *П*, включающий силовой двигатель *Дв*, от которого движение через редуктор *Ред.* передается рабочему органу *РО*. С рабочим органом кинематически связан импульсный датчик обратной связи *ИДОС*, который при движении начинает выдавать импульсы в счетное устройство. Число импульсов обратной связи в счетном устройстве вычитается (либо складывается в зависимости от типа счетчика) из программных импульсов. При равенстве числа задающих импульсов импульсам обратной связи счетная схема возвращается в нулевое положение. В качестве счетной схемы можно применять счетчики, рассматриваемые в импульсных СПУ. Они могут быть выполнены также на релейных элементах.

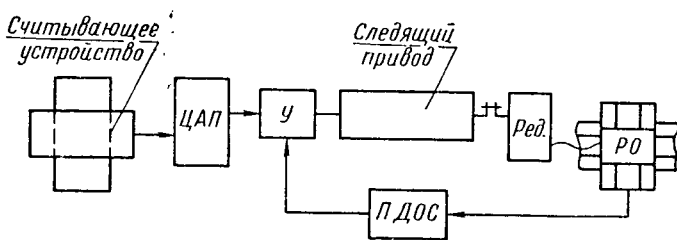


Рис. 2.30. Блок-схема аналоговой позиционной СПУ

Вблизи программируемого значения координаты устройство совпадения *УС* подает команду упреждения на переключатель напряжения *ПН*, переключающий двигатель с большой скорости на малую. Останов рабочего органа осуществляет последний регистр счетного устройства. Таким образом, устройство совпадения здесь проще, чем в кодовых СПУ.

В счетно-импульсных СПУ используется относительная система отсчета. Система работает по приращениям.

Преимуществом счетно-импульсных СПУ перед кодовыми является отсутствие сложной схемы совпадения и сложных кодовых преобразователей. В качестве датчиков обратной связи могут быть использованы фотоэлектрические датчики с дифракционными линейками и индуктивные датчики. Для увеличения точности измерения в счетно-импульсных СПУ широко используют двухканальные измерительные системы (с грубым и точным отсчетом). Достоинством счетно-импульсных СПУ является также возможность повторения кадра для нескольких одинаковых перемещений, что часто требуется в координатных СПУ при сверлении отверстий, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга. Такой возможности у других позиционных СПУ нет. К недостаткам этих СПУ следует отнести более низкую помехозащищенность, связанную с относительным измерением перемещения и импульсным характером информации.

Аналоговые СПУ. Аналоговые позиционные СПУ работают по принципу сравнения задающего сигнала, выраженного в аналоговой форме, с таким же сигналом обратной связи. Основной особенностью аналоговых СПУ является цифроаналоговый преобразователь ЦАП, превращающий число задающей информации, поступающей от считывающего устройства или устройства ручного ввода, в величину напряжения, в величину активного или индуктивного сопротивления или другой аналог. Например, в аналоговой СПУ, показанной на рис. 2.30, после цифроаналогового преобразователя задающая информация о величине хода рабочего органа модулируется величиной постоянного напряжения, которое, поступая на вход усилителя У, управляет работой

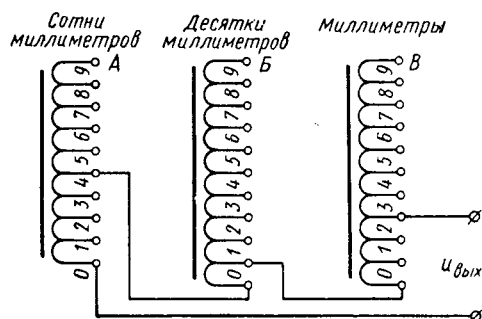


Рис. 2.31. Схема цифроаналогового преобразователя

следящего привода с потенциометрической обратной связью (ПДОС). При перемещении рабочего органа РО величина рассогласования, имеющаяся на входе усилителя У, все время уменьшается и при подходе к заданной координате становится равной нулю.

Аналоговые СПУ имеют много разновидностей. Вместо постоянного тока, например, на выходе ЦАП может быть переменный ток, модулированный по амплитуде или фазе. В последнем случае применяют в качестве датчика фазовращатели (фазовые датчики); причем для увеличения точности отсчета измерительные системы здесь могут быть также двухканальные (с грубым и точным отсчетом). Привод в аналоговых СПУ может быть нерегулируемым. В этом случае сигналы на торможение и останов поступают от специальных схем. Достоинством рассмотренной аналоговой потенциометрической СПУ является ее сравнительная простота и высокая надежность. Недостаток заключается в ограниченной ее точности, которая ограничивается ЦАП и потенциометрическим датчиком.

Цифроаналоговый преобразователь. Назначение таких преобразователей заключается в превращении заданного числа в какой-либо электрический аналог. Рассмотрим преобразователи, модулирующие число уровнем напряжения. Одной из наиболее распространенных схем таких преобразователей является преобразователь, работающий на основе автотрансформатора, у которого на вторичной обмотке сделаны соответствующие отпайки (рис. 2.31). Данный преобразователь, работающий на принципе поразрядного суммирования, позволяет модулировать числа, заданные в десятичном коде. Здесь напряжения каждого разряда

относятся друг к другу как $1000 : 100 : 10 : 1 : 0,1$, т. е. если полное напряжение разряда $u_B = 1$ В, то $u_B = 10$ В, а $u_A = 100$ В. Таким образом, при считывании заданного числа коммутируются соответствующие ему секции автотрансформатора и на выходе преобразователя мы имеем суммарное напряжение, соответствующее считанному числу.

Известны и другие схемы преобразователей. Например, для преобразования числа, выраженного в двоичном коде, используют преобразователи, выполненные из отдельных сопротивлений. Датчики аналоговых систем ПУ рассмотрены в гл. 4.

Функциональные СПУ

Функциональные (контурные) СПУ осуществляют движение рабочего органа по сложной траектории. При механической обработке эта траектория определяет контур будущей детали или части ее. Поэтому очень важно при управлении функциональными СПУ обеспечить, чтобы траектория рабочего органа в каждый момент времени совпадала с заданной. В общем случае эта траектория представляет собой сложную функцию типа $y = f(x)$ или $z = f(x, y, \varphi)$. Ввиду невозможности воспроизведения такой траектории одним движением ее заменяют несколькими простыми (однокоординатными) движениями поступательного и вращательного типа. Чтобы движение исполнительного органа было в соответствии с заданной траекторией (в общем случае криволинейной), необходимо в каждый момент времени поддерживать определенное соотношение скоростей и перемещений по управляемым координатам, т. е. должна быть между ними функциональная связь. Эту функциональную связь с высокой степенью точности выполняет устройство, называемое интерполятором.

Функциональные СПУ применяют для автоматизации технологического оборудования, где необходимо перемещать исполнительный механизм по сложной криволинейной траектории. Например, при производстве однослойных и многослойных печатных плат для вычерчивания токопроводящего рисунка на координатографе, при изготовлении деталей, имеющих сложный плоский или объемный контур (токарные, фрезерные, шлифовальные станки), а также в заготовительном и сварочном производстве. Таким образом, функциональные СПУ автоматизируют рабочие операции. Эффективность применения функциональных СПУ особенно возрастает для технологических процессов, где длительность перемещения по сложному контуру значительно превышает длительность холостых и вспомогательных операций при мелкосерийном характере производства.

Требования по точности у них находятся в пределах: $0,005$ — $0,05$ мм — для высокоточных систем, $0,05$ — $0,1$ мм — для обычных функциональных СПУ; максимальные управляемые скорости составляют $0,6$ — $1,5$ м/мин у СПУ, применяемых для автоматизации

обработки стальных деталей, до 3 м/мин — для обработки легких сплавов, до 10 м/мин — в координатографах.

В функциональных СПУ объем задающей информации может быть значительным (в зависимости от сложности технологического процесса), поэтому для разработки программ здесь целесообразно применять универсальные вычислительные цифровые машины. Путь информации от чертежа к детали показан на рис. 2.32. При использовании УЦВМ связь ее с интерполятором может быть прямой (штриховая линия на рисунке), минуя ручное перфорирование.

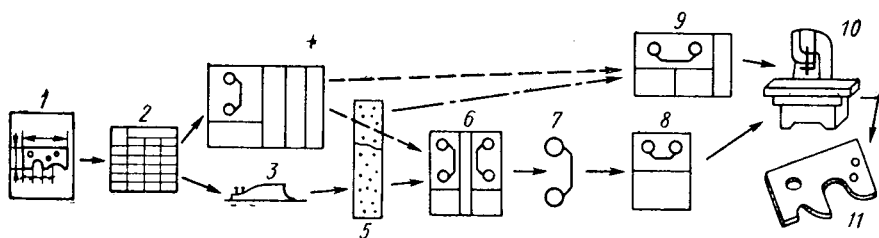


Рис. 2.32. Схема прохождения информации от чертежа к детали:

1 — чертеж; 2 — технологические карты и таблицы; 3 — ручной перфоратор; 4 — универсальная цифровая вычислительная машина (УЦВМ); 5 — перфолента; 6 — интерполятор; 7 — магнитная лента; 8 — пульт программного управления (без интерполятора); 9 — система программного управления со встроенным интерполятором; 10 — станок; 11 — деталь

На выходе интерполятора получается программа, пригодная для непосредственного использования в системе программного управления станком. Эта программа записывается в унитарном коде (последовательностью импульсов) либо в аналоговой форме (в виде кривой) на магнитную ленту или фотоленту. Если интерполятор является принадлежностью системы управления станком, тогда входом в эту СПУ будет служить программа, записанная на перфоленте, либо выход УЦВМ (штриховая и штрих-пунктирная линии на рис. 2.33).

Шаговые СПУ. В шаговых СПУ интегрирование осуществляется в шаговом приводе (в шаговом двигателе с коммутатором, обеспечивающем соответствующее распределение импульсов по фазам двигателя). Шаговые СПУ имеют два варианта исполнения: с силовым шаговым двигателем ШД и с несиловым (шаговым преобразователем). В последних поворот ШД служит задающим сигналом для гидравлического или электрического следящего привода. В комплект шаговой СПУ может входить тот или иной интерполятор, встроенный в систему. В этом случае они называются импульсно-шаговыми СПУ. Особенностью шаговых СПУ является то, что они работают по разомкнутой схеме управления.

Шаговые СПУ с силовым ШД. Программа, записанная на перфоленте 1, поступает в интерполятор 2, где производится запись на магнитную ленту 3 (рис. 2.33) в виде последовательности

импульсов (в унитарном коде). Магнитная лента перемещается лентопротяжным механизмом 4 относительно магнитной головки 5 и считывается последней. Формирование импульсов и разделение их по полярности осуществляются в фазочувствительном выпрямителе 6, с выхода которого импульсы поступают в коммутатор 7. Там они распределяются по трем фазам и, усилившись по мощности в усилителях 8, попадают в обмотки статора силового шагового двигателя 9. Угол поворота выходного вала двигателя пропорционален количеству импульсов, а скорость поворота — частоте

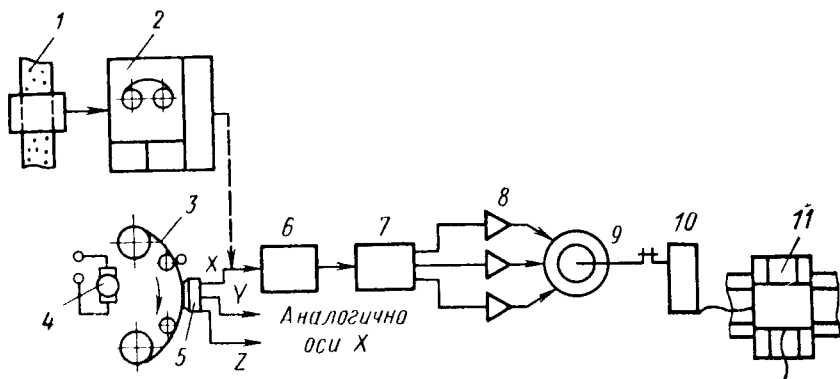


Рис. 2.33. Блок-схема шаговой СПУ с силовым ШД

следования импульсов. Преобразование вращательного движения выходного вала редуктора 10 в поступательное движение рабочего органа 11 осуществляется с помощью безлюфтовых механических передач с высоким к. п. д. Величина элементарного перемещения рабочего органа, т. е. цена одного импульса, здесь находится в пределах 0,01—0,05 мм.

Эта схема отличается сравнительной простотой. Недостатком ее является низкое быстродействие (частота приемистости 0,6—1 кГц). Низкая приемистость не позволяет развивать больших скоростей (дискретности при $\Delta = 0,01$ мм, $v_{\max} = 10$ мм/с). Низкая приемистость шаговых СПУ определяется низким быстродействием силовых шаговых двигателей (ШД).

Шаговые СПУ с силовым ШД удобно применять для автоматизации процессов, протекающих с невысокими скоростями и умеренными требованиями по точности. В отечественной промышленности они нашли применение при автоматизации электроэрозионного оборудования 4531 и 4532, в некоторых конструкциях координатографов, для управления лентопротяжными механизмами, а также в программных командоаппаратах гальванических автоматов.

Шаговые СПУ с шаговым преобразователем. Сочетание мало-мощного быстродействующего ШД с гидроусилителем момента (рис. 2.34) позволяет получить в лучших современных системах

программного управления частоты приемистости (мгновенного пуска) до 2—8 кГц. В этой СПУ шаговый привод выполняет функцию преобразователя дискретной информации в поворот вала, а гидросилитель момента осуществляет слежение за механическим движением вала ШД.

Преобразование дискретной информации является сложной задачей, так как сопровождается мгновенными девиациями частот, поступающих на вход шагового привода. Не менее важной задачей в разомкнутой системе является передача импульсных сигналов. Выполнение этих задач достигается предельно возможным

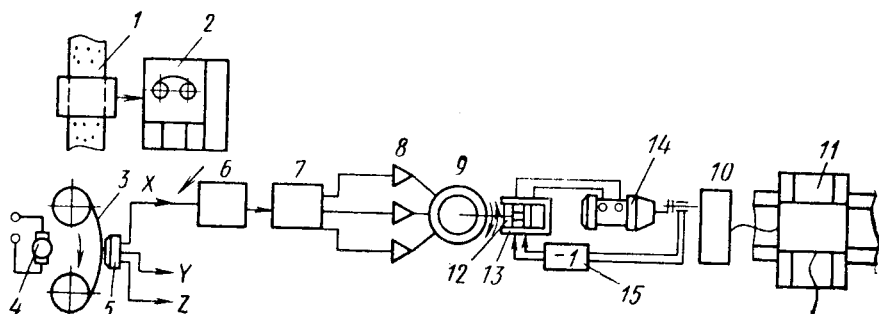


Рис. 2.34. Блок-схема шаговой СПУ с гидросилителем моментов:

1 — перфолента; 2 — интерpolator; 3 — магнитная лента; 4 — лентопротяжный механизм; 5 — считывающая головка; 6 — усилители напряжения и формирования; 7 — коммутатор; 8 — усилители мощности; 9 — шаговый двигатель; 10 — редуктор; 11 — рабочий орган; 12 — поворотный золотник; 13 — втулка; 14 — гидромотор; 15 — обратная связь

расширением диапазона рабочих частот и уменьшением дискретности шагового привода. Для этого применяют шаговые двигатели с большим числом фаз (до пяти), блоки управления с многотактными электронными коммутаторами и значительным форсированием электромагнитных переходных процессов.

В качестве силовых следящих приводов в шаговых СПУ с несилевым ШД можно применять электрические и гидравлические следящие привода. Шаговые СПУ с несилевым ШД нашли применение в пультах управления ПРС-2-60, ПРС-4А, «КОНТУР-2П-67», «КОНТУР-3П-68», «КОНТУР-4П-68», УМС-2, УМС-402. Эти системы управляют фрезерными станками ФП-4, ФП-5, 6Н13-ГЭ2, ГФ-1050, токарными станками 1К62Пр, 1А616 ПУ, 1К62 ПУ, газорезательными, сварочными автоматами и другим технологическим оборудованием.

Элементы шаговых СПУ. Узел считывания. Усиленная блок-схема узла считывания, выполненная на полупроводниковых триодах, показана на рис. 2.35. Считанные головкой импульсы одного канала поступают на вход предварительного усилителя $У_{пр}$. На выходе его получают равномерно усиленные двухполярные импульсы. Деление импульсов по полярности осу-

шестьвляется в схеме деления P . После этого импульсы усиливаются и формируются в устройствах Φ_{y2} и Φ'_{y2} . Здесь импульсам придается прямоугольная форма, после чего они попадают на схему совпадения U и U' и на входы ждущих мультивибраторов — устройств с одним устойчивым состоянием.

Выходной импульс мультивибратора M подается на вход схемы совпадения U' и управляет ее запуском, а импульс с мультивибратора M' управляет схемой совпадения U . Таким образом, считанный с программоносителя двухполярный импульс вначале делится на два импульса, затем в схеме совпадения они опять складываются, и на выходе ее получается один импульс. Если на

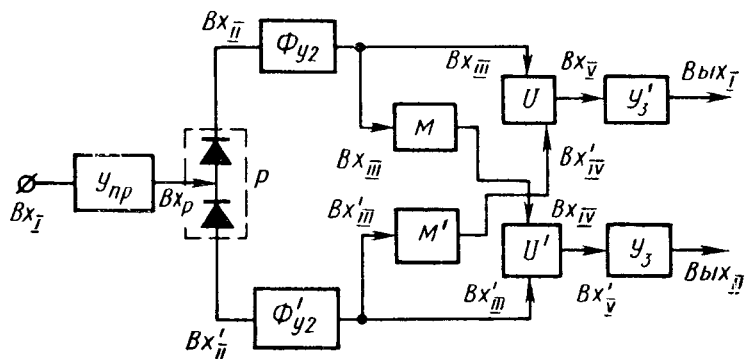


Рис. 2.35. Блок-схема узла считывания

вход попадает положительный импульс, то после усиления и формирования он преобразуется в два положительных импульса, появляющихся на выходе первого Φ_{y2} и второго Φ'_{y2} усилителей-формирователей. При этом первый импульс соответствует положительному выбросу считанного импульса, а второй — отрицательному. С выходов этих усилителей импульсы поступают на схемы совпадения и мультивибраторы. Так как импульсы разделены по времени, то импульс первого канала (Φ_{y2}) не проходит через схему совпадения U , а запускает мультивибратор M . При этом мультивибратор M вырабатывает импульс для открытия схемы совпадения U' , поэтому импульс с Φ'_{y2} проходит схему совпадения U' на выход.

При считывании головкой отрицательного импульса все преобразования происходят аналогично описанным, только импульс на выход попадает через схему совпадения U первого канала.

Мультивибратор представляет собой релаксационный генератор, вырабатывающий электрические колебания, форма которых близка к прямоугольной. Он выполнен в виде двухкаскадного усилителя, причем выход каждого из них замкнут на вход другого. Мультивибратор в зависимости от настройки может работать в трех режимах: автоколебательном, ждущем и режиме синхронизации.

Известно несколько схем мультивибраторов. Одна из них приведена на рис. 2.36. Мультивибратор может попеременно находиться в двух противоположных состояниях: по первому транзистору протекает ток, а второй при этом закрыт. Переход из одного состояния в другое происходит скачкообразно. Если в исходном состоянии схема находилась в равновесии и токи в обоих транзисторах были равны, то в силу незначительной асимметрии схема принимает одно из устойчивых состояний.

Допустим, транзистор $T1$ закрывается, а $T2$ открывается. При этом напряжение на коллекторе транзистора $T1$ достигает максимума, а на $T2$ — минимума. Резкое падение отрицатель-

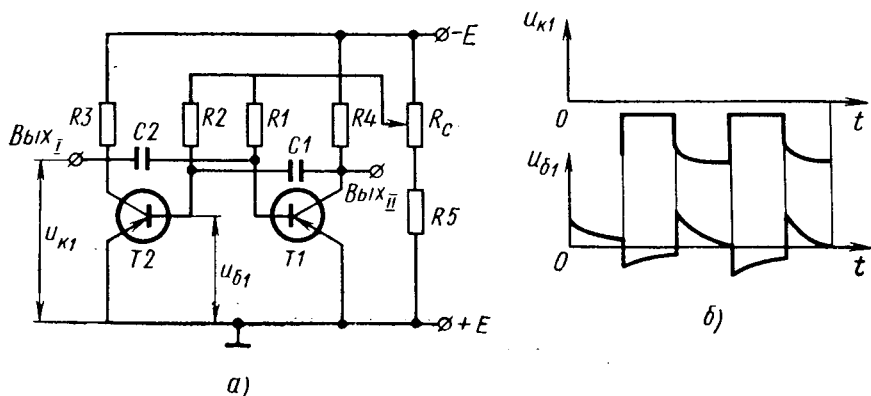


Рис. 2.36. Схема мультивибратора с коллекторно-базовыми связями (а) и диаграмма напряжений на коллекторе и базе транзистора (б)

ного потенциала на обкладке конденсатора $C2$, соединенной с коллектором $T2$, вызывает избыток положительных зарядов на другой обкладке конденсатора $C2$. Это положительное напряжение, приложенное к основанию транзистора $T1$, запирает его до тех пор, пока $C2$ не разрядится через проводящий в это время транзистор $T2$ на резисторы $R1$, Rc и источник питания.

В результате разряда $C2$ положительное напряжение, приложенное к основанию транзистора $T1$, уменьшится и в нем появится коллекторный ток. Последний вызовет падение напряжения в коллекторной цепи $T1$ и уменьшит отрицательное напряжение на основании транзистора $T2$. Это вызовет уменьшение силы тока и рост напряжения в коллекторной цепи $T2$. Сигнал через $C2$ подается на основание $T1$. Последний открывается и запирает через $C1$ транзистор $T2$. Схема приходит в противоположное состояние, когда транзистор $T2$ закрыт, а $T1$ открыт. Далее процесс протекает при разряде $C1$ через транзистор $T1$, резисторы $R2$, Rc и источник питания. Вновь открывается $T2$ и закрывается $T1$. Процесс повторяется.

Диаграмма выходного сигнала (с коллектора $K1$), близкого к прямоугольным импульсам, показана на рис. 2.36, б.

Формирователь. В качестве формирователя импульсов широко применяют одновибраторы. Одновибраторы представляют собой электронные устройства с одним устойчивым состоянием. Эти устройства часто применяют для формирования импульсов по форме, амплитуде, длительности, а также для задержки на интервал времени, равный длительности прямоугольного импульса, формируемого схемой.

Одновибратор, выполненный на транзисторах, показан на рис. 2.37, а. В нормальном состоянии схемы триод $T2$ открыт отрицательным потенциалом, поступающим через $R2$ на его основа-

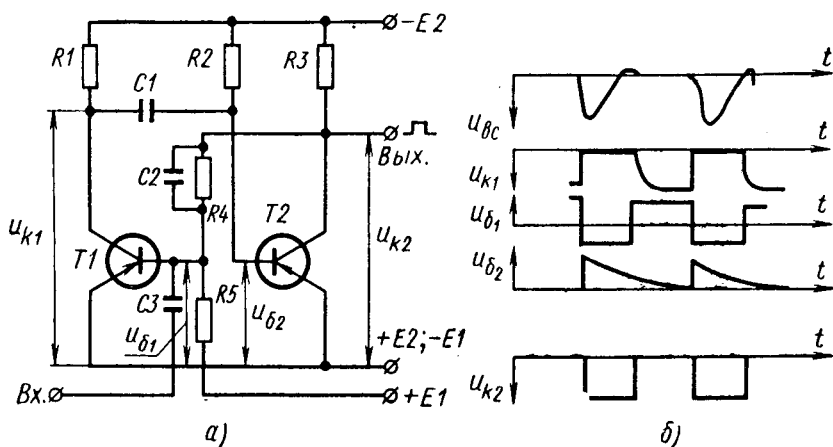


Рис. 2.37. Схема одновибратора (а) и диаграмма напряжений на коллекторе и базах транзисторов (б)

ние, а транзистор $T1$ закрыт положительным напряжением смещения через резистор $R5$. При появлении импульса, считанного с программноносителя, одновибратор переходит в возбужденное состояние, которое будет сохраняться в течение некоторого интервала времени (в зависимости от параметров схемы). При поступлении отрицательного импульса триод $T1$ начинает проводить ток. Изменение напряжения на его коллекторе передается через конденсатор $C1$ на базу триода $T2$. Нарастающий лавинообразный процесс, возникающий за счет обратной связи, приводит к полному запираению триода $T2$ и полному открытию триода $T1$. В этом состоянии схема будет находиться до тех пор, пока конденсатор $C1$ не разрядится через коллектор открытого триода $T1$, резисторы $R1$ и $R2$. После разрядки конденсатора $C1$ на базе триода $T2$ установится отрицательное напряжение. Тогда триод $T2$ откроется, а триод $T1$ закроется. На выходе схемы появятся импульсы с крутым фронтом. Формы импульсов с коллектора и базы $T1$, базы и коллектора $T2$ показаны на рис. 2.37, б.

Логические элементы СПУ. Как видно из рассмотренной выше схемы считывания, в СПУ широко применяют различные логи-

ческие элементы: схемы И, ИЛИ, НЕ. Эти элементы позволяют выполнять функции логического умножения, сложения и отрицания. Комбинации этих логических элементов позволяют получать различные устройства СПУ (интерполяторы, коммутаторы, реверсивные счетчики, блоки синхронизации, фазовые преобразователи, формирователи), реализующие логические операции, выполняющие функции хранения и преобразования информации.

Логические элементы могут быть реализованы на электронных, полупроводниковых и магнитных элементах в виде импульсных, потенциальных и импульсно-потенциальных схем. В последние

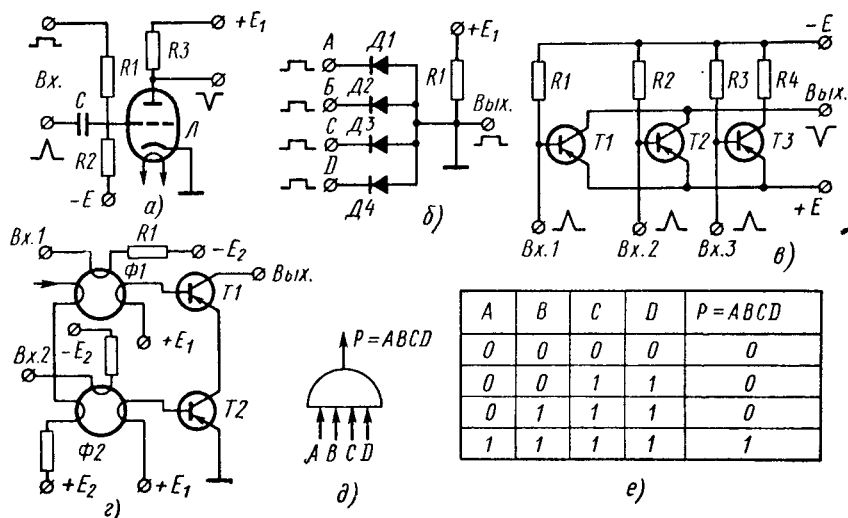


Рис. 2.38. Схемы конъюнктора

годы имеется тенденция к выполнению этих элементов на базе транзисторных и ферритовых элементов. Рассмотрим некоторые наиболее распространенные схемы логических элементов.

К о н љ ю н к т о р (логическая схема И, схема совпадения, ключ, вентиль). Он представляет собой электрическую схему, выдающую сигнал только при определенных условиях. Схема имеет несколько входов и один выход. Сигнал на выходе появляется только в том случае, если есть сигналы на всех имеющихся входах (рис. 2.38, е). Эти схемы осуществляют логическое умножение. Схемы совпадения, как и все логические элементы, могут быть реализованы на электронных лампах (рис. 2.38, а), полупроводниковых диодах (рис. 2.38, б) и триодах (рис. 2.38, в), на ферротранзисторах (рис. 2.38, г); условное обозначение схемы И приведено на рис. 2.38, д. Схема совпадения на диодах широко применяется в случаях трех и более входов. Работают они следующим образом. При отсутствии импульсов на входах диоды Д1,

Д2, Д3, Д4 (рис. 2.38, б) проводят ток, что создает падение напряжения на резисторе $R1$. Таким образом, на выходе имеет место низкое напряжение. Если на все входы одновременно подать импульсы положительной полярности с амплитудой, равной или большей напряжения $+E_1$, то диоды запираются. Ток в этом случае отсутствует, падение напряжения на $R1$ тоже отсутствует, и на выходе схемы имеет место положительный импульс. Если хотя бы на один из входов импульс не подан, то через соответствующий диод будет протекать ток, образуя падение напряжения на резисторе $R1$. При этом на выходе импульс отсутствует. Операция логического умножения пояснена таблицей (рис. 2.38, в).

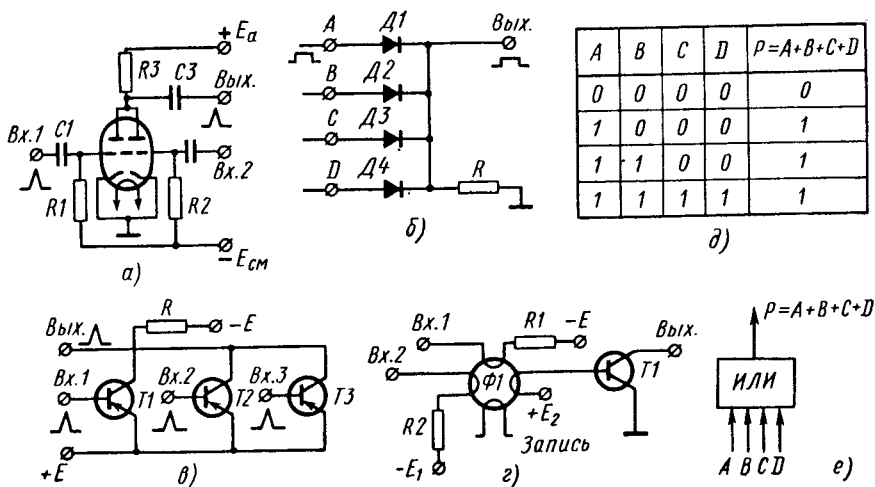


Рис. 2.39. Схемы дизъюнктора

Дизъюнктор (логическая схема ИЛИ, схема собирания, схема объединения или схема разделения) представляет собой электронное устройство, реализующее логическое сложение (рис. 2.39). Дизъюнктор имеет несколько входов и один выход. Он обеспечивает прохождение сигнала на выход или с первого, или со второго, или с любого другого входа (рис. 2.39, д). При этом сигнал, поступающий на выход, не оказывает влияния на другие входные цепи. Схема ИЛИ может быть реализована на различных элементах (рис. 2.39, а, б, в, г). Условное обозначение схемы приведено на рис. 2.39, е. Дизъюнктор на полупроводниковых диодах (рис. 2.39, б) может быть построен на любое число входов. Схема аналогична схеме конъюнктора с той лишь разницей, что диоды включены в обратном направлении, а резистор R соединен с корпусом.

При поступлении положительных сигналов на один или несколько входов они проходят через соответствующие диоды на

выход. Возникающий при этом на выходе высокий положительный потенциал запирает остальные диоды, исключая влияние проходящих сигналов на работу цепей, связанных с другими входами.

И н в е р т о р (логическая схема НЕ) реализует логическую операцию — отрицание, т. е. $P = \bar{A}$. Эта функция характеризует противоположность по значению высказывания выходного сигнала к входному. Схема (рис. 2.40) обеспечивает получение сигнала на выходе только в том случае, если отсутствует сигнал на входе и наоборот. Выходным сигналом этой схемы является высокий уровень напряжения на коллекторе транзистора T , который получается тогда, когда транзистор откроется входным сигна-

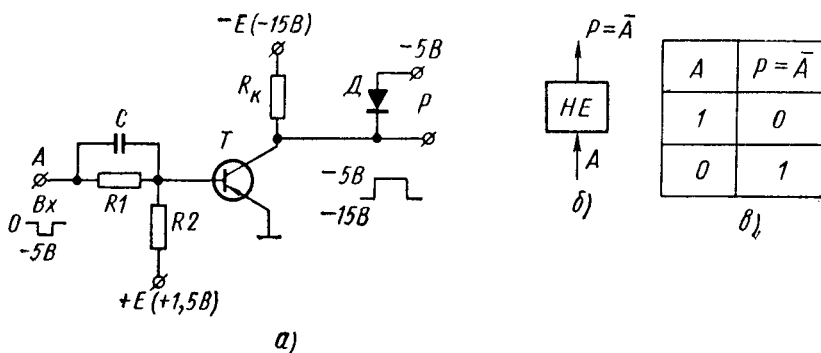


Рис. 2.40. Схема инвертора (а), его обозначение (б) и таблица (в), поясняющая математическую операцию «логическое отрицание»

лом —5 В. Если на входе сигнал равен нулю, то на выходе напряжение равно —15 В, так как при этом транзистор не проводит тока из-за смещения, равного +1,5 В, запирающего его. Диод D необходим для стабилизации верхнего уровня —5 В выходного напряжения, так как транзисторы обладают недостаточной стабильностью своих параметров, в том числе и внутреннего сопротивления открытого транзистора.

Подключение источника дополнительного напряжения —5 В к коллектору через диод D приводит к тому, что минимальное напряжение на коллекторе транзистора T не может быть выше —5 В. Без диода оно могло бы быть выше, но не было бы достаточно стабильным. Емкость C введена в схему для шунтирования входного сопротивления $R1$ с целью увеличения быстродействия.

К о м м у т а т о р ы служат для управления работой шагового двигателя и являются устройствами, распределяющими импульсы по фазам его обмоток. Их часто строят на многостабильных элементах, принцип работы которых можно рассмотреть на работе одной элементарной ячейки (рис. 2.41) n -тактного реверсивного распределителя, на рисунке выделенного штриховыми линиями.

Эта ячейка содержит ключевой элемент B_j (транзистор), вход которого через две схемы совпадения $И$ связан со входами A и B распределителя. Импульсы управления, поступающие на шину A , обеспечивают переключение ячеек в прямой последовательности, а импульсы, проходящие на вход B , — в обратной последовательности. Вход ключевого элемента ячейки связан через линию задержки $ЛЗ$, а выход — со входами других ячеек распределителя.

Из-за большого количества взаимных связей их входные и выходные цепи разделяют с помощью диодной матрицы. В настоящее время для построения коммутаторов широко применяют логические стандартные элементы.

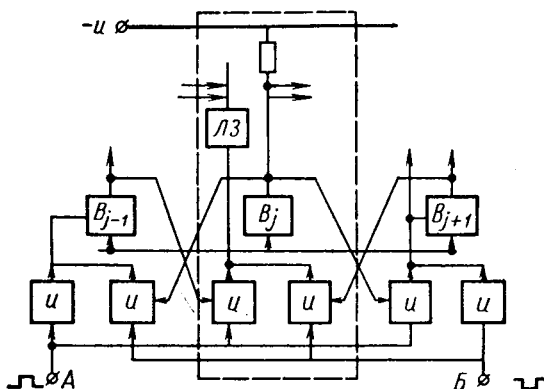


Рис. 2.41. Блок-схема элементарной ячейки реверсивного коммутатора импульсов

Иногда коммутаторы выполняют на импульсных элементах. Тогда феррит-транзисторные и феррит-диодные ячейки соединяют по схеме кольцевого регистра сдвига с выходом на триггеры или непосредственно на тиристорный усилитель мощности. Удобно в качестве ключевых элементов использовать тиристоры, которые могут непосредственно переключать фазы шагового двигателя, осуществляя функцию распределения и усиления по мощности.

Фазовые СПУ. В фазовых СПУ суммирование элементарных приращений осуществляется в фазовом преобразователе, причем интегрирование импульсов здесь более качественное, чем в шаговых. Фазовые СПУ могут быть со встроенным интерполятором либо без интерполятора.

В фазовых СПУ со встроенным интерполятором, называемых импульсно-фазовыми, информация в виде последовательности чисел фиксируется на перфоленте. Считанная с перфоленты 1 (рис. 2.42) задающая информация поступает в интерполятор 2, где преобразуется в импульсную форму. Дальнейшее преобразование импульсных сигналов в фазомодулированный сигнал осуществляется в фазовом преобразователе 3. После фазового пре-

образователя задающий сигнал, выраженный в виде переменного напряжения со сдвигом фаз, пропорциональным заданному перемещению, поступает в сравнивающее устройство — фазовый дискриминатор 4. В устройство 4 поступает также сигнал от фазового датчика обратной связи 7 — фазовращателя. Информация

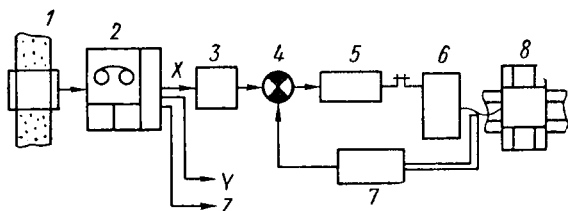


Рис. 2.42. Блок-схема импульсно-фазовой СПУ

обратной связи представлена тоже в виде переменного напряжения со сдвигом фаз, соответствующим фактическому перемещению рабочего органа 8. В результате сопоставления этих двух потоков информации на выходе фазового дискриминатора (его иногда называют фазовым индикатором) появляется постоянное напряжение, пропорциональное углу рассогласования фаз. Это

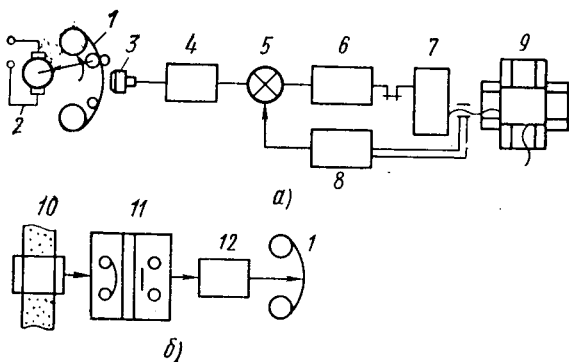


Рис. 2.43. Блок-схема фазовой СПУ (а) и схема подготовки программы для нее (б)

рассогласование обрабатывается одним из видов регулируемого привода 5 с редуктором 6.

В фазовых СПУ (рис. 2.43) без интерполятора отсутствует также и фазовый преобразователь, так как программа задается в аналоговой форме на магнитной ленте 1 в виде двух напряжений переменного тока: опорного напряжения с постоянной фазой и напряжения с фазой, изменяющейся в соответствии с заданным перемещением. Подготавливается программа в аналоговом виде на ленте 10 отдельно от станка, на интерполяторе 11 (рис. 2.43, б), например, ЛКИ-ФМ, оснащенный фазовым преобразователем 12. В таком виде задающая информация, подаваемая лентопротяж-

ным механизмом 2, через считывающую головку 3 и формирователь 4 поступает в фазовый дискриминатор 5, где сравнивается с информацией, поступающей от датчика обратной связи 8. Сигнал рассогласования на выходе устройства 5 обрабатывается приводом 6, который через механический редуктор 7 перемещает рабочий орган 9.

Фазовые СПУ реализованы в управляющих устройствах станков ПФП-1, ФП-2, ФП-7, ФП-10, ПРС-3М, ПФС-12-600 и др. Рассмотрим основные узлы фазовых СПУ.

Фазовый преобразователь. Принцип работы фазового преобразователя заключается в том, что каждый импульс, поступающий на вход преобразователя, сдвигает фазу переменного напряжения на фиксированный угол так, что суммарный сдвиг фазы пропорционален количеству пришедших импульсов. В электронном импульсно-фазовом преобразователе импульсная информация, представленная в унитарном коде, преобразуется в фазомодулированный сигнал (синусоидальную кривую) с помощью логических элементов и делителей частоты. Схема преобразователя для одной из координат представлена на рис. 2.44.

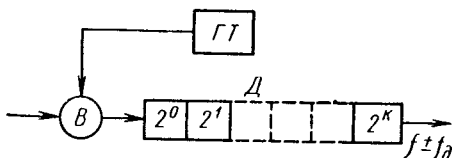


Рис. 2.44. Блок-схема электронного импульсно-фазового преобразователя

Импульсы, поступающие на вход вентиль B , управляют его работой. При отсутствии импульсов по координате сигналы от генератора тактовых импульсов $ГГ$ свободно проходят через вентиль B и поступают на делитель частоты $Д$. При поступлении на вход вентиль импульса положительной полярности он суммируется с тактовыми импульсами генератора $ГГ$, при поступлении отрицательной — тактовый импульс вычитается. Синхронизация тактовых импульсов осуществляется генератором $ГГ$ и дополнительным делителем частоты, построенным на триггерных ячейках. Таким образом, от частоты и полярности импульсов, выдаваемых интенполятором (либо считываемых с магнитной ленты), сигнал генератора $ГГ$ модулируется по фазе. Однако такой сигнал еще не удобен для использования в фазовой СПУ. Превращение выходного сигнала из вентиль в сигнал, удобный для фазовой СПУ, выполняется в схеме делителя частоты $Д$. От числа ячеек делителя частоты зависит дискретность изменения фазы выходного сигнала, которая определяет величину элементарного перемещения рабочего органа. В принципе, используя электронный преобразователь, можно добиться очень малой величины элементарного перемещения. Это является большим преимуществом преобразователей такого типа. К преимуществам электронного фазового преобразователя следует также отнести отсутствие в нем вращающихся частей и в связи с этим высокую надежность.

Существуют и другие типы фазовых преобразователей, например, электромеханические, выполненные в виде шагового двигателя с присоединенным к нему вращающимся (поворотным) трансформатором, работающим в фазовращательном режиме. Для работы поворотного трансформатора в фазовращательном режиме в схему введен фазорасщепитель, преобразующий однофазное напряжение в двухфазное, необходимое для работы трансформатора. Достоинством электромеханического фазового преобразователя является относительная простота схемы и конструкции. К недостаткам его следует отнести ограниченность частотной характе-

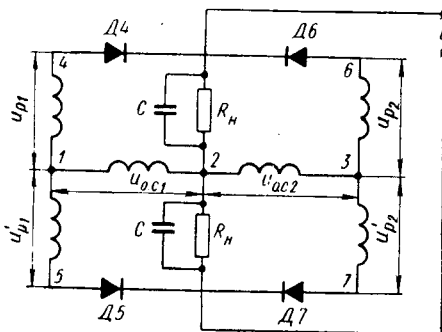


Рис. 2.45. Схема двухполупериодного фазового дискриминатора

ристики шаговых двигателей, что значительно снижает скорость переработки информации, а также наличие вращающихся элементов (двигателей и поворотных трансформаторов) уменьшает его надежность.

Сравнение задающего сигнала и сигнала обратной связи осуществляется в фазовом дискриминаторе.

Фазовый дискриминатор представляет собой устройство, сравнивающее фазы двух напряжений переменного тока, подан-

ных на его вход. Выходной сигнал его представляет собой сигнал постоянного тока, пропорциональный в определенных пределах (обычно $\pm 90^\circ$) разности фаз сравниваемых напряжений. В качестве фазового дискриминатора обычно используется управляемый выпрямитель либо потенциальный триггер с двумя входами. При использовании управляемого выпрямителя в качестве фазового дискриминатора проводимость его периодически изменяется с помощью внешнего источника переменного напряжения такой же частоты, что и частота полезного сигнала. Простейшим типом выпрямителя может быть вибрационный выпрямитель, выполненный в виде быстродействующего поляризованного реле, замыкающий рабочее напряжение на нагрузку. При этом обмотки возбуждения реле питаются опорным напряжением. Наилучшим образом функцию сравнения выполняют диодные двухполупериодные фазовые выпрямители (рис. 2.45).

Опорное напряжение $u_{o.c}$ в этой схеме подается к точкам 1—2, 2—3, рабочее напряжение u_p — к точкам 1—4, 1—5, 3—6, 3—7 и диодами Д4, Д5, Д6, Д7, нагруженным сопротивлениями нагрузки R_n . Эта схема представляет собой две однополупериодные схемы, работающие на общие нагрузочные сопротивления. Обмотки трансформатора, подключенные к диодам, являются двумя вторичными обмотками одного и того же трансформатора.

Выходное выпрямленное напряжение, представляющее собой векторную сумму переменных напряжений $u_{o,c}$ и u_p , снимается с нагрузочных сопротивлений R_H . Таким образом, на выходе дискриминатора будет напряжение e , пропорциональное разности длин векторов (задающего сигнала и сигнала обратной связи), зависящих от изменения угла сдвига фаз $\Delta\phi$. Емкости C служат для фильтрации выпрямленного напряжения. Дискриминатор, выполненный по такой схеме, имеет большую чувствительность и более высокий спектр помех.

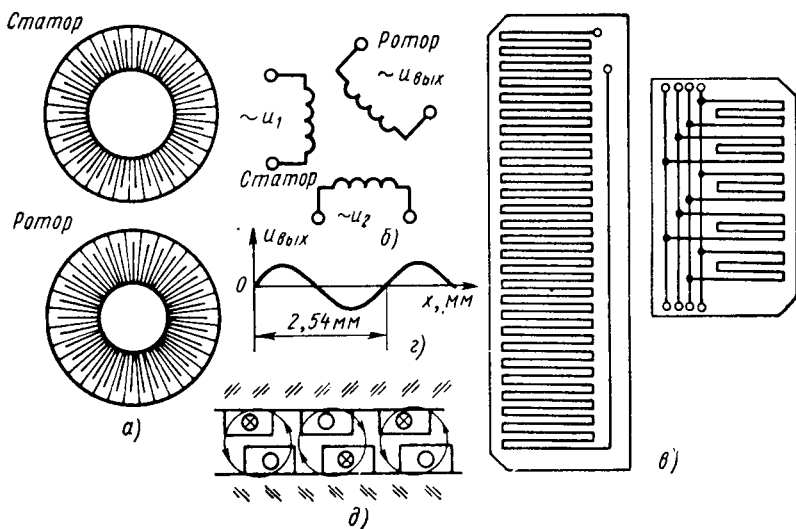


Рис. 2.46. Индуктосины:

а — круговые; б — электрическая схема; в — линейные; г — график напряжений; д — схема магнитных линий

Датчиками обратной связи фазовых СПУ служат сельсины, вращающиеся трансформаторы ВТ (см. гл. 4), которые имеют сравнительно невысокую точность. Дальнейшее повышение точности измерения и преобразования угла в электрический сигнал возможно путем применения датчиков с электрической редуцией, т. е. многополюсных датчиков. Известно несколько конструкций многополюсных датчиков ВТ: синусно-косинусные индуктосины, синусно-косинусные емкостные редуктосины, индуктосины линейные и круговые.

Индуктосины представляют собой специальный многополюсный датчик, применяющийся для измерения как угловых, так и линейных размеров. Они выполнены соответственно круговыми или линейными. В систему их включают по схеме фазовращателя.

Рассмотрим работу кругового индуктосина (рис. 2.46, а). Обмотки статора и ротора индуктосина выполнены из серебра

печатным способом на стеклянных дисках. На роторе напечатана однофазная обмотка, а на статоре — двухфазная. Этим они напоминают синусно-косинусный двухфазный ВТ, имеющий два полюса. Проводящие линии обмоток ротора расположены в радиальном направлении и соединены поочередно то у периферии, то у центра, образуя непрерывную цепь. Линии первичной обмотки статора также расположены радиально, но смещены на величину, равную половине расстояния между полюсами, и образуют две цепи. Обмотки статора питаются напряжениями, сдвинутыми по фазе на 90° . Число пар полюсов у обмоток индуктосина может быть 108, 360. Они рассчитаны так, что обеспечивают синусоидальное изменение взаимной индуктивности между статором и ротором в зависимости от угла поворота. Таким образом, индуктосины отличаются от обычных трансформаторов только большим числом полюсов. Принцип работы их аналогичен.

Электромагнитная связь между обмотками ротора и статора осуществляется через малый воздушный зазор, который должен быть постоянным. Выходное напряжение индуктосина при частоте питания 5—10 кГц и воздушном зазоре 0,1 мм равно $\pm 2 \div 5$ мВ. Угловая точность индуктосина при числе пар полюсов $p = 108$ и диаметре дисков 80 мм составляет $\pm 5''$, а при $p = 360$ и диаметре 300 мм составляет около $1''$. Однако такую точность можно получить лишь при очень высокой точности нанесения обмоток ротора и статора.

Основным недостатком индуктосинов являются высокие требования, предъявляемые к усилителю в отношении стабильности фазы его выходного напряжения. В качестве привода, обрабатывающего сигнал рассогласования, в фазовых и импульсно-фазовых СПУ применяют регулируемый электрический, гидравлический и электрогидравлический привод, который подробно рассматривается в гл. 4. Отмечая положительные стороны фазовых СПУ, следует отметить, что они в сравнении с шаговыми и импульсными СПУ исключают возможность появления накопленной ошибки и защищены от помех импульсного характера, однако они предъявляют повышенные требования ко всем электронным элементам системы и к механизму передвижения ленты с точки зрения фазовых искажений.

Импульсные системы программного управления (их иногда называют счетно-импульсными СПУ) осуществляют суммирование импульсов в счетном устройстве. Упрощенная блок-схема импульсной СПУ представлена на рис. 2.47. Задающая информация о характере перемещения рабочего органа в этих системах представлена последовательностью импульсов, поступающих непосредственно с выхода интерполятора, если в систему встроен интерполятор, либо считывается с магнитной ленты (рис. 2.47, а). Программа на магнитной ленте подготавливается отдельно от станка (рис. 2.47, б). На магнитной ленте импульсы записаны в унитарном коде. Импульсы, считанные магнитной головкой, имеют

синусоидальную форму. Для более четкой работы счетной схемы эти импульсы с помощью формирующего устройства преобразуются в остроконечные или прямоугольные.

Информация обратной связи также представлена здесь в импульсной форме. Непрерывный контроль за фактическим перемещением рабочего органа осуществляется импульсным датчиком обратной связи.

Импульсы задающей информации и информации обратной связи поступают на вход схемы синхронизации счетного устройства *Сч.У*, состоящего из реверсивного счетчика *РС*, блока син-

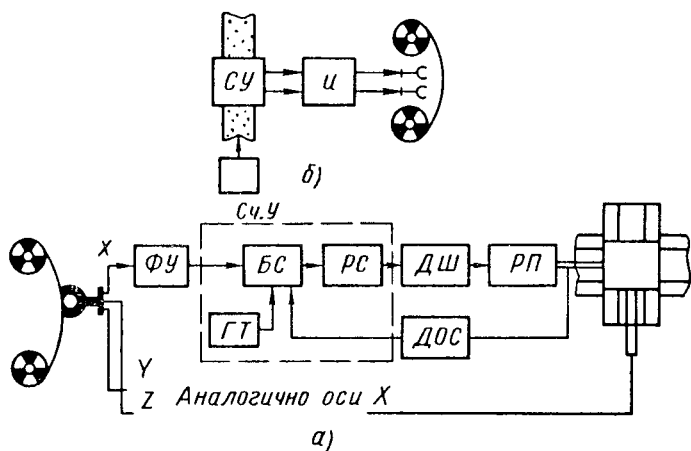


Рис. 2.47. Блок-схема импульсной СПУ

хронизации *БС* и генератора тактовых импульсов *ГТ*. Если импульсы из указанных источников приходят одновременно или их отделяет малый промежуток времени, недостаточный для срабатывания триггерных схем счетчика, то произойдет потеря импульса и непоправимые отклонения от заданной траектории. Для предотвращения этого явления и разделения импульсов задающей информации и информации обратной связи служит блок синхронизации *БС*. Распределение импульсов по времени осуществляется с помощью генератора тактовых импульсов *ГТ*.

Реверсивный счетчик является основным узлом счетного устройства. В нем в каждый данный момент сопоставляется число импульсов, заданных программой, с числом импульсов, отработанных приводом рабочего органа. Процесс сравнения заключается в том, что импульсы, идущие от интерполятора, суммируются в реверсивном счетчике, а импульсы обратной связи вычитаются. Следовательно, в счетчике содержится разность импульсов (сигнал рассогласования), которая с помощью дешифратора *ДШ* преобразуется в управляющий сигнал — напряжение постоянного тока, пропорциональное разности импульсов. Этот сигнал управляет работой силового регулируемого привода.

В этой схеме каждому пришедшему на вход импульсу соответствует элементарное перемещение рабочего органа, которое осуществляется от регулируемого привода *РП*. Цена импульсов датчика обратной связи такая же, как и у импульсов программы.

Как видно из приведенной выше блок-схемы, импульсные СПУ при наличии тех же элементов задающего устройства и привода имеют более сложное сравнивающее устройство, чем в фазовых СПУ, в котором, несмотря на наличие схемы синхронизации, могут теряться импульсы.

Элементы импульсных систем. Схема синхронизатора. Основное назначение схемы синхронизации состоит в разделении по времени сигналов программы и сигналов обратной

связи, поступающих в реверсивный счетчик для сопоставления. Существует несколько схем синхронизации, различающихся количеством входов, типами электронных элементов, положенных в основу, и другими особенностями.

В общем случае схема синхронизации состоит из схемы сборки ИЛИ, запоминающих триггерных ячеек и

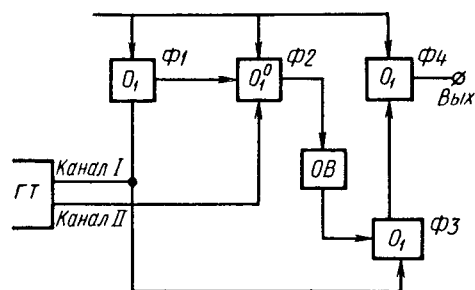


Рис. 2.48. Блок-схема синхронизатора

генератора тактирующих импульсов, вырабатывающего импульсы, смещенные на выходах на 180 электрических градусов. Приходящие в схему синхронизации импульсы программы и датчика обратной связи запоминаются там и выдаются только в те моменты, когда приходят импульсы из генератора такта.

Принцип работы одного из блоков синхронизации рассмотрим на примере функциональной схемы, показанной на рис. 2.48. Схема выполнена на четырех ферротранзисторных ячейках, обладающих высокой надежностью. Импульсы от генератора тактов *ГТ*, поступающие по каналу *I*, устанавливают в положение единицы ячейки $\Phi 1$ и $\Phi 3$, а поступающий по каналу *II* — ячейку $\Phi 2$. Рабочий импульс, поступивший на вход схемы после тактового импульса канала *II*, устанавливает в нулевое положение ячейки $\Phi 1$, $\Phi 2$ и $\Phi 4$. Следующий за рабочим импульсом тактовый импульс канала *I* перемагничивает сердечник ячейки $\Phi 1$ в состояние единицы, в результате чего на ее выходе возникает импульс переноса, который подтвердит нулевое состояние ячейки $\Phi 2$. На выходе ячейки $\Phi 2$ импульса не будет.

Импульс канала *II* перемагничивает сердечник ячейки $\Phi 2$ в состояние единицы. В этом случае на ее выходе появляется импульс переноса, запускающий одновибратор *ОБ*. После запуска одновибратора на его выходе появляется импульс, который переводит ячейку $\Phi 3$ в нулевое состояние. Следующим импульсом канала *I*

сердечник ячейки $\Phi 3$ переводится в состояние единицы. На выходе ее появляется импульс переноса, переводящий ячейку $\Phi 4$ также в состояние единицы. В результате этого на выходе ячейки $\Phi 4$ появляется импульс, совпадающий с тактовыми импульсами канала I .

Для увеличения надежности работы схемы синхронизации, т. е. исключения потери рабочих импульсов, необходимо, чтобы период их следования был больше, чем длительность импульса одновибратора. Если одновибратор настроен так, что длительность его импульсов составляет 50 мкс, то период следования рабочих импульсов должен быть больше 50 мкс (частота следования не более 20 Гц).

Счетчик импульсов. Одним из основных узлов импульсных СПУ является счетчик импульсов, в котором осуществляется сопоставление импульсов программы и импульсов обратной связи. Процесс сопоставления заключается в том, что импульсы задающей информации в счетчике суммируются, а импульсы обратной связи вычитаются. В некоторых конструкциях счетчиков, наоборот, импульсы с датчика обратной связи складываются с программными импульсами до переполнения его.

Счетчики импульсов могут быть реверсивные и нереверсивные. В функциональных СПУ, как правило, применяют реверсивные счетчики. Основными характеристиками этих счетчиков является их емкость, определяемая максимальным количеством импульсов, помещающихся в счетчике, период следования тактовых импульсов и их длительность. Так как любой счетчик имеет конечную емкость, то в нем должно быть предусмотрено устройство, ограничивающее его от переполнения.

Имеются схемы счетчиков с ограничением по максимуму и по минимуму количества импульсов.

Реверсивный счетчик импульсов состоит из логических элементов, с помощью которых осуществляется суммирование и вычитание импульсов и запоминающих элементов. Запоминающие элементы обычно строят на базе триггерных ячеек и собирают в кольцевые схемы, работающие по циклическому принципу. После поступления на вход такой схемы числа импульсов, равного числу его запоминающих элементов, кольцевая система возвращается в исходное состояние, и счет начинается сначала.

Количество запоминающих элементов в счетчике должно быть $N + 1$, где N — требуемая емкость счетчика, зависящая от величины максимального приращения перемещения рабочего органа. Для сокращения количества элементов строят многоразрядные счетчики, состоящие из n разрядов кольцевых схем. В каждом кольце может быть зафиксировано M импульсов. В момент перехода кольцевой схемы в нулевое состояние на её выходе появляется импульс переноса, поступающий на следующую кольцевую схему старшего разряда. Максимальная емкость такого счетчика $N = M^n$.

Конструкции реверсивных счетчиков могут быть выполнены на электронных лампах, полупроводниковых и ферротранзисторных элементах и даже на электромеханических устройствах. Наиболее экономичными являются конструкции счетчиков, выполненные на полупроводниковых элементах.

Рассмотрим в качестве примера принципиальную схему двоичного трехразрядного реверсивного счетчика импульсов, выполненного на полупроводниковых унифицированных логических

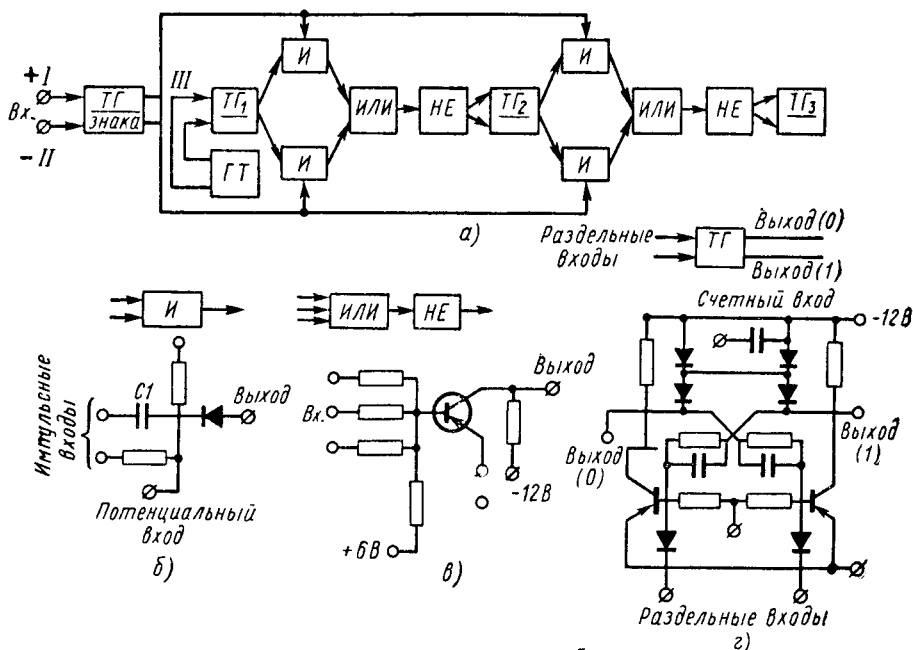


Рис. 2.49. Блок-схема одного разряда двоичного реверсивного счетчика (а) и принципиальные схемы его элементов (б, в, г)

элементах (рис. 2.49). Сигналы от генератора тактовых импульсов $ГТ$ все время поступают на первый триггер счета ($ТГ_1$), имеющий два выхода. С обоих выходов его импульсы проходят по двум схемам $И$ (схема совпадения на два входа). Один вход на схему совпадения (рис. 2.49, б) — импульсный, через конденсатор $С1$, который соединяется с выходом триггера $ТГ_1$ ($ТГ_2$). Другой вход — потенциальный, для сигнала от триггера знака в виде отрицательного потенциала. Если сигнал равен $-12 В$, то ячейка по этому входу открыта. Если сигнал близок к нулю — ячейка закрыта.

Выходы схем $И$ соединены со входами схем $ИЛИ-НЕ$. Элемент $ИЛИ$ (рис. 2.49, в) выполнен на сопротивлениях, а инвертор (усилитель) $НЕ$ — на транзисторе. Импульсы с выхода усилителя поступают на счетный вход следующего триггера и т. д.

И м п у л ь с н ы е д а т ч и к и. В импульсных СПУ применяют импульсные датчики для сбора информации о фактическом перемещении рабочего органа, выдающие один импульс при перемещении органа на один элементарный шаг.

Фотоэлектрические датчики. Наиболее часто в импульсных СПУ встречаются фотоэлектрические датчики, которые представляют собой диск или линейку, выполненные из прозрачного материала, с нанесенными на них механическим или фотохимическим способом штрихами.

Если перемещаемый орган кинематически связать с диском (линейкой), с одной стороны которого неподвижно расположен источник света с оптической системой, а с другой — щелевая диаграмма с фотоэлементом, то при движении диска штрихи его периодически будут затемнять фотоэлемент, прерывая падающий на него луч света, и формировать в цепи фотоэлемента электрические импульсы. Очевидно, что такой измеритель будет воспринимать только те перемещения, величина которых превышает расстояние между смежными штрихами. Желание увеличить разрешающую способность датчика приводит к увеличению числа штрихов и уменьшению промежутка между ними. В настоящее время известны линейки, имеющие 1000 штрихов на 1 мм длины. Такие линейки изготовляют на высокоточных делительных машинах. При большом количестве штрихов количество света, проходящее через один штрих, становится недостаточным для срабатывания фотоэлемента. Этот недостаток можно устранить, если для освещения фотоэлемента использовать одновременно несколько промежутков. Для этой цели необходимо иметь несколько щелевых диаграмм, роль которых может выполнять короткая прозрачная линейка со штрихами, расположенными на таком же расстоянии друг от друга, что и у основной линейки. На этом принципе работают датчики с дифракционными решетками.

Эти датчики используют для круговых и линейных перемещений. Датчик для линейных перемещений имеет длинную дифракционную решетку 1 (рис. 2.50, а), закрепленную на неподвижной части рабочего органа, и короткую 2, закрепленную на подвижной части. Короткую решетку устанавливают с некоторым перекосом, так чтобы штрихи обеих решеток пересекались под небольшим углом β . Со стороны подвижной решетки располагают источник света 3 с оптическим устройством для фокусировки луча, а с другой стороны — съемник с двумя фотоэлементами 4.

При движении рабочего органа штрихи решетки 2 закрывают или открывают промежутки между штрихами подвижной линейки. В этом случае в местах пересечения штрихов, не пропускающих свет, получают темные «муаровые» полосы (рис. 2.50, б), перемещающиеся перпендикулярно движению рабочего органа. Направление движения поперечных муаровых полос зависит от направления относительного движения дифракционных решеток. Перемещение решеток на один шаг соответ-

ствуется полному чередованию света и тени в какой-либо определенной точке линейки. Зная число муаровых полос, прошедших через контрольную точку, можно точно измерить относительное перемещение решеток, а скорость перемещения рабочего органа определить по количеству муаровых полос в единицу времени.

Сигналы с фотоэлемента поступают в электронную измерительную систему, которая выдает два импульса при прохождении

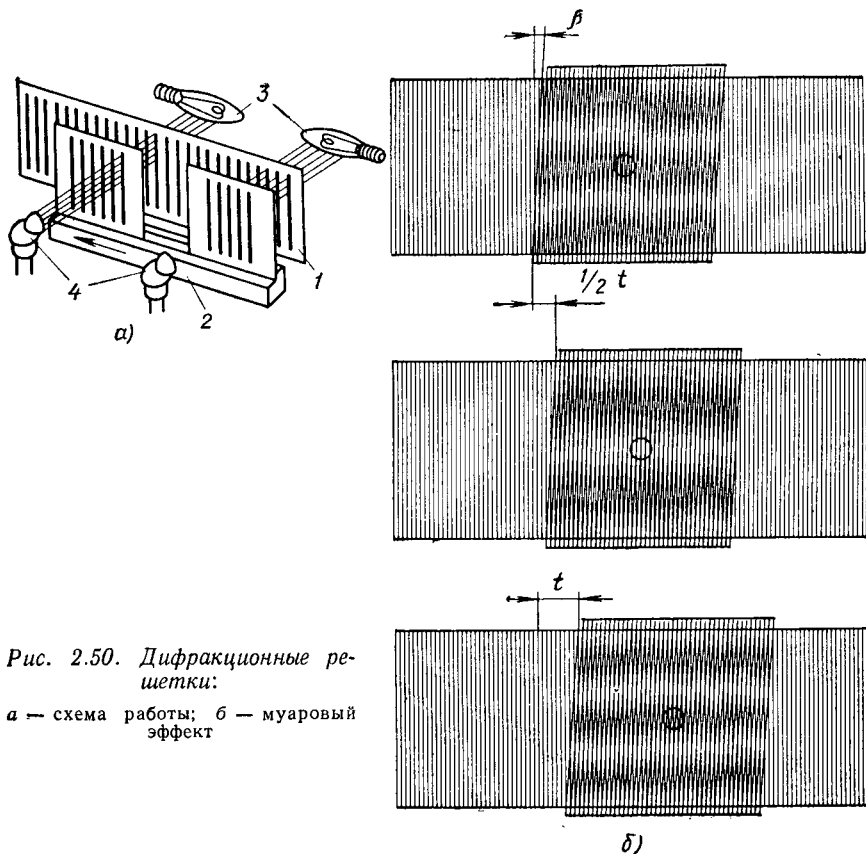


Рис. 2.50. Дифракционные решетки:

а — схема работы; б — муаровый эффект

одной муаровой полосы. Второй фотоэлемент устанавливают от первого на расстоянии $\frac{1}{4}$ величины промежутка между штрихами, и его используют для определения направления движения рабочего органа.

Описанный датчик работает по принципу прямого наложения в проходящем свете. Это имеет свои недостатки, связанные с материалом линеек, имеющим коэффициент линейного расширения, отличный от коэффициента линейного расширения материала рабочего органа и его направляющих. Вторым недостатком заключается в большой трудоемкости изготовления решеток с большим числом штрихов. Другая модификация этого датчика позволяет

работать в отраженном свете и использовать проекцию решеток на металлические шкалы с коэффициентом линейного расширения, близким к материалу рабочего органа. Это позволяет уменьшить в значительной степени температурные погрешности при измерении. Использование проекционной системы позволяет применять решетки со значительно меньшим числом штрихов (до 200 на 1 мм длины).

Следует указать на меньшую надежность импульсной СПУ в сравнении с импульсно-фазовыми и шаговыми СПУ, так как в ней возможна потеря импульсов, приводящая к накопленной ошибке, искажающей траекторию движения рабочего органа, хотя теоретически (не учитывая надежности) точность этой системы, определяемая величиной элементарных перемещений, выше.

Системы с коррекцией программы. Коррекция программы заключается в некотором изменении задающей информации, если изменяются условия протекания технологического процесса (износ инструмента, изменение припуска на обработку и др.). Введение коррекции в программу работы технологических машин, оснащенных СПУ, в большей степени относится к обрабатываемым станкам, где эту систему применяют для увеличения точности обработки, сокращения объема задающей информации (упрощения программирования). В металлообработке, например, необходимо автоматически учитывать изменение размера режущей части инструмента при обработке по контуру, при зубонарезании и др. Исходными документами при составлении программы обработки, как известно, являются чертеж детали и данные технологического процесса, которые задаются в виде скорости движения и размера режущего инструмента. Обрабатывают деталь по заранее заданным режимам, а их изменение потребовало бы перерасчета программы. Чтобы избежать этого, в системе необходимо иметь устройства, позволяющие оперативно корректировать технологические параметры без изменения программы обработки. Наиболее перспективными являются следящие корректирующие устройства. Коррекция по скорости позволяет обрабатывать детали из разного материала от одной программы, коррекция по траектории — повысить точность обработки, исключив составляющую погрешности, связанную с отклонением действительного размера инструмента от расчетного, а также осуществить несколько проходов от одной программы.

Наиболее распространенный способ коррекции скорости движения исполнительных органов станка — применение в интерполяторе (при задании программы на перфоленте) генератора с регулируемой частотой в качестве задающего тактового генератора, который управляется системой автоматического регулирования. При управлении движением исполнительных органов от программы, заданной в унитарном коде на магнитной ленте, требуется применение системы автоматического регулирования для управления электроприводом лентопротяжного механизма

и наличие специальных магнитных головок со статическим считыванием.

Коррекция размера инструмента заключается в изменении траектории движения центра инструмента путем смещения этой траектории, масштабного преобразования ее или путем перерасчета заданной эквидистанты. Наиболее простым из них является смещение траектории на величину изменения размера инструмента. Масштабное преобразование применимо к аналоговым СПУ, в которых достаточно просто изменить цену деления датчика обратной связи.

Наиболее универсальным следует считать способ коррекции, основанный на пересчете заданной в программе эквидистанты. В этом случае задача сводится к вычислению проекций величины коррекции по каждой из осей координат и введению их в программу обработки до преобразования кодированной информации в интерполяторе или после преобразования перед вводом ее в систему управления. В первом случае принцип построения устройства коррекции будет определяться способом кодирования и принципом работы интерполятора; во втором — формой представления информации, поступающей в систему управления.

Несмотря на то, что устройства коррекции кодированной информации дают возможность вводить коррекцию на полный радиус инструмента (т. е. применять безэквидистантное программирование), применение их ограничено данным типом интерполятора, и реализация этого вида коррекции не может быть выполнена простыми вычислительными устройствами. Наиболее простыми эти устройства получаются для линейно-кругового интерполятора.

При коррекции декодированной информации, ввиду недостаточного быстродействия устройств коррекции, приходится вводить поправку не на полный радиус инструмента, а на его часть. Этот метод коррекции является наиболее приемлемым, но трудность его осуществления заключается в определении угла наклона траектории и его тригонометрических функций, необходимых для реализации этого метода. Имеются устройства, с помощью которых эти функции вычисляются при подготовке программы и затем вводятся в устройство коррекции по специальному каналу. Но такой путь, упрощая задачу построения устройства коррекции, значительно усложняет процесс программирования и увеличивает объем программы.

В лучшем положении находятся устройства коррекции, в которых тригонометрические функции угла наклона воспроизводимой траектории определяются через приращения участков траектории. На рис. 2.51 приведена разработанная С. В. Федоровым блок-схема устройства коррекции размера инструмента, в основу которого положен дискретный способ преобразования тригонометрических функций угла наклона траектории. Частотно-импульсная форма информации позволяет применять это устройство с любым интерполятором дискретного действия, а также с систе-

мами, программа которых записана на магнитной ленте. Задающая информация $[x(t), y(t)]$ в виде последовательности импульсов, подаваемая по координатам, в плоскости которых производится коррекция, одновременно поступает на входы счетчиков $Cч1, Cч2$. Каждый счетчик определяет количество импульсов по координатам. Это число характеризует тангенс угла наклона участка траектории к соответствующей координате (например, n_i соответствует $\operatorname{tg} \alpha_i$). Считанное число передается в промежуточное запоминающее устройство ПЗУ и в схему сравнения СС. В последней сравнивается число n_i с числом n_{i-1} , полученным при предыдущем измерении и хранившимся в ПЗУ. Эта разность соответствует изменению тангенса угла наклона $n_i - n_{i-1} \equiv \operatorname{tg} \alpha_i -$

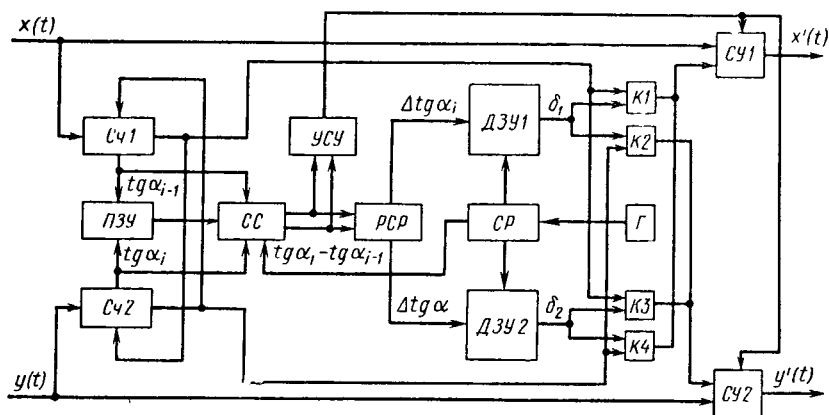


Рис. 2.51. Блок-схема устройства коррекции размера инструмента

— $\operatorname{tg} \alpha_{i-1}$. Результат сравнения в виде импульсов с частотой, определяемой генератором Γ и сдвиговым регистром $СР$, подается на положительный или отрицательный вход реверсивного сдвигового регистра $РСР$ и на блок управления $УСУ$ суммирующего устройства $СУ$. Импульсы, выданные блоком $РСР$ и соответствующие $\Delta \operatorname{tg} \alpha$, поступают на соответствующие входы долговременных запоминающих устройств $ДЗУ$. В $ДЗУ1$ и $ДЗУ2$ запоминающие элементы соединены так, что на их выходе образуется последовательность импульсов, число которых соответственно равно

$$\delta_1 = \Delta r (\sin \alpha_i - \sin \alpha_{i-1}); \quad \delta_2 = \Delta r (\cos \alpha_i - \cos \alpha_{i-1}),$$

где Δr — величина коррекции; r — радиус применяемого инструмента.

Клапаны $К1-К4$, управляемые от счетчиков, направляют сигналы коррекции в соответствующие суммирующие устройства $СУ$, которые выполняют функции сложения и вычитания сигналов коррекции с основными командными импульсами. Знак алгебраического сложения определяется блоком $УСУ$ в зависимости от знака сравнения, полученного в устройстве $СС$. На выходе блоков $УС$ имеет место скорректированная программа

$[x'(t), y'(t)]$, причем частота следования корректирующих импульсов, поступающих с ДЗУ, определяется генератором Γ и устройством CP . Таким образом, изменяя частоту работы генератора, можно изменять скорость ввода коррекции в программу. Точность работы описанного устройства зависит от точности определения угла наклона траектории и значений δ_1 и δ_2 . Погрешность этого устройства не превышает половины цены одного импульса.

§ 2.6. ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Принципы программирования. Задачи программирования для систем программного управления технологического оборудования заключаются в том, чтобы перевести требования и условия технологического процесса, заданные соответствующими документами (технологическими картами, таблицами, чертежами и др.), в форму, воспринимаемую СПУ. Например, в механической обработке основным документом, содержащим начальную информацию для изготовления детали, является чертеж. Однако чертеж служит лишь формой передачи информации от человека к человеку. Машины эту форму информации пока еще не воспринимают, поэтому между чертежом и машиной в качестве связующего звена находится человек. Роль его не ограничивается только преобразованием информации из одной формы в другую. Обладая определенной суммой знаний и опытом, человек вводит дополнительную информацию технологического характера (чередование операций, переходов с учетом припуска на заготовке, скорость обработки, выбор инструмента и др.).

При разработке программы приходится учитывать не только сложность детали, определяемую чертежом и технологическим процессом, но и особенности конкретного оборудования (ступени значений частот вращения шпинделя, величины подач, геометрические размеры и др.) и возможности СПУ (величина элементарного перемещения; количество управляемых координат; наличие или отсутствие автоматического снижения скорости при подходе к координате, автоматического устройства для замены инструмента; тип программоносителя, его емкость и пр.). Процесс составления программы состоит из нескольких этапов: подготовка необходимой информации, включающей технологическую, геометрическую части и различные команды; кодирование информации; фиксирование ее на программоносителе и контроль полученной программы.

На технологическом этапе решаются вопросы, связанные с разработкой требований к заготовкам (деталям), выбором метода обработки (сборки), определением количества и последовательности операций, переходов и проходов, назначением типа и размеров инструмента, расчетом режимов резания, выбором установочных баз, способа и места крепления, выбором вспомогательных приспособлений для крепления и настройки инструмента, решением

вопроса об автоматической замене инструмента, выбором системы координат, определением управляющих команд и пр. К управляющим командам относятся пуск и останов машины, включение вращения шпинделя и др.

Особенностью технологического процесса для оборудования с программным управлением является возможность выполнения нескольких операций (последовательно) на одном станке без изменения установки заготовки, а также возможность воспроизведения любой сложной траектории. Установка детали (заготовки) должна быть выполнена так, чтобы оси относительной системы координат совпали с осями абсолютной системы. При расчете режимов резания для СПУ необходимо учитывать, что скорость движения вдоль контура можно поддерживать постоянной, и учитывать ограничения СПУ по скорости и точности, связанные с их несовершенством (особенно на участках контура с резким изменением направления движения). Выбирая инструмент, следует иметь в виду, что для СПУ, не имеющих устройств коррекции размера инструмента, последний должен быть калиброванным. При этом смена изношенного инструмента должна быть принудительной. С целью уменьшения потерь, связанных со сменой инструмента, желательно выбирать СПУ, имеющую устройство для его автоматической замены.

При подготовке геометрической части информации размеры чертежа приводят к определенной системе координат (прямоугольной или полярной). Обрабатываемый контур детали (или траекторию движения исполнительного органа) разбивают на элементарные участки (прямые линии, дуги окружностей и др.), рассчитывают координаты точек сопряжения элементарных участков, определяют длину прямолинейных участков, углы их наклона, радиусы дуг окружностей, координаты их центров и др. Затем выбирают интервал и характер аппроксимации и интерполирования. При расчете программы определяют размеры не те, которые получаются в результате обработки (сборки), а размеры, отсчитываемые или измеряемые датчиками обратной связи СПУ.

При преобразовании размерных цепей чертежа детали для импульсных СПУ (с относительной системой отсчета) все линейные размеры представляют цепочкой — один за другим, а для позиционных и цикловых (с абсолютной системой отсчета) их представляют от одной точки — начала координат. Начало координат удобнее выбрать так, чтобы контур детали располагался в первом квадранте либо занимал симметричное положение.

При ручном составлении программы геометрическую информацию (наряду с технологической) заносят в таблицу расчетно-технологической карты. В нее также записывают количество управляющих импульсов по каждой из координат для соответствующих элементарных участков контура, время их отработки. Зная длину проекции участка x_i , y_i на соответствующую координату

натную ось и цену элементарного шага Δx , Δy , можно определить количество управляющих импульсов

$$N_{x_i} = \frac{x_i}{\Delta x}; \quad N_{y_i} = \frac{y_i}{\Delta y}.$$

Для криволинейного участка траектории количество управляющих импульсов также определяют по длинам отрезков, аппроксимирующих этот участок.

Время отработки участка определяется по его длине и технологической скорости (подаче) вдоль контура v_p :

$$t = \frac{L}{v_p}.$$

По этому времени определяют частоту следования управляющих импульсов.

При аппроксимации криволинейной траектории движения участками прямых или типовых кривых величину аппроксимации (стрелку сегмента и угол аппроксимации) выбирают в зависимости от требований точности воспроизведения контура. В частности, угол аппроксимации для дуг окружностей

$$\Delta\varphi \leq 2 \arccos \left(1 - \frac{\delta}{R_\delta} \right),$$

где R_δ — радиус эквидистанты; δ — допуск на аппроксимацию.

Допуск на аппроксимацию составляет часть допуска на изготовление детали и может быть приближенно выбран

$$\delta \simeq (0,25 \div 0,05) \delta_{и},$$

где $\delta_{и}$ — допуск на изготовление детали.

Всю задающую информацию о движении, полученную расчетным путем, затем кодируют тем или иным способом и заносят в расчетно-технологическую карту.

Кодирование информации осуществляется с целью уменьшения числа символов, увеличения ее помехозащищенности и уменьшения трудоемкости изготовления программы. Код должен обеспечивать наименьшее число знаков (символов), позволять применять существующие устройства, служащие для восприятия, использования и переработки закодированной информации, а также для фиксации закодированных чисел на программоносителе; повышать помехозащищенность его, просто контролировать и исправлять программу. Известно несколько способов кодирования числовой информации: унитарный, десятичный, двоичный, двоично-десятичный код, код Грея и др.

Представление информации в унитарном коде заключается в том, что на программоносителе фиксируется последовательно каждое единичное приращение (символ), входящее в состав заданного числа. Так, для числа 100 с ценой приращения в 0,01 потребуется нанести на программоноситель (перфоленту или перфо-

карту) 10 000 отверстий (знаков). Учитывая, что плотность записи на перфоленте невелика (~ 4 знака на 1 см), для кодирования заданного числа потребуется лента длиной 250 м. Для считывания этой информации нужны будут устройства с весьма высоким быстродействием. Так, при установочной скорости рабочего органа 100 мм/с, что для позиционных СПУ вполне приемлемо, время на считывание этой информации должно быть меньше времени на перемещение, т. е. меньше 1 с. Современные лучшие образцы фотоэлектрических считывающих устройств позволяют считывать информацию лишь со скоростью 1500 знаков в секунду, а здесь требуется 10 000 знаков в секунду. Поэтому унитарный код не применяется для представления информации на перфоленте и перфокарте.

Десятичный код, широко применяемый в обиходе, позволяет значительно сократить объем знаков и длину программноносителя. Сущность десятичного кода заключается в представлении заданного числа в виде суммы степенных функций с основанием 10, помноженных на различные коэффициенты (0—9):

$$N = \sum_{i=0}^{i=n-1} k_i 10^i,$$

где $k = 0, 1, 2, \dots, 9$; n — число разрядов в числе.

Число 100 можно представить в десятичном коде так:

$$100 = 1 \cdot 10^2 + 0 \cdot 10^1 + 0 \cdot 10^0.$$

Для упрощения записи пишутся только коэффициенты 1, 0, 0. Вместо 10 000 знаков в унитарном коде получился только 1 в десятичном. Представление числа 13,42 в десятичном коде показано на рис. 2.52, а. Несмотря на свою экономичность, десятичный код не удобен для использования в числовых СПУ, так как основные электронные элементы, используемые в информационной части СПУ, надежно работают в двух дискретных состояниях. Информацию, заданную в десятичном коде, в самой системе придется еще раз преобразовывать, чтобы можно было использовать двухстабильные электронные элементы. Такое преобразование усложняет схему.

Для записи числа в двоичной системе (рис. 2.52, б) его представляют как сумму степенных функций с основанием 2, умноженных на коэффициенты 1 или 0:

$$N = \sum_{i=0}^{i=n-1} k_i 2^i,$$

где k_i может принимать только два значения: 1 или 0. Так, число 100 может быть представлено

$$100 = 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0.$$

Для краткости записываются только коэффициенты 110100. Запись в двоичном коде более экономична, чем в десятичном,

однако его использование затруднительно, особенно при ручном программировании. При этом нельзя использовать обычные перфораторы.

Двоично-десятичный код сочетает в себе преимущества десятичного кода по плотности записи и преимущества двоичного кода, позволяющего использовать двустабильную электронную аппаратуру. Двоично-десятичный код характеризуется тем, что заданное число разбивается на разряды, как в десятичной системе,

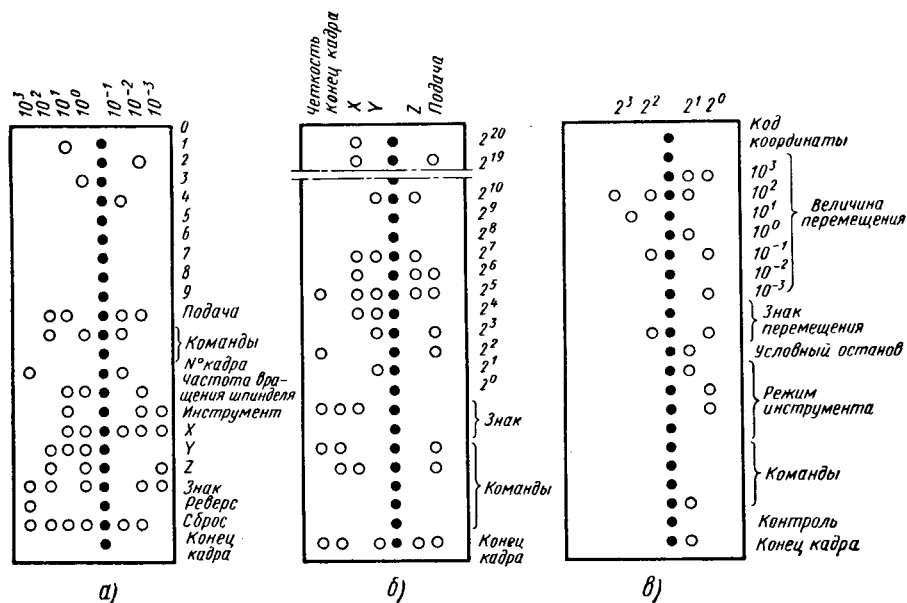


Рис. 2.52. Участок программы на перфоленте с записью информации в десятичном (а), двоичном (б) и двоично-десятичном (в) коде

а цифры в каждом разряде представляются в двоичном исчислении (рис. 2.52, в). Этот код широко применяют при записи программ на ручных перфораторах.

С развитием автоматического программирования на УЦВМ наиболее рациональным будет использование двоичного кода.

Кроме информации о траектории движения рабочего органа и ее геометрической характеристики в расчетно-технологическую карту заносят информацию о вспомогательных командах (включение, выключение привода шпинделя, его реверс, изменение частоты вращения, выбор и смена инструмента, включение и выключение подачи охлаждающей жидкости и другие команды), которая также кодируется различными символами: числовыми, буквенными и смешанными.

Буквенный символ может означать адрес команды, а цифровой — ее содержание. Так, например, x , y и z — координаты опорных точек или длины отрезков пути; n — частота вращения

шпинделя; v — скорость подачи; ω — вид отрезка траектории (2 — прямая линия, 4 — дуга окружности, 6 — парабола); N — номер отрезка и др.

После записи задающей информации на перфоленте программу тщательно *контролируют*. Применяют несколько способов контроля, основными из них являются: визуальное сравнение записанной программы на перфоленте с таблицей; визуальный осмотр перфоленты с программой; изготовление двух лент с программой и последующее их визуальное или автоматическое сравнение, например, в записывающей машинке «Флекторайтор»; воспроизведение траектории движения по записанной программе на координатографе или специальном фотоэлектронном регистраторе (с фотографированием контура).

Автоматизация программирования. Под автоматизацией программирования технологического оборудования с СПУ следует понимать применение вычислительных машин, которые, получив необходимые исходные данные, выполняют все операции по проектированию технологического процесса и расчету траектории движения исполнительного органа с учетом технологических особенностей процесса. Уровень автоматизации программирования определяется характером технологического процесса и трудоемкостью составления программы. В связи с этим методы программирования можно разделить на методы ручного программирования, программирования с частичной автоматизацией и автоматического программирования.

Методы ручного программирования заключаются в аналитическом расчете программы с применением простейших счетных средств (арифмометров, клавишных машин, линеек и др.). Эти методы применяют для программирования цикловых и некоторых позиционных СПУ, для которых объем информации небольшой.

Методы программирования с частичной автоматизацией заключаются в том, что при расчете программ наряду с использованием простейших счетных средств для особенно трудоемких расчетов применяют вычислительные машины (ЦВМ). При этом на ЦВМ возлагают следующие задачи: определение коэффициентов интерполирующего полинома, проходящего через опорные точки контура; определение точек эквидистанты; определение коэффициента интерполирующей функции, проходящей через точки эквидистанты; определение промежуточных точек участка эквидистанты и по ним определение скоростей движения по осям из условия постоянства скорости вдоль контура. Полученную информацию затем фиксируют на ленту и вводят в СПУ. Эти методы применяют при программировании некоторых позиционных СПУ и особенно контурных двухмерных СПУ (для обеспечения криволинейного движения в плоскости). Еще большее снижение трудоемкости программирования даст применение методов автоматического программирования с использованием УЦВМ или универсальных САП (систем автомати-

ческого программирования). Одним из методов автоматизации программирования является метод стандартных подпрограмм. С помощью алгоритма (специальной интерпретирующей программы) УЦВМ выбирает из имеющегося у нее набора элементарных подпрограмм те, которые необходимы для последовательного вычисления координат опорных точек траектории. Подпрограммы для всех встречающихся геометрических случаев (число их сравнительно невелико) заранее вводят в устройство памяти машины. Одна из таких систем была разработана применительно к вычислительной машине «Урал-1».

В качестве примера универсальной системы автоматического программирования можно назвать систему ИАТ АН СССР с языковым вводом. Здесь человек освобождается не только от составления алгоритма и вычисления эквидистанты, но и от подготовки цифровых исходных и дополнительных данных на счетно-клавишных машинах. В этой системе использован специальный язык программирования, состоящий из сокращенных слов русского языка и чисел. Дешифраторы преобразуют термины, выраженные на этом языке, в машинный язык (подпрограммы преобразуют различные геометрические определения в соответствующую стандартную форму и выполняют требуемые вычисления). Вычислительная программа завершает этот процесс.

Данная система использует метод преобразующих программ, представляющих собой совокупность элементарных программ, каждая из которых предназначена для решений небольшой, сугубо специфической задачи. Управляющая программа как бы дает структурную схему, по которой осуществляется автоматический синтез элементарных программ в определенной последовательности, необходимой для решения данной задачи. Этот метод является более экономичным и гибким, чем метод стандартных подпрограмм. Рассмотренные системы позволяют автоматизировать лишь геометрическую часть программы, тогда как в большинстве случаев проектирование технологического процесса (выбор метода и последовательности обработки, выбор инструмента и числа смен его, выбор баз и нормализованной оснастки, определение числа проходов на отдельных участках, расчет режимов резания, подачи по участкам и т. д.) является не менее трудоемким. При комплексной автоматизации программирования в качестве исходной информации в УЦВМ должны быть введены: описание поверхности детали (геометрический образ) с указанием зон обработки, данные о материале, требуемой точности и классе чистоты обрабатываемой поверхности. В памяти машины хранятся данные о станках, унифицированных элементах приспособлений и стандартном инструменте, а также схемы размерной увязки различных габаритных групп деталей с системой координат станка и расположением исходной точки обработки. Вводятся также все необходимые справочные данные о технологических приемах, характерных для данного вида обработки,

УЦВМ осуществляет проектирование технологического процесса и расчет траектории движения и выдает следующую документацию: программу обработки детали, включающую оптимальную траекторию и оптимальные режимы резания, а также способ установки детали и очередность обработки ее поверхностей с расчетом межоперационных размеров, припусков и допусков на обработку; условия поставки заготовки с оптимальными припусками на обработку; схему крепления детали, необходимую для проектирования оснастки (технические условия); шифры инструмента, требуемого для обработки.

В значительной степени изложенная выше общая схема реализована в системах СВПУ (для токарных станков), «Луч» (для фрезерных станков), «Авангард» (в автоматах для газовой резки) и в др.

Счетно-информационные устройства, применяемые при подготовке программ. При подготовке программ для оборудования, оснащенного СПУ, в зависимости от их сложности и трудоемкости применяют как простейшие счетные средства, так и электронные вычислительные машины.

Простейшие счетные средства (клавишные машины, арифмометры), основанные на механическом и электромеханическом принципе действия, имеют сравнительно низкое быстродействие с точки зрения количества вычисляемых операций в единицу времени и поэтому их применяют для расчета простых программ для цикловых и позиционных СПУ. Исходные данные в них вводят с помощью клавиатуры. Всеми вычислительными процессами на таких машинах управляет человек. При подготовке более сложных программ для функциональных многомерных СПУ применяют электронные вычислительные устройства, позволяющие частично или полностью автоматизировать процесс расчета программ.

Существующие вычислительные устройства (ВУ) в зависимости от принципа действия делятся на два класса: цифровые и аналоговые. В практике создания СПУ большее распространение получили цифровые вычислительные устройства. Аналоговые вычислительные машины, имея недостаточную точность, непосредственно для целей автоматического программирования не применяют, однако принцип их устройства нашел применение в цифровых дифференциальных анализаторах (ЦДА), о которых будет сказано ниже.

Электронные цифровые вычислительные машины (ЭЦВМ) имеют высокую скорость вычислений — десятки и сотни тысяч операций в секунду, высокую точность вычислений, а также способность перерабатывать информацию по программе без непосредственного участия человека. УЦВМ располагают системой устройств, способных выполнять элементарные арифметические действия и логические операции, запоминать промежуточные результаты вычислений и затем использовать эти результаты. Так, арифметическое устройство (АУ) выполняет ту же роль, что и настольная счет-

ная машина при ручном методе расчета программ. Основными блоками его являются сумматоры, устройства умножения и деления, позволяющие выполнять четыре основных действия над числами: сложение, вычитание, умножение и деление. Кроме этих устройств, в состав АУ входят логические элементы, позволяющие выполнять логические операции над числами (сравнение двух чисел, выбор большего или меньшего и др.).

Запоминающее устройство (ЗУ), аналогично таблицам и расчетным бланкам, служит для приема, хранения и выдачи в другие устройства машины чисел и команд. В машине имеется два вида ЗУ: внутреннее и внешнее. Внутреннее ЗУ называется оперативной памятью, а внешнее — накопителем, в котором хранятся промежуточная, результативная и постоянная информации. Устройство управления (УУ) обеспечивает последовательность выполнения операций, предусмотренных программой. Его функции аналогичны функциям оператора при ручном расчете программы, которые он выполняет, пользуясь соответствующей таблицей и расчетными бланками. Кроме этих устройств, в машине имеются устройства для ввода данных с программных таблиц и вывода результатов вычислений, а также пульт ручного управления машиной.

Для выполнения такой сложной работы, как программирование, в машину необходимо ввести алгоритм — четкое предписание, определенным образом организующее работу всех ее устройств, указывающее, в каком порядке и какие операции необходимо выполнить для составления программы. Эта подготовительная работа осуществляется вручную. Вначале составляют программные таблицы, в которые записывают исходные данные из чертежа, указывают способ определения неизвестных элементов контура. Составляют общую программу вычислений (управляющая программа). На основании этой программы УЦВМ производит расчет опорных точек траектории (их координат), между которыми затем проводят ту или иную линию с помощью интерполятора.

Интерполятор представляет собой специальное вычислительное устройство, осуществляющее преобразование информации о разности координат опорных точек и времени ее отработки в управляющие импульсы. Частота следования этих импульсов по каждой управляемой координате определяет скорость перемещения исполнительного органа, а количество импульсов — величину перемещения.

Интерполяторы по виду выходного сигнала могут быть импульсными или аналоговыми. В большинстве случаев используют импульсные интерполяторы, у которых точность интерполирования значительно выше, чем у аналоговых, и зависит от количества разрядов в счетчиках и регистрах. По типу функции, которую они реализуют, интерполяторы делят на линейные, линейно-круговые, линейно-параболические и др. Наиболее простым и наиболее распространенным интерполятором является линейный, обеспечи-

вающий движение исполнительного органа между опорными точками по прямой линии.

На рис. 2.53 представлена укрупненная блок-схема такого параметрического интерполятора, реализованная на двоичных умножителях. Основой линейного интерполятора является импульсный счетчик, главным элементом которого является триггерная ячейка (триггер). Цепочка соединенных последовательно триггеров образует двоичный счетчик импульсов D , работающий как делитель частоты, так что после первой ячейки частота уменьшается в два раза, после второй — в четыре, после третьей — в восемь и т. д. Выход каждой ячейки через вентили B поступает на общий выход через схему объединения. Вентили открываются теми ячейками регистра R_x (или R_y), в которых имеются единицы. В регистры R_x и R_y вводятся числа, соответствующие приращениям Δx и Δy линейного интерполируемого участка. Частота тактовых импульсов, подаваемых с генератора $ГИ$ на делитель, также программируется. Управление осуществляется через регулятор частоты $РЧ$.

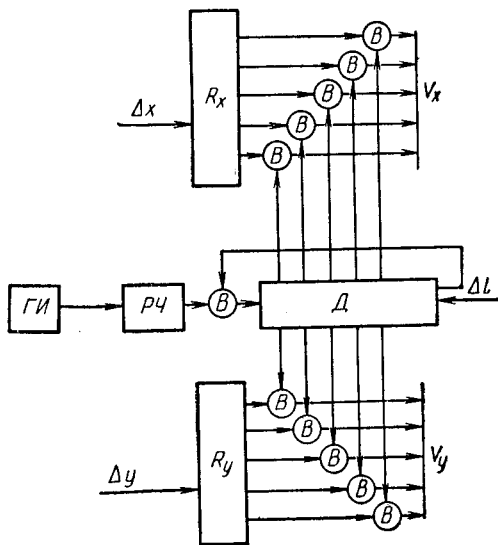


Рис. 2.53. Блок-схема линейного интерполятора

Необходимость увязывать частоту импульсов с длиной прямолинейного участка является недостатком такого интерполятора. Другим недостатком его является большой объем вводимой информации (большая длина перфоленты). Этот недостаток присущ самому методу линейной аппроксимации. Достоинством данного интерполятора является простота получения элементарных приращений Δx и Δy , а также простота конструкции и, как следствие, сравнительно низкая его стоимость.

Если обычный интерполятор пригоден для интерполирования определенной группы кривых, то применение цифровых дифференциальных анализаторов для этих целей значительно расширяет возможности интерполирования. Цифровые дифференциальные анализаторы (ЦДА) (их еще называют интегрирующими машинами или цифровыми аналогами) представляют собой специализированные вычислительные машины, предназначенные для решения определенного типа задач. Они менее универсальны и более быстродействующие, чем УЦВМ. По методу подготовки и решению

задач ЦДА можно отнести к аналоговым вычислительным машинам АВМ, а по форме представления информации и по техническому выполнению — к цифровым вычислительным машинам. ЦДА обеспечивают, по сравнению с АВМ, более высокую точность вычислений и имеют меньшее быстродействие, зависящее от точности вычислений. Этот анализатор содержит ряд блоков, основным из которых является цифровой интегратор. Вычислительный процесс в ЦДА сводится к интегрированию, причем интегрирование здесь возможно по любой независимой переменной. Выполняется оно сложением и вычитанием. Решение каждой задачи определяется действием некоторого количества интеграторов, определенным образом соединенных между собой.

По методу построения ЦДА делят на параллельные и последовательные. В последовательных ЦДА интегрирование во всех интеграторах выполняется по очереди одним общим вычислительным устройством, поэтому и процесс интегрирования будет выполняться последовательно. В параллельных ЦДА для каждого интегратора имеется свое самостоятельное вычислительное устройство и действия в интеграторах выполняются одновременно, поэтому они являются более быстродействующими, чем ЦДА последовательного типа. Последовательный метод построения по объему используемого оборудования является более экономичным и позволяет создавать простые и дешевые машины, а выполнение этих машин на интегральных схемах обеспечивает им высокое быстродействие, достаточное для целей управления СПУ. ЦДА последовательного действия содержат блоки интегрирования, блоки программного управления, задающее устройство регистров интеграторов, задающее устройство программ, пульт и устройство управления, а также устройство ввода и вывода информации.

Применительно к задачам программирования и управления работой функциональных СПУ технологических машин разработан ряд специализированных управляющих машин УМС (УМС-2, УМС-3). Эти машины построены по агрегатному принципу, т. е. имеют одну систему кодирования вводимой информации и общие блоки вводных устройств, одно устройство задания скорости, общие типовые узлы в схемах интерполяторов, одинаковое конструктивное оформление.

Блок-схема управляющих машин типа УМС представлена на рис. 2.54. Ввод информации в двоично-десятичном адресном коде, набитой на стандартной пятидорожечной перфоленте, осуществляется фотосчитывающим устройством ФСУ, работающим со скоростью 600 строк в секунду. Числовая информация представляет собой величины приращений по каждой из одновременно работающих координат (при линейной интерполяции). Устройство ввода *УВ* контролирует считываемую информацию, дешифрирует вводимые команды и осуществляет преобразование кодов вводимых чисел. Буферная память *БП* хранит вводимую и преобразованную информацию до тех пор, пока интерполятор не закончит

обработку предыдущего кадра. После этого числа из памяти, а также геометрические команды («окружность», «прямая») передаются в интерполятор. В генератор задания скорости ГЗС передаются команды на изменение контурной скорости (если кадр не содержит информации о скорости, обработка продолжается с прежней скоростью). Машина может передать на станок до 27 различных технологических и вспомогательных команд.

Устройство расчета эквидистанты УРЭ предусмотрено только в машине УМС-2 и используется лишь при одновременном управлении по двум координатам. Оно выполнено в виде отдельных блоков, что позволяет использовать УМС-2 и без него. УРЭ работает совместно с вводным устройством, используя информацию его регистров памяти, а также арифметическое устройство и устройство контроля. УРЭ состоит из памяти на шесть чисел (регистры сдвига) и устройства управления. При расчете эквидистанты используют величины координат опорных точек контура, вводимых от программы. Величину радиуса фрезы устанавливают на панели управления с помощью декадных переключателей. Этот расчет производится методом переменного шага и сводится к перерасчету координат опорных точек контура.

Скорость подачи обеспечивается по программе генератором ГЗС, а также может устанавливаться и корректироваться с основного и выносного пультов управления (ПУ и ВПУ). В генераторе задания скорости имеются устройства для автоматического поддержания постоянной скорости вдоль контура, устройства плавного разгона и торможения. В машине УМС-2 применен линейно-круговой интерполятор (И), обеспечивающий одновременное управление по двум координатам. При шаге интерполяции 0,01 мм максимальная скорость подачи составляет 0,8 м/мин. В машине УМС-3 применен линейный интерполятор, позволяющий одновременно управлять движением по пяти координатам, обеспечивая максимальную скорость подачи до 1,1 м/мин.

§ 2.7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СПУ

Технологическое оборудование с программным управлением

Программное управление находит широкое применение для автоматизации управления различного технологического оборудования, начиная с заготовительного и кончая сборочным. Среди

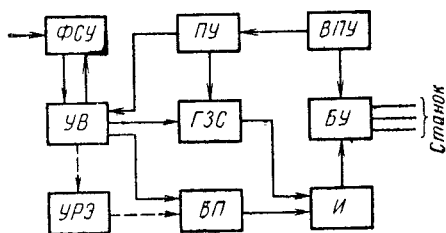


Рис. 2. 54. Блок-схема специализированной вычислительной машины УМС

них: прессы с магазином штампов для поэлементной штамповки, для пробивки отверстий: гибочные и заготовочные машины; обрабатывающие станки однооперационные (токарные, фрезерные, координатно-расточные, сверлильные, шлифовальные и др.) и многооперационные; электроэрозионные станки; различные измерительные машины; координатографы и чертежные автоматы, применяемые для контроля программ, для автоматического нанесения рисунка при производстве печатных плат, в производстве полупроводниковых дискретных элементов и интегральных схем;

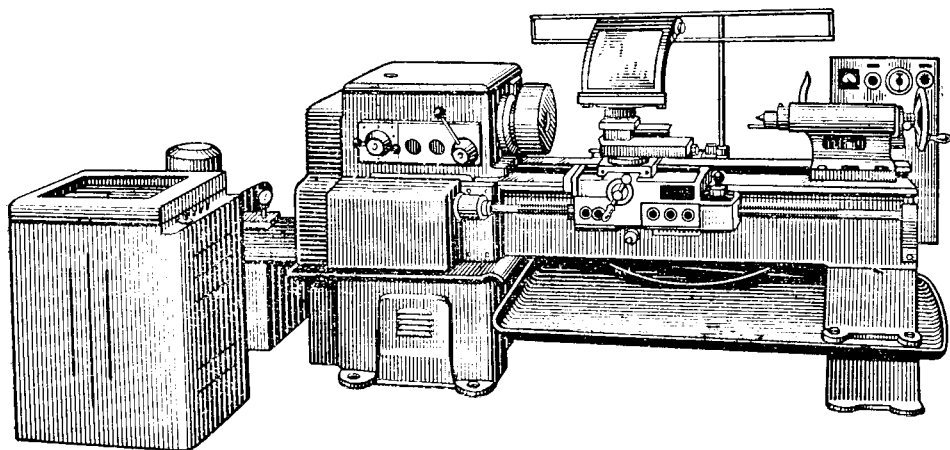


Рис. 2. 55. Токарный станок с программным управлением 1К62ПУ

оборудование для фотолитографии, измерений и сборки в производстве интегральных схем; комплекс оборудования для подготовки и установки навесных радиоэлементов при производстве печатных плат; оборудование для контроля и наладки в производстве вычислительных машин; намоточное оборудование и др. Остановимся подробнее на некоторых из них.

Токарный станок 1К62ПУ. Токарный станок с ЧПУ модели 1К62ПУ (рис. 2.55) предназначен для токарной обработки наружных и внутренних поверхностей деталей типа тел вращения со ступенчатым и криволинейным профилем различной сложности, включая канавки, конусы, фаски. Станок выполнен на базе токарно-винторезного станка 1К62 и оснащен системой программного управления ПРС-ЗК. Область применения станка — мелкосерийное и серийное производство.

Основные технические характеристики станка

Наибольший диаметр точения при работе по программе в мм	220
Наибольшая длина обработки в мм	930
Число скоростей шпинделя	23
	(от 12,5 до 2000 об/мин)

Рабочие подачи в мм/мин:	
продольные	6—1800
поперечные	0,6—180
Скорость быстрых перемещений в м/мин:	
продольных	1,8
поперечных	0,6—180
Перемещение на один импульс (шаг) в мм:	
продольное	0,05
поперечное	0,005
Время работы по программе без смены ленты в мин	80
Мощность привода главного движения в кВт	7,5

Главный привод станка состоит из электродвигателя с коробкой скоростей. Пуск, останов и реверс шпинделя осуществляются автоматически. Применение программного управления позволило исключить такие обычные для токарного станка узлы, как коробка передач и фартук, функцию которых выполняют шаговые двигатели с гидроусилителем крутящего момента (МГ18). Звеном, преобразующим вращательное движение в поступательное, служит беззазорная шариковая винтовая пара. Привод поперечного перемещения салазок суппорта построен аналогично.

В качестве системы программного управления в станке 1К62ПУ применен пульт ПРС-3К. Пульт ПРС-3К предназначен для управления тремя шаговыми электродвигателями ШД-4 (в данном станке их только два, поэтому для функционального управления используют лишь два канала пульта, а третий — для вспомогательных команд). Основными узлами пульта являются блок ввода (лентопротяжный механизм с магнитными считывающими головками), блок ручного управления и блок питания. Ручное управление шаговыми двигателями (при настройке станка и проверке работы механизмов подачи) осуществляется с помощью имеющегося в пульте автономного генератора импульсов.

Программа работы станка записывается на девятидорожечной магнитной ленте шириной 35 мм в виде импульсов в унитарном коде, частота которых определяет частоту вращения ШД (скорость подачи), а количество — угол поворота (величину перемещения). Требуемое направление вращения ротора ШД определяется соответствующим порядком записи импульсов по трем дорожкам. Считанные с магнитной ленты импульсы в виде высокочастотных сигналов небольшой длительности поступают из магнитных головок на входы соответствующих координат блока управления. Каждая из трех панелей блока управления имеет три канала, в которых импульсы формируются и усиливаются. Импульсы, получившие после формирования прямоугольную форму с амплитудой 25 В, направляются на соответствующие обмотки шаговых электродвигателей станка. От шаговых двигателей через гидроусилители моментов вращение передается ходовым винтам продольного и поперечного перемещений.

На станке 1К62ПУ программируются траектория движения инструмента, величины рабочих подач, глубина резания, число проходов, очередность работы резцедержателей. Значения частот вращения шпинделя устанавливают вручную, а включение и останов — по программе. Пульт ПРС-3К также применяют в токарных станках 1А616ПУ, 1М63Ф3, во фрезерных — 6Н13ГЭ2, ФП-4, ФП-5 и др.

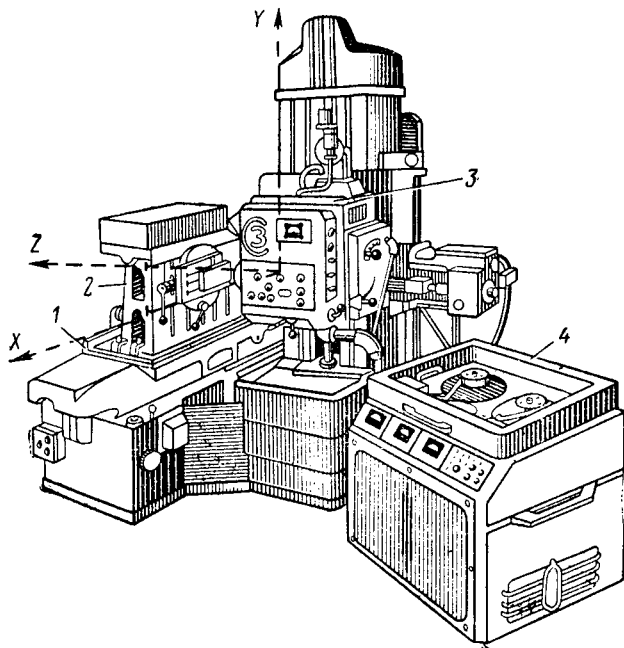


Рис. 2.56. Фрезерный станок 6441Пр с программным управлением

Фрезерный станок 6441Пр. Трехкоординатный фрезерный станок (рис. 2.56) с системой программного управления 4 (СЦ-1) предназначен для обработки деталей сложной формы (плоских и объемных). Станок работает по программе, записанной на магнитной ленте шириной 35 мм в виде последовательности импульсов, число которых пропорционально требуемому перемещению по соответствующей координате, а частота — скорости перемещения. Обрабатываемая заготовка закрепляется на стойке 2 стола 1 станка. Горизонтальная подача осуществляется путем перемещения стола с заготовкой, а вертикальная — перемещением поперечины вместе со шпиндельной бабкой 3. Третье движение (продольное), также осуществляемое по программе, имеет шпиндельная бабка 3 вместе с инструментом, движущаяся по направляющим поперечины. Движение подачи по каждой координате осуществляется электрическими двигателями постоянного тока через механиче-

ский безлюфтовый редуктор и безззорную шариковую винтовую пару.

Фактическое перемещение по каждой координате контролируется фотоэлектрическим датчиком обратной связи. Фрезерный станок модели 6441Пр управляется СПУ типа СЦ-1, выполненной в виде отдельного шкафа. Система СЦ-1 предназначена для управления работой электродвигателей постоянного тока с электромашинными усилителями.

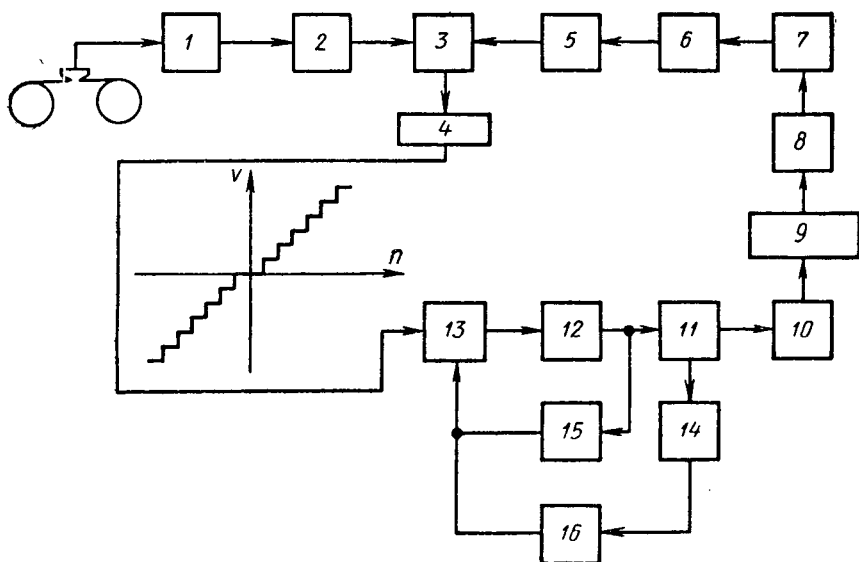


Рис. 2.57. Блок-схема системы программного управления СЦ-1:

1 и 6 — усилитель-формирователь; 2 и 5 — схемы синхронизации; 3 — реверсивный счетчик; 4 — дешифратор; 7 — датчик обратной связи; 8 — мультипликатор; 9 — стол станка; 10 — редуктор; 11 — двигатель; 12 — электромашинный усилитель; 13 — усилитель мощности; 14 — тахогенератор; 15 — стабилизирующий трансформатор; 16 — корректирующий контур

Рассмотрим программное управление движением исполнительного механизма (например, стола) по одной координате (управление по двум другим координатам аналогично). Блок-схема СПУ для одной координаты представлена на рис. 2.57. Система СЦ-1 состоит из вводного устройства (лентопротяжного механизма с семиканальным блоком воспроизводящих головок), блока управления, блока питания и панели управления. Для управления по одной координате импульсы записываются на магнитной ленте по двум дорожкам (положительной и отрицательной). Для трех координат используется шесть дорожек, седьмая дорожка служит для контроля записи и для вспомогательных команд.

С магнитной головки импульсы с амплитудой 2 мВ подаются через повышающий трансформатор на вход схемы усиления и формирования 1. Схема усиления и формирования включает трехкас-

кадный усилитель, усилитель-ограничитель, триггер и дифференцирующий трансформатор. Триггер формирует из импульсов синусоидальной формы импульсы прямоугольной формы с достаточной короткими фронтами. На выходе схемы будут импульсы отрицательной полярности 30—50 В длительностью 2—3 мкс.

При перемещении стола 9 станка его движение через редуктор 10 сообщается диску датчика обратной связи 7. Диск датчика имеет радиальные щели. При вращении диска луч света от источника света периодически попадает на фотодиоды, расположенные с противоположных сторон диска. В результате фотодиоды вырабатывают импульсы, форма которых близка к синусоидальной. Сигналы с фотодиодов через полупроводниковые усилители, расположенные в корпусе самого датчика, подаются по высокочастотному кабелю на схему формирования 6 (два триггера, дифференциальный трансформатор и два вентиля). Командные импульсы с вводного устройства и импульсы обратной связи подаются через схему синхронизации 2 и 5 на вход двоичного реверсивного счетчика 3. Схема синхронизации разделяет по времени импульсы программы и обратной связи, чтобы исключить их потерю.

Реверсивный счетчик имеет два входа: суммирующий и вычитающий. Число его разрядов — семь. Счетчик способен запомнить любое число импульсов от 0 до 128. За «нулевое» (исходное) состояние принимается его среднее заполнение, когда в нем находится 64 импульса. Каждый разряд счетчика состоит из триггера и двух управляющих вентилях. При «нулевом» состоянии счетчика триггер старшего (седьмого) разряда находится в «единичном» состоянии, а остальные — в «нулевом». О состоянии счетчиков можно судить по неоновым лампочкам (световой индикации).

В счетчике импульсы обратной связи будут складываться с программными, если они поступают по каналу «+», и вычитаться, если по каналу «—». Предохранение счетчика от переполнения осуществляет триггер переполнения. Из счетчика импульсы поступают в дешифратор 4, представляющий собой суммирующий усилитель, входы которого соединены через соответствующие сопротивления с выходами каждого разряда счетчика. Управляющее напряжение на выходе суммирующего усилителя пропорционально числу импульсов, поступивших из счетчика. Этот управляющий сигнал подается на обмотки управления электромашинного усилителя 12, где усиливается по мощности до величины, необходимой для управления работой двигателя постоянного тока. Обратную связь по скорости осуществляет тахогенератор 14 с корректирующим контуром 16 и 15.

Основные технические характеристики станка

Размер обрабатываемых поверхностей в мм . . .	900×500
Число ступеней частот вращения шпинделя . . .	18
	(63—3150 об/мин)
Рабочие подачи стола, шпиндельной бабки и поперечины в мм/мин	24—570

Цена одного импульса в мм	0,02
Скорость движения магнитной ленты в мм/с	100
Максимальная длина ленты в м	1000
Ширина ленты в мм	35
Мощность электродвигателей в кВт:	
шпинделя	2,6/3,0
подачи	0,76

Координатограф с цифровым программным управлением предназначен для вычерчивания и вырезания различных контуров (копиров, матриц, шаблонов, токопроводящих рисунков, схем и др.), аппроксимируемых прямыми линиями и дугами окружностей. В состав схемы управления координатографом, представленной на рис. 2.58, входят: устройство управления, фотоввод *ФВ*,

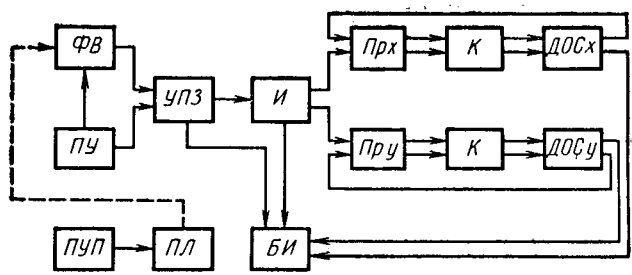


Рис. 2.58. Блок-схема системы программного управления координатографом

устройство преобразования и запоминания информации *УПЗ*, интерполятор *И*, блок индикации *БИ*, пульт управления *ПУ*, блок питания и привода, стол координатный и устройство подготовки данных *УПД* (пульт управления перфоратором *ПУП* и ленточный перфоратор *ПЛ*). *УПД* осуществляет перфорацию телеграфной ленты в соответствии с заданной программой.

Программа с устройства ввода или с клавиатуры пульта управления *ПУ* поступает в *УПЗ*, где преобразуется в число импульсов. Здесь же происходит запоминание двух кадров программы, информация одного из которых поступает в интерполятор. Из интерполятора импульсы в унитарном коде поступают по соответствующему каналу в приводы *Прх* и *Пру* координат *x* и *y*, обеспечивая перемещение кареток *К* стола. Привод каждой координаты представляет собой дискретную следящую систему с исполнительным элементом — двигателем постоянного тока. Перемещение каретки *К* измеряется фотоэлектрическим датчиком (*ДОС*), который преобразует фактическое перемещение в импульсный сигнал и направляет его через схему синхронизации в схему сравнения. В схеме сравнения импульсы обратной связи и программные импульсы алгебраически складываются. Для стабилизации и повышения точности работы в следящем приводе имеется тахометри-

ческая обратная связь. Отдельная следящая система осуществляет движение инструментальной головки, обеспечивая плавное изменение поворота инструмента в процессе резания.

Основные технические характеристики координатографа

Точность в мкм	± 50
Рабочее поле в мкм	1200×1200
Скорости в м/мин:	
максимальные	5,5
на прямолинейных участках	5,5
на дугах окружностей	1,5

Интерполятор является высокоскоростной прецизионной машиной с цифровым программным управлением, сочетая в себе высокую производительность с высокой точностью и большим полем перемещения рабочего инструмента.

Многооперационные станки предназначены для обработки сложных корпусных деталей, а также деталей типа рычагов, кронштейнов, плит и др. Номенклатура таких деталей в машиностроении и приборостроении велика при небольшом объеме их выпуска. Многие из них имеют большое количество отверстий разных размеров и требуют обработки с двух и более сторон, в связи с этим общее число инструментов, необходимое для обработки, достигает нескольких десятков. Применение этих станков эффективно для таких операций, где трудоемкость сравнительно невелика, а удельный вес холостых и вспомогательных ходов значителен и особенно велики потери производительности из-за частой смены инструмента. При обработке таких деталей на многопозиционной машине с последовательным агрегатированием будут большие потери времени на холостые хода (многократный зажим, разжим и транспортировка детали). В этих условиях особенно эффективны многооперационные станки, управляемые от СПУ и снабженные магазином инструментов с устройством для их автоматической замены.

Многооперационные станки универсальны и позволяют последовательно выполнять большое количество разнообразных операций. За эти качества их называют станками интегрального класса (с интегрированием операции) в противоположность обычным агрегатным станкам (без числового программного управления), в которых осуществляется дифференцирование операций. Основным принципом построения станков интегрального класса является выполнение возможно большего числа последовательных операций на одном станке за одну установку заготовки при максимальной автоматизации для сокращения вспомогательного времени с сохранением универсальности и мобильности к переналадке. На обычных универсальных металлорежущих станках, например горизонтально-расточных, также можно последовательно выполнить большое число операций, но при этом будут большие потери вспомогательного времени. На многооперационных стан-

ках сокращение вспомогательного времени достигается за счет автоматизации средствами программного управления установки координат и всех элементов цикла, смены инструментов, кантования и смены заготовки, изменения режимов резания, почти полного исключения контрольных операций, а также за счет высоких значений скоростей холостых ходов.

Применение этих станков оказывается рентабельным в производстве с мелкосерийным характером выпуска продукции, несмотря на сложность их конструкций и высокую стоимость, за

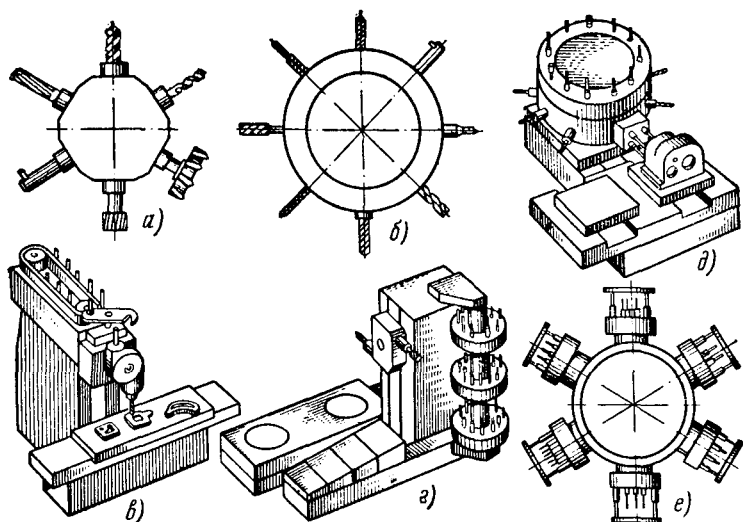


Рис. 2.59. Способы автоматической смены инструментов на многопозиционных станках:

а — одношпиндельная револьверная головка; *б* и *д* — круглые магазины; *в* — цепной магазин; *г* — блок дисковых магазинов; *е* — многшпиндельные револьверные магазины

счет повышения производительности, повышения точности обработки (вследствие сокращения числа перебазирований заготовки) и улучшения организации труда.

Компоновки многооперационных станков разнообразны. Их выполняют по типу вертикально-сверлильных, горизонтально- и вертикально-фрезерных, координатно-расточных, горизонтально-расточных, агрегатных сверлильно-расточных и др. Наиболее разнообразны компоновки станков с револьверными шпиндельными головками, так как у них просто решается задача автоматизации смены инструмента (рис. 2.59). Недостаток их в том, что они располагают небольшим количеством инструментов. По расположению шпинделя многооперационные станки бывают с вертикальным и горизонтальным расположением. Горизонтальному расположению шпинделя в сочетании с поворотным индексирующим столом отдается предпочтение, так как при этом можно обра-

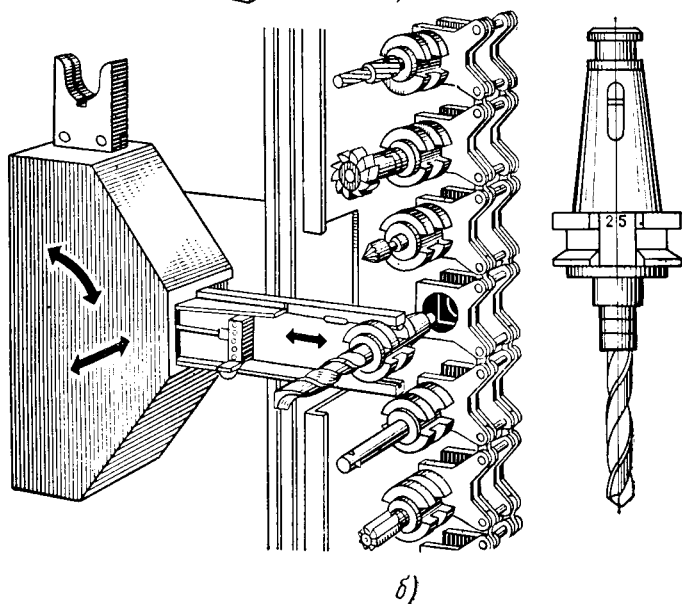
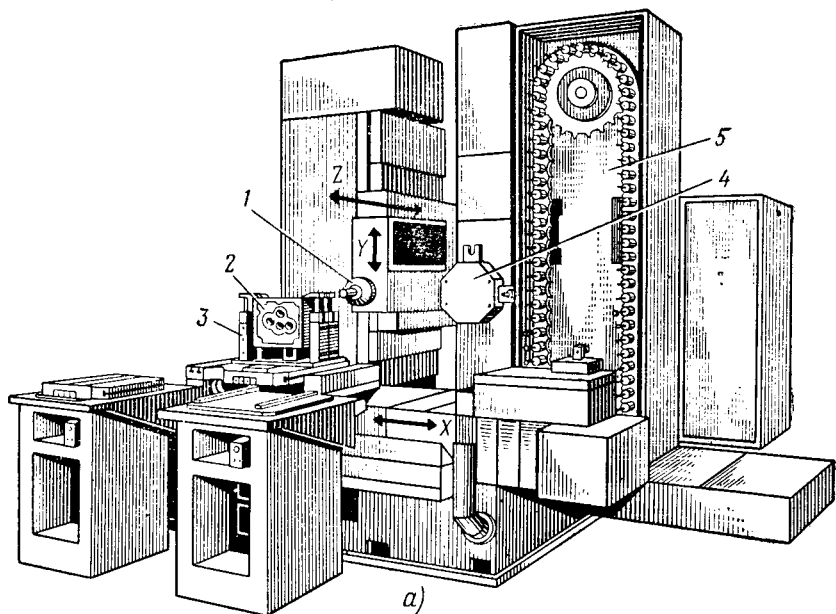


Рис. 2.60. Многооперационный станок с горизонтальным расположением шпинделя:

1 — шпиндель с инструментом; 2 — обрабатываемая деталь; 3 — приспособление; 4 — головка с захватом; 5 — магазин с инструментом

батывать изделие с четырех сторон, что наиболее полно отвечает основному принципу построения таких станков — максимальному увеличению числа операций, выполняемых за одну установку заготовки. Один из таких станков представлен на рис. 2.60, а, а его устройство для автоматической смены инструмента — на рис. 2.60, б.

Системы программного управления многооперационных станков отличаются от СПУ обычных однооперационных станков большим количеством исполнительных механизмов, движением которых необходимо управлять, большим объемом управляющих команд (поиск в магазине нужного инструмента, индексирование поворотного стола, смена инструментов и посылка отработавшего в магазин, смена после обработки изделия, реверс шпинделя при резьбонарезных операциях, зажим узлов станка по завершению их позиционирования, поворот шпинделя в фиксированное угловое положение и др.). Все это значительно увеличивает объем информации, перерабатываемой СПУ, и, соответственно, увеличивается длина программноносителя (перфоленты). В целях сокращения вспомогательного времени, связанного с перематкой ленты, СПУ снабжаются двумя считывающими устройствами. Для уменьшения объема информации на основном программноносителе, уменьшения его длины, стоимости, а также снижения трудоемкости программирования и увеличения надежности СПУ применяют оптимальное соотношение централизованного и децентрализованного управления: выделение программ обработки и программирование типовых циклов. Подпрограммы обработки могут быть набраны с дополнительного программного устройства, например, многопозиционных переключателей; причем удобно выделять в подпрограмму взаимосвязанные команды, например выбор инструмента и соответствующую ему частоту вращения шпинделя и скорость рабочей подачи. В этом случае на главном программноносителе останется лишь команда на смену инструмента. В подпрограмму могут быть включены средства настройки предохранительных устройств, коррекция перемещений, световая сигнализация и др.

Выделение типовых циклов, под которыми подразумеваются определенные сочетания команд (включение холостого хода и рабочей подачи, реверса движения по координате, реверса шпинделя и др.), позволяет указывать на главном программноносителе лишь подциклы и размеры перемещений. Большинство СПУ многооперационных станков предназначено для прямоугольных циклов обработки (фрезерные операции), координатной установки и управления осевыми перемещениями инструмента (сверлильные, расточные и другие операции). Реже встречаются СПУ для криволинейной обработки. Особенностью этих СПУ является большое число управляемых координат (до шести). Кроме точной установки по трем координатам x , y , z , предусматриваются угловые установки поворотного стола и поворотной шпиндельной головки. Для них характерна высокая точность позиционирования (линей-

ного $\pm 0,005 \div 0,025$ мм, углового — $0,001 \div 0,005^\circ$), высокие скорости холостых ходов (6—10 м/мин). Все это накладывает жесткие требования на выбор датчиков обратной связи, число разрядов их точности, статические и динамические характеристики приводов подач, на механические узлы (винтовые пары, направляющие и др.) и на электронную часть СПУ.

В качестве измерительного устройства (датчиков обратной связи) наибольшее распространение получили линейные индуктоины. Применяемые приводы работают чаще с использованием гидродвигателей, соединенных с шариковыми винтовыми парами. Отечественной промышленностью для управления многооперационными станками выпускается СПУ типа Н 55-1, позволяющая управлять обработкой в плоскости и в пространстве деталей со сложными криволинейными образующими. Программу для нее можно задавать как в абсолютных значениях координат, так и в приращениях. Записывают ее на перфоленте. Система Н 55-1 выполнена по принципу специализированной ЦВМ и состоит из отдельных устройств: ввода-вывода, арифметического устройства, микропрограммного управления, магнитного оперативного запоминающего устройства, устройства управления шаговым приводом и блока питания. Все устройства оборудованы автоматическим контролем функционирования узлов. Система производит ввод команды и числовой информации с перфоленты, размещение ее в блоках памяти, расчет эквидистанты, временное распределение импульсов управления приводом, поддержание и корректировку контурной скорости, разгон и торможение, индикацию положения инструмента. Все эти функции осуществляются по программе, записанной в блоке памяти. Изменение любых алгоритмов осуществляется заменой части блока постоянной памяти или ее перезаписью.

Основные технические данные системы Н 55-1

Тип программносителя	Восьмидорожечная бумажная перфолента
Ввод программы	Фотоэлектрический
Скорость ввода, строк в секунду	До 400
Тип интерполятора	Линейно-круговой
Число управляемых координат	5
Число технологических команд	2 адреса на 99 номеров и 1 адрес на 999 номеров
Тип исполнительного устройства	Шаговые двигатели ШД-5

Среди других типов СПУ, выпускаемых отечественной промышленностью для управления многооперационными станками и обычными одномерными станками с программным управлением, которые в данном учебнике не рассмотрены, следует отметить «КОНТУР-ЗМИ-70», «КОНТУР-4МИ-68», «КОНТУР-5П-69» (разработаны для токарных и фрезерных работ по контуру), «КОНТУР 2П-67» (для электроэрозионных станков), «РАЗМЕР-2М» (для свер-

ильных и других позиционных работ), Н 22-1М (для управления группой станков при контурной обработке) и др.

Тенденции развития СПУ. Развитие СПУ идет по нескольким направлениям: по дальнейшему совершенствованию комплекса «чертеж—деталь», заключающемуся в максимальной автоматизации всех его этапов путем широкого применения средств вычислительной техники; по созданию новых автоматических линий и

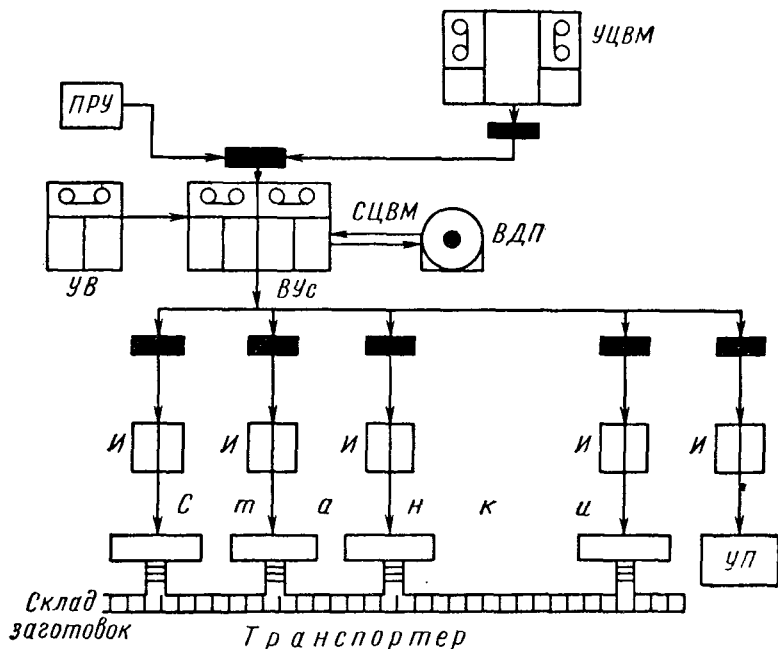


Рис. 2.61. Блок-схема управления группой станков от УЦВМ

участков из оборудования, управляемого от СПУ; по созданию новых систем программного управления, а также совершенствованию их элементов.

Создание автоматически действующего комплекса «чертеж—деталь» сопряжено с решением таких проблем, как непосредственное использование чертежа в качестве исходной информации для вычислительных машин, решение проблемы «автоматический технолог», автоматическое программирование и управление работой группы оборудования с СПУ, включая планирование, а также автоматизацию всех вспомогательных операций (подачи заготовок, инструмента, удаление отходов и др.). Остановимся на некоторых из них подробнее.

Управление группой станков от УЦВМ. Управление работой группы станков возможно от общей универсальной вычислительной машины УЦВМ с использованием специальных ЦВМ. Структурная схема такого управления приведена на рис. 2.61.

Первоначальная информация вручную вводится в *УЦВМ*. Универсальная машина выполняет промежуточные операции, переводит команды на язык специальной *СЦВМ* и посылает их на вход *СЦВМ*. Программа работы всех станков рассчитывается на *СЦВМ* (дополнительные условия на программу поступают с перфоленты через устройство ввода *УВ* или с пульта ручного ввода *ПРУ*) и выводится на внешнее дисковое запоминающее устройство *ВДП* с произвольной выборкой. Данные из *ВДП* поступают по запросу обратно в *СЦВМ*. В оперативной магнитной памяти *СЦВМ* в каждый момент времени находится лишь небольшая часть программы работ каждого станка, которая передается на управляющее устройство станков (упрощенные линейные интерполяторы *И*) через выходные устройства *ВУс*. На систему возлагаются функции по приему, записи и хранению управляющих программ *УП* для станков, контролю записанных *УП* и буквенной (цифровой) распечатке текста с указанием номеров кадров, содержащих ошибку, и возможности коррекции или замены; функции по автоматическому определению шифров обрабатываемых деталей на основании сменного задания, осуществляя коммутации соответствующих станков с интерполяторами и *УЦВМ*, а также вызов нужной программы из библиотеки *УП*, хранящейся в накопителе на магнитной ленте. Эта система также должна управлять подачей нужных заготовок к станкам с автоматизированного склада и возвращать обработанные детали на склад, автоматически выдавать управляющие программы на интерполяторы по запросам от станков, вести учет хода производства и оперативно отображать его на световом табло. Таким образом, эта система обеспечит автоматическое функционирование производственного участка из станков с ЧПУ в соответствии с произвольным сменным заданием.

Функционирование такой системы позволит сократить путь информации (исключить промежуточный этап вывода информации на перфоленту и передачи ее в цех). При этом повышается общая надежность передачи информации, исключается программноноситель на специальной основе (лавсановые перфоленты), который необходим для работы в цеховых условиях, снижаются эксплуатационные затраты за счет уменьшения обслуживающего персонала и ведения профилактики по стандартным процедурам, разработанным для серийных ЭВМ, снижаются потери времени на доставку заготовок (деталей), поиск и ввод *УП*, коррекцию новых *УП*, упрощаются статистические обобщения по работе участка, а результаты учета хода производства могут быть оперативно переданы в автоматизированную систему управления производством (АСУП).

Перспективным является создание единого проектно-производственного комплекса, управляемого общей центральной ЦВМ. В этот комплекс должны войти чертежные автоматы, вспомогательные ЦВМ, станки с самонастраивающимися системами, обра-

батывающие центры с автоматическим транспортом, контрольные (измерительные) и сборочные машины с ПУ. Измерительные автоматы с ПУ измеряют детали и при отклонении размеров от заданных дают информацию на корректировку программы обработки.

Появление таких единых комплексов ожидается не только в металлообработке, но и в производстве дискретных полупроводниковых элементов и интегральных схем. Например, единый комплекс по созданию интегральных схем должен иметь вычислительные машины вместе с чертежными автоматами, осуществляющими машинное проектирование, и оборудование для их производства (фотолитографическое оборудование, зондовые измерительные машины и сборочные автоматы). Первым шагом к реализации таких единых комплексов в металлообработке является создание автоматических линий с ПУ. Переналадка такой линии при переходе с обработки одной детали на другую сводится к замене перфолент, переключению адресного устройства, причем начало обработки новых деталей осуществляется в то время, когда заканчивается обработка заменяемой детали. При этом выполняется постепенная переналадка станков без простоя линии. Линия, включающая многооперационные станки, может быть настроена на одновременную обработку разных деталей одного класса.

Представляет интерес рассмотреть работу транспортных устройств с ПУ. Каждой рабочей позиции присваивается адрес. При этом рабочие позиции, выполняющие одну и ту же операцию, имеют одинаковый адрес. Каждое транспортное приспособление (спутник) имеет несколько адресов, указывающих, какие позиции должна проходить данная обрабатываемая деталь. При приближении спутника с деталью к одной из позиций (поперечному транспортеру, соединяющему данную позицию с кольцевым транспортером) датчик определяет соответствие адреса детали адресу рабочей позиции. При их совпадении поворотное устройство переставляет спутник с деталью на поперечный транспортер. Если же адреса не совпадают или все места на поперечном транспортере заняты, то поворотное устройство не включается и деталь проходит далее по кольцевому транспортеру. Спутник с деталью движется до тех пор, пока не встретится рабочая позиция с соответствующим адресом и свободным местом на поперечном транспортере. После обработки адрес спутника с деталью автоматически меняется. Поворотное устройство переставляет его снова на кольцевой транспортер, и процесс поиска новой рабочей позиции продолжается. После окончания обработки деталь вместе со спутником поступает на контрольную позицию, а затем на позицию съема. Система автоматического распределения деталей по позициям позволяет свести к минимуму количество деталей, одновременно находящихся на линии (в процессе обработки, ожидания и транспортировки).

Цифровая вычислительная машина, управляющая автоматической линией, должна контролировать правильность подачи

заготовки к отдельным станкам, выбора программной ленты для каждого станка, точность крепления спутников, решать ряд оперативных задач и планировать запуск деталей. В ЦВМ вводят данные о номерах и количестве деталей, подлежащих обработке в течение длительного времени. Она выдает ежедневную сводку на потребность в заготовках, инструменте и др. При остановке какого-либо станка ЦВМ решает задачу перепланирования работы линии с учетом ожидаемого времени ремонта.

Одним из путей, частично решающих проблему, связанную с вводом информации в ЦВМ, является применение устройства, названного «световым пером», представляющего собой светопровод, соединенный с фотоумножителем. Информация здесь вводится с помощью электроннолучевой трубки, на которой оператор засвечивает «пером» нужный символ (прямая, окружность или буквенно-числовой символ), затем вычерчивает прямую или криволинейный отрезок в пределах опорной координатной сетки, которую высвечивает ЦВМ. Точные координаты всех точек (геометрического участка контура детали) вводятся в систему кодом. Если оператор, например, вычерчивает «пером» дугу, то фактически ее параметры определяются координатами тех двух точек (заданных буквенно-числовыми символами), которые она соединяет. Таким образом, для выполнения любой операции достаточно поставить «перо» на соответствующий символ и нажать кнопку ввода. Точность выполнения заданной программы определяет магнитная память, а экран служит для цифровой и графической записи информации. После задания таким образом контура и состава управляющих команд ЦВМ, используя заложенные в ней программы, автоматически изготавливает программную перфоленту для станка с ЧПУ. Такой метод даст значительное сокращение времени при подготовке перфоленты.

Применяется также другой способ ввода данных в ЦВМ по результатам измерения модели изделия, минуя стадию изготовления чертежей. Модель изделия разбивается на ряд сечений, на плавных участках контуров которых измеряется ряд случайно взятых точек. По данным этих измерений, используя ЦВМ, устанавливается математическое уравнение поверхности. Для нее машина вычисляет сетку точек соответствующей плотности и по координатам этих точек составляется траектория движения инструмента. Все математические решения и логические добавления, а также технологическая программа обработки (число проходов, инструмент, режимы обработки и т. д.) кодируются на программном языке и вводятся в блок памяти машины. Составленная программа проверяется на автоматическом координатографе.

В области развития собственно СПУ технологического оборудования следует отметить создание самонастраивающихся систем, автоматически обеспечивающих оптимальный режим обработки (сборки) и повышающих точность обработки (сборки) в результате учета влияния случайных факторов. Дальнейшее развитие полу-

чают СПУ обрабатывающими центрами. Наряду с созданием новых СПУ будут совершенствоваться и отдельные узлы этих систем. Так, электронные блоки будут переведены на интегральные схемы, высокое быстродействие которых позволит заменить параллельную логику более простой последовательной. Кроме этого, в интегральных схемах значительно меньше паек и межмодульных соединений, что повысит надежность устройств.

Измерительные устройства и датчики обратной связи также совершенствуются. Повышается быстродействие и жесткость следящих приводов, совершенствуются направляющие и другие механические устройства.

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

§ 3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Автоматическое регулирование технологических процессов подчинено определенной цели. В металлообрабатывающем оборудовании, например, стремятся обеспечить обработку деталей на оптимальных режимах резания или получить максимальную производительность при обеспечении требуемой точности. В качестве показателя оптимальности регулирования может быть выбран не один, а несколько параметров (производительность, себестоимость, к. п. д.). Управляющее воздействие, вырабатываемое системой регулирования, должно быть таковым, чтобы обеспечить максимум параметра оптимальности при учете влияния внешней среды и ограничений, накладываемых внутренними свойствами системы.

Создание систем регулирования, отвечающих поставленной задаче, является сложной проблемой, решение которой осуществляется методом последовательных приближений и сводится к следующим этапам: принципиальное решение структуры системы, создание математической модели ее, анализ модели в установившемся и переходном режимах работы и последующая ее оптимизация (синтез). На первом предварительном этапе при разработке структуры системы стремятся удовлетворить определенные технологические и энергетические требования (максимальная и минимальная скорость, диапазон регулирования, сила, мощность или крутящий момент, коэффициент усиления, от которого зависит статическая точность), требования по надежности, по прочности (для механических узлов), частично учесть влияние внешней среды (шумы). На этом этапе практики не удается учесть внутренние ограничения, связанные с замыканием системы обратной связью.

Эти ограничения можно учесть лишь при анализе работы системы в динамическом (неустановившемся) режиме. Анализ динамического режима позволяет получить очень важные сведения об устойчивости замкнутой системы и о ее быстродействии, так как устойчивость определяет ее работоспособность, а быстродействие влияет на динамическую точность и производительность технологического оборудования. Динамический режим становится преобладающим для систем, управляющих машинами, в которых требуется получить высокую производительность.

При замыкании система, разработанная на предварительном этапе и удовлетворяющая всем требованиям установившегося режима, часто оказывается неустойчивой. Неустойчивой система считается в том случае если при снятии входного управляющего сигнала на выходе ее имеют место незатухающие колебания. Такая система непригодна к работе, так как возникающие в ней внутренние напряжения в скором времени приводят к разрушению кинематических связей.

Таким образом, одним из центральных вопросов, которые приходится решать при создании систем автоматического регулирования, работающих по замкнутому циклу, является обеспечение их устойчивости. Здесь следует заметить, что устойчивость, быстродействие и коэффициент усиления, являясь основными критериями оценки качества работы системы, находятся между собой в противоречии, между которыми приходится искать компромиссное решение. Сведения о величинах этих критериев, допустимых для данной системы, получают при решении (исследовании) математической модели (задача анализа), а при синтезе обеспечивают необходимые соотношения этих критериев, исходя из заданной точности и производительности, а также учитывая влияние внешних воздействий и ограничений системы

Математическая модель системы представляет собой дифференциальное уравнение (или систему уравнений), устанавливающее количественные и логические зависимости между отдельными элементами системы, а также между системой и объектом управления. Разработка математической модели упрощается при использовании «элементарных динамических звеньев», для которых известны дифференциальные уравнения и все необходимые характеристики. Представление системы в виде динамических звеньев, соединенных между собой соответствующим образом, позволяет значительно сократить время на построение математической модели. Однако наиболее развитые системы имеют математическую модель в виде сложных дифференциальных уравнений высокого порядка, решение которых в общем виде в большинстве случаев невозможно, а в числовом виде — весьма трудоемко. Для облегчения этой задачи разработано несколько методов.

Одним из наиболее распространенных является *метод преобразования Лапласа-Карсона*. Этот метод основан на том, что заданные и искомые функции времени $u(t)$ заменяют их изображениями \bar{u} . Эти функции получают, используя преобразователь Лапласа-Карсона:

$$\bar{u} = p \int_0^{\infty} u(t) e^{-pt} dt. \quad (3.1)$$

Применение данного метода возможно, если $\bar{u} < \infty$. Использование преобразования позволяет такие трудоемкие операции, как дифференцирование и интегрирование функции времени при

нулевых начальных условиях, заменить соответственно делением и умножением на оператор p . Например, дифференциальное уравнение вида

$$\begin{aligned} A_0 \frac{d^n y}{dt^n} + A_1 \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + A_n y = \\ = B_0 \frac{d^m x}{dt^m} + B_1 \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \dots + B_m x, \end{aligned}$$

можно заменить уравнением

$$(A_0 p^n + A_1 p^{n-1} + \dots + A_n) \bar{y} = (B_0 p^m + B_1 p^{m-1} + \dots + B_m) \bar{x}, \quad (3.2)$$

где y и x — выходная и входная функции времени; \bar{y} и \bar{x} — их изображение; p — оператор Лапласа.

Разделив изображение выходной величины на изображение входной величины, получают передаточную функцию рассматриваемой системы

$$W(p) = \frac{\bar{y}}{\bar{x}} = \frac{y(p)}{x(p)} = \frac{B_0 p^m + B_1 p^{m-1} + \dots + B_m}{A_0 p^n + A_1 p^{n-1} + \dots + A_n}. \quad (3.3)$$

Таким образом, для получения изображения выходной величины

$$y(p) = x(p) W(p). \quad (3.4)$$

Метод Лапласа-Карсона применим для линейных уравнений с постоянными коэффициентами. Решение дифференциальных уравнений при этом не намного проще обычного, но использование таблиц с большим количеством изображений и их оригиналов несколько упрощает анализ. Этот метод не дает представления о критериях качества, но позволяет для этой цели использовать другие методы.

Наиболее просто сведения о критериях качества определяются из кривой переходного процесса (рис. 3.1), получающейся на выходе системы при подаче на вход ступенчатого воздействия. О степени устойчивости здесь судят по величине перерегулирования h , о быстродействии — по времени переходного процесса t_n или по времени T_p . Коэффициент усиления K_s можно определить по кривой переходного процесса при подаче на вход системы скачка скорости.

Этот метод (кривой переходного процесса) удобен при экспериментальном определении показателей качества, так как кривая получается сразу на экране осциллографа без дополнительных построений. Им удобно пользоваться также при исследовании систем на аналоговых вычислительных машинах методом электронного моделирования. Однако построение кривых переходного процесса путем расчетов предоставляет трудоемкую задачу. К тому же им нельзя воспользоваться для решения задачи синтеза,

Частотный метод не рассматривает вида кривой переходного процесса, а базируется на частотных свойствах системы. При изменении частоты входного гармонического сигнала изменяется амплитуда и фаза выходного, тоже гармонического (для линейной системы), сигнала. По этим данным строят амплитудно- и фазочастотную характеристику разомкнутой или замкнутой системы. Наиболее полные сведения можно получить из амплитудно-частотной характеристики замкнутой системы (рис. 3.2). Быстродействие системы в этом методе характеризуется резонансной частотой ω_p , полосой пропускания ω_n на уровне 1 или частотой ω_c .

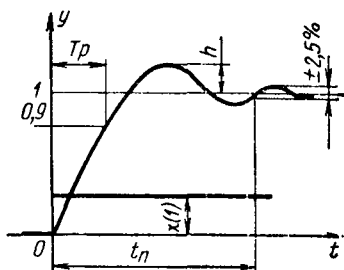


Рис. 3.1. Кривая переходного процесса

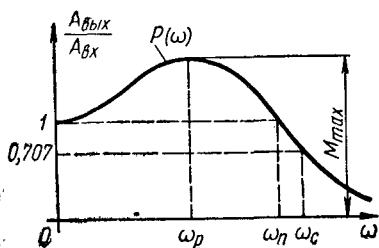


Рис. 3.2. Амплитудно-частотная характеристика замкнутой системы

при затухании сигнала до уровня 0,707. Мерой устойчивости здесь служит показатель колебательности M . Процесс построения этой характеристики тоже является трудоемким.

Одним из разновидностей частотного метода является *метод логарифмических амплитудно- и фазочастотных характеристик*. В нем используется годограф передаточной функции разомкнутой системы. Построение его амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик значительно облегчается использованием различных шаблонов, логарифмических частотных характеристик динамических звеньев, на которые разбивается рассматриваемая система, и различных номограмм. По этим характеристикам (рис. 3.3) можно получить все необходимые сведения о критериях качества. Быстродействие определяется частотой среза $\omega_{ср}$ — частотой, на которой амплитудно-частотная характеристика $L(\omega)$ пересекает ось частот. Устойчивость определяется запасом по амплитуде ΔL (на частоте, где сдвиг фазы фазочастотной характеристики достигает -180°) и по фазе $\Delta\phi$ (на частоте среза). Коэффициент усиления K_v , определяющий ошибку системы в установившемся режиме (при входном сигнале с постоянной скоростью), численно равен величине, обратной частоте $\omega_k = \frac{1}{K_v}$. Эта частота получается при продолжении низкочастотной части амплитудно-частотной характеристики (штриховая линия) до оси частот.

Этот метод удобен и тем что позволяет использовать характеристики звеньев системы, полученных при экспериментальном исследовании. Им удобно пользоваться и при решении задачи синтеза, так как он обладает большой наглядностью и позволяет непосредственно наблюдать за изменением критериев при оптимизации системы различными корректирующими звеньями и связями. Однако этот метод не определяет качества неустановившегося режима при ненулевых условиях и имеет невысокую точность.

Все рассмотренные выше методы применимы лишь для линейных и линеаризованных систем и лишь в этом случае дают хорошие результаты. Для нелинейных систем разработаны соответственно нелинейные методы. Применение нелинейных методов сопряжено с трудностью описания нелинейных элементов, с большой трудоемкостью расчетов, связанных с использованием этих методов. В основном нелинейные методы позволяют решать лишь частные задачи для узкой области изменения конструктивных параметров. Использование этих методов затруднительно для синтеза систем. В силу этих особенностей нелинейные методы в практике автоматизации не получили такого широкого распространения, как линейные.

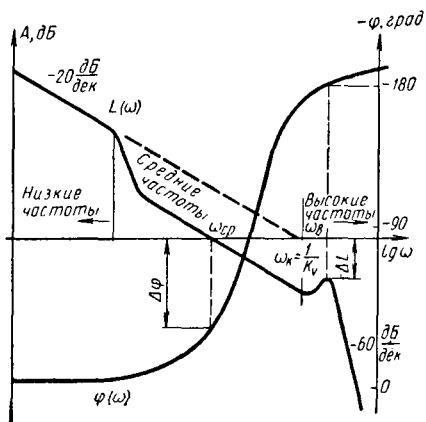


Рис. 3.3. Логарифмические амплитудно-частотные $L(\omega)$ и фазочастотная $\varphi(\omega)$ характеристики разомкнутой системы

Большое распространение получил метод моделирования с использованием аналоговых вычислительных машин (АВМ). Этот метод имеет более широкие возможности, чем рассмотренные выше, позволяет учитывать нелинейности. При соответствующем навыке в пользовании АВМ этот метод позволяет значительно снизить трудоемкость расчетов, связанных с разработкой систем. Сущность метода моделирования заключается в замене системы или ее части типовыми электронными блоками, соединенными между собой соответствующим образом. Электронная модель имеет ту же физическую природу и описывается теми же дифференциальными уравнениями, что и реальная система, отличаясь от нее лишь масштабами и мощностью. Метод моделирования удобно применять в сочетании с другими методами в качестве подготовительных. Применение, например, частотных методов, позволяющих использовать для анализа готовые характеристики отдельных элементов систем, полученные аналитическим расчетом или экспериментально, сокращает трудоемкость расчетов на машине.

§ 3.2. ДИНАМИКА САР

Методика составления дифференциальных уравнений. Для любого теоретического исследования, связанного с анализом динамики САР, необходимо прежде составить дифференциальные уравнения или дать математическое описание исследуемой системы. Различают два типа уравнений, описывающих установившиеся режимы (уравнения статики) и переходные (неустановившиеся) режимы (уравнения динамики). Уравнения статики, описывающие установившиеся режимы, при которых возмущающие воздействия и величину нагрузки принимают постоянными, обычно представляют собой алгебраические уравнения, чаще всего линейные. Уравнения динамики являются дифференциальными или интегродифференциальными.

При составлении математической модели необходимо стремиться к возможно более точному отражению физических процессов, протекающих в системе. Для составления уравнений систему разбивают на отдельные элементы (звенья), и для каждого из них составляют соответствующее уравнение на основании физического закона, который определяет процессы, протекающие в данном элементе. Решая совместно уравнения отдельных звеньев, т. е. исключая промежуточные переменные, получают общее уравнение системы.

Общее уравнение современных систем является сложным дифференциальным уравнением высокого порядка и часто нелинейное. Анализ такого уравнения является трудоемкой математической задачей, поэтому стремятся его упростить, пренебрегая некоторыми величинами, влияние которых значительно меньше остальных. Нелинейные уравнения линеаризуют, т. е. заменяют приближенными линейными уравнениями, пользуясь при этом чаще всего методом малых отклонений. Идея малости отклонений не противоречит, а соответствует принципу работы замкнутой системы (регулятора). В этом случае в уравнения процесса регулирования вводят не абсолютные значения величин, а их отклонения. Анализ линеаризованных уравнений значительно упрощается, так как становится возможным применение принципа наложения. Точность расчета страдает при этом незначительно, если исходить из движения системы в пределах малых отклонений от состояния равновесия. Это позволяет переходить от уравнений звеньев в частных производных к обыкновенным линейным уравнениям с постоянными коэффициентами. При разработке математической модели системы намечают обобщенные коэффициенты, выбирают начало и направление отсчета. При этом руководствуются следующим. Так как уравнение системы составляется в приращениях, то за начало отсчета выбирают равновесное состояние системы. Для составления уравнений в отклонениях прежде всего необходимо получить зависимость между обобщенными координатами для состояния равновесия системы.

После этого считают равновесие нарушенным и составляют уравнение переходного режима. Вычитая из уравнения динамики уравнение статики, получают выражение переходного режима в приложениях.

Процесс составления уравнения системы является ответственным и сложным, так как результаты динамического исследования системы зависят от точности представления физических процессов, протекающих в системе, и от правильности их математического отображения. Для упрощения этого этапа всю систему разбивают на отдельные звенья. Звено — это часть системы, на работу которой не влияет следующий за ней в направлении распространения сигнала участок системы, а само звено не влияет на работу предшествующего ему участка. Уравнения, описывающие работу звеньев системы, составляют по следующему принципу.

Считая, что все переменные, являющиеся входными по отношению к рассматриваемому звену, отклонены в положительном направлении их отсчета, на основании законов механики, электротехники, термодинамики или других законов (что зависит от физической природы системы) связывают эти входные переменные с вызванным ими отклонением выходной переменной рассматриваемого звена. При этом необходимо учитывать выбранное для выходной переменной направление положительного отсчета. Аналитическое выражение, характеризующее связь, будет являться уравнением рассматриваемого звена. Примерами таких звеньев могут служить механические, гидравлические, пневматические звенья.

Задача составления уравнений динамики значительно упрощается при использовании типовых динамических звеньев, на которые имеются дифференциальные уравнения, передаточные функции и все необходимые характеристики: статические, динамические (частотные, переходные) и другие [21]. Основными динамическими звеньями являются: дифференцирующее, усилительное, интегрирующее, апериодическое, колебательное и звено чистого запаздывания.

Дифференцирующим звеном называют элемент, выходной сигнал которого пропорционален скорости изменения входного сигнала, например тахометр, спидометр. Переходная функция звена на единичное входное воздействие (рис. 3.4, ж) показана на рис. 3.4, а. Дифференцирующее звено может быть первого и второго порядка.

Усилительным звеном является звено, позволяющее пропорционально изменять заданную величину (в какое-то число раз) (рис. 3.4, б). Примером усилительных звеньев являются редукторы, рычаги, трансформаторы, усилители, делители напряжений и другие элементы, выходной сигнал которых практически мгновенно следует за изменением входного с определенным коэффициентом пропорциональности k . Следует заметить, что идеальных

(безынерционных) усилительных элементов не существует. Термин «усилительный элемент» можно применять лишь в том случае, если инерционность усилителя не сказывается на поведении данной системы. Переходная функция усилительного звена имеет вид прямой, параллельной оси времени.

Интегрирующим звеном считают такое звено, выходная величина которого пропорциональна интегралу по времени от входной. В качестве примера интегрирующего звена можно назвать

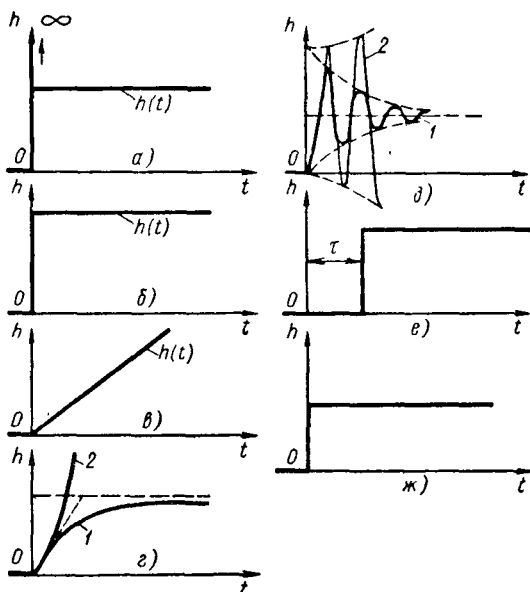


Рис. 3.4. Переходные функции типовых динамических звеньев

любой двигатель вращения, у которого угол поворота выходного вала пропорционален входному сигналу: напряжению на якоре двигателя постоянного тока, расходу жидкости гидродвигателя. Переходная функция интегрирующего звена показана на рис. 3.4, в.

В *апериодическом* звене выходная величина при входном единичном скачкообразном воздействии изменяется по экспоненциальному закону, стремясь к определенному предельному значению. Апериодическое звено образуется из элемента, накапливающего кинетическую или потенциальную энергию (например, масса, пружина, индуктивность, емкость и т. п.), и элемента, рассеивающего эту энергию (силы трения, электрическое сопротивление, гидравлический и пневматический демпферы). Различают устойчивое (кривая 1 на рис. 3.4, в) и неустойчивое (кривая 2) апериодические звенья.

В *колебательном* звене переходная функция при скачкообразном входном сигнале имеет форму колебаний, расходящихся

(кривая 2 на рис. 3.4, *д*) для неустойчивого и затухающих (кривая 1) для устойчивого звена. Колебательное звено, так же как и апериодическое, содержит элементы, накапливающие энергию, и элементы, рассеивающие ее. К колебательным звеньям можно отнести обычный маятник; два сообщающихся сосуда с жидкостью, между которыми имеется гидравлическое сопротивление; электрическую цепочку LRC и другие.

Звено с чистым запаздыванием — звено, в котором выходная величина идеально повторяет входную, но с отставанием на постоянный отрезок времени τ (рис. 3.4, *е*).

Из всех известных динамических звеньев наиболее подробно остановимся на устойчивом колебательном звене, так как с его помощью можно описать поведение не только отдельных звеньев но и целых простых систем, а при упрощенном исследовании — более сложных систем. Более того, любая сложная система может быть разложена на апериодические и колебательные звенья, из которых доминирующим, как правило, является колебательное звено.

Устойчивое колебательное динамическое звено описывается дифференциальным уравнением второго порядка:

$$T^2 \frac{d^2 x_{\text{вых}}}{dt^2} + 2\xi T \frac{dx_{\text{вых}}}{dt} + x_{\text{вых}} = kx_{\text{вх}}, \quad (3.5)$$

где ξ — коэффициент демпфирования; T — постоянная времени.

Используя преобразование Лапласа и разделив выходную функцию на входную, получим передаточную функцию

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}. \quad (3.6)$$

Для определения динамических свойств колебательного звена находят его переходную функцию или строят частотную характеристику. Переходная функция $h(t)$ получается при решении дифференциального уравнения звена (3.5) при подаче на его вход скачкообразного воздействия $x_{\text{вх}}(t) = 1 [t]$:

$$h(t) = k \left[1 - \frac{e^{-\frac{\xi}{T}t}}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin \left(\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T} t + \arctg \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi} \right) \right]. \quad (3.7)$$

Это выражение описывает затухающий колебательный процесс с относительным коэффициентом демпфирования ξ и угловой частотой $\beta = \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T}$. Процесс стремится к установившемуся значению $h(\infty) = k$ при $t \rightarrow \infty$ (рис. 3.4, *д*, кривая 1). Заменив p на $j\omega$ в формуле (3.6), получим выражение частотной характеристики

$$W(j\omega) = \frac{k}{\sqrt{(1-T^2\omega^2)^2 + 4\xi^2 T^2 \omega^2}} e^{-j \arctg \frac{2\xi T \omega}{1-T^2\omega^2}}, \quad (3.8)$$

откуда модуль $H(\omega)$ и аргумент $\varphi(\omega)$ соответственно равны

$$\left. \begin{aligned} H(\omega) &= |W(j\omega)| = \frac{k}{\sqrt{(1-T^2\omega^2)^2 + 4\xi^2 T^2\omega^2}}; \\ \varphi(\omega) &= -\operatorname{arctg} \frac{2\xi T\omega}{1-T^2\omega^2}. \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

Амплитудно-фазовая характеристика (рис. 3.5) начинается в точке K на действительной оси (при $\omega = 0$). Модуль достигает максимума на частоте, называемой резонансной. Выходная величина на частоте, близкой к ∞ , отстает на угол π . Пользуясь уравнением частотной характеристики, найдем логарифмические частотные характеристики, предположив $k = 1$:

$$\ln W(j\omega) = -\ln \sqrt{(1-T^2\omega^2)^2 + 4\xi^2 T^2\omega^2} - j \operatorname{arctg} \frac{2\xi T\omega}{1-T^2\omega^2}, \quad (3.10)$$

откуда логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ)

$$L(\omega) = -20 \lg \sqrt{(1-T^2\omega^2)^2 + (2\xi T\omega)^2},$$

а фазовая (ФЧХ)

$$\varphi(\omega) = -\operatorname{arctg} \frac{2\xi T\omega}{1-T^2\omega^2}. \quad (3.11)$$

На рис. 3.6 и 3.7 графически изображено семейство амплитудных и фазовых характеристик для различных значений коэффициента демпфирования ξ . ЛАЧХ в области $\omega T = 1$ (рис. 3.6) имеет явно выраженный пик, а при $\omega \ll \frac{1}{T}$ и $\omega \gg \frac{1}{T}$ ее можно приближенно заменить прямыми линиями.

Таким образом, свойства колебательного звена определяются тремя параметрами: постоянной времени T , коэффициентом демпфирования ξ и коэффициентом усиления k . Используя решения дифференциального уравнения этого звена (переходную функцию при скачкообразном входном сигнале и частотную характеристику при сигнале с переменной частотой), можно судить о значениях показателей качества динамики любой системы управления, описываемой уравнением устойчивого колебательного звена. Для других динамических звеньев (апериодического, дифференцирующего (I и II порядка), интегрирующего) основные характеристики см. в книге [21]. Рассмотренные элементарные динамические звенья, а также более сложные системы, могут быть включены (соединены между собой) последовательно, параллельно и встречно-параллельно, образуя систему с обратной связью (рис. 3.8).

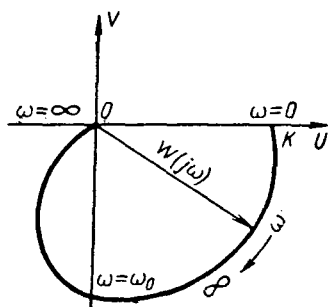


Рис. 3.5. Амплитудно-фазовая характеристика устойчивого колебательного звена

При последовательном включении звеньев (рис. 3.8, а) их передаточные функции перемножаются, т. е. передаточная функция эквивалентного звена

$$W_3(p) = W_1(p) W_2(p). \quad (3.12)$$

При параллельном соединении (рис. 3.8, б) передаточные функции звеньев складываются, т. е.

$$W_3(p) = W_1(p) + W_2(p). \quad (3.13)$$

При встречно-параллельном включении (рис. 3.8, в) (системы с отрицательной обратной связью) эквивалентная передаточная функция

$$W_3(p) = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)}. \quad (3.14)$$

Последний вид соединения наиболее часто используют в автоматических системах, и он является характерным для них. Объяс-

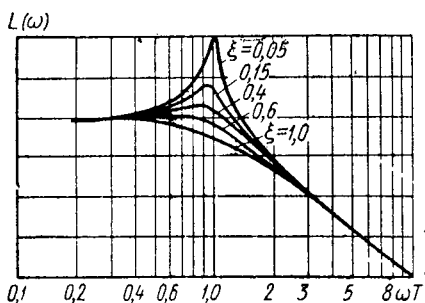


Рис. 3.6. Логарифмические амплитудно-частотные характеристики устойчивого колебательного звена с различной степенью устойчивости

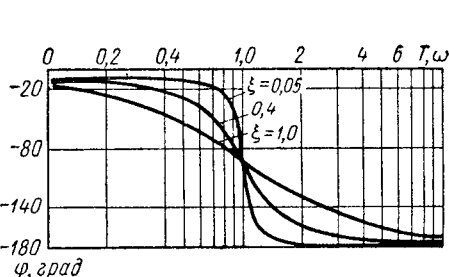


Рис. 3.7. Фазочастотные характеристики устойчивого колебательного звена с различной степенью устойчивости

няется это тем, что свойства элементов, охваченных отрицательной обратной связью, в установившемся режиме определяются в основном этой обратной связью, исключая тем самым влияние неточности и нестабильности, присущей элементам основной (прямой) цепи. Обеспечить высокую точность и стабильность цепи обратной связи значительно проще, чем всех элементов главной цепи. Таким образом, используя понятие о динамическом звене и методе преобразования различных соединений этих звеньев в эквивалентное звено (метод структурных преобразований), можно любую сложную систему привести к более простой, удобной для анализа ее динамических свойств и последующей оптимизации (синтеза) с целью получения системы с требуемыми характеристиками.

Динамические свойства системы. Рассмотрим динамику систем на примере САР с двигателем постоянного тока, управляемого

тиристорным преобразователем. Составим для него дифференциальное уравнение, напишем передаточные функции и определим рассмотренными выше методами динамические свойства (подробнее см. регулятор скорости, гл. 4, рис. 4.57).

Структурная схема такой САР представлена на рис. 3.8.

Двигатель постоянного тока (рис. 3.9). Основным уравнением, описывающим динамику двигателя постоянного тока с независимым возбуждением, является

$$Jpn = \frac{E - cn}{R + Lp} c, \quad (3.15)$$

где J , L , R , E — соответственно приведенные к цепи якоря момент инерции, индуктивность, сопротивление и напряжение цепи якоря; n — угловая частота вращения; c — коэффициент электромеханической связи; p — оператор Лапласа.

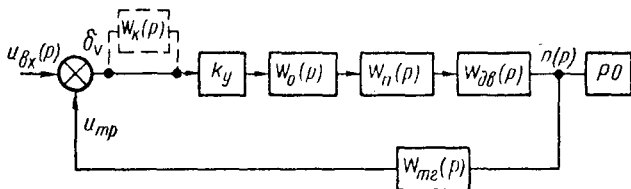
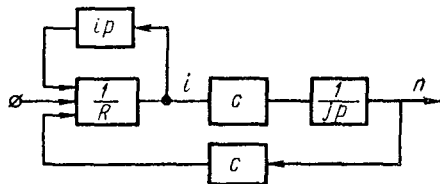


Рис. 3.8. Блок-схема следящей системы с тиристорным преобразователем

Из уравнения двигателя можно получить передаточную функцию, поделив изображение выходного сигнала на изображение, входного:

$$W_{дв}(p) = \frac{n(p)}{E(p)} = \frac{c}{JLp^2 + JRp + c^2} = \frac{k_{дв}}{T_{дв}^2 p^2 + 2\xi_{дв} T_{дв} p + 1}, \quad (3.16)$$

Рис. 3.9. Структурная схема электродвигателя постоянного тока



где $k_{дв}$ — коэффициент усиления двигателя, $k_{дв} = \frac{1}{c}$; $T_{дв} = \frac{\sqrt{JL}}{c}$; $\xi_{дв} = \frac{R}{2c} \sqrt{\frac{J}{L}}$.

При $\xi_{дв} \geq 1$

$$W_{дв}(p) = \frac{k_{дв}}{(T_m p + 1)(T_n p + 1)}, \quad (3.17)$$

где

$$T_n = \frac{L}{R}; \quad T_m = \frac{JR}{0,55c_e c_m}; \quad c_m = \frac{c_e}{1,03}; \quad c_e = \frac{u_m - i_n R}{n}.$$

Из-за влияния индуктивности дополнительных полюсов, магнитный поток которых компенсирует поток якоря, общая индуктивность уменьшается до величины, которую можно не учитывать. Тогда передаточная функция двигателя

$$W_{дв}(p) = \frac{n(p)}{E(p)} = \frac{c}{JRp + c^2} = \frac{k_{дв}}{T_M p + 1}, \quad (3.18)$$

где $T_M = \frac{JT}{c^2}$ — электромеханическая постоянная времени.

Тиристорный преобразователь вместе с системой управления можно представить как безынерционное звено с коэффициентом усиления и звено чистого запаздывания (рис. 3.10):

$$W_{п}(p) = \frac{E(p)}{u_y(p)} = k_{п} e^{-\tau p}, \quad (3.19)$$

где $k_{п}$ — коэффициент усиления тиристорного преобразователя; τ — время чистого запаздывания, зависящее от частоты напряжения сети f и числа фаз преобразователя m , $\tau = \frac{0,5}{fm}$.



Рис. 3.10. Структурная схема тиристорного управляемого преобразователя

Ограничительное звено. В качестве ограничительного звена, сдерживающего скорость нарастания входного сигнала, применяют обычное аperiodическое звено

$$W_0(p) = \frac{u_y(p)}{\delta_v k_y(p)} = \frac{1}{T_0 p + 1}, \quad (3.20)$$

где k_y — коэффициент усиления электронного усилителя; δ_v — ошибка по скорости.

Тахогенератор. Тахогенератор можно считать безынерционным звеном, поэтому его передаточная функция

$$W_{тг}(p) = \frac{u_{тг}}{n} = k_{тг}. \quad (3.21)$$

Передаточная функция разомкнутой САР (без учета корректирующего звена)

$$W_{р.с}(p) = k_y W_0(p) W_{п}(p) W_{дв}(p); \quad (3.22)$$

$$W_{р.с}(p) = \frac{k e^{-\tau p}}{(T_0 p + 1)(T_M p + 1)(T_M p + 1)},$$

где $k = k_y k_{п} k_{дв}$.

Передаточная функция замкнутой системы

$$\Phi(p) = \frac{W_{р.с}(p)}{1 + W_{р.с}(p) k_{тг}}. \quad (3.23)$$

Современные системы регулирования, применяемые, например, в металлорежущем оборудовании, описываются еще более слож-

ными линеаризованными дифференциальными уравнениями, но для простоты рассуждений проанализируем динамический режим работы рассмотренной выше САР с тиристорным преобразователем, у которой передаточная функция разомкнутой системы имеет вид

$$W_{p.c}(p) = \frac{k}{(T_{я}T_{м}p^2 + T_{м}p + 1)(T_0p + 1)}. \quad (3.24)$$

Характеристическое уравнение такой САР получается из передаточной функции разомкнутой САР, если приравнять ее знаменатель к нулю:

$$T_{я}T_{м}T_0p^3 + (T_{м}T_0 + T_{я}T_{м})p^2 + T_{м}p + 1 + k_v = 0,$$

где $k_v = k k_{о.св}$.

Переходя от p к $j\omega$ и выполнив некоторые преобразования, получим

$$-\frac{j}{T_{м}} [T_{я}T_0\omega^2 + (T_0 + T_{я})\omega + 1]\omega + k_v = 0. \quad (3.25)$$

Из этого выражения можно определить предельную частоту среза, при которой сдвиг фазы должен быть 180° .

$$\omega_{пр} = \sqrt{\frac{1}{T_{я}T_0}}.$$

Запас по фазе

$$\Delta\varphi = \arctg \frac{A_2\omega - A_0\omega^3}{A_1\omega - 1}. \quad (3.26)$$

Максимально реализуемый коэффициент усиления, при котором еще сохраняется устойчивость в системе, найдем, используя критерий Рауса—Гурвица. Для уравнения третьего порядка он имеет вид

$$A_1A_2 - A_3A_0 > 0,$$

где $A_0 = T_{я}T_{м}T_0$; $A_1 = T_{м}T_0 + T_{я}T_{м}$; $A_2 = T_{м}$; $A_3 = k_v$.

Подставим значения коэффициентов в неравенство

$$(T_{м}T_0 + T_{я}T_{м})T_{м} > k_vT_{я}T_{м}T_0;$$

откуда

$$k_v < \frac{T_{м}T_0 + T_{я}T_{м}}{T_{я}T_0}. \quad (3.27)$$

Для значений $T_{я} = 0,04$ с; $T_{м} = 0,3$ с; $T_0 = 0,007$ с

$$\omega_{пр} = 19 \text{ рад/с}, \quad k_v < 50 \text{ с}^{-1}, \quad \Delta\varphi = -50^\circ.$$

Такие значения критериев качества для контурной обработки являются недостаточными, поэтому, как правило, следующим этапом является синтез системы с помощью различных корректирующих устройств.

Анализ динамического режима САР удобно так же провести методом электронного моделирования с использованием аналоговых вычислительных машин (АВМ). Сущность этого ме-

тогда, как отмечалось выше, заключается в замене реальной САР определенной коммутацией электронных усилителей, сопротивлений, конденсаторов и других элементов, образующих электронную модель. Все процессы, происходящие в модели, должны описываться теми же дифференциальными уравнениями, что и в реальной САР. Переход от системы дифференциальных уравнений к блок-схеме, набираемой на коммутаторном поле машины, обычно осуществляется в несколько этапов. Вначале подготавливают определенным образом дифференциальные уравнения в порядке повышения или понижения степени производной либо системой дифференциальных уравнений первого порядка. В первом случае уравнение решается относительно искомой функции и отдельные решающие элементы соединяют между собой так, чтобы осуществлялось последовательное дифференцирование, за которым следует суммирование отдельных производных. Во втором случае уравнение решается относительно старшей производной от искомой функции. Для получения ее необходимо выполнить последовательно столько операций интегрирования, каков порядок старшей производной, а затем просуммировать все компоненты, составляющие старшую производную.

При составлении модели методом понижения порядка производных основу составляют интегрирующие решающие элементы. Это позволяет уменьшить влияние помех. После этого составляется структурная схема соединения решающих элементов в соответствии с данным дифференциальным уравнением. Рассчитывают коэффициенты передач отдельных решающих устройств на основании коэффициентов исходных уравнений. Из физических соображений выбирают масштаб переменных с учетом того, чтобы напряжения, соответствующие этим переменным, не превышали заданной величины.

Электронная модель САР применительно к линеаризованным дифференциальным уравнениям, описывающим электрогидравлическую САР (см. § 4.4, рис. 4.63), набирается на десяти операционных усилителях, пять из которых включены как интегрирующие решающие элементы. При расчете коэффициентов у переменных оказалось, что некоторые из них численно имеют большие значения (до нескольких сотен тысяч), реализовать которые затруднительно. Для реализации полученных значений коэффициентов вводят масштаб переменной. Масштаб переменной — это коэффициент, на который нужно умножить (или разделить) действительное значение, чтобы получить переменную в машинных единицах. В АВМ все физические переменные имеют одну природу, т. е. представлены в долях напряжения, принятого за единицу. Максимально возможное значение каждой переменной в переходном процессе не должно превышать 100 В. Кроме масштаба переменных вводят масштаб времени. Масштаб времени представляет собой отношение машинного времени к реальному. Он необходим для ограничения коэффициентов передачи усилителей.

Хотя операционные усилители, применяемые в машине, имеют высокий коэффициент усиления, для обеспечения высокой точности решения уравнений набираемый на них коэффициент усиления не превышает 100 (от 0,1—10). Нижний предел определяется точностью набора коэффициентов, а верхний — дрейфом нуля усилителей.

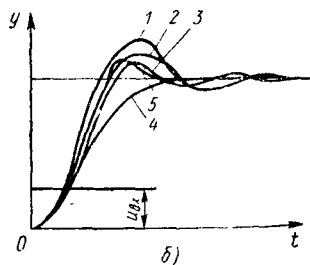
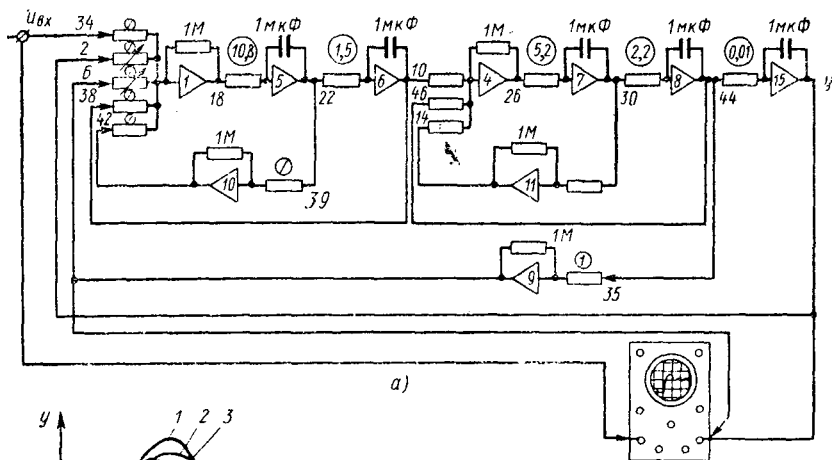


Рис. 3.11. Блок-схема электронной модели электрогидравлической следящей системы:
а — собственно блок-схема; б — типичные кривые переходного процесса модели на единичное входное воздействие

Электронная модель (рис. 3.11, а) электрогидравлической САР набрана по уравнениям:

$$A_1 \frac{d^2x}{dt^2} + A_2 \frac{dx}{dt} + A_3x = A_4i, \quad A_5 \frac{d^3y}{dt^3} + A_6 \frac{d^2y}{dt^2} + A_7 \frac{dy}{dt} = A_8x,$$

$$U_{\text{вых}_2} = U_{\text{вх}_2} K_{y_2}; \quad U_{\text{вых}_2} K_L = i; \quad U_{\text{вх}_2} = U_{\text{вых}_1} - U_{0.c_5};$$

где $U_{\text{вых}_1} = \delta K_{y_1}; \quad \delta = U_{\text{вх}} - U_{0.c_n},$

$$A_1 = J_{я.з} \left(\frac{C_{ГД}}{F_3} + K_{p_h} \right) + \left(\frac{f_3}{F_3} + K_{p_x} \right) f_{я.з} + K_{M\alpha} \frac{m_3}{F_3} + l^2 E \frac{m_3}{F_3} K_{p_h},$$

$$A_2 = f_{я.з} \left(\frac{C_{ГД}}{F_3} + K_{p_h} \right) + K_{M\alpha} \left(\frac{f_3}{F_3} + K_{p_x} \right) + \frac{f_3}{F_3} K_{p_h} l^2 E,$$

$$A_3 = \frac{C_{ГД}}{F^2} l^2 D K_{p_h}; \quad A_4 = K_{M_i} l K_{p_h},$$

$$A_5 = mV\beta \sqrt{2P_n}, \quad A_6 = V\beta f_n \sqrt{2P_n} + \mu b \sqrt{\frac{2}{\rho}} x_0 m,$$

$$A_7 = \mu b \sqrt{\frac{2}{\rho}} x_0 f_n + 2F_n^2 \sqrt{2P_n}, \quad A_8 = 2\mu b \sqrt{\frac{2}{\rho}} F_n P_n.$$

Здесь: F_n, f_n, m, β, V — конструктивные параметры, определяющие гидроцилиндр со столом; $m_3, f_3, C_{гд}$ — параметры, характеризующие золотник; $K_{рн}, F_3, E$ — конструктивные параметры гидроусилителя сопло — заслонка; $J_{я3}, f_{я3}, l, K_{M\alpha}$ — конструктивные параметры электромеханического преобразователя (ЭМП).

В кружках на схеме указаны значения коэффициентов (с учетом принятых масштабов) по соответствующим входам усилителей:

$$\left. \begin{aligned} k_{18} &= \frac{A_2}{A_1 m_t}; & k_{22} &= \frac{A_3}{A_2 m_t}; & k_{26} &= \frac{A_6}{A_5 m_t}; & k_{30} &= \frac{A_7}{A_8 m_t}; \\ k_{44} &= \frac{1}{m_t}; & k_{o. cv} &= k_8 k_{35} = i_{p. 3} k_{тr} a b k_{35}; & k_2 &= k_{o. cn} = k_{пab}, \end{aligned} \right\} (3.28)$$

где

$$a = \frac{k_{y_2} A_4 A_3}{A_1 A_2}; \quad b = \frac{A_8 A_7}{A_5 A_6};$$

$i_{p. 3}$ — коэффициент передачи речного зацепления; $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7$ — коэффициенты дифференциального уравнения.

Решением дифференциальных уравнений, которые были заложены в электронную модель, при единичном входном воздействии являются кривые переходного процесса, представленные на рис. 3.11, б. Кривые 1—5 получены без введения параллельной коррекции (скоростной обратной связи) для различных значений коэффициентов усиления. Как видно из рисунка, переходный процесс с небольшим перерегулированием можно получить и без введения коррекции (кривая 3), однако реализуемый при этом коэффициент усиления системы недостаточен. Введение параллельной коррекции позволило при сравнительно высоком коэффициенте усиления ($k_v = 75$ 1/с) получить переходный процесс требуемой формы (величина перерегулирования $\xi = 0,46$).

На рис. 3.12 показаны осциллограммы переходного процесса на единичное входное воздействие, полученные при настройке САР, в зависимости от глубины обратной связи по скорости и величины коэффициента k_v (кривые расположены по возрастающему значению k_v , на рис. 3.12, а k_v имеет минимальное значение). Кривые на рис. 3.12, д и е характеризуют сильно колебательный процесс, непригодный для использования в станках. В случаях в и г (рис. 3.12) система устойчива, но запас устойчивости ее недостаточен. Кривая на рис. 3.12, ж свидетельствует о потере устойчивости системой (расходящийся процесс). Лучшие результаты были получены для переходного процесса (рис. 3.12, б) при $\omega_0 = 77$ рад/с; $k_v = 75$; $\xi = 0,45$.

Данная электронная модель не учитывает существенную нелинейность расходной характеристики электрогидравлической САР, поэтому не позволяет дать точную количественную оценку ее работы в динамическом режиме. Введение нелинейности звеньев значительно усложнило бы модель и повысило трудоемкость всех

расчетов, связанных с подготовкой модели. Однако с помощью рассмотренной выше простой модели можно сравнительно быстро произвести качественную оценку динамики такой сложной с математической точки зрения САР. К тому же большая наглядность, присущая методу электронного моделирования, позволяет на этой модели изучать физические явления, протекающие в системе и ее звеньях, а также установить влияние отдельных параметров системы и средств коррекции на качество переходного процесса и с этой точки зрения упрощенно решить задачу оптимизации.

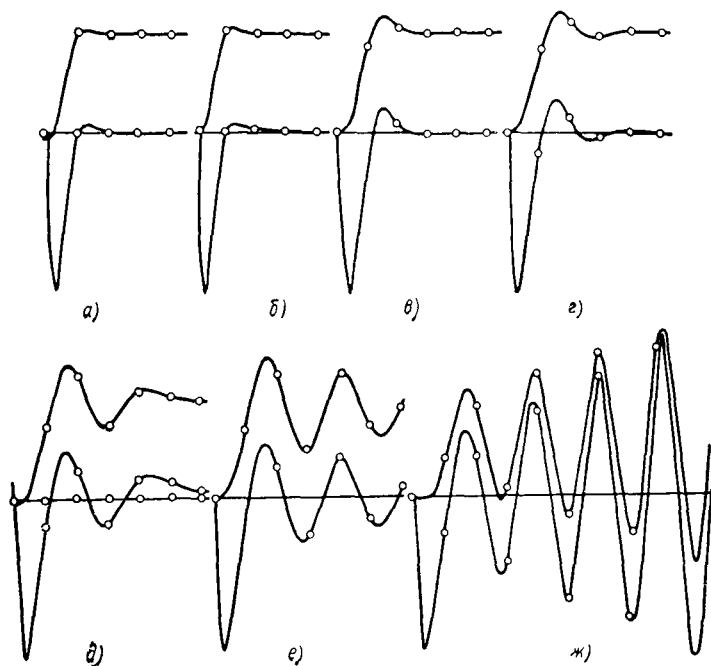


Рис. 3.12. Типичные осциллограммы переходного процесса системы на единичное скачкообразное воздействие при различных значениях коэффициента усиления

§ 3.3. СТАБИЛИЗАЦИЯ И СИНТЕЗ ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ САР

Для улучшения динамических свойств систем применяют обратные связи, устройства параллельной и последовательной коррекции. При параллельном включении жесткой обратной связи последняя постоянно подает на вход охваченного ею звена сигнал, по величине пропорциональный сигналу на выходе. Эффективность зависит от типа звеньев, охватываемых ею. Так, при охвате одного интегрирующего звена (рис. 3.13), имеющего уравнение без обратной связи,

$$p x_{\text{вых}}(p) = k x_0(p). \quad (3.29)$$

При параллельном включении жесткой обратной связи на вход интегрирующего звена будет поступать величина $x_{вх} = x_0 \pm x_1$, где $x_1 = \alpha x_{вых}$.

При положительной обратной связи x_0 складывается с воздействием обратной связи, при отрицательной вычитается. На практике чаще используют отрицательные обратные связи. При отрицательной обратной связи уравнение звена запишется так:

$$p x_{вых}(p) = k [x_0(p) - \alpha x_{вых}(p)] \quad (3.30)$$

или

$$\left(\frac{1}{\alpha k} p + 1 \right) x_{вых}(p) = \frac{1}{\alpha} x_0(p).$$

Таким образом, уравнение показывает, что интегрирующее звено, охваченное жесткой отрицательной обратной связью, эквивалентно аperiodическому звену с постоянной $T = \frac{1}{\alpha k}$ и

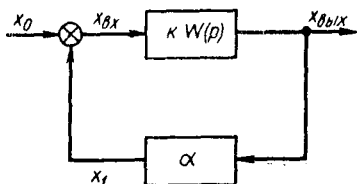


Рис. 3.13. Схема интегрирующего звена, охваченного жесткой отрицательной обратной связью

коэффициентом усиления $k = \frac{1}{\alpha}$. Такая связь изменяет аргумент вектора $k(j\omega)$ интегрирующего звена от значения $\varphi = -\frac{\pi}{2}$ до значения $\arctg \frac{-\omega}{\alpha k}$. При этом модуль R уменьшится в

$\sqrt{1 + \left(\frac{\alpha k}{\omega}\right)^2}$ раз. Чем больше глубина жесткой обратной связи α , тем меньше величина R и абсолютное значение сдвига по фазе φ .

При охвате интегрирующего звена положительной жесткой обратной связью оно превращается в неустойчивое. Охват жесткой отрицательной обратной связью двух интегрирующих звеньев не дает эффекта стабилизации, и система остается неустойчивой. Такая же связь, охватывая аperiodическое звено, позволяет уменьшить его постоянную времени, но при этом уменьшается коэффициент усиления. Положительная связь оказывает обратный эффект на аperiodическое звено.

Таким образом, жесткая обратная связь позволяет стабилизировать систему и улучшить переходный процесс, но ее действие сказывается не только на переходном, но и на установившемся режиме. Уменьшение при этом коэффициента усиления приводит к снижению статической точности. Гибкие обратные связи, также применяемые для стабилизации, действуют лишь в переходном режиме. При введении гибкой обратной связи последняя подает на вход охваченного ею звена сигнал, пропорциональный скорости, ускорению или интегралу изменения выходной величины.

Влияние гибкой параллельной коррекции можно проследить по амплитудно-частотной характеристике системы (рис. 3.14). Положим что нескорректированная система имеет передаточную функцию

$$W_0(p) = \frac{k}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} = \frac{k}{N(p)}. \quad (3.31)$$

Введем дополнительную параллельную связь по первой производной (рис. 3.14, а), тогда передаточная функция системы будет

$$W(p) = \frac{k(1 + \alpha_1 p)}{N(p)}, \quad (3.32)$$

где $\alpha_1 p = W_\alpha(p)$ — передаточная функция идеального корректирующего звена по первой производной.

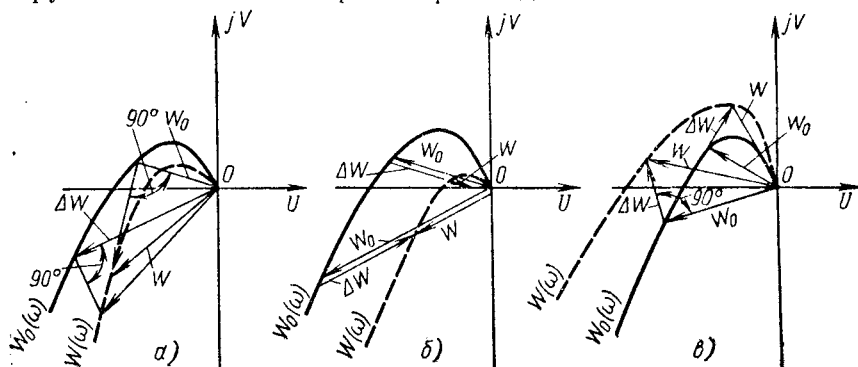


Рис. 3.14. Влияние гибкой параллельной коррекции на амплитудно-частотную характеристику

Заменяя p на $j\omega$ в уравнении (3.32), его можно представить в виде

$$W(j\omega) = W_0(j\omega) + W_0(j\omega) \alpha_1 j\omega \quad (3.33)$$

или

$$W(j\omega) = W_0(j\omega) + \Delta W.$$

Модуль дополнительного вектора ΔW определится как $W_0(j\omega) \alpha_1 \omega$, а фаза его сдвигается на $\pi/2$. В результате сложения получается новый вектор W .

При введении гибкой параллельной обратной связи по второй производной (рис. 3.14, б) увеличивается устойчивость и уменьшается колебательность. Гибкая параллельная связь по второй производной даст изменение модуля $\Delta W = -W_0(j\omega) \alpha_2 \omega^2$; $\varphi = 180^\circ$, т. е. модуль новой характеристики получится непосредственным вычитанием из модуля нескорректированной системы величины ΔW .

Амплитудно-фазовая скорректированная система имеет передаточную функцию

$$W(p) = \frac{k(1 + \alpha_2 p^2)}{N(p)}. \quad (3.34)$$

Действие этой коррекции более эффективно, чем по первой производной.

Параллельная коррекция по интегралу (рис. 3.14, в) вырабатывает воздействие

$$\Delta W = W_0(j\omega) \alpha_3 \frac{1}{j\omega}; \quad \varphi = -\frac{\pi}{2}. \quad (3.35)$$

Она ухудшает устойчивость системы, в результате

$$W(p) = \frac{\left(k + \frac{\alpha_3}{p}\right)}{N(p)}. \quad (3.36)$$

Для стабилизации применяют также средства последовательной коррекции, использующие воздействие по первой, второй производным и интегралу от сигнала ошибки, а также более сложные звенья. Способ коррекции, основанный на преобразовании сигнала ошибки с помощью устройств, включенных последовательно с объектом, называют законом регулирования. Различают статическое, астатическое и изодромное регулирование.

При статическом регулировании используют сигнал, пропорциональный отклонению ошибки. Он позволяет уменьшить статическую ошибку, но полностью не исключает ее. Системы, в которых используется такое регулирование, называются статическими. Астатическое регулирование, заключающееся в использовании сигнала, пропорционального интегралу ошибки, применяют в астатических системах. Такое регулирование позволяет полностью исключить статическую ошибку. Регулирование по производной, называемое скоростным, позволяет уменьшить колебательность системы в переходном режиме, но самостоятельного применения не имеет. Так, в сочетании с коррекцией по интегралу его применяют в изодромном регулировании, при этом улучшаются как статические характеристики (исключается статическая ошибка) так и динамические (улучшаются демпфирующие свойства).

Влияние этих средств коррекции можно также проследить по амплитудно-фазовым характеристикам, которые для линейных систем имеют математическую связь с переходным процессом. Однако эта связь достаточно сложна и поэтому затрудняет выбор параметров корректирующих средств таким методом, к тому же техническая реализация их также сложна (особенно с интегралом).

Наиболее удобно решать задачу синтеза (подбор корректирующих звеньев) методом логарифмических амплитудно- и фазочастотных характеристик [2]. Для получения корректирующего устройства, обеспечивающего заданный характер переходного процесса минимально-фазовой системы, который определяется вещественной частотной характеристикой, используют логарифмическую амплитудно-частотную характеристику.

Желаемая логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ), удовлетворяющая заданным показателям качества, состоит из трех характерных участков. Первый участок,

в области частот до первой сопрягающей частоты (см. рис. 3.3), должен быть при статических системах горизонтальным и отстоять от оси частот на величину $20 \lg k$, для астатических должен иметь наклон -20 дБ/дек. На частоте $\omega = 1$ эта прямая имеет ординату, равную $20 \lg k$ (k — коэффициент усиления системы). Этот участок определяет точность воспроизведения медленно изменяющегося воздействия. Второй участок, в области средних частот, определяет запас устойчивости и качество системы при быстроизменяющемся воздействии. Запас устойчивости определяется запасом по модулю и фазе, а быстродействие — по частоте $\omega_{\text{ср}}$. Область высоких частот ($\frac{\omega_{\text{в}}}{\omega_{\text{ср}}} \geq 6$) не оказывает значительного влияния на качество регулирования.

Построив желаемую характеристику, можно перейти к выбору корректирующего устройства, передаточная функция для которого получается путем вычета из желаемой ЛАЧХ характеристики нескорректированной системы. Рассмотрим этот метод синтеза на примере уже рассматриваемой ранее САР постоянного тока с тиристорным преобразователем, если ее передаточная функция в разомкнутом состоянии имеет вид

$$W_{\text{р.с}}(p) = W_y(p) W_{\text{п}}(p) W_{\text{дв}}(p) W_{\text{тг}}(p), \quad (3.37)$$

$$W_{\text{дв}}(p) = \frac{k_{\text{дв}}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} = \frac{29}{(0,083p + 1)(0,0092p + 1)};$$

где

$$W_y = k_y \frac{1}{T_y p + 1} = \frac{17,2}{0,005p + 1};$$

$$k_{\text{дв}} = \frac{n_{\text{н}}}{u_{\text{н}} - I_{\text{н}} R_{\text{н}}} = \frac{3000}{110 - 66,5 \cdot 0,1} = 29 \text{ [об/мин/В]};$$

$$T_{1,2} = \frac{T_{\text{м}}}{2} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4T_{\text{я}}}{T_{\text{м}}}} \right) = \frac{0,092}{2} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 0,0083}{0,092}} \right) \text{ [с]};$$

$$T_{\text{я}} = \frac{L_{\text{я}} + L_{\text{тг}}}{R_{\text{э}}} = \frac{(1,57 + 0,25) 10^{-3}}{0,22} = 0,0083 \text{ [с]};$$

$$T_1 = 0,083 \text{ с}; \quad T_2 = 0,0092 \text{ с};$$

$$T_{\text{м}} = \frac{I R_{\text{э}}}{0,55 c_{\text{е}} c_{\text{м}}} = \frac{0,045 \cdot 0,22}{9,55 \cdot 0,0345 \cdot 0,33} = 0,092 \text{ [с]};$$

$$W_{\text{п}}(p) = k_{\text{п}} e^{-\tau p} = 11 e^{-0,0033p}.$$

В числовом выражении передаточная функция для разомкнутой системы

$$W_{\text{р.с}}(p) = \frac{315 e^{-0,0033p}}{(0,083p + 1)(0,0092p + 1)(0,005p + 1)}.$$

По этой передаточной функции строят ЛАЧХ (рис. 3.15, ломаная 1, построенная без учета запаздывания).

В низкочастотной части при $\omega = 1$

$$L(\omega) = 20 \lg k = 20 \lg 315 = 50 \text{ [дБ]},$$

частота сопряжения

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0,083} = 12 \text{ [рад/с]; } \omega_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{0,0092} = 109 \text{ [рад/с];}$$

$$\omega_3 = \frac{1}{T_y} = \frac{1}{0,005} = 200 \text{ [рад/с]}.$$

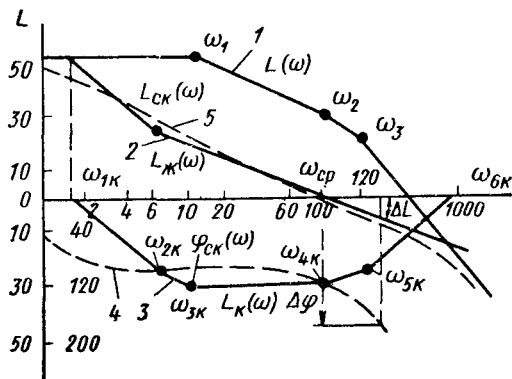


Рис. 3.15. Логарифмические амплитудно- и фазочастотные характеристики следящей системы с тиристорным преобразователем

Затем строят желаемую ЛАЧХ (ломаная линия 2). В области средних частот наклон ее должен быть -20 дБ/дек, а частота среза $\omega_{ср}$ выбирается из условия рассогласования, определяемого чистым запаздыванием:

$$\omega_{ср} = \frac{\Delta\varphi}{\tau} = \frac{19}{0,0033} \approx 100 \text{ [рад/с]},$$

где $\Delta\varphi$ — дополнительный угол отставания по фазе.

Проводя линию с наклоном -20 дБ/дек через $\omega_{ср}$ и продолжая ее вправо до пересечения с высокочастотной частью нескорректированной ЛАЧХ, получаем среднюю и высокочастотную части желаемой ЛАЧХ. В низкочастотной части на выбранной частоте $\omega = 6,5$ рад/с проводим линию с наклоном -40 дБ/дек до пересечения с низкочастотной частью нескорректированной ЛАЧХ.

В данном случае более целесообразным, учитывая высокую стабильность характеристик тиристорного преобразователя и его малую инерционность, является использование последовательной коррекции. ЛАЧХ для последовательного корректирующего устройства (ломаная линия 3) получается вычитанием, т. е.

$$L_k(\omega) = L_{ж}(\omega) - L(\omega). \quad (3.38)$$

Передаточная функция такого контура имеет довольно сложный вид:

$$W_k(p) = \frac{(T_{2к}p + 1)(T_{3к}p + 1)(T_{4к}p + 1)(T_{6к}p + 1)}{(T_{1к}p + 1)^2(T_{5к}p + 1)^2}; \quad (3.39)$$

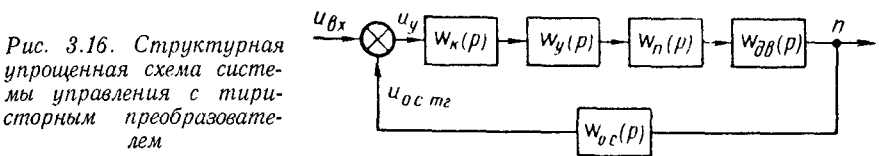
$$W_k(p) = \frac{(0,15p + 1)(0,083p + 1)(0,0092p + 1)(0,005p + 1)}{(0,65p + 1)^2(0,00114p + 1)^2},$$

где

$$T_{1к} = \frac{1}{\omega_{1к}} = \frac{1}{1,54} = 0,65 \text{ с}; \quad T_{2к} = \frac{1}{\omega_{2к}} = \frac{1}{6,5} = 0,15 \text{ с};$$

$$T_{3к} = \frac{1}{\omega_{3к}} = \frac{1}{12} = 0,083 \text{ с}; \quad T_{4к} = \frac{1}{\omega_{4к}} = \frac{1}{108} = 0,0092 \text{ с};$$

$$T_{5к} = \frac{1}{\omega_{5к}} = \frac{1}{200} = 0,005 \text{ с}; \quad T_{6к} = \frac{1}{\omega_{6к}} = \frac{1}{880} = 0,00114 \text{ с}.$$



Такую функцию имеет двойное интегро-дифференцирующее звено, включение которого выполняется в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис. 3.16.

Передаточная функция скорректированной разомкнутой системы

$$W_{p. c. ск}(p) = \frac{315e^{-0,0033p}(0,15p + 1)}{(0,65p + 1)^2(0,00114p + 1)^2}.$$

Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика скорректированной разомкнутой системы (см. рис. 3.15, ломаная 5)

$$L_{ск}(\omega) = 20 \lg \frac{k \sqrt{(0,15)^2 \omega^2 + 1}}{[(0,65)^2 \omega^2 + 1][(0,00114)^2 \omega^2 + 1]}.$$

Фазовая ЛАЧХ этой системы (кривая 4)

$$\varphi_{ск}(\omega) = -\arctg 0,0033\omega + \arctg 0,15\omega - \\ - 2 \arctg 0,65\omega - 2 \arctg 0,00114\omega.$$

Амплитудная и фазовая логарифмические частотные характеристики рассчитаны по точкам для различных значений ω . На рис. 3.15 они представлены кривыми 5 и 4.

Запас по модулю ΔL определяется на частоте, при которой фазовый сдвиг равен -180° , $\Delta L = -9$ дБ/дек. Запас по фазе определяется на частоте $\omega_{ср}$: $\Delta\varphi = -56^\circ$.

Для проверки динамических свойств скорректированной системы строится кривая переходного процесса частотным методом.

Передаточная функция замкнутой системы

$$\Phi(p) = \frac{u_{o.c}(p)}{u_{вх}(p)} = \frac{W_{p.c.ck}(p)}{1 + W_{p.c.ck}(p)}, \quad (3.40)$$

где

$$W_{p.c.ck}(p) = W_k(p) W_y(p) W_n(p) W_{дв}(p) W_{тг}(p).$$

Кривая переходного процесса (рис. 3.17, в) строится по вещественной характеристике замкнутой системы $P(\omega)$ (рис. 3.17, а

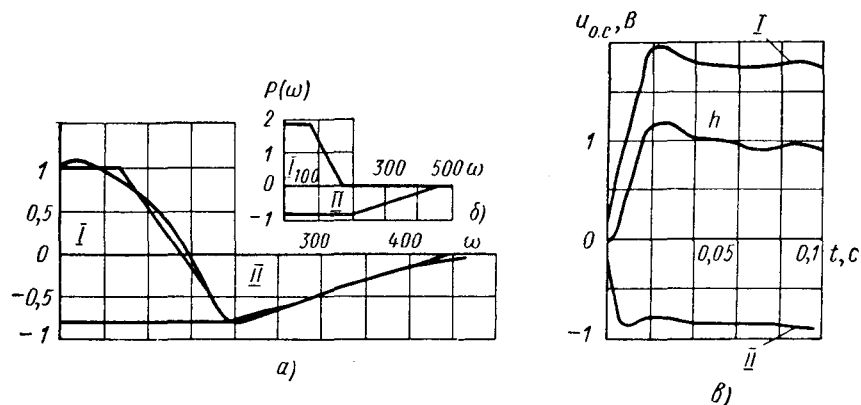


Рис. 3.17. Частотные характеристики (а, б) и кривая переходного процесса (в) замкнутой системы с тиристорным преобразователем

и б), которая получается по известным ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой скорректированной системы. Результаты расчета [20] сведены в табл. 3.1.

Вещественную характеристику $P(\omega)$ (рис. 3.17, а) можно представить в виде ломаной линии, состоящей из трех прямолинейных участков, образованных трапециями I и II, параметры которых сведены в табл. 3.2. Задаваясь различными значениями условного времени τ , для каждой трапеции из табл. 3.3 h -функций находим $h(\tau)$. Условное время τ пересчитывается в действительное $t = \frac{\tau}{\omega_0}$. Значения h -функций преобразуются в значения искомой величины $u_{o.c}(t) = h(\tau)P(0)$. Значение характеристики $P(0)$ см. в табл. 3.2. В этой таблице ω_d и ω_0 — граничные частоты, определяющие участки вещественной характеристики. Расчет сведен в табл. 3.3.

Алгебраически складывая две кривые переходного процесса от I и II трапеции (кривые I и II на рис. 3.17, в), получим кривую переходного процесса скорректированной системы на единичное входное воздействие (рис. 3.17, в, кривая h).

Перерегулирование составляет

$$h = \frac{u_{o.c. \max} - u_{o.c. \text{уст}}}{u_{o.c. \text{уст}}} 100 = \frac{1,18 - 1}{1} 100 = 18\%.$$

Таблица 3.1

ω в рад/с	0	20	70	120	160	200	300	400
$L_{\text{СК}}(\omega)$ в дБ	—	16	4	-1	-3,5	-4	-9,5	-12,5
$\varphi_{\text{СК}}(\omega)$ в град	—	-109	-114	-130	-144	-157	-186	-218
$P(\omega)$	1	1,03	0,84	0,35	-0,25	-0,76	-0,5	-0,18

Таблица 3.2

Трапеция	$P(0)$	ω_0 в рад/с	ω_d в рад/с	x
I	1,8	200	70	0,35
II	-0,8	450	200	0,445

Таблица 3.3

I трапеция	τ	2	4	8	12	16	20	24	28
	$h(\tau)$	0,761	1,09	1,011	0,994	0,992	1,001	1,006	0,999
	$u_{o.c}(t)_I$	1,37	1,96	1,82	1,79	1,78	1,8	1,8	1,8
	t	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14
II трапеция	τ	4,5	9	13,5	18	22,5	27	36	45
	$h(\tau)$	1,128	0,979	0,989	1,01	0,999	0,997	1,001	1,001
	$u_{o.c}(t)_{II}$	0,9	0,784	0,791	0,808	0,8	0,798	0,8	0,8
	t	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,1

Для получения кривой переходного процесса скорости двигателя $n = f(t)$ при $u_{\text{вх}}(p) \neq 1$

$$n(t) = \frac{u_{o.c}(t) u_{\text{вх}}}{k_{\text{ТГ}}}, \quad (3.41)$$

где $u_{o.c}(t)$ — ординаты полученной кривой.

§ 3.4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ САР

Экспериментальное определение состоит из испытания отдельных устройств систем и комплексного испытания всей системы. Несмотря на то, что при разработке современных систем широко используют унифицированные узлы, изготавливаемые в за-

водских условиях, на которые в соответствующих ГОСТах имеются требуемые технические характеристики, их приходится уточнять, так как, работая в той или иной системе, они могут сильно изменять свои характеристики в зависимости от схемы управления.

При комплексном испытании системы устанавливаются, в какой степени система удовлетворяет техническим требованиям и в первую очередь требованиям по устойчивости, точности и быстродействию.

Статическую составляющую ошибки (для статических систем) определяют при подаче на вход системы сигнала постоянной величины, соответствующей повороту ее выходного вала на определенный угол (или его линейному перемещению). После того как система отработает заданную величину и выходной вал остановится, определяют разность между заданным и фактическим перемещениями, т. е. статическую составляющую ошибки.

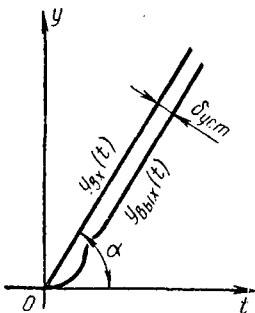


Рис. 3.18. Определение ошибки в установившемся режиме при входном сигнале, изменяющемся с постоянной скоростью

Ошибку в установившемся режиме ($\delta_{уст}$) измеряют по осциллограмме при движении выходного вала с постоянной скоростью, с постоянным ускорением после его стабилизации (рис. 3.18). Устойчивость системы и динамическую составляющую определяют по вынужденным колебаниям выходного вала на гармонически изменяющийся входной сигнал и по собственным колебаниям на скачкообразное входное воздействие.

Последний метод является удобным при экспериментальном испытании систем (как указывалось выше), так как значения критериев качества получаются непосредственно по кривой переходного процесса (кривой движения выходного вала), наблюдаемой на экране осциллографа.

При подаче на вход системы, имеющей передаточную функцию $W(j\omega)$, единичного скачка с изображением $x_{вх}(j\omega) = 1(t)$ на выходе ее будет иметь место переходная функция

$$h(t) = W(j\omega) x_{вх}(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (3.42)$$

Аналогично можно написать выражение для реакции системы на входной сигнал, изменяющийся пропорционально скорости $x_{вх}(j\omega) = -\frac{v}{\omega^2}$ (при $v = \text{const}$). Типичная осциллограмма переходной функции для линейной системы (при разных значениях коэффициента усиления) представлена на рис. 3.19, а, б, в.

О критериях качества при вынужденных колебаниях выходного вала (рис. 3.20, а) нельзя судить непосредственно из осцил-

лограмм. Приходится снимать несколько осциллограмм для фиксированных значений частот входного сигнала, по которым измеряют сдвиг фазы ($\Delta\varphi$) и отношение амплитуд колебаний выходного вала к входному ($\frac{A_{\text{ВЫХ}}}{A_{\text{ВХ}}}$). По этим данным строят частотные характеристики.

Режим вынужденных колебаний от гармонически изменяющегося входного воздействия вида $x_{\text{ВХ}}(t) = A_{\text{ВХ}} \sin \omega t$ после некоторого переходного процесса запишется в общем виде для линейной устойчивой системы:

$$x_{\text{ВЫХ}}(\omega_i) = A_{\text{ВЫХ}}(\omega_i) \sin [\omega_i t + \varphi(\omega_i)]. \quad (3.43)$$

На выходе линейной системы колебания также носят синусоидальный характер, но отличаются от входных амплитудой и фазой.

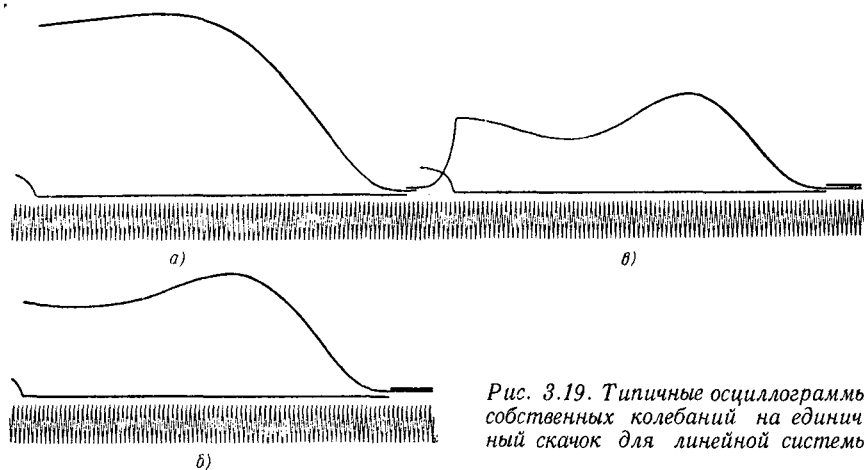


Рис. 3.19. Типичные осциллограммы собственных колебаний на единичный скачок для линейной системы

Если система содержит внутренний источник помех или на нее подается помеха со стороны (см. осциллограмму на рис. 3.23, кривая I_y), на выходе исследуемой системы одновременно с полезным сигналом имеет место помеха $n(t)$ (рис. 3.20, б) в виде суммы периодической $n_{\text{п}}(t)$, как правило, высокочастотной, и случайной $n_{\text{сл}}(t)$ составляющих. Тогда

$$x_{\text{ВЫХ}}(\omega_i) = A_{\text{ВЫХ}}(\omega_i) \sin [\omega_i t + \varphi_{\text{ВЫХ}}(\omega_i)] + n_{\text{п}}(t) + n_{\text{сл}}(t). \quad (3.44)$$

Для нелинейной устойчивой системы картина вынужденных колебаний несколько изменяется. Представив синусоидальный сигнал как $x_{\text{ВХ}}(t) = A_0 + A_1 \sin \omega_i t$, что соответствует случаю определения коэффициента гармонической линеаризации при симметричных колебаниях на входе, на выходе нелинейной системы без учета помех (рис. 3.20, в) будем иметь

$$x_{\text{ВЫХ}}(t) = A_{\text{ВЫХ}0} + A_{\text{ВЫХ}1} \sin(\omega_i t + \varphi_{\text{ВЫХ}1}) + \sum_{n=2}^{n=\infty} A_{\text{ВЫХ}n} \sin(n\omega_i t + \varphi_{\text{ВЫХ}n}), \quad (3.45)$$

где $A_{\text{вых}0}$ — постоянная составляющая на выходе исследуемой системы при $A_0 = A_{0i}$, $A = A_i$ и $\omega = \omega_i$; $A_{\text{вых}n}$ и $\varphi_{\text{вых}n}$ — амплитуда и фазовый сдвиг n -й гармоники периодических колебаний на выходе.

При наличии помехи в нелинейной системе (рис. 3.20, г) режим вынужденных колебаний запишется так:

$$u_{\text{вых}}(t) = A_{\text{вых}0} + A_{\text{вых}1} \sin(\omega_i t + \varphi_{\text{вых}1}) + \sum_{n=2}^{n=\infty} A_{\text{вых}n} \sin(n\omega_i t + \varphi_{\text{вых}n}) + n_{\text{п}}(t) + n_{\text{сл}}(t). \quad (3.46)$$

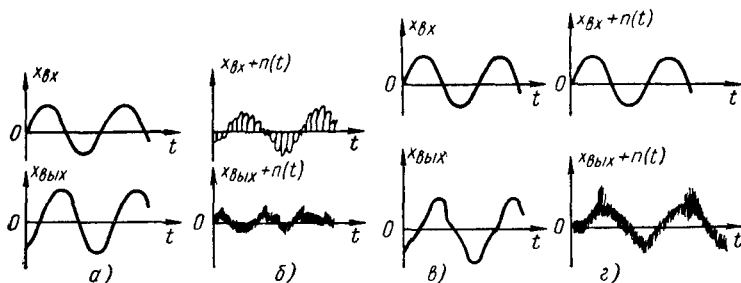


Рис. 3.20. Вынужденные колебания:

а — линейной системы без помех; б — линейной системы с помехами; в — нелинейной системы без помех; г — нелинейной системы с помехами

Иногда (для нелинейных систем) исследуют движение выходного вала при входном сигнале треугольной, прямоугольной, импульсной формы, изменяющимся с постоянным ускорением, а также при рассмотренном ранее сигнале с переменной амплитудой. Все эти исследования проводят как для ненагруженного (холостого) режима, так и под нагрузкой.

В качестве приборов, применяемых при экспериментальном исследовании систем, часто используют комплект низкочастотной аппаратуры в который входят стабилизированный источник питания постоянного тока (ЭСВ-6м и др.), генератор низкочастотных колебаний (НГПК-3м и др.), низкочастотный фазометр (НФ-3м), двойной пиковый вольтметр (ДПВ-3), для записи кривых движения выходного вала удобно использовать быстродействующие шлейфовые осциллографы (Н-700, Н-105, Н-102), а для визуального наблюдения — электронные индикаторы с послесвечением экрана (И-5 и др.).

При исследовании вынужденных колебаний удобно также пользоваться двухкоординатными самопишущими потенциометрами (например, ПДС-021м), которые позволяют непосредственно записывать амплитудно-частотную характеристику системы или ее элементы, а также различными анализаторами. При экспериментальных исследованиях систем применяют малые вычислительные машины непрерывного действия (МН-7, МН-7м и др.), которые

позволяют значительно упростить испытательные стенды, сократить трудоемкость исследований, повысить точность измерений.

Аналоговые машины представляют собой набор унифицированных быстродействующих электронных усилителей, точных сопротивлений, емкостей типовых нелинейных элементов, точных измерительных цепей со шкальными приборами и электронным индикатором, стабилизированных источников постоянного тока, точных делителей, цепей быстрого запуска и других устройств. Входы и выходы этих устройств компактно размещены на коммутационном поле машины, что упрощает пользование ими в условиях многократной переналадки при эксперименте. Например, операционные усилители постоянного тока, имея глубокую обратную связь, обладают небольшим дрейфом нуля, который к тому же удобно скомпенсировать поднастройкой. Они позволяют передать сигнал с высокой точностью и поэтому могут быть использованы как по своему прямому назначению в качестве усилительных устройств, так и в качестве сравнивающих устройств, устройств для развязки различных цепей, для создания активных корректирующих звеньев. Нормированные нелинейные звенья на диодах могут быть использованы при построении нелинейной коррекции, необходимой для улучшения динамических качеств исследуемой системы. Приданный машине электронный индикатор, имеющий экран с послесвечением, удобен для визуального наблюдения процессов, протекающих в системе и ее звеньях при настройке или выборе соответствующих корректирующих звеньев. С помощью машины легко осуществляется задание входного сигнала в виде скачка, сигнала, изменяющегося с постоянной скоростью или с постоянным ускорением, а использование совместно с машиной генератора низкочастотных колебаний обеспечивает получение практически всех типовых сигналов (синусоидальной, прямоугольной, пилообразной и импульсной формы). Применение точных масштабных делителей в задающих цепях позволяет быстро и точно изменять амплитуду входного сигнала без дополнительных промежуточных измерений.

Рассмотрим получение типовых сигналов с помощью устройств АВМ. Сигнал ступенчатой формы можно получить (рис. 3.21), подключив источник стабилизированного напряжения (100 В) через клеммы «начальные условия» *НУ* и масштабный делитель *МД* на вход усилителя. Замыкая контакт *В1*, входной сигнал одновременно подается в систему, записывается с помощью шлейфа *Ш1* и наблюдается визуально на электронном индикаторе *ЭИ*. Подключение через *НУ* позволяет воспользоваться системой запуска машины от кнопки «Пуск», что обеспечивает сигнал с точно фиксированным началом.

При настройке цепи уровень входного сигнала можно бесступенчато регулировать ручкой *НУ* и ступенчато с помощью *МД*. Для получения входного сигнала, изменяющегося с постоянной скоростью, необходимо в рассмотренную выше цепь ввести интегра-

тор. Его функцию может выполнить все тот же операционный усилитель У1, если в его обратную связь включить вместо сопротивления емкость. Величина скорости изменения входного сигнала

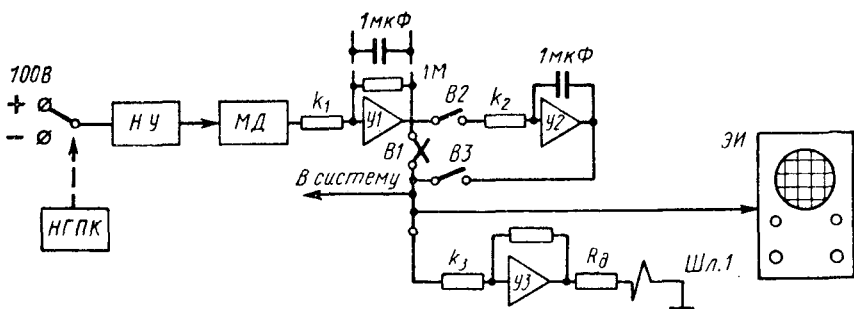


Рис. 3.21. Схема получения типовых входных сигналов с помощью устройства АВМ:
 k_1, k_2, k_3 — коэффициенты усиления усилителей У1, У2, У3

определяется уровнем напряжения, поданного на вход усилителя-интегратора У1, и имеет вид прямой, наклонной под углом α (см. рис. 3.18). Введение в эту цепь еще одного интегратора У2

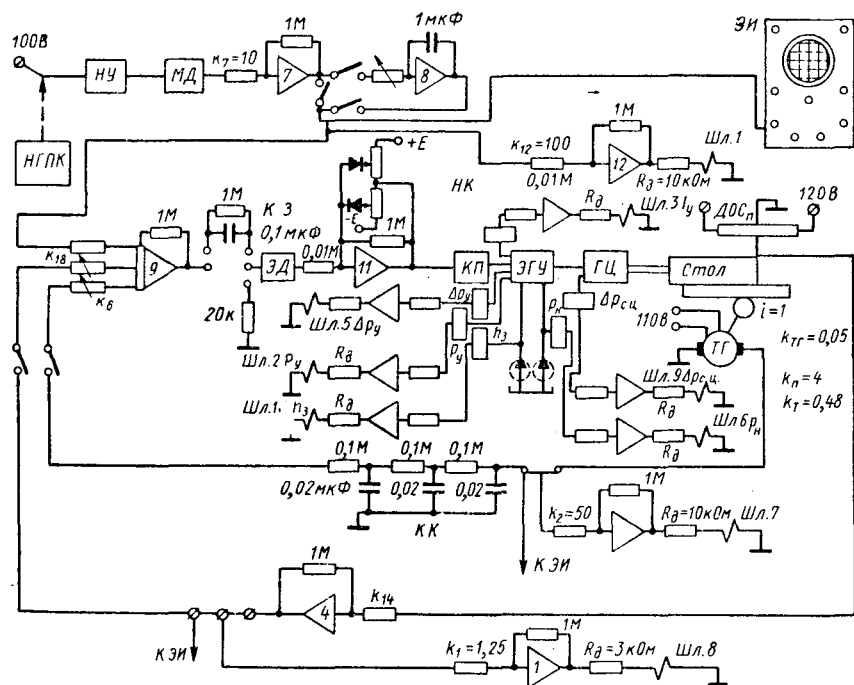


Рис. 3.22. Блок-схема испытательного стенда для исследования электрогидравлической следящей системы с использованием малой вычислительной машины непрерывного действия

позволит получить входной сигнал, изменяющийся с постоянным ускорением (при этом $B1$ разомкнут, а $B2$ и $B3$ замкнуты).

Гармонически изменяющийся входной сигнал нецелесообразно получать набором на АВМ, так как сложно изменять с помощью схемы частоту и амплитуду входного сигнала. Его удобно полу-

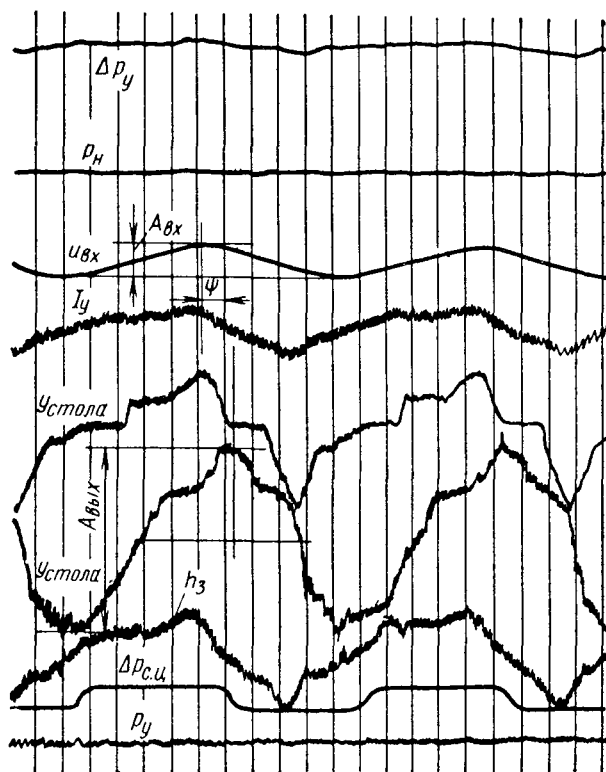


Рис. 3.23. Типичная осциллограмма вынужденных колебаний электрогидравлической следящей системы:

$u_{вх}$ — гармонически изменяющийся входной сигнал; I_y — изменение тока в обмотке ЭМП; $u_{стола}$ — колебания выходного вала системы (движение стола)

чить, используя рассмотренную цепь, подключив вместо источника постоянного тока генератор НГПК. В этом случае в задающей цепи остается один операционный усилитель $У1$ (в цепи обратной связи устанавливаются сопротивление), замыкается контакт $B1$, а $B2$ и $B3$ размыкаются. По этой же схеме (при необходимости) можно задавать треугольные, прямоугольные, пилообразные и импульсные сигналы.

Для примера, иллюстрирующего возможности применения АВМ для экспериментального исследования реальных систем,

приведем блок-схему испытательного стенда (рис. 3.22), созданного для исследования рассмотренной выше электрогидравлической следящей системы с цилиндром. В качестве элементов этой системы использованы: операционный усилитель У9, выполняющий роль дискриминатора (сравнивающего устройства); усилитель У11, на котором набрана нелинейная коррекция, причем в качестве последней использована одна из типовых нелинейностей, имеющихся в машине. Из потенциометров и емкостей машины

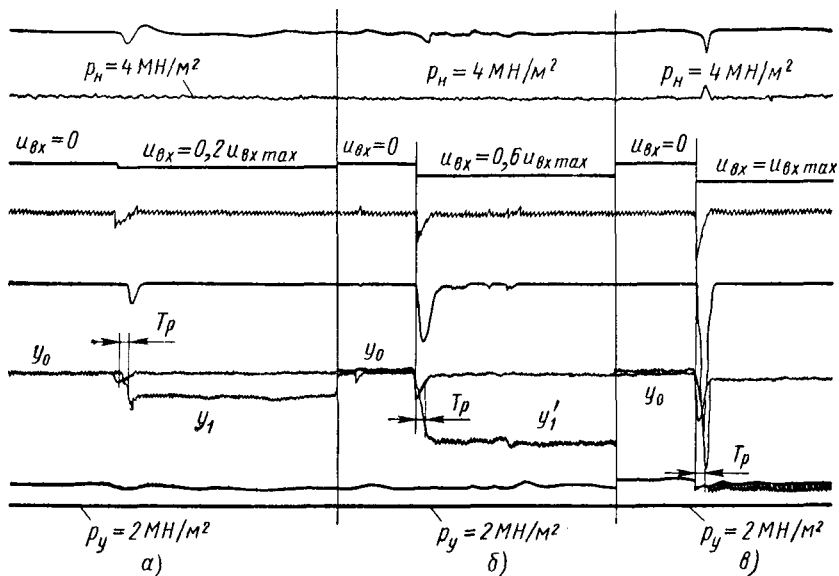


Рис. 3.24. Типовой переходный процесс электрогидравлической следящей системы на единичный скачок различной величины:

$u_{вх}$ — изменение входного сигнала; y_1 — колебания выходного вала (стола); y_0 — положение выходного вала при отсутствии сигнала управления

набрано и другое корректирующее звено КЗ. Частично использовались элементы машины для построения корректирующего контура (КК) в цепи обратной связи по скорости. В измерительных цепях стенда использованы операционные усилители У1, У2, У12, в задающей цепи — У7, У8 и другие элементы.

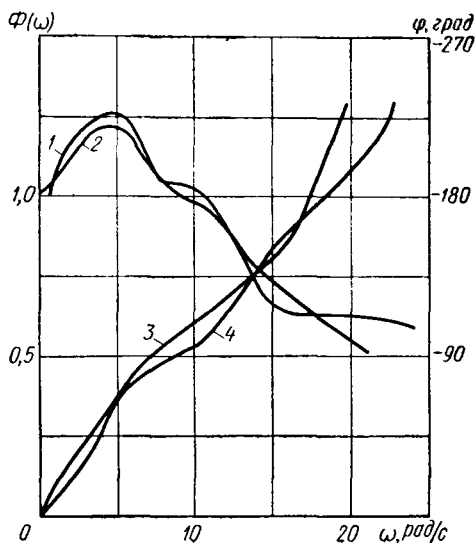
На рис. 3.23 и 3.24, а, б, в показаны типичные осциллограммы переходной функции и вынужденных колебаний электрогидравлической системы, где $u_{вх}(t)$ изображает входной сигнал, а $y(t)$ — выходной. Вид вынужденных колебаний (рис. 3.23) показывает, что рассматриваемая система нелинейна, причем на вынужденные колебания ее накладывается высокочастотная помеха. Без учета высокочастотных гармоник на основании этих осциллограмм построены амплитудно- и фазочастотные характеристики замкнутой системы, которые представлены на рис. 3.25. Примером вы-

нужденных колебаний устройства, близких к линейным, можно считать кривую I_y (см. рис. 3.23).

Переходная функция рассматриваемой системы (собственное движение) на скачкообразно изменяющейся входной сигнал с различным значением амплитуды показана на рис. 3.24. Как видно

Рис. 3.25. Амплитудно- и фазочастотные характеристики замкнутой электрогидравлической системы:

1, 2 — амплитудно-частотные характеристики системы на холостом ходу и под нагрузкой; 3, 4 — соответственно их фазочастотные характеристики



из рисунка, устойчивость системы и критерии качества регулирования с изменением амплитуды входного сигнала от $0,2u_{\text{вх max}}$ до номинального существенно не изменяются.

§ 3.5. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Рассмотрим основные положения линейной теории автоматического регулирования для анализа точности и производительности систем программного управления металлорежущих станков, так как наиболее жесткие требования предъявляют именно к ним. Требования к точности работы отдельных узлов СПУ должны обуславливаться величиной вносимой ими ошибки и фильтрацией этой ошибки последующими элементами.

Рассматривая систему программного управления как канал связи и регулирования, следует отметить, что исходная информация, заключенная в чертеже и технических условиях на выполнение данного технологического процесса, при передаче претерпевает в ней различные превращения, при которых возможна потеря информации, что вызывает появление ошибок. Эти ошибки носят систематический и случайный характер. Ошибки появляются при подготовке программ в результате округления чисел и аппро-

ксимации контура; в интерполяторе — ошибки собственные (аппаратные), а также ошибки, связанные с квантованием. В узле считывания пульта управления, например при считывании магнитной ленты, ошибки появляются от перекосов магнитных головок, от перекосов магнитной ленты, неплотности ее прилегания, засорения рабочей щели головок, несинхронности скорости протягивания. Ошибки имеют место в импульсно-аналоговом преобразователе, а также в приводе и системе станок — приспособление — инструмент — деталь (СПИД). В системе СПИД ошибки могут быть связаны с колебанием силы резания (из-за неоднородности обрабатываемого материала, неодинаковости снимаемого припуска, недостаточной жесткости режущего инструмента), или возникнуть из-за биения шпинделя и температурных деформаций.

В приводе СПУ ошибки являются следствием его недостаточного быстрогодействия, недостаточной точности датчика обратной связи, недостаточной стабильности характеристик привода, связанных с нелинейностями (силы сухого трения в механизмах, нежесткость стыков, негерметичность гидравлических конструкций, сжимаемость жидкостной рабочей среды), с колебанием подводимой энергии питания, с изменением входного сигнала. Ошибки в приводе можно рассчитать, используя теорию автоматического регулирования.

Ошибки системы СПИД являются самостоятельным вопросом, рассматриваемым в других курсах. К тому же для большинства приборостроительных задач эти ошибки незначительны, так как силы резания здесь невелики, а в координатографах и другом фотолитографическом оборудовании и в измерительных машинах они вообще отсутствуют. Для снижения температурных погрешностей оборудование устанавливают в термokonстантном помещении.

Ошибки, связанные с потерей информации, при ее передаче в СПУ, как по каналу связи, рассчитывают, используя теорию информации (теоремы Шеннона, Котельникова и др.). Но ошибки, обусловленные несовершенством приводов, значительно больше их по величине, поэтому основное внимание при дальнейшем рассмотрении обратим на ошибки приводов, работающих в СПУ.

Основной ошибкой замкнутого привода СПУ, имеющего точный датчик обратной связи, является ошибка по рассогласованию δ_x , которая определяется как разность математического ожидания выходного и входного сигналов:

$$\delta_x = M_{\text{вых}} - M_{\text{вх}}. \quad (3.47)$$

В общем виде эта ошибка по каждой из координат зависит от передаточной функции системы по ошибке и от входного сигнала.

При воспроизведении контура в основном имеют место два типа входных сигналов в виде полинома n -й степени и гармони-

чески изменяющегося сигнала, для которых математическое ожидание по одной из координат имеет соответственно вид:

$$\left. \begin{aligned} M_{\text{вх } x}(t)_1 &= M_{0x} + M_{\text{вх } x}^{(1)}(t) + M_{\text{вх } x}^{(11)}(t) + \dots + M_{\text{вх } x}^{(n)}(t); \\ M_{\text{вх } x}(t)_2 &= A_0 + \sum_1^n (A_n \cos \omega_n t + B_n \sin \omega_n t), \end{aligned} \right\} (3.48)$$

где $M_{\text{вх } x}(t)_1$ — математическое ожидание входного сигнала, выраженного полиномом n -й степени; $M_{\text{вх } x}^{(1)}(t)$, $M_{\text{вх } x}^{(11)}(t)$, \dots , $M_{\text{вх } x}^{(n)}(t)$ — производные первой, второй и т. д. n -й степени от математического ожидания входной переменной; $M_{\text{вх } x}(t)_2$ — математическое ожидание входного сигнала, выраженного гармонически изменяющимся сигналом; A_0 , A_n , B_n — амплитуды составляющих гармонического входного сигнала, а ω_n — его частота.

Первый тип входных сигналов имеет место при воспроизведении участков контура типа прямой линии и мест сопряжения пересекающихся прямых. При воспроизведении участков прямой во входном сигнале производные от математического ожидания выше первой степени отсутствуют, а для сопряжений прямых с достаточной для практики точностью можно учитывать лишь три первых составляющих, включая производную по ускорению.

Гармонический входной сигнал имеет место при воспроизведении дуг окружностей и их сопряжений. Как показывает статистика, контуры деталей, обрабатываемых на станках с программным управлением, в большинстве состоят из участков прямых, параллельных или наклонных к осям координат, дуг окружностей и их сопряжений.

Таким образом, учитывая эти два типа входных сигналов, мы охватываем в основном все встречающиеся случаи при обработке.

Ошибка δ_x , связанная с преобразованием и переработкой информации в системе, для двух типов входных сигналов соответственно может быть записана для координаты x :

$$\left. \begin{aligned} \delta_{x1} &= D_{0x} M_{\text{вх } x}(t) + D_{1x} M_{\text{вх } x}^{(1)}(t) + D_{2x} M_{\text{вх } x}^{(11)}(t); \\ \delta_{x2} &= \sum_1^n |W(j\omega_n)| \{ A_n \cos [\omega_n t + \varphi(j\omega_n)] + B_n \sin [\omega_n t + \\ &+ \varphi(j\omega_n)] \} - \sum_1^n (A_n \cos \omega_n t + B_n \sin \omega_n t), \end{aligned} \right\} (3.49)$$

где δ_{x1} — ошибка системы при входном сигнале типа полином n -й степени; D_{0x} , D_{1x} , D_{2x} — коэффициенты ошибок по координате x соответственно статической, по скорости и ускорению;

$$D_{0x} = W_x(0) - 1; \quad D_{1x} = W^{(1)}(0);$$

$$D_{2x} = W^{(11)}(0); \quad D_{nx} = \frac{1}{n!} W^{(n)}(0) - k_n;$$

$W_0^{(n)}$ — производная n -й степени по передаточной функции системы при $j\omega = 0$; $W_x(j\omega_n)$; $\varphi(j\omega_n)$ — соответственно амплитудная и фазовая частотные характеристики системы; $|W_x(j\omega_n)|$ — модуль амплитудно-частотной характеристики системы.

Таким образом, ошибки системы, полученные для двух типов входных воздействий, являются типичными для большинства случаев, встречающихся при обработке. Для более сложных случаев эквидистанту можно представить суммой синусоид с амплитудами, меняющимися по показательному закону. Рассмотрим

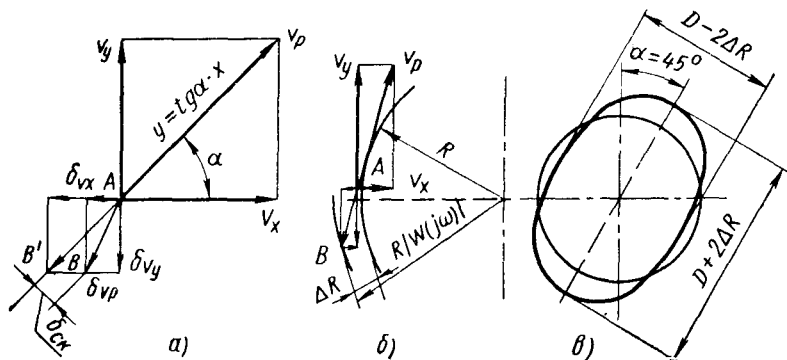


Рис. 3.26. Определение ошибки на прямой (а), окружности (б) и искажение ее формы вследствие несовершенства системы (в)

ошибки в трех характерных случаях: движение инструмента по прямой с постоянной скоростью и постоянным ускорением по осям, по окружности и под прямым углом или под углом, близким к прямому.

Движение по прямой с постоянной скоростью по осям (рис. 3.25, а). Прямая наклонена к осям координат под углом α . Математическое ожидание входной функции по координатам x и y

$$M_{vx}(t) = v_x t; \quad M_{vy}(t) = v_y t, \quad (3.50)$$

где $v_x = v_p \cos \alpha$ и $v_y = v_p \sin \alpha$ — скорости движения по осям, причем v_x и v_y постоянны.

Соответственно ошибки по координатам для астатических систем первого порядка:

$$\delta_{vx} = D_{1x} v_x; \quad \delta_{vy} = D_{1y} v_y, \quad (3.51)$$

где D_{1x} и D_{1y} — коэффициенты ошибок по скорости для координат x и y .

При двухкоординатной обработке по наклонной прямой результирующая ошибка по скорости $\delta_{ск}$ определяется как расстояние от фактического положения центра фрезы с координатами $x_A = v_x (1 - D_{1x})$; $y_A = v_y (1 - D_{1y})$ до прямой $y = x \operatorname{tg} \alpha$:

$$\delta_{ск} = -x_A \sin \alpha + y_A \cos \alpha = 0,5 v_p (D_{1x} - D_{1y}) \sin 2\alpha. \quad (3.52)$$

Для систем, имеющих одинаковые коэффициенты ошибок по скорости $D_{1x} = D_{1y}$, ошибка по скорости не вызывает погрешности обработки, а приводит лишь к отставанию вдоль прямой точки B , не изменяя эквидистанты. Если коэффициенты D_{1x} и D_{1y} не одинаковы, то фактическое положение центра фрезы окажется в точке B' и будет иметь место искажение контура на величину $\delta_{ск}$. Наибольшее значение эта ошибка будет иметь при наклоне прямой под углом 45° .

Движение по прямой с постоянным ускорением. Математическое ожидание входных функций по координатам x и y

$$M_{вх x} = 0,5A_x t^2; \quad M_{вх y} = 0,5A_y t^2, \quad (3.53)$$

где A_x и A_y — ускорения по координатам, имеющие постоянную величину ($A_x = A \cos \alpha$; $A_y = A \sin \alpha$).

$$\delta_{Ax} = D_{1x}v_x + D_{2x}A_x; \quad \delta_{Ay} = D_{1y}v_y + D_{2y}A_y, \quad (3.54)$$

где D_{2x} и D_{2y} — коэффициенты ошибок по ускорению для координат x и y .

Результирующая ошибка δ_A при двухкоординатной обработке определится аналогично рассмотренной выше скоростной ошибке:

$$\delta_A = 0,5[v_p(D_{1x} - D_{1y}) + A(D_{2x} - D_{2y})] \sin 2\alpha. \quad (3.55)$$

Эта ошибка будет равна нулю для систем, имеющих одинаковые коэффициенты ошибок по скорости и ускорению, и будет иметь максимальное значение при неидентичности систем при $\alpha = 45^\circ$. Неидентичность систем может быть следствием изготовления, настройки, но в большей степени нелинейности их характеристик, поэтому создание идентичных систем по координатам, близким к линейным, позволит свести ошибки по преобразованию исходной информации к допустимому минимуму.

Обработка окружности с постоянной результирующей скоростью. Математическое ожидание входных сигналов по координатам x и y

$$M_{вх x} = R \cos \omega t; \quad M_{вх y} = R \sin \omega t, \quad (3.56)$$

где $\omega = \frac{v_p}{R}$; R — радиус окружности.

Ошибку по координатам можно записать, используя ранее приведенные формулы (3.49) и (3.56):

$$\begin{aligned} \delta_x(t) &= |W_x(j\omega)| \{R \cos[\omega t + \varphi_x(j\omega)] - R \cos \omega t\}; \\ \delta_y(t) &= |W_y(j\omega)| \{R \sin[\omega t + \varphi_y(j\omega)] - R \sin \omega t\}. \end{aligned} \quad (3.57)$$

Для идентичных систем, у которых $W_x(j\omega) = W_y(j\omega)$, приведенные уравнения представляют собой разность параметрических уравнений окружности заданного радиуса R и радиуса $R|W(j\omega)|$ (рис. 3.26, б). При этом общая ошибка

$$\delta = R [1 - |W(j\omega)|]. \quad (3.58)$$

Результирующую ошибку, разложив в ряд, можно представить в виде амплитудной и фазовой составляющих:

$$|\delta| = R \sqrt{A^2 + B^2},$$

где $A = -C_2\omega^2 + C_4\omega^4 - \dots$; $B = C_1\omega - C_3\omega^3 + C_5\omega^5 - \dots$;

$$\varphi(\delta) = \operatorname{arctg} \frac{C_1\omega - C_3\omega^3 + C_5\omega^5 - \dots}{-C_2\omega^2 + C_4\omega^4 - \dots}, \quad (3.59)$$

где C — коэффициент разложения.

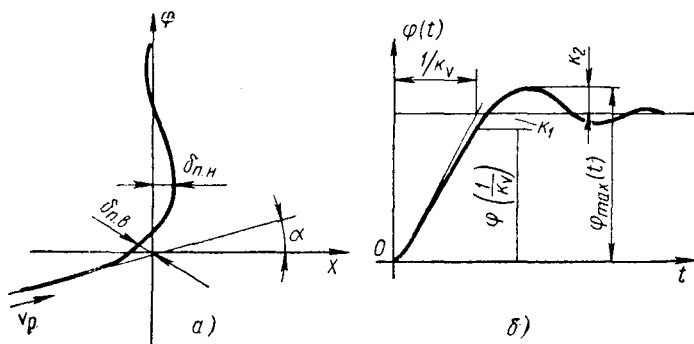


Рис. 3.27. Определение ошибки при обходе прямого угла

С уменьшением частоты входного сигнала ω количество первых членов ряда, которые необходимо учитывать, уменьшается (ряд сходится быстрее).

Практически при обработке окружности из-за несовершенства системы регулирования имеет место эллипсность (рис. 3.26, в).

Обработка сопряжения *под углом, близким к 90°* . При обработке сопряжения двух пересекающихся прямых в системе возникают ошибки δ_n переходного режима. Здесь входная функция по скорости или ускорению может изменяться скачкообразно. Для линеаризованной системы переходная ошибка может быть определена по частотной характеристике и реакции на скачки производных. Рассмотрим воспроизведение места сопряжения (рис. 3.27, а) двух прямых под углом α , совместив одну из них с направлением оси координат. В этом случае имеют место два вида ошибок: внутренняя $\delta_{н.в}$ и внешняя $\delta_{н.н}$. Эти ошибки можно вычислить, зная уравнение, описывающее действительную траекторию центра фрезы. Ошибка $\delta_{н.в}$ может быть вычислена, как рас-

стояние между началом координат и точкой пересечения траектории движения фрезы с биссектрисой угла.

Точка пересечения имеет координаты

$$\left. \begin{aligned} x_B &= v_p \left[\varphi(t) - \frac{1}{k_v} \right] \sin \alpha; \\ y_B &= v_p \left[t - \frac{1}{k_v} \cos \alpha (1 - \cos \alpha) \varphi(t) \right], \end{aligned} \right\} \quad (3.60)$$

где v_p — результирующая скорость подачи вдоль контура; α — угол пересечения двух прямых; k_v — коэффициент усиления системы по скорости; $\varphi(t)$ — переходная функция на скачок скорости;

$$\delta_{п. в} = 2k_1 \sin \frac{\alpha}{2} v_p, \quad (3.61)$$

где $k_1 = \varphi(t) - \varphi\left(\frac{1}{k_v}\right)$;

$$\delta_{п. н} = k_2 v_p \sin \alpha, \quad (3.62)$$

где $k_2 = \varphi(t_{\max}) - \varphi\left(\frac{1}{k_v}\right)$; значение $\varphi_{\max}(t)$ берется по кривой переходного процесса (рис. 3.27, б).

Системы управления технологическим оборудованием должны иметь такие характеристики, которые обеспечивают производительность оборудования, определяемую технологическими режимами. Как известно, цикловая производительность машины

$$Q_{ц} = \frac{1}{t_p + t_x},$$

где $Q_{ц}$ — цикловая производительность машины; t_p — время, затраченное на осуществление рабочих ходов; t_x — время холостых и вспомогательных ходов.

В технологических машинах, где время рабочих ходов имеет определяющее значение, например, в станках для обработки деталей по контуру, системы управления должны обеспечивать обработку (обход) контура за время

$$t_p = \frac{\sum_1^n l}{v_r}, \quad (3.63)$$

где $\sum_1^n l$ — длина контура; v_r — технологическая скорость (подача) вдоль контура.

Недостаточное быстродействие систем является источником больших динамических ошибок, возникающих в местах сопряжений, при обработке их на технологически заданной скорости. Величина ошибок будет тем больше, чем больше технологическая скорость движения вдоль контура и чем меньше быстродействие

данной системы. Технологическая скорость может быть особенно высокой при обработке деталей из цветных металлов и сплавов. Чтобы уменьшить величину динамических ошибок, т. е. обеспечить требуемую точность обработки, в том числе и в местах сопряжений, при подходе к ним скорость движения снижают до определенного значения (программированное торможение). После обработки мест сопряжения скорость опять увеличивают до технологической (программированный разгон).

Таким образом, время обработки контура увеличивается на величину Δt_p , т. е.

$$t_{p. \tau} = t_p + \Delta t_p, \quad (3.64)$$

где $t_{p. \tau}$ — рабочее время обхода контура с введением торможений и ускорений; Δt_p — прирост рабочего времени за счет введения торможений и ускорений.

При этом цикловая производительность уменьшается и станет равной

$$Q'_u = \frac{1}{t_p + \Delta t_p + t_x}.$$

Относительное уменьшение производительности машины

$$\Delta Q_u = \frac{Q_u - Q'_u}{Q_u}. \quad (3.65)$$

Определим значение прироста времени Δt_p . Недостаточное быстродействие систем программного управления может быть полностью отнесено к их силовым приводам, так как задающие и преобразующие электронные устройства информационной части СПУ имеют быстродействие на порядок выше, чем привод. Определяя быстродействие как время торможения (или разгона) привода от скорости v_τ до скорости v и считая движение равнозамедленным (равноускоренным), путь торможения (разгона) на основании законов механики

$$\Delta l = \frac{v_\tau^2 - v^2}{2a}. \quad (3.66)$$

Если контур детали состоит из n участков с длинами $l_1, l_2, \dots, \dots, l_n$, которые имеют равную вероятность изменения скоростей и имеют упомянутые выше сопряжения, то время обработки его без учета торможений (ускорений) будет

$$t_p = \frac{1}{v_\tau} \sum_1^n l_i, \quad (3.67)$$

где $\sum_1^n l$ — длина контура детали.

С учетом разгонов в начале участков и торможений в конце их время обработки увеличится и будет равно

$$t_{p. \tau} = \sum_1^n \frac{l_i}{v_{\tau}} + \frac{v_{\tau}^2 - v^2}{2av_{\tau}} = t_p + \Delta t_p, \quad (3.68)$$

где

$$\Delta t_p = \frac{v_{\tau}^2 - v^2}{2av_{\tau}}.$$

Величина Δt_p , снижающая производительность машины, будет тем больше, чем больше перепад скоростей ($v_{\tau} - v$) и чем меньше ускорение a , развиваемое приводом.

Выражая время рабочих ходов через ускорение и перепад скоростей, получим относительное уменьшение производительности машины

$$\Delta Q_{ц} = \frac{\frac{v_{\tau}^2 - v^2}{2av_{\tau}}}{\sum_1^n \frac{l_i}{v_{\tau}} + \frac{v_{\tau}^2 - v^2}{2av_{\tau}} + t_x};$$

после несложных преобразований получим

$$\Delta Q_{ц} = \frac{v_{\tau}^2 - v^2}{\sum_1^n 2al_i + (v_{\tau}^2 - v^2) - 2av_{\tau}t_x}. \quad (3.69)$$

Чтобы исключить уменьшение производительности, связанное с появлением Δt_p , необходимо увеличить быстродействие привода. В идеальном случае время разгона (торможения) T_p должно быть одинаковым (или меньшим) с временем поворота фрезы на один зуб:

$$T_p \leq \frac{60}{nz} [c], \quad (3.70)$$

где n — частота вращения фрезы в об/мин; z — число зубьев фрезы.

При этом ускорение

$$a \geq \frac{2s}{T_p^2}, \quad (3.71)$$

где s — подача на зуб в мм.

При выполнении неравенств (3.70) и (3.71) величина динамических ошибок не будет оказывать существенного влияния на точность обработки мест сопряжений и при подходе к ним не потребуется вводить замедления (ускорения).

При использовании позиционных систем программного управления, которые обеспечивают установочные перемещения, в формуле для цикловой производительности будет изменяться время t_x , точнее та его часть, которая определяет установочные перемещения

$$t_x = t_{x.n} + t_{x.y}, \quad (3.72)$$

где t_x — время, затрачиваемое на осуществление холостых и вспомогательных операций; $t_{x.n}$ — время, затрачиваемое на установку, зажим, разжим, снятие детали, а также на холостые ходы, связанные с осевым перемещением инструмента; $t_{x.y}$ — время, затрачиваемое на холостые ходы при межосевом (установочном) перемещении.

Считая, что межосевое перемещение осуществляется одновременно по двум координатам и что при подходе к заданной координате осуществляется одноступенчатое торможение, время перемещения между двумя центрами отверстий

$$t_{x.y1} = \frac{l - 2l_n}{v_y} + 2t_n, \quad (3.73)$$

где l_n — длина пути, на котором осуществляется пуск (торможение); t_n — время пуска (торможения); v_y — скорость установочных перемещений; l — расстояние между двумя центрами.

Скорость установочных перемещений должна удовлетворять неравенству

$$v_{np} \geq v_y \geq \frac{l}{k t_p}, \quad (3.74)$$

где v_{np} — максимальная скорость перемещения, допускаемая прочностью кинематических связей привода; t_p — время обработки, например время сверления, зенкерования, растачивания; k — коэффициент, выбирается в процентах от времени t_p , обычно $k = 0,1$.

Время пуска (или торможения) для равноускоренного движения

$$t_n = \sqrt{\frac{2l_n}{a}}. \quad (3.75)$$

Длина пути пуска

$$l_n = \frac{v_y^2}{2a}. \quad (3.76)$$

Тогда время пуска

$$t_n = \frac{v_y}{a}, \quad (3.77)$$

а время установочного перемещения между двумя центрами

$$t_{x.y1} = \frac{l}{v_y} + \frac{3}{2} \cdot \frac{v_y}{a}. \quad (3.78)$$

Если необходимо произвести n установочных перемещений с длинами l_1, l_2, \dots, l_n , то общее время на установочные перемещения

$$t_{x.y} = \frac{1}{v_y} \sum_1^n l_i + \frac{3}{2} n \frac{v_y}{a}.$$

Учитывая время на установочные перемещения, цикловая производительность

$$Q_{ц} = \frac{1}{t_p + t_{x.п} + \frac{1}{v_y} \sum_1^n l_i + \frac{3}{2} n \frac{v_y}{a}}.$$

Таким образом, при использовании позиционных СПУ цикловая производительность может быть увеличена за счет увеличения ускорения A , развиваемого приводом.

УСТРОЙСТВА И АППАРАТУРА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

В любой системе автоматического управления можно выделить три основных звена: а) измерительное звено, представляющее собой различного типа датчики, сигнализирующие о достижении заданного значения контролируемого параметра; б) промежуточное звено, служащее для усиления и преобразования сигнала в удобный для управления; в) исполнительное звено — комплекс механизмов, непосредственно осуществляющих прием управления.

Ниже рассмотрена аппаратура, наиболее часто используемая в системах автоматического управления технологическими процессами.

§ 4.1. ДАТЧИКИ

По своему назначению датчики, используемые в технологических агрегатах (станках), делят на путевые, размерные, силовые, скоростные и др., а по характеру создаваемых сигналов — на механические, электрические, фотоэлектрические, пневматические и гидравлические.

Путевые датчики. В этих датчиках сигнал управления возникает в результате воздействия на них движущейся части технологического агрегата (станка) в момент, когда эта часть приходит в определенное, заранее предусмотренное, положение. Датчики механического типа обычно выполняют в виде жестких и подвижных упоров или кулачков и основаны на принципе подачи команды при возрастании силы или момента сверх установленной величины. Для увеличения точности и уменьшения продолжительности срабатывания применяют усилительные промежуточные механизмы, которые обычно увеличивают или уменьшают передаточное отношение в датчике. На рис. 4.1 показаны схемы механических датчиков (автоматических остановов).

Электрические путевые датчики контактного типа (путевые выключатели и переключатели) предназначены для замыкания и размыкания электрической цепи управления в зависимости от пройденного пути. Они бывают простые и моментные. Как те, так и другие могут быть с самовозвратом, либо без него. Простые приводятся в действие и срабатывают постепенно, по мере воздействия на них движущихся частей агрегата (станка). Моментные срабатывают мгновенно при достижении необходимой величины параметра. Самовозвратные занимают исходное положение не-

медленно после прекращения воздействия на них упора. Датчики без самовозврата остаются в любом из двух положений после прекращения воздействия упора и для каждого нового переключения требуют специального нового воздействия. Простые переключатели применяют при скоростях перемещения свыше 0,4 м/мин, а моментные — при скоростях менее 0,4 м/мин.

На рис. 4.2, а показана схема простого переключателя с самовозвратом, имеющего одну пару замыкающих и одну пару размыкающих контактов. Работает датчик следующим образом: при нажатии упора подвижной части агрегата (станка) на стержень 2 последний опускается и вместе с собой опускает мостик 1, размыкает размыкающие контакты 3 и замыкает замыкающие контакты 4. При прекращении воздействия стержень 2 и мостик 1 под действием пружин возвращаются в исходное положение.

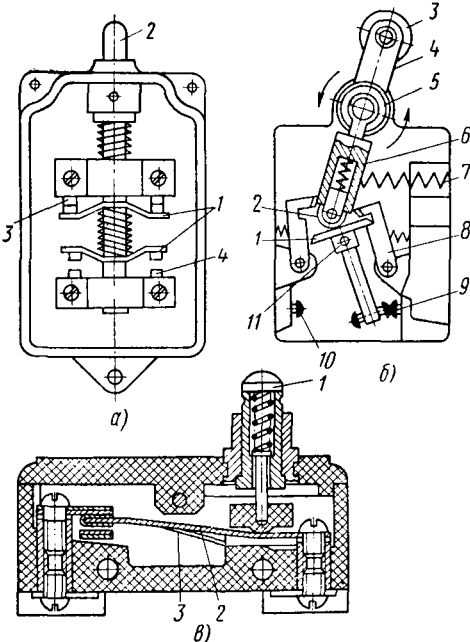


Рис. 4.2. Электроконтактные путевые датчики

10 замкнуты. При прекращении воздействия на ролик 3 пружина 7 возвращает подвижные части переключателя в исходное положение.

В тех случаях, когда требуется получить сигнал от датчика при малом перемещении стержня и небольшом на него давлении,

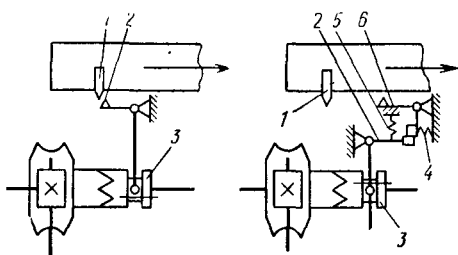


Рис. 4.1. Автоматические остановки (механические датчики):

1 — упор; 2 — рычаг; 3 — муфта; 4 и 5 — пружины; 6 — защелка

Датчик моментного действия (переключатель с самовозвратом показан на рис. 4.2, б). При нажатии движущейся части агрегата (станка) на ролик 3 рычаг 4 поворачивается на угол примерно 12° и с помощью спиральной пружины 5 поворачивает поводок 6, в результате чего опрокидывается контактный стержень с пластиной 1 вокруг оси 11. Однако это произойдет при условии, что защелка 8 будет повернута поводком 6 с роликом 2. В момент поворота контактного стержня контакты 9 будут разомкнуты, а контакты

используют микропереключатели МП-1 (рис. 4.2, в). Эти датчики подобны рассмотренному выше, но вместо рычагов и обычной пружины в них установлены две плоские пружины 2 и 3. Подвижная часть агрегата (станка) воздействует на шток 1, который изгибает пружину 2 и изменяет направление сил, действующих на распорную пружину 3, вызывая ее быстрое перемещение к противоположному контакту. Как только воздействие на шток 1 прекратится, вся система приходит в исходное положение.

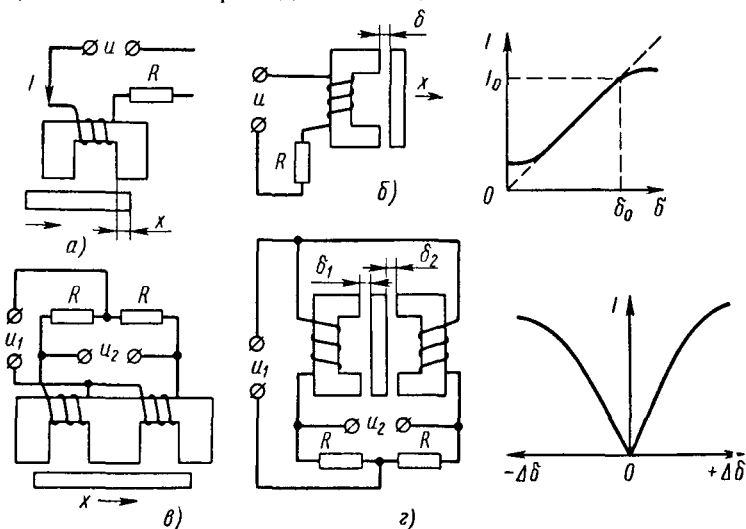


Рис. 4.3. Индуктивные датчики

Основным недостатком электроконтактных датчиков является износ контактов (эрозия) и образование оксидных пленок, плохо проводящих электрический ток, что приводит к потере стабильности и точности системы автоматического управления.

Электрические бесконтактные датчики. Из большого числа типов этих датчиков в системах автоматического управления технологического оборудования применяют чаще всего индуктивные датчики; они просты по конструкции, обладают высокой чувствительностью и точностью и имеют большой срок службы. Индуктивные датчики работают на переменном токе промышленной частоты и дают относительно высокое значение выходной мощности, но на их работу большое влияние оказывает колебание частоты питающего напряжения.

В копировальных устройствах станков и в устройствах для автоматического контроля нашли широкое применение *индуктивные датчики*. Все индуктивные датчики работают на переменном токе промышленной частоты. Схемы основных типов индуктивных датчиков показаны на рис. 4.3. Одинарные датчики имеют (рис. 4.3, а, б) подвижный якорь, и их используют для малых перемещений. Дифференциальные датчики (рис. 4.3, в, г) состоят

из двух симметрично расположенных катушек индуктивности и одного общего якоря. При точном среднем положении якоря между ним и катушками воздушный зазор будет одинаков, а следовательно, одинаковы и индуктивные сопротивления катушек. При изменении магнитного сопротивления цепи и индуктивности катушки происходит изменение общего сопротивления. Таким образом, возникает функциональная зависимость между измеряемой величиной и электрическим сопротивлением датчика. Для индуктивного датчика входной величиной является перемещение якоря, определяемое зазором δ , выходной — сила тока I в катушке при заданном переменном напряжении питания u :

$$I = \frac{u}{Z}; \quad (4.1)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2},$$

где Z — полное сопротивление катушки датчика; R — активное сопротивление обмотки в Ом; $L\omega$ — индуктивное сопротивление; $\omega = 2\pi f$ — угловая частота переменного тока с частотой f в Гц; L — индуктивность обмотки в Г,

$$L = \frac{0,4\pi\omega^2 \cdot 10^{-8}}{R_{ж} + \frac{2\delta}{s}}, \quad (4.2)$$

где ω — число витков катушки; s — площадь сечения потока в воздушном зазоре (принимается равной площади сечения магнитопровода); δ — величина воздушного зазора; $R_{ж}$ — сумма магнитного сопротивления магнитопровода и якоря.

Так как магнитное сопротивление воздушного зазора гораздо больше магнитного сопротивления железа ($2\delta/s \gg R_{ж}$), величиной $R_{ж}$ можно пренебречь и индуктивность можно рассчитать по приближенной формуле

$$L \approx \frac{0,2\pi\omega^2 s \cdot 10^{-8}}{\delta}. \quad (4.3)$$

Чувствительность датчика по току будет равна

$$\frac{dI}{d\delta} = \frac{u\delta 10^8}{0,2\pi\omega^2 s\omega}. \quad (4.4)$$

Параметры индуктивного датчика выбирают так, чтобы в пределах зоны измерения характеристика датчика $I > f(\delta)$ представляла участок прямой линии, проходящей через начало координат. Недостатком индуктивных датчиков является сильная зависимость их от частоты питающего напряжения.

Гидравлические путевые датчики служат для включения, переключения и выключения движения путем соответствующего управления направлением потоков масла в гидравлические двигатели. На рис. 4.4 показано несколько схем гидравлических датчиков:

на рис. 4.4, а роль гидравлического датчика выполняет золотник осевого действия с управлением от кулачка рабочего органа; на рис. 4.4, б — датчик-пилот, служащий для дистанционного управления золотниками, а на рис. 4.4, в датчик выполнен с поворотным пробковым золотником. Перемещение плунжеров золотников осуществляется под действием упоров, закрепленных на по-

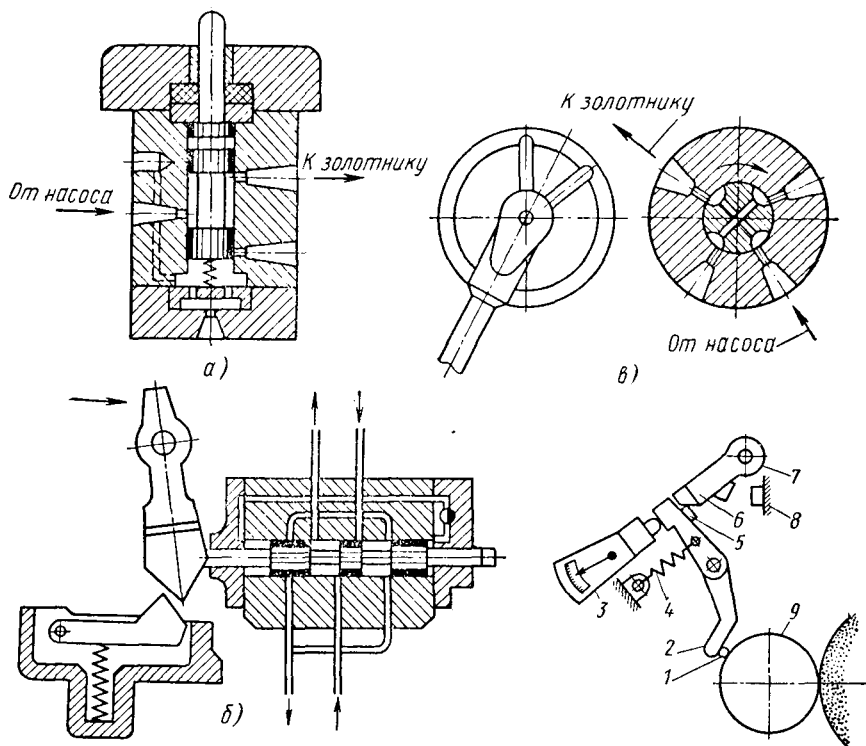


Рис. 4.4. Гидравлические датчики золотникового типа:

а — осевой; б — линейный; в — поворотный

Рис. 4.5. Контактный датчик

движной части агрегата (станка). Гидравлические датчики бывают двух-, трех- и четырехпозиционные.

Пневматические путевые датчики по принципу действия аналогичны гидравлическим и представляют собой распределительные краны и золотники, приводимые в действие от упоров, кулачков или линеек.

Размерные датчики используют при контроле линейных размеров деталей и сборочных единиц, обрабатываемых на станках, автоматических линиях или на специальных контрольных станках. Электроконтактные датчики получили наиболее широкое применение, они могут быть одноконтактные и многоконтактные. На рис. 4.5 показан одноконтактный датчик с падающим контактом. Он рабо-

тает следующим образом. В процессе обработки детали шуп 1 рычага 2, поджимаемый пружиной 4, скользит по поверхности обрабатываемой детали 9. Как только деталь достигает требуемого размера, наблюдаемого по прибору 3, рычаг 2 повернется в направлении против движения часовой стрелки, в результате чего с выступа 5 рычага 2 соскочит под действием собственного веса планка 6, контакт 7 замкнет контакт 8 и будет подан сигнал на выключение станка.

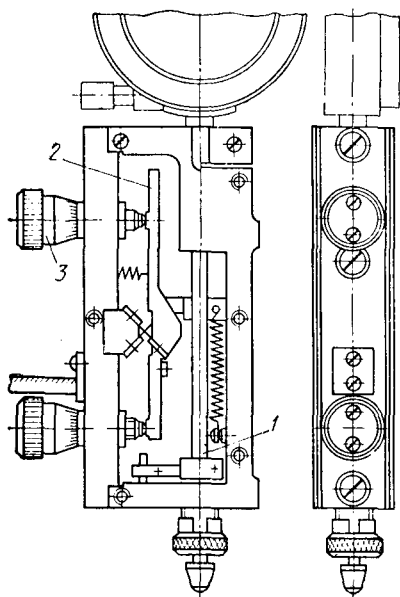


Рис. 4.6. Электроконтактный двух-предельный датчик

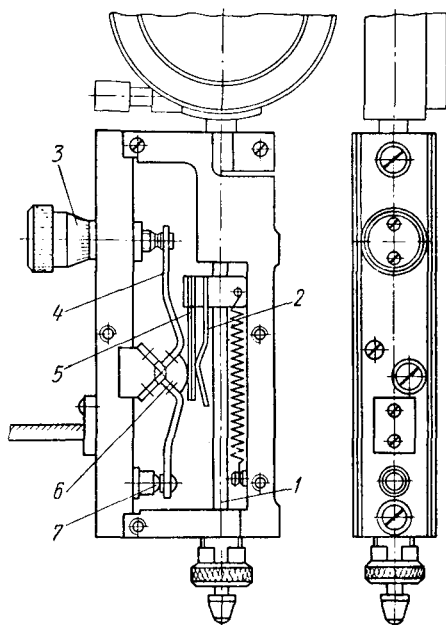


Рис. 4.7. Электроконтактный амплитудный датчик

Близкими по устройству к только что рассмотренному являются одноконтактные датчики. В этих датчиках перемещение подвижного контакта, установленного на рычаге-балансире, задерживается слоем металла, подлежащего снятию в процессе обработки. Как только этот слой будет снят, а обрабатываемая поверхность достигнет заданного размера, рычаг вместе с контактом под действием пружины повернется и замкнет контакты цепи управления.

Существует много разновидностей этих датчиков и их применяют для контроля как наружных, так и внутренних поверхностей.

Контактные датчики со скользящим контактом выполняют как предельные для контроля размеров деталей по предельным размерам и амплитудные для контроля погрешности формы деталей. В предельных датчиках связь между измерительным штоком и подвижными контактами жесткая, в амплитудных — фрикционная, выполняемая в виде цилиндрического сектора, обкатываю-

щегося по фрикционной пластине, или в виде штифта, прижатого к призме пружиной. При изменении размера, вызванного отклонениями формы, например овальности, перемещается измерительный шток и фрикционно связанные с ним контакты.

На рис. 4.6 показан электроконтактный датчик для контроля линейных размеров. Датчик работает следующим образом. Измерительный стержень 1 воспринимает изменение размера и, перемещаясь, воздействует на передаточный рычаг 2, несущий подвижные контакты. Неподвижные контакты установлены на регулируемых настроечных винтах 3 и настраиваются по эталонам, соответствующим верхнему и нижнему предельным размерам.

Амплитудный датчик (рис. 4.7) работает следующим образом. Измерительный стержень 1, перемещаясь, воздействует на рычаг 4, несущий подвижные контакты. Малым плечом рычага является сухарь 6, к которому пружиной 2 прижата фрикционная пластина 5. Один из неподвижных контактов 7 запрессован в корпус, а второй — в конец настроечного винта 3. При движении измерительного стержня сухарь 6 обкатывается по фрикционной пластине 5 без проскальзывания до тех пор, пока подвижный контакт не упрется в один из неподвижных. Затем начинается проскальзывание, причем рычаг 4 остается неподвижным, несмотря на движение измерительного стержня 1. Когда контролируемый размер пройдет экстремум (максимум или минимум), измерительный стержень начнет обратное движение, увлекая за собой рычаг с контактом. Если колебание размера (например, формы) превзойдет допустимую величину, этот контакт коснется второго неподвижного контакта, включенного в электрическую цепь; будет подан сигнал о браке. На предельную величину амплитуды колебания измеряемого размера датчик настраивают по закрепленной в нем отсчетной головке либо по аттестованной детали.

Из большого разнообразия конструкций электроконтактных датчиков рассмотрены только две конструкции.

Индуктивные датчики перемещения. К индуктивным датчикам перемещения относятся поворотные трансформаторы, сельсины, индуктосины, редусины и др. Особенностью всех датчиков данного типа является непрерывное измерение перемещения контролируемого органа и преобразование результатов измерения в непрерывный электрический сигнал, модулированный по фазе.

Сельсин представляет собой электрическую микромашину с однофазной обмоткой возбуждения и трехфазной вторичной обмоткой. В одних конструкциях (в малогабаритных) обмотки возбуждения расположены на роторе, а трехфазная обмотка — на статоре, в других конструкциях — наоборот. Сельсины могут быть как контактного, так и бесконтактного типа. Наибольший интерес представляют бесконтактные сельсины (рис. 4.8), обеспечивающие большую точность измерения.

Для измерения угла поворота выходного вала привода СПУ последний кинематически связывается с ротором сельсина-дат-

чика. При вращении ротора датчика в его обмотке будет индуцироваться э. д. с., которая в нагрузочном сопротивлении создаст напряжение с фазой, изменяющейся пропорционально углу поворота ротора. Средняя статическая погрешность сельсинов составляет примерно $0,5^\circ$. Динамическая ошибка сельсинов, работающих в трансформаторном режиме, составляет 2° для частоты источника питания 50 Гц (при переходе на повышенную частоту динамическая ошибка уменьшается). Крутизна напряжения полезного сигнала, снимаемого с сельсина, равна 1 В/град.

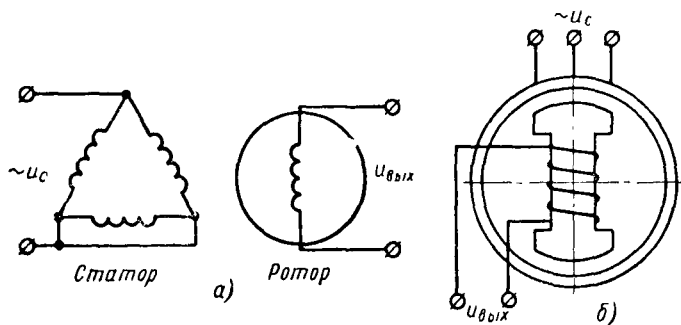


Рис. 4.8. Схема сельсина:

а — электрическая; б — принципиальная

Вращающиеся двухполюсные трансформаторы (ВТ) являются электрическими машинами с неявно выраженными полюсами. ВТ имеют вращающийся ротор и неподвижный статор, которые намотаны из листовой электротехнической стали. В пазах ротора и статора уложены по две перпендикулярно расположенных обмотки. Воздушный зазор между ротором и статором имеет постоянную величину. Вращающиеся трансформаторы позволяют преобразовывать угловое движение, например выходного вала силового привода СПУ, в непрерывно изменяющееся напряжение переменного тока в функции угла поворота или $\sin(\cos)$ этого угла в зависимости от способа включения обмоток трансформатора.

Отечественная промышленность выпускает вращающиеся трансформаторы СКВТ, ВТМ, ВТП, ВТ-5, МВТ-2 и др. Схема работы и диаграмма напряжений синусно-косинусного вращающегося трансформатора СКВТ показаны на рис. 4.9, а, б.

При повороте ротора, кинематически связанного с перемещаемым органом, относительно статора в обмотках ротора наводится э. д. с. индукции. Напряжение, снимаемое с сопротивления нагрузки, включенного во вторичную обмотку, изменяется в функции угла поворота по закону

$$E_R = \frac{\sin \alpha}{1 + k_r \cos \alpha}, \quad (4.5)$$

где α — угол поворота; k_r — коэффициент трансформации.

Трансформаторы ВТ имеют большую точность измерения, чем сельсины. Так, точность измерения угла поворота с применением прецизионных вращающихся двухфазных трансформаторов ВТ-5 и МВТ-2 определяется значениями $\pm(1-3)'$.

Емкостные датчики используют для измерения линейных размеров, выполняемого с высокой точностью. Принцип действия этих датчиков основан на том, что с изменением контролируемого ими размера меняется емкость конденсатора, включенного в электрическую схему. Схемы емкостных датчиков приведены на рис. 4.10. В датчике, показанном на рис. 4.10, а, при перемещении

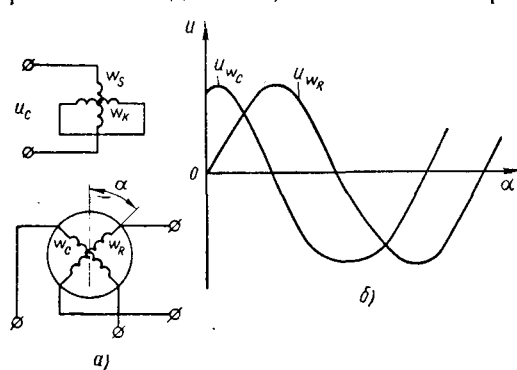


Рис. 4.9. Двухполюсный вращающийся трансформатор:

а — электрическая схема; б — диаграмма напряжений; w_s , w_r — обмотки статора; w_c , w_r — обмотки ротора

пластины 2 относительно неподвижной пластины 1 изменяется емкость между ними. Для увеличения чувствительности емкостных датчиков применяют дифференциальный датчик (рис. 4.10, б). В нем подвижной является средняя пластина 3. В емкостном датчике, показанном на рис. 4.10, в, емкость меняется за счет изменения активной площади пластин (на схеме заштрихована). Такие датчики часто применяют для измерения углового перемещения.

Емкостные датчики имеют высокую чувствительность, малые габариты и массу. Недостатками их являются: сравнительно небольшие контролируемые размеры, необходимость тщательной экранировки с тем, чтобы исключить влияние посторонних электрических полей и паразитных емкостей, и необходимость напряжения высокой частоты для питания датчиков.

Реостатные датчики (потенциометрические) основаны на изменении активного сопротивления элемента в зависимости от величины перемещения. Реостатные датчики выполняют с плавной зависимостью выходного сопротивления R_x от перемещения или со ступенчатым изменением сопротивления (рис. 4.11). Эти датчики позволяют получить функциональную зависимость между величиной перемещения (величиной выходного сопротивления) и током (рис. 4.11, ж). Их можно питать постоянным или переменным током. Реостатные датчики используют для передачи на расстояние показаний измерительных приборов, а также для обратной связи в электрических регуляторах.

Проволочные датчики используют для измерения малых перемещений или относительных деформаций, а значит, и напряжений в деталях разнообразных механизмов. В этих случаях проволоч-

ные датчики называют тензодатчиками (рис. 4.12). Иногда проволоку заменяют на лепестки фольги. Проволочные датчики представляют плоскую спираль из калиброванной проволоки диаметром 0,02—0,05 мм, наклеенную на плотную бумагу толщиной 0,015—0,02 мм и заклеенную сверху. Сопротивление проволоки датчика в нормальном состоянии $R = \rho \frac{l}{s}$, а после растяжения

$$R_1 = \rho \frac{l + \Delta l}{s + \Delta s}. \text{ Абсолютное приращение сопротивления } \Delta R = R_1 - R.$$

Линейная относительная деформация проволочного датчика $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$ связана с относительным изменением сопротивления $\frac{\Delta R}{R}$ датчика зависимостью

$$\frac{\Delta R}{R} = k_R \epsilon. \quad (4.6)$$

В формулах приняты обозначения: ρ — удельное сопротивление проволоки датчика в Ом·мм²/м; l — длина проволоки датчика в м; s — поперечное сечение в мм²; Δl — увеличение длины проволоки в результате растяжения; Δs — уменьшение поперечного сечения проволоки в результате растяжения; k_R — коэффициент тензочувствительности датчика (определяется опытным путем при тарировке).

Размеры датчиков колеблются в пределах 5—150 мм вдоль оси чувствительности и 3—60 мм в перпендикулярном к оси чувствительности направлении. Тензодатчики для измерения деформаций узла (детали) наклеивают на него. Тензодатчики из фольги допускают относительно большие силы токов. Проволочные датчики чувствительны к изменению температуры.

Фотоэлектрические и фотохимические размерные датчики.

Основой фотоэлектрического датчика является фотоэлемент. Различают фотоэлементы с внешним, внутренним фотоэффектами и вентильные. При внешнем фотоэффекте освободившиеся электроны покидают освещенное вещество, при внутреннем — остаются в нем, повышая электропроводность. Вентильным фотоэлементом называется тот, в котором освободившиеся электроны переходят из слоя освещенного в слой неосвещенного вещества, отделенного тонким изоляционным или «запирающим» слоем. Ввиду недостатка электронов в одном слое и избытка в другом между слоями возникает электродвижущая сила.

Фотоэлектрические датчики являются приборами высокой чувствительности. Они имеют малые габаритные размеры, простую конструкцию и их легко встраивать в системы автоматического регулирования. Фотоэлемент с внешним фотоэффектом (рис. 4.13)

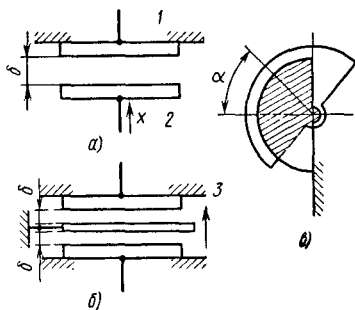


Рис. 4.10. Емкостные датчики:

а — с переменным расстоянием между пластинами; б — дифференциальный; в — с переменной активной площадью пластины

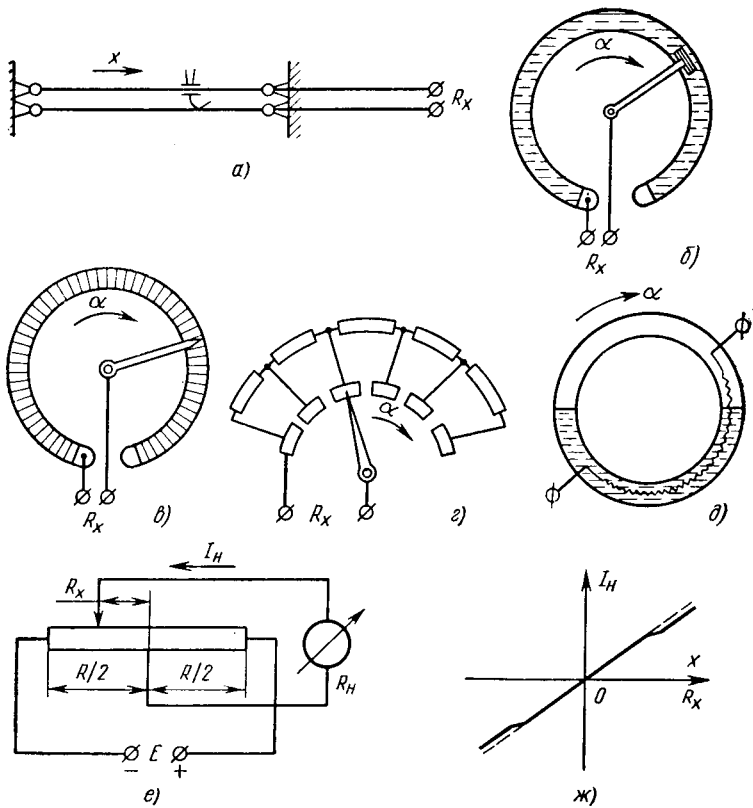


Рис. 4.11. Реостатные датчики:

а — реохордовый; б — полупроводниковый; в — каркасный с проволоочной обмоткой; г — с секционным сопротивлением; д — датчик угла поворота с жидкостным контактом; е — схема включения датчика со средней точкой; ж — статическая характеристика датчика со средней точкой

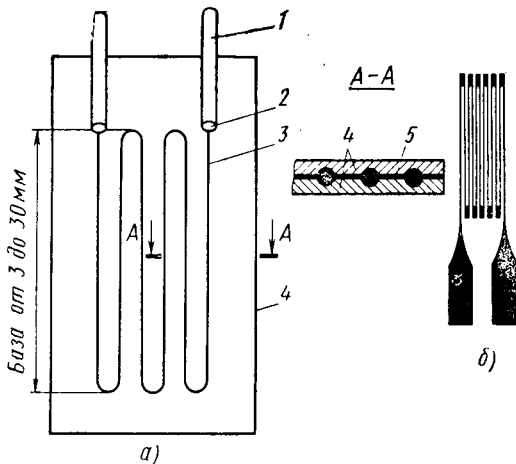


Рис. 4.12. Тензодатчики:

а — из проволоки; б — из фольги; 1 — выходы; 2 — место пайки; 3 — проволока; 4 — бумага; 5 — клеевая прослойка

представляет собой вакуумный баллон с двумя электродами. Металлический анод 1 имеет форму кольца или пластинки, расположенной против центра катода 2. Катод 2—фоточувствительный слой, нанесенный непосредственно на стекло колбы 3. Он занимает около половины сферической поверхности. Под влиянием энергии светового потока из материала катода 2 выделяются свободные электроны. Привлеченные положительным зарядом анода 1 электроны образуют фототок в электрической цепи. С увеличением светового потока, падающего на катод, увеличивается число имитированных электронов, т. е. увеличивается сила тока.

Фотоэлементы с внешним фотоэффектом изготовляют двух типов: электронные и ионные фотоэлементы. В фотоэлементах вто-

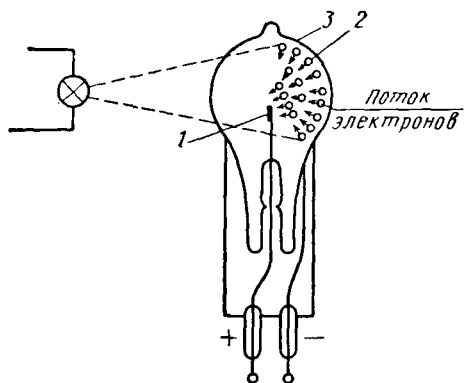


Рис. 4.13. Фотоэлемент с внешним фотоэффектом

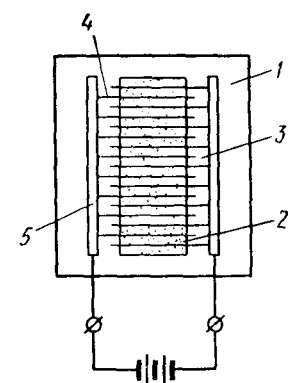


Рис. 4.14. Фотоэлемент с внутренним фотоэффектом (фотосопротивление)

рого типа благодаря ионизации сила тока может быть больше, чем у электронных. Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом (рис. 4.14) изготовляют путем нанесения на стеклянную пластину 1 тонкого слоя полупроводника 2 (селена, сернистого таллия и т. п.) на решетки 3 и 4 из тонких проводников. Металлические электроды 5 присоединены к выводам, включаемым последовательно с источником питания. Под действием светового потока в селене появляются свободные электроны, увеличивающие его проводимость. По силе тока в цепи фотосопротивления или по напряжению на нагрузочном сопротивлении можно судить о силе светового потока. Увеличение проводимости освещенного полупроводника объясняется тем, что фотоны лучистой энергии выбивают электроны из кристаллической решетки полупроводника и превращают их в свободные электроны проводимости. Эти электроны под влиянием электрического поля, созданного между электродами, образуют первичный фототок, последний достигает сравнительно больших значений и разрушает первоначальную кристаллическую решетку, что вызывает появление вторичного фототока за счет образования новых свободных электронов при

разрушении кристаллической решетки. Вторичный фототок зависит от приложенного напряжения и температуры.

Фотосопротивления имеют высокую чувствительность не только в области видимой части излучения, но и в области инфракрасных (тепловых) лучей. К недостаткам фотосопротивлений следует отнести нелинейность световых характеристик, инерционность, температурную погрешность и наличие темневого тока при отсутствии освещенности.

Вентильный фотоэлемент (с запирающим слоем) (рис. 4.15) состоит из стальной пластинки 1, на которую нанесен слой селена 2, а на последний напылен тонкий (полупрозрачный) слой серебра или золота 4. К слою из серебра или золота прижато контактное кольцо 5. Фотоэлемент размещен в кожухе 6. На границе золота (серебра) образуется запирающий слой 3, особенностью которого является его односторонняя проводимость. Вентильные фотоэлементы не требуют посторонних источников тока, так как сами вырабатывают электроэнергию. Световая характеристика вентильного селенового фотоэлемента зависит от величины внешнего сопротивления, на которое он работает. С увеличением сопротивления внешней нагрузки световая характеристика вентильного фотоэлемента приближается к линейной.

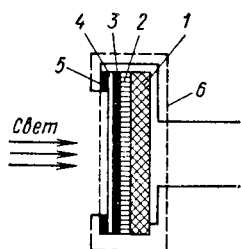


Рис. 4.15. Вентильный фотоэлемент

Фотохимические датчики представляют собой электролитические устройства, реагирующие по-разному на свет и темноту. Под действием света изменяется давление и контакты размыкаются.

Пневмоэлектрические датчики разделяют на мембранные, жидкостные и сильфонные. В мембранных пневмоэлектрических датчиках (рис. 4.16) чувствительным элементом датчика является резиновая или металлическая мембрана 1, разделяющая корпус датчика на две полости. Под давлением мембрана 1 деформируется и контакты замыкаются, один из контактов 2 размещен на мембране, а другой на микропереключателе 3, смонтированном в корпусе датчика. Датчик настраивают по образцовой детали.

В жидкостных пневмоэлектрических датчиках (рис. 4.17) в измерительную камеру 1 через отверстие 4 малого диаметра при постоянном давлении подается воздух. Из камеры воздух поступает к измерительному щупу 2, торец которого расположен с небольшим зазором относительно обрабатываемой поверхности 3. По мере обработки поверхности зазор между щупом увеличивается и соответственно возрастает расход воздуха, а давление в измерительной камере падает. Это приводит к подъему жидкости в конечном или V-образном манометре, соединенном с камерой, и в момент достижения требуемого размера обработанной поверхности

жидкость достигает электрического контакта и замыкает его. Иногда жидкость используют для перемещения поплавка, замыкающего контакты с помощью рычажной передачи. Чаще применяют дифференциальные жидкостные датчики.

Датчики давления. Принцип действия этой группы датчиков основан на преобразовании давления в механическое перемещение. Эти датчики бывают электромеханические, гидравлические, пневматические, электрогидравлические и др.

Механические датчики наиболее широкое применение получили в предохранительных и блокировочных цепях управления.

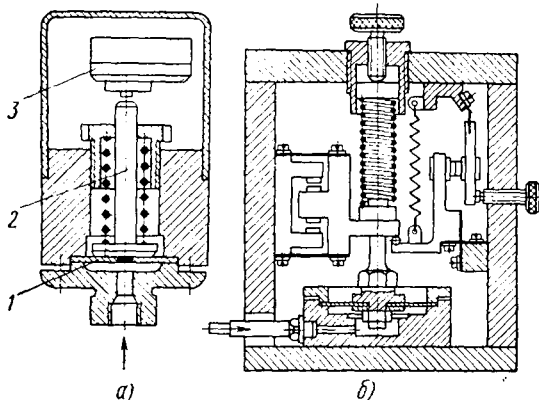


Рис. 4.16. Мембранные пневмоэлектрические датчики:

а — электроконтактный; б — пневмоэлектрический

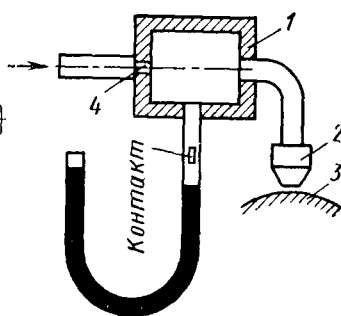


Рис. 4.17. Жидкостный пневмоэлектрический датчик

Гидравлические датчики. Типичным представителем таких датчиков является напорный золотник (рис. 4.18). Рабочая среда подводится к напорному золотнику, но проход ее к выходному отверстию 2 закрыт плунжером 3. Когда давление рабочей среды достигнет заданного значения, плунжер, находящийся под действием пружины 4, приподнимется и соединит входное отверстие 1 с выходным. Имеется много разновидностей гидравлических датчиков.

Электрогидравлические силовые датчики (рис. 4.19). В этом датчике рабочая среда (жидкость), проходя через отверстие 1 в крышке, воздействует на резиновую мембрану 2. В результате прогиба мембраны на требуемую величину стержень 3 нажмет на шток 4 выключателя 5, который подает импульс на силовой механизм автоматического устройства.

Пневматические силовые датчики аналогичны гидравлическим; если их используют для малых давлений, то делают с сильфонами.

Пьезоэлектрические датчики применяют для измерения быстропротекающих динамических процессов. Они являются датчиками генераторного типа и работают на принципе электрического эффекта, который возникает на некоторых кристаллах, обладающих

высокой механической прочностью при давлении в направлении их электрической оси. Материалом для этих датчиков обычно является кварц, из которого вырезают ориентированные по отношению к осям кристалла пластинки в форме цилиндров или параллелепипедов. Пластинки помещают между металлическими электродами. Для увеличения возникающего заряда применяют несколько пластинок.

В качестве датчиков давления применяют: а) магнитоупругие датчики, основанные на свойстве ряда ферромагнитных материа-

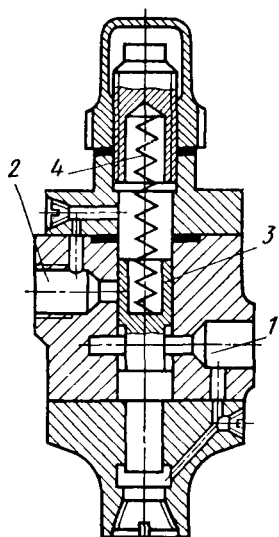


Рис. 4.18. Напорный
золотник

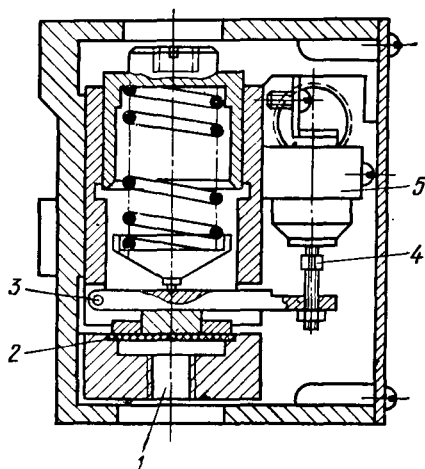


Рис. 4.19. Электрогидравлический
датчик

лов изменять магнитную проницаемость при изменении механических напряжений, возникающих в материале под воздействием внешних сил; б) угольные датчики, основанные на изменении контактного сопротивления между частицами угля при изменении прилагаемой силы аналогично угольному микрофону. Датчики (рис. 4.20) представляют собой набор из 10—15 шайб диаметром 5—10 мм, толщиной 1—2 мм, изготовленных из электродных углей и помещенных в корпус, деформирующийся вместе со столбиком, составленным из шайб. На столбик подается начальное давление, примерно равное 20 кгс/см^2 . Зависимость сопротивления от приложенного усилия показана на рис. 4.20, б.

Датчики температуры. Термопара — простейшая термоэлектрический датчик. Термопара состоит из двух проводников, сделанных из различных материалов, называемых термоэлектродами. Принцип действия термопары основан на возникновении термоэлектродвижущей силы в месте спая. Величина возникающего напряжения тем больше, чем выше разность температур спаев. Так как напряжение на термопаре мало (10—50 мВ), для передач

энергии от термопары к исполнительным механизмам требуется ее усиление. Кроме термопар, существуют и другие датчики температуры: а) термометры сопротивления, основанные на свойстве электрических проводников увеличивать сопротивление с возрастанием температуры; б) термисторы — полупроводниковые приборы, в которых при возрастании температуры увеличивается проводимость и уменьшается сопротивление; в) радиационные пиро-

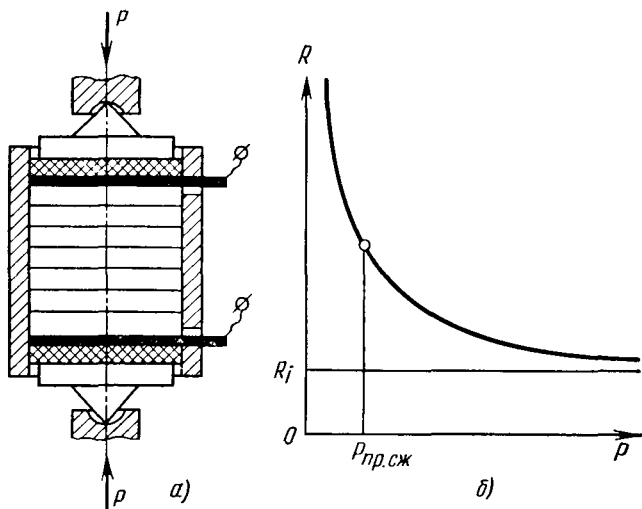


Рис. 4.20. Пьезоэлектрический датчик:

а — принципиальная схема; б — график изменения сопротивления R в зависимости от прилагаемой силы P

метры, принцип действия которых основан на сосредотачивании теплоизлучения от измеряемой поверхности оптическим устройством на измерительной термопаре или фотоэлементе.

§ 4.2. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ

Погрешность измерения. Чувствительность измерительного прибора. Схемы и методы измерения [8]. Результат измерения характеризуется точностью, т. е. близостью полученного значения измеряемой величины к ее истинному значению. Точность же определяется погрешностью метода измерения, т. е. максимально возможной ошибкой, которая может иметь место в данном измерении. Погрешность метода измерения

$$\gamma_{\text{изм}} = \frac{\Delta A}{A} 100\%,$$

где ΔA — абсолютная погрешность (разность между полученным значением величины и ее действительным значением); A — действительное значение измеряемой величины.

Умножив и разделив на номинальную величину измерительного прибора A_n это выражение, получим

$$\frac{\Delta A}{A_n} \cdot \frac{A_n}{A} 100\% = \frac{A_n}{A} \gamma_{пр}, \quad (4.7)$$

где $\gamma_{пр}$ — приведенная погрешность измерительного прибора, выраженная в процентах и представляющая класс точности измерительного прибора (0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5 и 2,5).

Таким образом, погрешность измерения зависит от класса точности измерительного прибора и от отношения величины, на которую рассчитан прибор, к действительному значению измеряемой величины.

Аппаратура, применяемая при измерении и регулировании, характеризуется также чувствительностью

$$s = \frac{\Delta y}{\Delta x},$$

где Δy — изменение выходной величины; Δx — изменение измеряемой (входной) величины.

При измерении малых величин чувствительность метода измерения приобретает первостепенную важность, часто определяя возможность самого измерения. Чувствительность метода измерения

$$s = s_{сх} s_{пр},$$

где $s_{сх}$ — чувствительность схемы; $s_{пр}$ — чувствительность измерительного прибора.

Таким образом, повысить чувствительность метода измерения можно как повышением чувствительности измерительной схемы, так и выбором соответствующей измерительной аппаратуры.

Мостовая схема. Четырехплечную мостовую схему (рис. 4.21) широко используют для измерения и регулирования контролируемых величин. Применяют два основных типа мостовой схемы: а) равновесная, или балансная мостовая схема, предусматривающая нулевой метод измерения; б) неравновесная, или небалансная мостовая схема, предусматривающая измерение методом непосредственного отсчета по измерительному прибору, включенному в диагональ моста. Для измерения неэлектрических величин электрическими методами наиболее часто используют второй тип. В тех случаях, когда задачей мостовой схемы является не измерение, а управление каким-либо процессом, в основном применяют первый тип мостовой схемы.

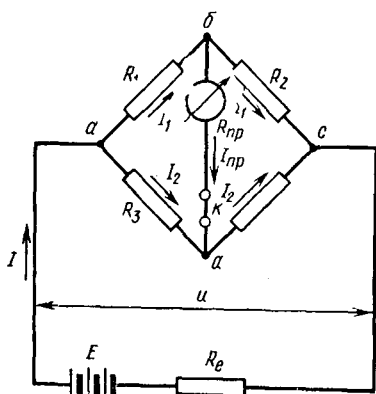


Рис. 4.21. Мостовая схема

Мостовые схемы могут работать как на постоянном, так и на переменном токе. При равновесии мостовой схемы (сила тока в диагонали $I_{\text{пр}} = 0$) и при питании ее постоянным напряжением на основании законов Кирхгофа для замкнутых контуров можем написать

$$\left. \begin{aligned} I_1 R_1 &= I_2 R_3; \\ I_1 R_2 &= I_2 R_4. \end{aligned} \right\} \quad (4.8)$$

Разделив почленно указанные равенства одно на другое и сделав соответствующие преобразования, получим условие равновесия мостовой схемы на постоянном токе, т. е.

$$R_1 R_4 = R_2 R_3. \quad (4.9)$$

Для равновесия мостовой схемы, питаемой переменным током, необходимо соблюдать условие

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3, \quad (4.10)$$

где Z_1 , Z_2 , Z_3 и Z_4 — полные сопротивления плеч мостовой схемы.

Переходя к комплексному выражению, сопротивления Z_1 , Z_2 , Z_3 и Z_4 можно представить в виде

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= R_1 + X_{1j}; & Z_3 &= R_3 + X_{3j}; \\ Z_2 &= R_2 + X_{2j}; & Z_4 &= R_4 + X_{4j}. \end{aligned} \right\} \quad (4.11)$$

где R_1 , R_2 , R_3 и R_4 — активные сопротивления; X_1 , X_2 , X_3 и X_4 — реактивные сопротивления.

Подставляя приведенные выше значения в формулу (4.10), получим

$$(R_1 + X_{1j})(R_4 + X_{4j}) = (R_2 + X_{2j})(R_3 + X_{3j})$$

или

$$R_1 R_4 + R_1 X_{4j} + R_4 X_{1j} - X_1 X_4 = R_2 R_3 + R_2 X_{3j} + R_3 X_{2j} - X_2 X_3. \quad (4.12)$$

Для того чтобы было соблюдено указанное равенство, необходимо, чтобы действительные (вещественные) части левой стороны были равны действительным частям правой и мнимые части левой стороны — мнимым частям правой, т. е.

$$\left. \begin{aligned} R_1 R_4 - X_1 X_4 &= R_2 R_3 - X_2 X_3; \\ X_1 R_4 + X_4 R_1 &= X_2 R_3 + X_3 R_2. \end{aligned} \right\} \quad (4.13)$$

Трудность регулирования мостовой схемы на переменном токе заключается в том, что после выполнения одного условия равновесия необходимо еще выполнить второе, не нарушая первого. Такое регулирование возможно только методом последовательных приближений, когда вначале добиваются минимальной силы тока, регулируя один параметр, затем добиваются еще большего умень-

шения $I_{\text{пр}}$, регулируя другой параметр, и т. д., последовательно уменьшая $I_{\text{пр}}$ до нуля.

Регулирование равновесного моста на переменном токе упрощается в следующих случаях:

а) при наличии только реактивных сопротивлений, когда активные сопротивления равны нулю (что возможно только при применении конденсаторов). В данном случае остается только одно условие равновесия

$$X_1 X_4 = X_2 X_3; \quad (4.14)$$

б) если плечи моста обладают только активным сопротивлением. Тогда условие равновесия определяется одним только равенством

$$R_1 R_4 = R_2 R_3; \quad (4.15)$$

в) если два соседних плеча имеют только активное, а два других — только реактивное сопротивление (что возможно лишь при применении конденсаторов). В данном случае остается только одно условие

$$X_1 R_4 = R_2 X_3,$$

если

$$R_1 = R_3 = X_2 = X_3 = 0. \quad (4.16)$$

Сила тока в измерительной диагонали мостовой схемы, питаемой напряжением постоянного тока,

$$I_{\text{пр}} = I \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{N}$$

или

$$I_{\text{пр}} = u \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{M}, \quad (4.17)$$

где I — сила тока, потребляемая мостовой схемой от источника питания; u — напряжение питания мостовой схемы;

$$\left. \begin{aligned} N &= (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) R_{\text{пр}} + (R_1 + R_3) (R_2 + R_4); \\ M &= (R_1 + R_2) (R_3 + R_4) R_{\text{пр}} + R_1 R_2 (R_3 + R_4) + R_3 R_4 (R_1 + R_2), \end{aligned} \right\} \quad (4.18)$$

и напряжением переменного тока

$$I_{\text{пр}} = I \frac{Z_1 Z_4 - Z_2 Z_3}{N}, \quad (4.19)$$

если общее сопротивление

$$I_{\text{пр}} = u \frac{Z_1 Z_4 - Z_2 Z_3}{M}, \quad (4.19, a)$$

где M и N определяются аналогично формулам (4.18).

Формулу (4.19) целесообразно применять, когда общее сопротивление моста значительно меньше сопротивления цепи источника питания; формулу (4.19, а) — когда сопротивление моста значительно больше сопротивления источника питания.

Чувствительность равновесной мостовой схемы при переменном сопротивлении R_1 по току

$$s_{сх}^I = \frac{\Delta I_{нр}}{\Delta R_1} = I \frac{R_4}{N} = u \frac{R_4}{M}, \quad (4.20)$$

а по напряжению

$$s_{сх}^u = \frac{\Delta u_{нр}}{\Delta R_1} = \frac{\Delta I_{нр} R_{нр}}{\Delta R_1} = I \frac{R_{нр} R_4}{N} = u \frac{R_{нр} R_4}{M}, \quad (4.21)$$

где ΔR_1 — изменение сопротивления R_1 ; M и N определяются по формулам (4.18).

Как видно из формул (4.20) и (4.21), повышение чувствительности мостовой схемы может происходить за счет увеличения напряжения питания u и способов включения датчиков.

На рис. 4.22 приведена мостовая схема с автоматическим уравниванием моста. Движок в положение, необходимое для установления равновесия, перемещается электродвигателем 1, управляемым контактным гальванометром 2. Во многих случаях для управления электродвигателем вместо гальванометра применяют специальные фазочувствительные усилители. Такие мосты называют электронными.

Для изменения цены деления и расширения предела измерения шкалы реостата его можно шунтировать резистором $R_{ш}$, как показано тонкой линией на схеме. Величину $R_{ш}$ выбирают в зависимости от требуемой шкалы.

Компенсационная схема. Принцип компенсации (рис. 4.23) заключается в том, что измеряемую э. д. с. (или напряжение) уравнивают равным и противоположным по знаку падением напряжения, величина которого может быть установлена и определена с высокой точностью. Уравнивающее падение напряжения снимается с реохорда и при постоянном токе оно пропорционально расстоянию между точками a и b . Движок в положение b можно устанавливать вручную, проверяя по гальванометру (при отсутствии тока в цепи) (рис. 4.23, а), или посредством электродвигателя, управляемого гальванометром (рис. 4.23, б). Последняя схема называется автокомпенсационной, и ее применяют почти во всех приборах, работающих по компенсационному методу.

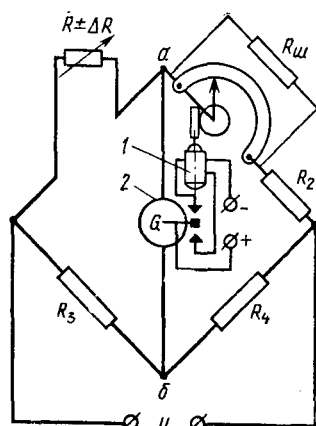


Рис. 4.22. Измерительная схема с автоматическим уравниванием моста

Подвижная система нулевого гальванометра $HГ$ имеет вместо стрелки контакт, который при появлении в гальванометре тока в зависимости от его направления замыкается с верхним или нижним неподвижным контактом. При этом включается электродвигатель $ЭД$ и перемещает движок реохорда R до тех пор, пока сила тока в гальванометре опять не станет равной нулю. Тогда контакты разомкнутся, электродвигатель остановится и движок реохорда останется в положении, соответствующем условию компенсации до тех пор, пока измеряемая э. д. с. опять не изменит своей

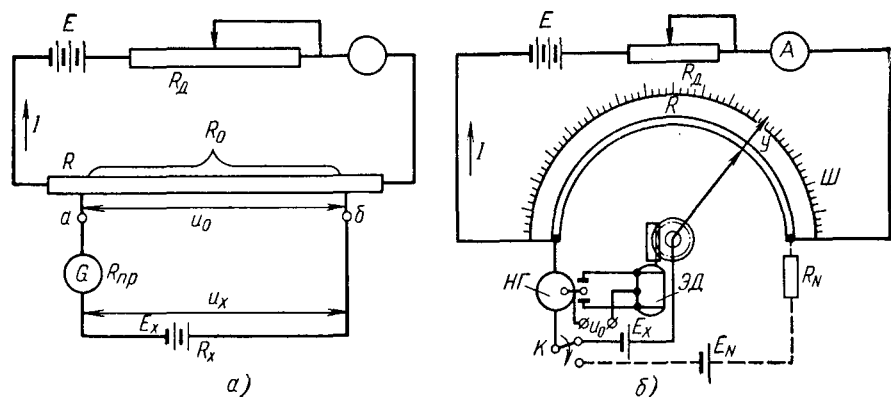


Рис. 4.23. Компенсационная измерительная схема с ручной (а) и автоматической (б) поднастройками

величины. Тогда описанный процесс повторится и движок переместится в новое положение, соответствующее новому положению компенсации. Перемещение движка механически передается на указатель $У$, показывающий по шкале $Ш$ величину измеряемой э. д. с., или на каретку с пером записывающего механизма (или на то и другое одновременно).

Условие компенсации в соответствии с обозначением на рисунке может быть записано так:

$$\Delta I_{\text{пр}} = \frac{u_x - u_0}{R_{\text{аб}} + R_x + R_{\text{пр}}} = 0, \quad (4.22)$$

т. е. $u_x - u_0 = 0$, откуда

$$u_x = u_0 = IR_0,$$

где $I = \text{const}$, т. е. u_x (э. д. с. термопары) в момент компенсации всегда пропорционально R_0 , а значит, и перемещению движка (при равномерной намотке реохорда).

Сила тока I поддерживается постоянной и контролируется амперметром A . Это достигается с помощью нулевого гальванометра (нормального элемента) E_N , как показано на рис. 4.23, б штриховой линией. Для проверки величины силы тока ключ K переключают на цепь с нормальным элементом, э. д. с. которого

должна при нормальной силе тока (около 20 мА) компенсировать полное падение напряжения на всем реохорде, если $R = \frac{E_N}{I}$.

Если $R > \frac{E_N}{I}$, нулевой гальванометр подключают к соответствующей части. Если $R < E_N I$, то последовательно с R включают сопротивление, дополняющее его величину до $\frac{E_N}{I}$. Если нет полной компенсации, то стрелка гальванометра отклонится и силу тока I необходимо изменить так, чтобы стрелка прибора опять установилась на нулевую отметку. Так как э. д. с. нормального элемента строго постоянна ($\mathcal{E} = 1,0183$ В), то такой способ регулирования обеспечивает высокую точность.

Отечественная промышленность выпускает большое количество самых разнообразных автокомпенсаторов (автопотенциометров) как на постоянном, так и на переменном токе применительно к самым различным задачам измерительной техники. Большое распространение получили автокомпенсаторы на постоянном токе.

Чувствительность компенсационной схемы можно определить как отношение изменения силы тока в нулевом приборе $\Delta I_{\text{пр}}$ к вызвавшему это изменение приращению измеряемого напряжения Δu_x :

$$S_{\text{сх}} = \frac{\Delta I_{\text{пр}}}{\Delta u_x} = \frac{1}{R_i + R_{\text{пр}} + R_x} = \frac{1}{\frac{R_0(R + R_d - R_0)}{R + R_d} + R_{\text{пр}} + R_x}. \quad (4.23)$$

Как видно из приведенной зависимости, чувствительность компенсационной схемы зависит от величины R_0 и максимальна при $R_0 = 0$ и $R_0 = R + R_d$, т. е. в начале и в конце шкалы. При $R_0 = \frac{R + R_d}{2}$ значение R_i максимально и чувствительность имеет минимальную величину. Это следует учитывать при точных измерениях компенсационным методом.

Дифференциальная схема представляет собой электрическую цепь, состоящую из двух смежных контуров, в каждом из которых действует отдельная э. д. с. Измерительный прибор размещен в общей для обоих контуров ветви и реагирует на разность контурных токов.

Могут быть следующие режимы использования дифференциальной схемы: при неизменных сопротивлениях обоих контуров изменяется либо одна, либо обе э. д. с. (рис. 4.24, а и б); при неизменных э. д. с. изменяется сопротивление одного или обоих контуров (рис. 4.24, в и г). Характер режима использования определяется типом применяемого электрического датчика (трансформаторный датчик, датчик сопротивления, простой датчик, дифференциальный датчик и т. п.).

Чувствительность дифференциальной схемы по напряжению

$$\frac{\Delta u_{\text{вых}}}{\Delta Z} = \frac{E}{\left(2 + \frac{Z}{Z_{\text{пр}}}\right)Z} [B/\text{Ом}], \quad (4.24)$$

где $\Delta u_{\text{вых}}$ — выходное напряжение схемы; E — вторичное напряжение трансформатора; Z — полное сопротивление датчика; ΔZ — изменение сопротивления датчика.

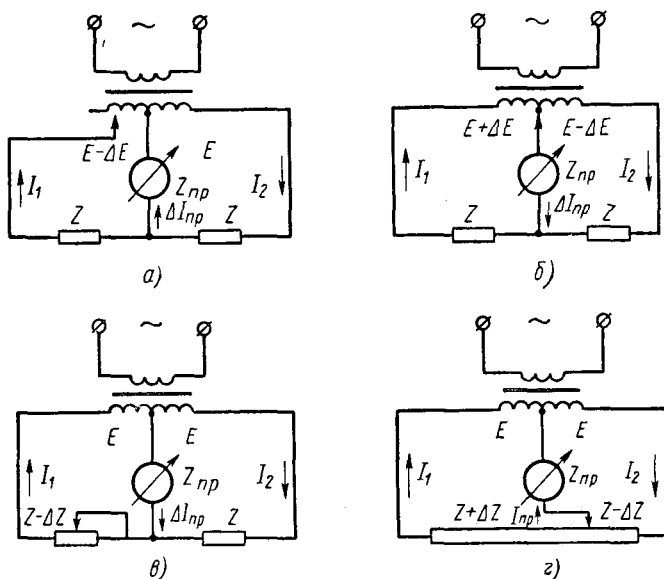


Рис. 4.24. Дифференциальные измерительные схемы:

а — с постоянными сопротивлениями и изменяемой э. д. с. в одном плече; б — с постоянными сопротивлениями и изменяемой э. д. с. в обоих плечах; в — с изменяемым сопротивлением в одном плече; г — с изменяемыми сопротивлениями в обоих плечах

Чувствительность схемы по току

$$\frac{\Delta I}{\Delta Z} = \frac{E}{(2Z_{\text{пр}} + Z)Z} [A/\text{Ом}], \quad (4.25)$$

где $Z_{\text{пр}}$ — сопротивление измерительного прибора.

Таким образом, чувствительность дифференциальной схемы по току при большом сопротивлении выше, чем мостовой.

Дифференциальная схема с дифференциальным индуктивным датчиком получила широкое распространение для измерения перемещений.

§ 4.3. РЕЛЕ И УСИЛИТЕЛИ

Реле. В системах автоматического управления реле используют как датчики прерывистого (дискретного) управления исполнительными механизмами посредством электрических сигналов сравнительно малой мощности. Вид реле в значительной степени

определяется видом параметра, который он контролирует (температурой, давлением, частотой вращения) и типом исполнительного механизма (пневматическим, гидравлическим, электрическим), которым оно управляет. В зависимости от этих признаков реле делят на электрические, пневматические, гидравлические, пневмоэлектрические и др.

Электрические реле по принципу действия делятся на электромагнитные, магнитоэлектрические, индуктивные и электронные, по мощности сигналов управления — на маломощные (менее 1 Вт), средней мощности (от 1 до 10 Вт), мощные (10 Вт) и, наконец, по времени срабатывания — на быстродействующие, нормальные, замедленные и реле времени.

Электромагнитное реле нейтральное, служит для размножения сигнала, для разделения электрических цепей, работающих в общей схеме, а также его используют в качестве усилителей релейного действия. Электромагнитные реле бывают с поворотным

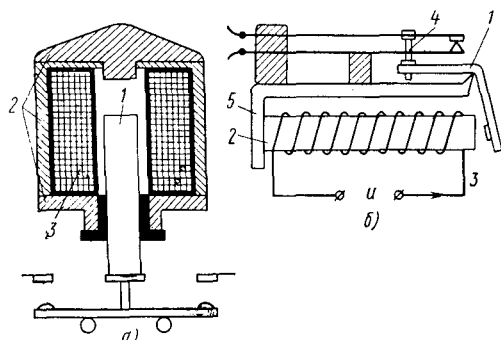


Рис. 4.25. Электромагнитные нейтральные реле:

а — с втяжным якорем; б — с поворотным якорем; 1 — якорь; 2 — сердечник; 3 — катушка; 4 — штифт; 5 — корпус

и с втяжным якорем (рис. 4.25). Принцип действия реле заключается в том, что при включении управляющего тока в обмотку электромагнита сердечник его намагничивается и притягивает к себе якорь. Перемещение якоря вызывает замыкание (или размыкание) контактов управляемой электрической цепи. Эти реле могут быть использованы для постоянного тока любой полярности и для переменного тока.

Поляризованное реле отличается от нейтрального электромагнитного реле тем, что оно чувствительно к направлению тока в катушках. Достигается это тем, что магнитопровод имеет постоянный магнит. В нейтральном реле магнитное поле, обеспечивающее срабатывание, создается током обмотки. В поляризованном реле ток обмотки лишь увеличивает магнитное поле, образованное постоянным магнитом. Поляризованное реле значительно чувствительнее электромагнитного, имеет малое время срабатывания и выдает полярный сигнал. Этот тип реле является незаменимым элементом автоматики в электрических следящих системах, где направление вращения электродвигателя должно зависеть от полярности (направления) сигнала. Схема одной из конструкций электромагнитного поляризованного реле показана на рис. 4.26. В подковообразный постоянный магнит 1 помещен якорь 3, шарнирно связанный с сердечником 6 дополнительного

электромагнита, установленного на ярме постоянного магнита. При изменении полярности тока в катушке 2 яркорь притягивается то к одному, то к другому полюсу магнита, замыкая контакт 4 или контакт 5. При отсутствии тока в электромагните яркорь находится в нейтральном положении, и устойчивость этого положения яркоря обеспечивает пружина. Следовательно, это реле является двухпозиционным.

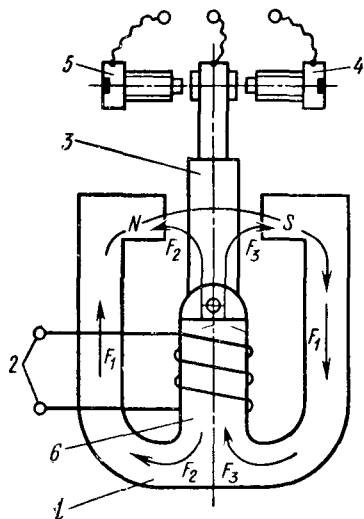


Рис. 4.26. Двухпозиционное поляризованное реле:

F_1, F_2, F_3 — магнитные потоки

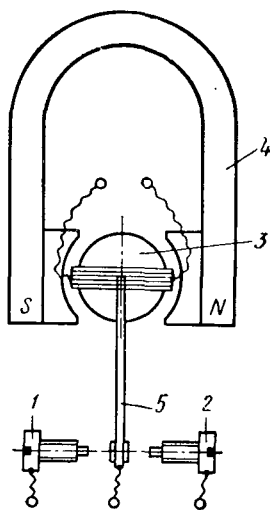


Рис. 4.27. Магнитоэлектрическое реле

Магнитоэлектрическое реле обладает весьма высокой чувствительностью (срабатывает при мощности 0,0001 Вт). Схема реле показана на рис. 4.27. Между полюсами постоянного магнита 4 на катушке расположена рамка 3 со стрелками и контактами; при прохождении тока через катушку в зависимости от его полярности рамка поворачивается в ту или другую сторону, яркорь 5 осуществляет замыкание контакта 1 или 2. При снятии тока происходит размыкание контакта, а рамка занимает исходное нейтральное положение.

Индуктивное реле получило распространение в системах автоматического управления и в устройствах автоматической защиты в качестве реле активной и реактивной мощности, фазы и направления энергии, тока, напряжения и частоты. Этот тип реле применяют сравнительно редко. Работает реле на переменном токе, и работа его основана на взаимодействии между переменным магнитным потоком и силой тока, которая индуцируется в диске. Схема индуктивного реле показана на рис. 4.28. На оси 3 установлен алюминиевый или медный диск 5, который поворачивается между электромагнитами 2 и 4. В обмотках электромагнитов про-

текают переменные токи I_1 и I_2 , каждый из которых создает в зазоре с диском магнитный поток. Переменные магнитные потоки, создаваемые в зазорах, индуктируют токи в диске. Между токами, питающими катушки электромагнитов, создается сдвиг по фазе, вызывающий взаимодействие между потоками в сердечниках и индуктированными токами в диске. Эти две силы действуют в одном направлении, создавая вращающий момент

$$M = kI_1I_2 \sin \varphi, \quad (4.26)$$

где I_1 и I_2 — сила токов; φ — сдвиг фазы.

Момент равен нулю, когда токи I_1 и I_2 совпадают по фазе, и максимален, когда они сдвинуты на 90° . Вращающий момент, преодолевая сопротивление пружины 1, поворачивает диск до тех пор, пока не замкнется контакт, смонтированный на оси 3. Чувствительность этого реле невелика, мощность срабатывания от 0,5 до 15 Вт, время срабатывания не менее десятков миллисекунд.

Электронные реле являются наименее инерционными, наиболее чувствительными и надежными. Схема электронного реле,

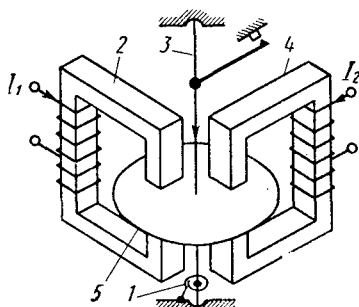


Рис. 4.28. Индуктивное реле

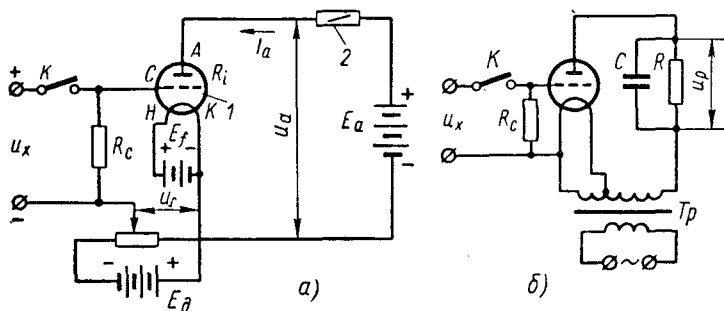


Рис. 4.29. Электронное реле

работающего на постоянном токе, показана на рис. 4.29, а. Реле состоит из электромагнитного реле 2 и трехэлектродной лампы 1, выполняющей функции усилителя. При подаче на управляющую сетку лампы постоянного отрицательного смещения u_c такой величины, при которой анодный ток будет немного меньше тока срабатывания электромагнитного реле, включенного в эту же цепь, контакты реле будут разомкнуты. Если на резистор R_c подать положительное напряжение регулирующего сигнала, замкнув ключ K , то отрицательное напряжение на сетке уменьшится, следовательно, анодный ток I_a увеличится и станет больше, чем ток

срабатывания электромагнитного реле, реле срабатывает, т. е. его контакты замкнутся.

Схема электронного реле, работающего на переменном токе, показана на рис. 4.29, б. При разомкнутом ключе K в положительный период через лампу проходит ток, который вызывает срабатывание электромагнитного реле. При замыкании ключа на сетку подается отрицательное напряжение, что вызывает уменьшение прохождения тока через лампу и отпусkanie реле. Конденсатор C питает обмотку реле в отрицательный период, чем предотвращает отход якоря. Время срабатывания электронного реле определяется временем срабатывания электромагнитного реле.

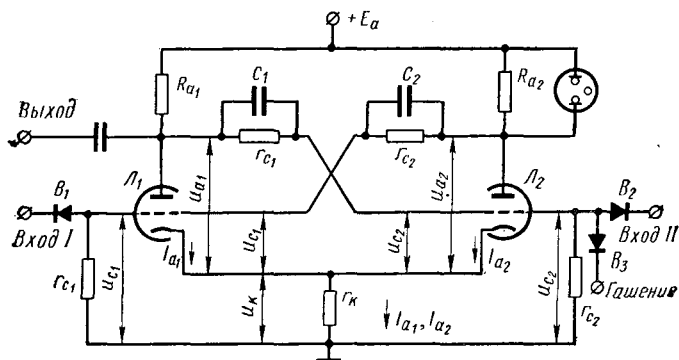


Рис. 4.30. Триггер на ламповых триодах

Электронное бесконтактное реле (триггер) получило широкое применение в автоматических и особенно в счетно-решающих устройствах. Схема триггера, выполненная в виде лампового усилителя с положительной обратной связью, показана на рис. 4.30. Триггер имеет электронную схему с двумя устойчивыми равновесными состояниями в зависимости от разных значений анодного тока. При небольших управляющих напряжениях в цепи сеток электронных ламп или при незначительном изменении сопротивлений в цепях электродов этих ламп триггер скачкообразно переходит из одного состояния равновесия в другое.

Приведенный на рисунке триггер работает следующим образом. Малейшее увеличение тока I_{a_1} в одной лампе приведет к падению напряжения на резисторе R_{a_1} и уменьшению напряжения u_{a_1} , что приведет к снижению потенциала u_{c_2} на сетке лампы L_2 , а значит, и тока I_{a_2} , проходящего через лампу L_2 . Уменьшение тока I_{a_2} вызовет падение напряжения на резисторе R_{a_2} , повышение напряжения u_{a_2} на аноде лампы L_2 и повышение потенциала u_{c_1} сетки лампы L_1 . Повышение потенциала u_{c_1} вызовет дальнейшее увеличение тока I_{a_1} , снижение потенциала u_{a_2} — уменьшение тока I_{a_2} и т. д.

При соответствующем подборе элементов схемы процесс нарастания тока в одной лампе будет происходить лавинообразно,

а вторая лампа окажется запертой. Такое состояние будет устойчивым и может сохраняться до тех пор, пока на вход не будет подан отрицательный импульс напряжения. Этот импульс вызовет резкое снижение тока I_{a_1} , что приведет к отпиранию второй лампы и запираанию первой, т. е. триггер перейдет в новое устойчивое состояние, при котором первая лампа будет запертой, а во второй лампе L_2 анодный ток I_{a_2} достигнет максимального значения.

Наряду с электронным реле находят применение реле на тиратронах (тиратронное реле).

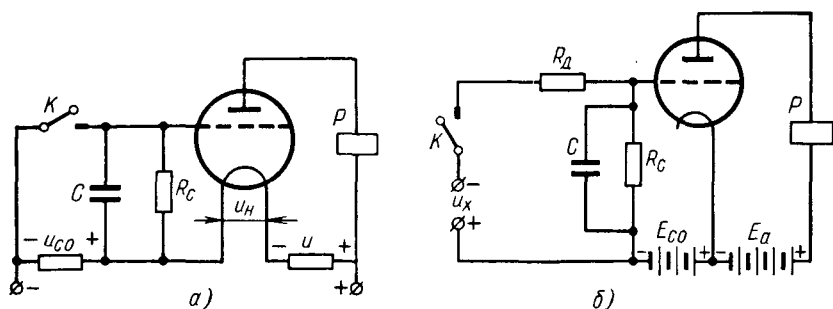


Рис. 4.31. Электронные реле времени:

а — срабатывает при размыкании ключа K ; б — срабатывает при замыкании ключа K

Электронное реле времени используют в тех случаях, когда необходимо получать выдержки времени от 0,05 с и более между моментом подачи сигнала и моментом срабатывания или отпущения контактов электромагнитного реле. В отличие от обычного электромагнитного реле, реле времени имеет конденсатор, включенный параллельно сеточному сопротивлению. Реле времени могут быть постоянного и переменного тока. Работа реле постоянного тока основана на разряде конденсатора на резистор R_a . Через заданный промежуток времени анодный ток достигает значения, при котором срабатывает реле и контакты размыкаются. В электронных реле времени переменного тока контакт разомкнутый. Конденсатор заряжается сеточным током через сетку — катод лампы, а резистор — от сети за каждый полупериод напряжения питания. Выдержка времени устанавливается передвижением движка делителя. Схемы электронного реле времени показаны на рис. 4.31. Реле подключается в сеть переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц.

Фотореле по принципу действия близки к электронным реле. Их работа основана на использовании фототока, т. е. тока, возникающего при облучении светом фотоэлементов. Существует много разновидностей фотореле, их строят на использовании постоянного или переменного тока, и схема их зависит от принципа сраба-

тывания на освещение или на затемнение (прямое или обратное действие). Схема фотореле, работающего на освещение, показана на рис. 4.32, а. Когда фотоэлемент освещен, возникающий фототок проходит через резистор R_0 , находящийся между катодом и сеткой триода, и создает в нем падение напряжения. Это падение напряжения уменьшает отрицательный потенциал $u_{см}$ (сеточное смещение), действующий в сеточной цепи. В результате компенсации запирающего потенциала сетки через лампу протекает ток, заставляющий срабатывать реле мгновенного действия.

Схему реле, работающего на затемнение (рис. 4.32, б), можно получить из рассмотренной выше схемы, поменяв местами фото-

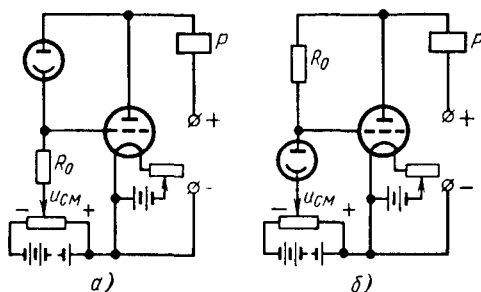


Рис. 4.32. Фотореле

элемент и резистор R_0 . Когда фотоэлемент не освещен, на сетке лампы действует положительный потенциал, что приводит к срабатыванию реле мгновенного действия. Регулировка и наладка фотореле производится путем изменения напряжения сеточного смещения $u_{см}$.

Усилители. Усилительные устройства, применяемые

в автоматике, делят на усилители сигналов и решающие (операционные) усилители. Здесь основное внимание будет уделено усилителям сигналов. Усилитель представляет собой устройство, плавно или скачкообразно управляющее энергией какого-либо источника. Первые — непрерывные усилители составляют большинство применяемых усилительных устройств, вторые — релейные применяют в основном в импульсной технике. Все усилители, в зависимости от их назначения, служат как усилители напряжения, тока, мощности и т. д.

На рис. 4.33 приведена обобщенная схема усилителя. Стрелками 1 и 2 показано соответственно направление управляющего и управляемого потоков энергии, а число их условно характеризует величину энергии каждого потока. Входной сигнал (BC) может поступать от какого-либо датчика: сельсина, поворотного трансформатора, потенциометра, тахогенератора, фотоэлемента, термопары и др. В качестве источника энергии может быть сеть переменного тока, генератор постоянного тока, преобразователь-выпрямитель (ионный, тиристорный), гидравлическая насосная станция, компрессор или сеть сжатого воздуха. В зависимости от вида управляемой энергии усилители делят на электрические переменного и постоянного тока, гидравлические, пневматические и комбинированные. Нагрузкой усилителя могут быть обмотки другого усилителя (электронного, электромашинного, магнитного), обмотки электромагнитной муфты, электромагнита, электродви-

гателя, нагревательного элемента, вход гидро- и пневмодвигателя, преобразовательная схема, шлейф осциллографа. Вопросам теории и практики усилителей посвящено много работ, поэтому остановимся лишь на тех вопросах, которые необходимы для пояснения принципа действия и правильного выбора типа усилителей при создании схем автоматики.

Основными показателями, характеризующими работу любого усилителя, являются коэффициент усиления, мощность (напряжение или ток) на выходе (в нагрузке) и на входе, к. п. д., искажения, вносимые усилителем. Коэффициентом усиления усилителя называется отношение величины выходного сигнала к входному. Искажение усилителя представляет собой всякое изменение формы кривой напряжения по сравнению с формой входного сигнала. Искажения могут быть частотные, фазовые и нелинейные. Частотные искажения возникают из-за неодинакового усиления различных частот, которые можно оценить по частотной характеристике усилителя. Фазовые искажения представляют собой изменение величины фазового сдвига уси-

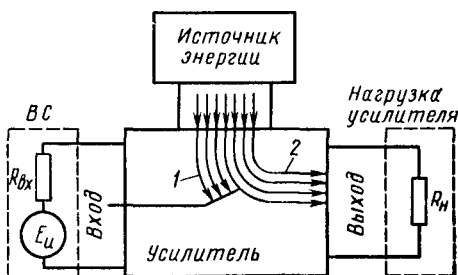


Рис. 4.33. Обобщенная схема усилителя

ваемых напряжений или токов относительно входных величин не пропорционально их частотам и определяются тоже по частотной (фазочастотной) характеристике. Нелинейные искажения появляются вследствие, например, нелинейной статической характеристики усилителя (при работе лампы на нелинейном участке статической характеристики изменение сеточного напряжения не пропорционально изменению ее анодного тока).

Электронные, полупроводниковые и тиратронные усилители. В электронных усилителях в качестве усилительного элемента используют электронные лампы, в полупроводниковых — транзисторы, в тиратронных — тиратроны. Электронные усилители характеризует высокое входное сопротивление, большой коэффициент усиления, сравнительно небольшие габаритные размеры, масса и стоимость, простота настройки и сравнительно хорошая стабильность характеристик. Основными недостатками их являются малый срок службы (10 000—20 000 ч), малая механическая прочность, чувствительность к вибрациям, неэкономичность, немгновенность начала работы (требуется время для прогрева ламп).

Полупроводниковые усилители отличаются большим сроком службы (100 000 ч и более), малыми размерами, массой, экономичностью (не требуется мощности накала), большими коэффициентами усиления, большим быстродействием, имеют высокую меха-

ническую прочность и выдерживают перегрузки до 1000 g, имеют практически мгновенную готовность к работе и большую чувствительность. Недостатком полупроводниковых усилителей является некоторая нестабильность характеристик, особенно от изменения температуры окружающей среды. Полупроводниковые усилители имеют мощность от долей ватта до нескольких десятков ватт.

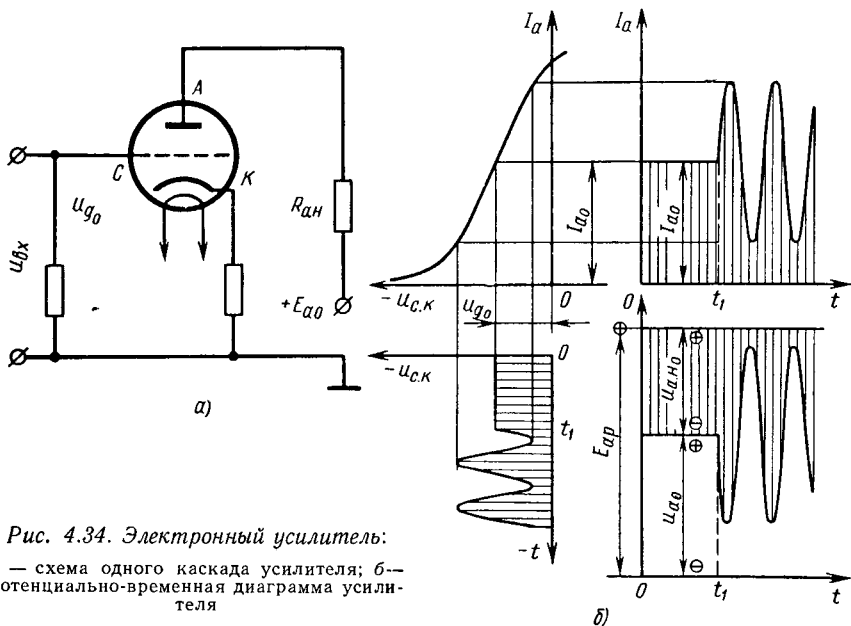


Рис. 4.34. Электронный усилитель:

а — схема одного каскада усилителя; б — потенциально-временная диаграмма усилителя

Работу электронного усилителя удобно рассмотреть на одном каскаде усиления (рис. 4.34, а), поясняя потенциально-временными диаграммами рис. 4.34, б. Во входной цепи усилительного элемента последовательно включены постоянное смещение $-u_{g0}$ и изменяющийся входной сигнал $u_{вх}$. При $u_{вх} = 0$ потенциал управляющей сетки постоянен и равен u_{g0} . Ток I_{a0} анодной цепи создает падение напряжения на сопротивлении нагрузки

$$u_{a. н_0} = I_{a. 0} R_{a. н}, \quad (4.27)$$

поэтому анодное напряжение

$$u_{a_0} = E_{a_0} - I_{a_0} R_{a. н}. \quad (4.28)$$

При подаче на вход (в момент времени t_1) переменного напряжения $u_{вх}$ потенциал управляющей сетки изменится. В первый положительный полупериод отрицательное смещение сетки уменьшится, анодный ток возрастет, что приведет к росту $u_{a. н_0}$. При этом напряжение на аноде u_{a_0} соответственно уменьшится. Во второй отрицательный полупериод входного сигнала анодный ток

и падение на $R_{a.n}$ станет меньше, поэтому напряжение на аноде u_{a_0} возрастет.

Таким образом, изменяющийся сигнал, приложенный между сеткой и катодом лампы, вызывает появление переменной составляющей анодного тока и анодного напряжения (напряжения на нагрузке), причем амплитуда переменной составляющей значительно больше амплитуды входного сигнала. В этом заключается эффект усиления в ламповом усилительном каскаде.

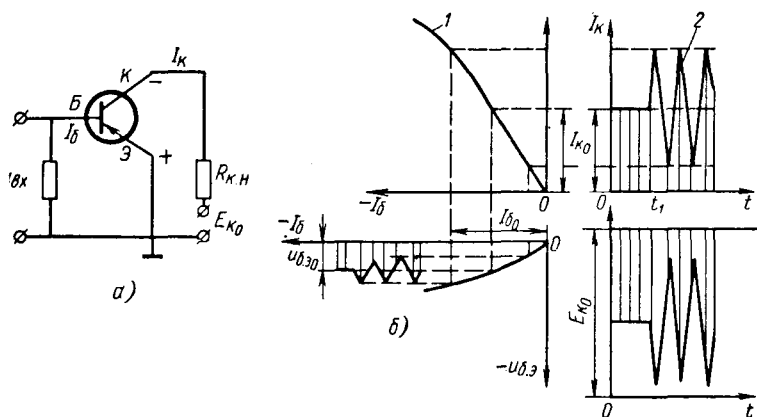


Рис. 4.35. Полупроводниковый усилитель:

а — схема одного каскада усилителя; б — потенциально-временная диаграмма

Аналогично усиление входного сигнала происходит в полупроводниковом триоде (рис. 4.35, а), для которого потенциально-временные диаграммы приведены на рис. 4.35, б. Входная и переходная характеристики (кривые 1 и 2) построены с учетом сопротивления коллекторной нагрузки на основании статических характеристик полупроводникового триода. В качестве полезного входного сигнала принято напряжение треугольной формы, поэтому переменные составляющие коллекторного тока и напряжения также треугольной формы. Существенным отличием работы каскадов усиления на электронной лампе и полупроводниковом триоде является потребление транзистором входного тока $I_б$. Для получения большого усиления электронные и полупроводниковые усилители выполняют многокаскадными.

Тиратронные усилители используют обычно в качестве усилителей мощности; они могут быть выполнены на большие мощности (до нескольких киловатт). Технические характеристики тиратронных и электронных усилителей во многом совпадают. Однако тиратронные усилители имеют бóльший разброс параметров, в большей мере подвержены влиянию окружающей среды, обладают меньшей чувствительностью. Положительная сторона их — большой к. п. д.

Тиратронные усилители имеют значительно меньшее распространение, чем электронные и полупроводниковые. Электронные и полупроводниковые усилители могут быть усилителями как постоянного, так и переменного тока. Усилители постоянного тока служат для усиления постоянного и изменяющегося во времени сигнала. Диапазон частот изменяющегося сигнала ограничивается полосой пропускания электромеханических элементов и обычно не превышает 80 Гц ($0 < f < 80$ Гц).

Усилители переменного тока служат для усиления лишь одной несущей частоты, в качестве которой часто используется сетевая (50 Гц), а при высоких требованиях к быстродействию — повышенная (до 400 Гц). Электронные и полупроводниковые усилители имеют полосу пропускаемых частот выше максимальной частоты входного сигнала, поэтому выбор того или иного усилителя диктуется обычно необходимым коэффициентом усиления, чувствительностью, стабильностью, надежностью работы, а также конструктивной сложностью. Так, усилители переменного тока следует использовать, если необходим большой коэффициент усиления и высокая стабильность нуля. Их применение целесообразно также для управления двухфазным асинхронным двигателем.

Усилители постоянного тока (УПТ). Известны два вида УПТ с непосредственной (гальванической) связью между каскадами и с преобразованием. В первом случае отсутствуют емкостная и индуктивная связь между каскадами и нагрузкой, что дает возможность усиливать сигнал, изменяющийся с нулевой частотой. Эти усилители могут пропускать и изменяющийся во времени сигнал. Основным недостатком таких усилителей является сложность развязки анодных и сеточных потенциалов в многокаскадных схемах и отделение полезного сигнала на его выходе от шумов, следствием чего является дрейф нуля (непрерывное изменение выходного сигнала, независимо от входного) и конструктивная сложность усилителя. Наименьшим дрейфом обладают балансные (двухтактные) схемы. Эти схемы имеют значительно большее распространение.

На рис. 4.36, *а* представлена схема двухкаскадного УПТ на электронных лампах. Сигнал, который необходимо усилить, подается на сетку триода L_1 . С анода лампы L_1 снимается усиленный сигнал, который еще раз усиливается вторым триодом L_2 . Величина напряжения смещения $u_{см}$ определяет положение рабочей точки лампы при некоторой средней нагрузке ($\sim 0,5u_{н}$). На рис. 4.36, *б* показана схема усилителя постоянного тока на транзисторах с общим эмиттером. В исходном состоянии на основании транзистора T_1 подается положительное смещение через резистор R_1 . Это смещение создает средний потенциал основания относительно эмиттера. При подаче сигнала на вход схемы потенциал смещения отклоняется от средней величины. При этом в цепи коллектора T_1 появляется усиленный сигнал противоположного знака относительно входного. Он подается к основанию транзистора T_2 .

Во втором каскаде сигнал вновь усиливается и опрокидывается. Оба рассмотренных усилителя выполнены с гальванической межкаскадной связью (т. е. через проводники). Основным их недостатком является дрейф нуля.

Схема усилителя переменного тока аналогична схеме усилителя постоянного тока (см. рис. 4.36, а) с той лишь разницей, что вместо переходного резистора R_{Π} устанавливают конденсатор C_{Π} , который не пропускает постоянную составляющую анодного напряжения лампы L_1 на сетку лампы L_2 , а переменная составляющая напряжения анодной цепи лампы L_1 , появившаяся в результате усиления входного сигнала, изменяет потенциал на

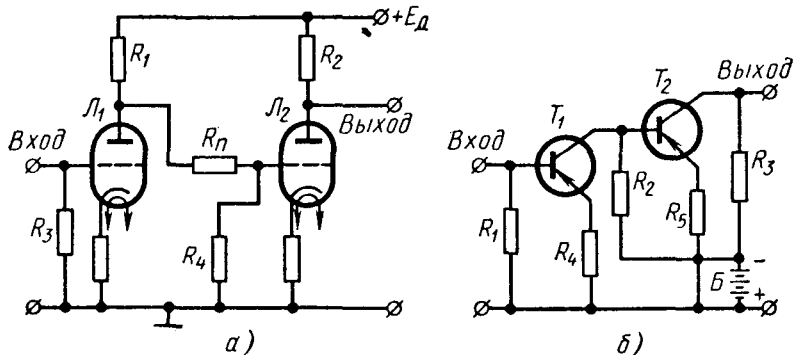


Рис. 4.36. Усилители постоянного тока:

а — на электронных лампах; б — на транзисторах

одной из обкладок конденсатора C_{Π} . Это вызывает изменение потенциала на второй обкладке, соединенной с сеткой лампы L_2 , поэтому переменный потенциал алгебраически складывается с потенциалом на сетке, созданным сеточным смещением, и изменяет напряжение сетки лампы L_2 . Усилитель переменного тока может быть выполнен также и на транзисторах.

Усилители переменного тока в отличие от усилителей постоянного тока с гальванической связью не имеют дрейфа нуля, но их коэффициент усиления на низких частотах мал и равен нулю для постоянного тока. Эти свойства у них появляются из-за наличия реактивной связи между каскадами, осуществляемой с помощью конденсаторов (или трансформаторов).

Магнитные усилители используют принцип изменения индуктивного сопротивления катушки со стальным сердечником при дополнительном ее подмагничивании. Их применяют для предварительного усиления слабых электрических сигналов, поступающих от различных датчиков; для преобразования усиливаемых сигналов постоянного тока в модулированные колебания несущей частоты с целью дальнейшего усиления электронными или полупроводниковыми усилителями; для суммирования или сравнения нескольких сигналов; управления следящими приводами и испол-

нительными механизмами; стабилизации напряжения и частоты вспомогательных источников питания и пр.

При автоматизации применяют различные типы магнитных усилителей: одно- и двухтактные (реверсивные), усилители напряжения (модуляторы), многокаскадные и многофазные и комбинированные. В простейшем виде магнитный усилитель представляет собой управляемый дроссель (рис. 4.37, а, б). Материалом для сердечников дросселей служит листовая трансформаторная сталь или сплав (пермаллой).

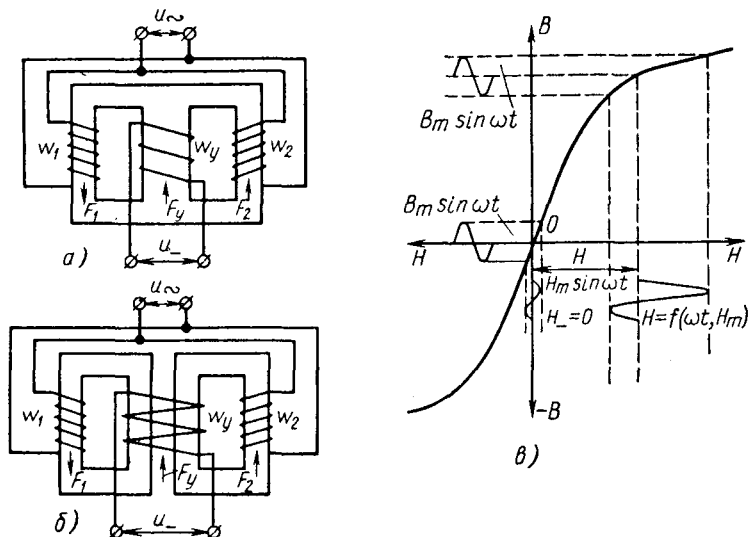


Рис. 4.37. Магнитные усилители:

а и б — управляемые магнитные дроссели; в — статическая характеристика усилителя

При работе магнитного усилителя его сердечник намагничивается одновременно двумя полями: постоянным, созданным обмоткой управления w_y , и переменным (катушки w_1 и w_2), которые характеризуются соответствующими составляющими индукции и напряженности (B_0 и H_0) и (B_- и H_-).

При стабилизированном переменном напряжении на обмотке дросселя кривые магнитной индукции и напряженности магнитного поля в одном из стержней имеют вид, показанный на рис. 4.37, в. Из графика видно, что от введения дополнительного подмагничивания напряженность поля и сила тока в обмотке резко возрастают.

Сечение стали при выбранной индукции и токе холостого хода (без подмагничивания)

$$S_c = \frac{I_0 X_0 10^8}{4,44 f \omega_p B_{m_0}}, \quad (4.29)$$

где B_{m_0} — индукция; X_0, I_0 — значения индуктивного сопротивления и силы тока дросселя; ω_p — число витков обмотки переменного тока, а сопротивление управляющей обмотки

$$R_y = \frac{\omega_y l_B}{s_{п. y} \gamma}, \quad (4.30)$$

где ω_y — число витков обмотки управления; l_B — средняя длина одного витка; γ — удельная проводимость; $s_{п. y}$ — сечение провода,

$$s_{п. y} = \frac{u_y}{R_y a}, \quad (4.31)$$

здесь u_y — напряжение на обмотке управления; a — принятая плотность тока;

$$\omega_y = \frac{\gamma}{l_B a} u_y. \quad (4.32)$$

При силе тока управления $I_y = 0$ постоянное подмагничивающее поле в сердечнике отсутствует и магнитная проницаемость μ будет наибольшей, а переменный ток в управляющей обмотке ω_y будет наименьшим и равным току холостого хода $I_{х. х}$.

Отношение приращения переменного тока к вызвавшему его изменению постоянного тока есть коэффициент усиления всего усилителя по току, а отношение мощности в нагрузке к мощности управления — коэффициент усиления по мощности. Коэффициент усиления по мощности у магнитных усилителей в зависимости от частоты переменного тока, сорта стали, наличия обратной связи и других факторов находится в пределах от 50 до 20 000. Быстродействие, определяемое постоянной времени усилителя, составляет от десятых долей секунды до нескольких секунд в зависимости от мощности усилителя, коэффициента усиления и частоты переменного тока. Постоянная времени уменьшается с уменьшением мощности, коэффициента усиления и с увеличением частоты.

Низкое быстродействие магнитных усилителей компенсируется высокой надежностью и большим сроком службы, высоким к. п. д., высокой чувствительностью для входных сигналов, значительными коэффициентами усиления, возможностью суммирования большого количества входных сигналов и питанием непосредственно от сети переменного тока, практически мгновенной готовностью к работе после включения питания, взрывобезопасностью. Эти усилители с успехом применяют в тех системах автоматики, где не требуется высокого быстродействия.

Электромашинный усилитель (ЭМУ) представляет собой совокупность генератора постоянного тока с короткозамкнутым якорем и с несколькими обмотками возбуждения с приводящим его во вращение электродвигателем, обычно трехфазным асинхронным, короткозамкнутым. ЭМУ часто применяют для управления двигателем постоянного тока мощностью от 0,1 до 10 кВт. Наличие

нескольких управляющих обмоток позволяет осуществлять в схемах различные обратные связи. При этом упрощаются измерительные устройства, а основная стабилизация осуществляется в цепях усилителя.

Существует несколько разновидностей ЭМУ. В зависимости от системы возбуждения различают: ЭМУ с независимым, смешанным возбуждением и с поперечным полем. Наибольшее распространение в различных схемах автоматики получили электромашины усилители с поперечным полем благодаря высокому коэф-

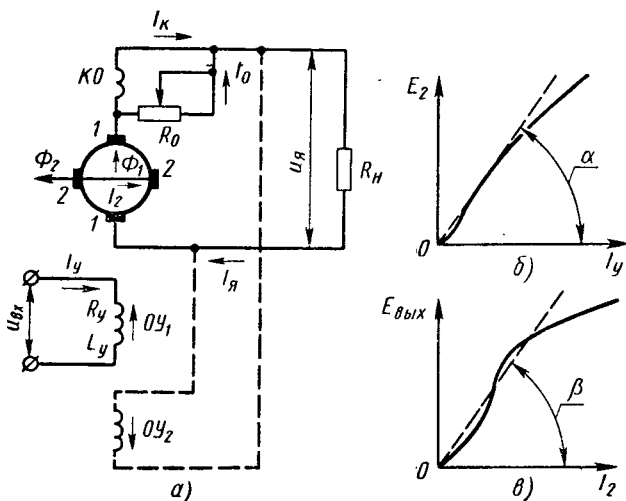


Рис. 4.38. Электромашиный усилитель:

а — схема ЭМУ с поперечным полем; б и в — статическая характеристика первого и второго каскадов ЭМУ

фициенту усиления по мощности (10^3 — 10^4), сравнительно малой инерционности (0,1—0,3 с), небольшой мощности управления (около 1 Вт), возможности просто суммировать несколько сигналов на отдельных управляющих обмотках. ЭМУ с поперечным полем (рис. 4.38) представляет собой двухполюсную электрическую машину постоянного тока с двумя парами щеток, расположенными по продольной (1—1) и поперечной (2—2) осям.

Входной сигнал $u_{вх}$, поданный в обмотку управления ОУ, создает по продольной оси машины магнитный поток

$$\Phi_y = C_1 \omega_y I_y, \quad (4.33)$$

где ω_y — число витков управляющей обмотки; I_y — ток в управляющей обмотке.

При вращении якоря в продольном магнитном поле Φ_y на поперечных щетках возникает э. д. с., равная $E_2 = C_я \Phi_y$, а по

якорной обмотке потечет ток $I_2 = \frac{E_2}{R_2}$, так как щетки замкнуты накоротко. Ток I_2 создаст магнитный поток

$$\Phi_{я1} = C_2 \omega_я I_2 = \frac{C_2 \omega_я}{R_2} E_2, \quad (4.34)$$

где $\omega_я$ — число витков обмотки якоря.

Поток $\Phi_{я1}$ направлен по поперечной оси машины, и эта часть усилителя подобна первому каскаду двухкаскадного усилителя (обмотка управления — вход, якорь с короткозамкнутыми щетками — выход). Второй каскад составляют короткозамкнутый контур якоря (играет роль обмотки возбуждения) и обмотка якоря со щетками, расположенными по продольной оси. На щетках, расположенных по продольной оси, при вращении якоря возникает э.д.с.

$$E_{вых} = C_я \Phi_{я1} = C_я \frac{C_2 \omega_я}{R_2} E_2. \quad (4.35)$$

При подключении к этим щеткам нагрузки (обмоток двигателя постоянного тока) и полной компенсации реакции якоря $\Phi_{я2}$ выходная э. д. с. ЭМУ

$$E_{вых} = C_я^2 \frac{C_2 \omega_я}{R_2} \frac{C_1 \omega_у}{R_у} u_{вх}, \quad (4.36)$$

так как $E_2 = C_я C_1 \omega_у I_у$, а $u_{вх} = I_у R_у$.

Размагничивающее действие потока реакции якоря зависит от насыщения магнитной цепи усилителя и сказывается сильнее при работе усилителя на пониженном напряжении, когда его магнитная цепь ненасыщена. Вследствие этого полностью скомпенсированный усилитель при номинальном напряжении оказывается перекомпенсированным при более низких напряжениях, приобретающая склонность к самовозбуждению. Это является недостатком таких усилителей. Другим недостатком является наличие щеток и коллектора, что снижает надежность и долговечность работы. Значительно реже в практике автоматизации применяют ЭМУ с самовозбуждением.

Усилители-преобразователи (управляемые вентили) на тиратронах, игнитронах, экситронах и тиристорах служат для пропорционального преобразования переменного тока в постоянный, используемый для приведения в действие исполнительного двигателя постоянного тока. Известны тиратронные, игнитронные, нонные, тиристорные преобразователи и ртутные управляемые выпрямители.

В тиратронных преобразователях основным элементом являются тиратроны, которые могут работать как в прерывистом, так и в непрерывном режиме. В преобразователе, управляющем двигателем постоянного тока с независимым возбуждением (рис. 4.39, а), тиратроны работают поочередно. Во все нечетные полупериоды переменного тока, снимаемого со вторичной об-

мотки трансформатора Tp , работает тиратрон $T1$, а во все четные — тиратрон $T2$. Включение тиратрона осуществляется напряжением, подаваемым на сетку, которое в нужный момент времени ($\omega t = \vartheta_3$) повышается до величины, необходимой для зажигания дуги. Угол ϑ_3 называется углом зажигания. При работе тиратронов в прерывистом режиме один из тиратронов открывается за каждый полупериод анодного напряжения, пропускает определенный импульс тока и вновь закрывается. На рис. 4.39, б представлены графики мгновенных значений анодного напряжения u_a , тока I ,

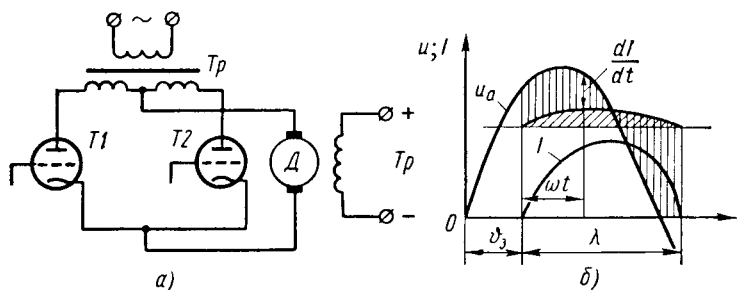


Рис. 4.39. Тиратронный усилитель:

а — принципиальная схема; б — графики напряжений

активного и индуктивного падений напряжения. Здесь же показана принятая постоянной за рассматриваемый полупериод противо-э.д.с. двигателя и неизменное падение напряжения в дуге. Угол падения обозначен через λ .

Металлические ртутные выпрямители (экситроны и игнитроны), а также ионные вентильные преобразователи наиболее эффективны в мощных приводах, поэтому здесь не рассмотрены.

Широкую популярность в электрических схемах автоматики приобрели тиристорные преобразователи благодаря постоянной готовности к работе, высокому к. п. д., неограниченному сроку службы, почти полному отсутствию ухода за их работой, малой мощности управления (напряжение управления от 0,6 до 8 В и сила тока управления от 10 до 100 мА) и практической безынерционности. Эти особенности настолько существенны, что тиристорные преобразователи начинают вытеснять ранее широко применяемые в схемах автоматического управления электромашинные и другие усилители. Основным элементом тиристорных преобразователей является кремневый управляемый вентиль. Он представляет собой четырехслойный полупроводниковый прибор с проводимостью типа $p-n-p-n$ (рис. 4.40, а). Здесь имеют место три перехода $p-n$ в отличие от транзисторов, имеющих по два перехода.

При отсутствии сигнала управления E_y тиристор представляет большое сопротивление как в прямом, так и в обратном направлении. При приложении к нему напряжения $\sim u_a < u_m$

получим небольшой тепловой ток (участки I и IV на рис. 4.40, б). Если увеличивать приложенное напряжение, то наступит момент, когда полупроводник откроется и будет пропускать ток в прямом направлении (участок III). Как и в ионных приборах, система

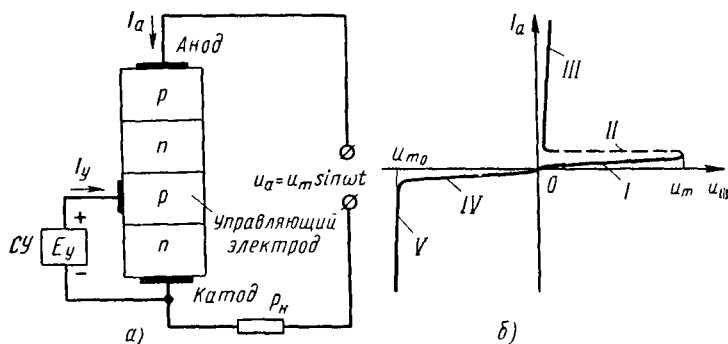


Рис. 4.40. Принцип работы тиристорного преобразователя:
а — упрощенная схема работы; б — график токов и напряжений

управления здесь может открыть тиристор, но закрыть его можно только отрицательным напряжением на аноде.

На рис. 4.41 представлены основные цепи тиристорных преобразователей. Схему на рис. 4.41, а применяют главным образом для управления средним или действующим значением переменного тока в нагрузке R_n . Схема же рис. 4.41, б пригодна для управления скоростью двигателя независимого возбуждения при питании от сети постоянного тока в импульсном режиме. Если тиристор $T1$ открыт и через двигатель протекает ток I , то $T2$ — закрыт, а $T3$ — открыт. При этом конденсатор C заряжается до значения E , при котором тиристор $T3$ запирается. Чтобы остановить двигатель, подается импульс на открывание тиристора $T2$, и конденсатор C разряжается на цепь якоря двигателя и питающую сеть. Тиристор $T1$ запирается. Прохождение тока через тиристор $T2$ прекратится после окончания переходного процесса в конденсаторе C . Двигатель уменьшает частоту вращения. Затем снова с нужной паузой подается импульс на открывание тиристора $T1$, двигатель

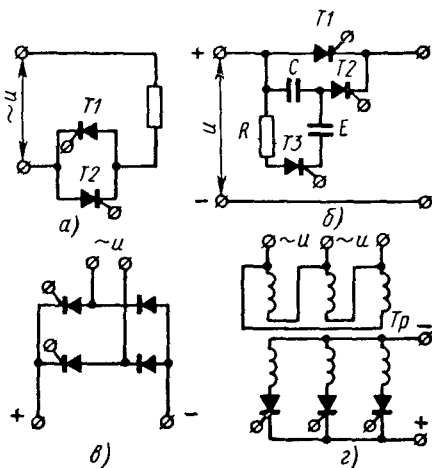


Рис. 4.41. Схемы тиристорных преобразователей

вновь разгоняется. Процесс повторяется. Чередую подачу управляющих импульсов на тиристоры $T1$ и $T2$, можно менять ширину рабочих импульсов и паузу. Так осуществляется бесконтактное импульсное управление двигателем. Тиристорные преобразователи, работающие по схеме в и г (рис. 4.41), применяют реже.

Схемы управления тиристорами весьма разнообразны. Наиболее простой из приведенных на рис. 4.42 является схема со статическим фазорегулируемым мостом (рис. 4.42, а), выполненным на емкости C и резисторе $R1$. При изменении сопротивления $R1$

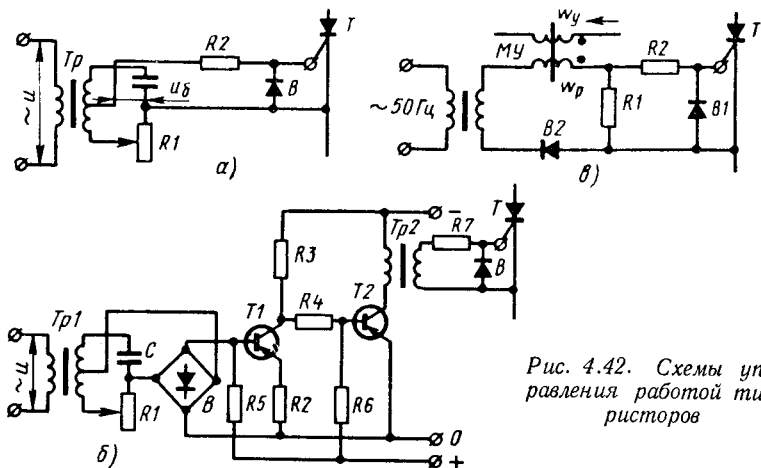


Рис. 4.42. Схемы управления работой тиристоров

изменяется фаза напряжения u_6 в пределах от 0 до 180° , однако вместе с фазой изменяется величина напряжения и тока в диагонали. Схема управления, приведенная на рис. 4.42, б , содержит тот же статический мостовой фазорегулятор, подающий сигналы управления на схему формирования импульсов, собранную на транзисторах $T1$ и $T2$. Выпрямленные и смещенные по фазе синусоидальные импульсы поступают на базу триода $T1$, работающего в ключевом режиме. Триод $T1$ переходит в режим насыщения и отпирает более мощный триод $T2$, который работает на трансформатор $Tp2$. Последний подает на вход тиристора короткие импульсы напряжения и тока, появляющиеся при переключениях триода $T2$ из режима отсечки в режим насыщения и наоборот.

В схеме на рис. 4.42, в для регулирования фазы применен однотактный магнитный усилитель (МУ). Здесь вместе с изменением угла регулирования изменяется амплитуда и форма импульсов напряжения, представляющих собой часть синусоиды.

Гидравлические усилители выполняют как функцию усиления сигнала, так и управления работой силового исполнительного гидродвигателя. Все они являются усилителями мощности. Существует большое число схемных и конструктивных разновидностей

гидравлических усилителей (ГУ). Большинство из них являются дроссельными, в которых при перемещении тех или иных частей усилителя происходит изменение скорости потока рабочей жидкости как по величине, так и по направлению за счет изменения гидравлического сопротивления.

Гидравлические усилители подразделяют по конструкции дросселя (с золотником, соплом-заслонкой, струйной трубкой и игольчатым дросселем, см. рис. 4.45, в), по числу дросселей (двух-, четырех- и многодроссельные), их расположению (по дифферен-

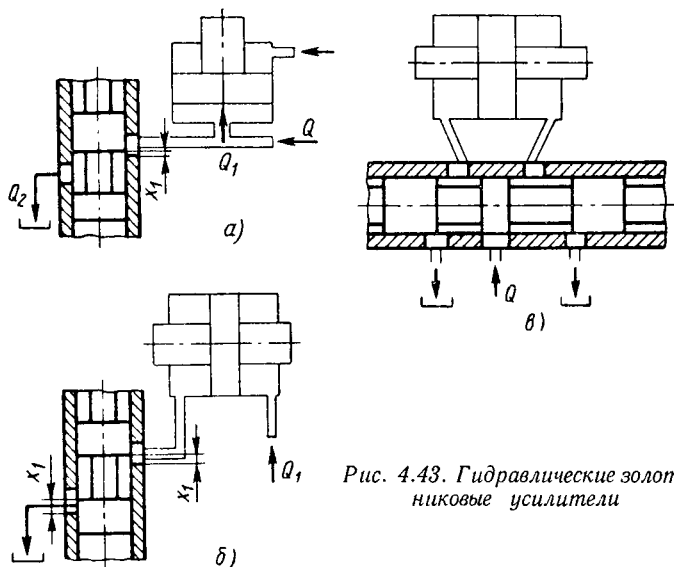


Рис. 4.43. Гидравлические золотниковые усилители

циальной и недифференциальной схеме), типу дросселя (постоянного или переменного сечения) по числу каскадов (одно-, двух- и многокаскадные). Остановимся на наиболее распространенных ГУ.

Гидравлический усилитель с золотником (однокаскадный) (рис. 4.43) имеет четыре дросселя, включенных в мостовую схему. Основным элементом этого ГУ является пара: золотник и втулка. При смещении золотника относительно втулки изменяется сечение рабочей щели (дросселя), через которую протекает силовой поток жидкости от внешнего источника (насосной станции) к двигателю. При этом изменяется расход жидкости, поступающей в двигатель (или из него). При постоянном давлении питания и постоянной нагрузке расход рабочей жидкости через проходное сечение окон во втулке

$$Q = \mu f \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p_{\text{ок}}}, \quad (4.37)$$

где μ — коэффициент расхода, зависящий от открытия окна и режима движения рабочей жидкости; f — площадь проходного

сечения окон; ρ — плотность рабочей жидкости; $\Delta p_{ок}$ — перепад давления на окнах золотника.

Входным сигналом в этом ГУ является перемещение золотника, а выходным — изменение расхода жидкости, поступающей в гидродвигатель.

Золотниковый усилитель может иметь одну (рис. 4.43, а), две (рис. 4.43, б) и четыре (рис. 4.43, в) рабочих кромки. Наиболее широкое распространение получили четырехкромочные золотники, как наиболее точные (так как в них дроссели включены по дифференциальной схеме), но они уступают однокромочным из-за

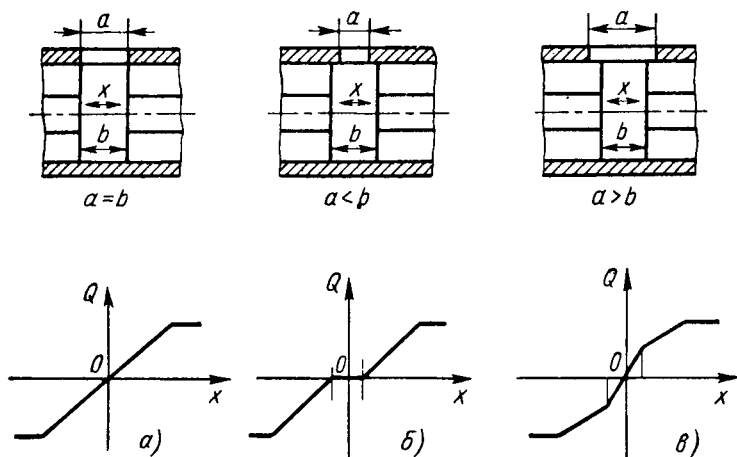


Рис. 4.44. Схемы перекрытия рабочей щели в золотниковых усилителях и их статические характеристики

своей конструктивной сложности. ГУ с двухкромочными золотниками занимают промежуточное положение. Таким образом, там, где требуется точное усиление сигнала, выбирают четырехкромочный золотник. Если требование по точности не лимитирует, то выбирают однокромочный золотник. По характеру сопряжения пояса золотника и ширины рабочего окна различают золотники с нулевым (идеальный) (рис. 4.44, а), отрицательным (рис. 4.44, в) и положительным (рис. 4.44, б) перекрытием. В идеальном золотнике ширина запирающего пояса должна быть равна ширине рабочего окна. Однако на практике выдержать это условие трудно, к тому же для увеличения чувствительности лучше иметь золотник с небольшим протоком жидкости (зазор в несколько микрон). Такие ГУ имеют более линейную статическую характеристику, но с точки зрения динамики они менее устойчивы и при некоторых условиях могут впасть в автоколебания. Более устойчивыми, но менее чувствительными являются золотниковые усилители с положительным перекрытием.

Золотниковые усилители с большей точностью выполняют усиление и преобразование сигналов, чем струйные или «сопло-заслонка», имеют более длинный линейный участок статической характеристики, позволяют реализовать большие коэффициенты усиления, но для больших расходов масса золотников увеличивается, и это ухудшает динамику таких усилителей. Другим недостатком золотниковых усилителей является сложность изготовления, что увеличивает их стоимость. Наличие трущихся поверхностей уменьшает срок службы, порождает силы трения,

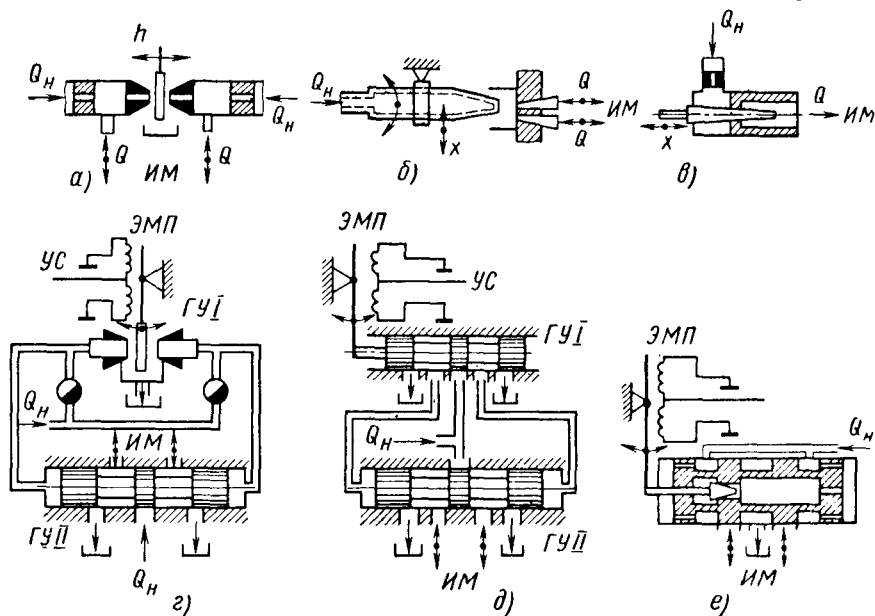


Рис. 4.45. Схемы гидравлических и электрогидравлических усилителей

увеличивающие мощность входного сигнала. Золотниковые усилители чувствительны к загрязнению масла и изменению его температуры. Их часто используют в качестве второго каскада усиления в многокаскадных гидравлических усилителях с различными обратными связями, например с обратной связью по перемещению золотника. Это увеличивает линейность усилителей и улучшает их динамические свойства.

Гидравлический усилитель «сопло-заслонка» однокаскадный, принципиальная схема которого представлена на рис. 4.45, а, содержит два дросселя, включенных последовательно. Один из них постоянного (d) сечения, а другой переменного. С изменением положения заслонки ($h = \text{var}$) изменяется расход жидкости в дросселе «сопло-заслонка»

$$Q_3 = \mu_3 \pi d_c h \sqrt{\frac{2}{\rho} p_3}, \quad (4.38)$$

где μ_3 — коэффициент расхода через дроссель «сопло-заслонка»; d_c — диаметр сопла; p_3 — давление перед соплом.

Это вызовет изменение расхода в нагрузке (в двигателе). При увеличении h сопротивление переменного дросселя уменьшается, поэтому больше жидкости сольется в бак, а «в нагрузку» поток уменьшится; при уменьшении h гидравлическое сопротивление возрастет, поэтому поток жидкости «в нагрузку» возрастет. Входным сигналом в этом усилителе является перемещение заслонки, а выходным — изменение расхода жидкости в нагрузке.

В гидроусилителях «сопло-заслонка» отсутствуют скользящие соединения, поэтому отсутствуют связанные с ними силы трения. Масса движущегося элемента (заслонки) здесь может быть значительно меньше, поэтому при одинаковом давлении быстрогодействие его выше, чем у других гидравлических усилителей. Этот тип ГУ имеет меньшие габаритные размеры. Он менее чувствителен к загрязнению масла, и в его лучших конструкциях статические характеристики более стабильны при изменении температуры масла. ГУ «сопло-заслонка» проще по конструкции и дешевле в изготовлении. Недостатками его являются: неполное использование мощности потока рабочей жидкости из-за вытекания жидкости через сопло, меньшая линейность статической характеристики, несколько пониженный коэффициент усиления. Такие усилители широко применяют в качестве первого каскада усиления в многокаскадных гидравлических усилителях.

В гидравлическом усилителе со струйной трубкой (рис. 4.45, б и в) основную функцию управления силовым потоком выполняет струйная трубка, от положения которой относительно приемных сопел зависит величина и направление потока жидкости. Рабочая жидкость подается в струйную трубку под постоянным давлением 60—100 Н/см². В конической насадке происходит увеличение скорости потока, что приводит к увеличению запаса кинетической энергии. Струя, выходящая из насадки, имеет конусообразную форму и способна сохранять ее на определенной длине. В нейтральном положении трубки струя жидкости перекрывает одинаковые площади приемных окон, поэтому расход в нагрузку в обе полости одинаков. При смещении трубки из нейтрального положения равенство перекрытых струей площадей нарушается; в одном из окон расход будет больше (где площадь перекрытия больше):

$$Q = v_0 (\Delta F_1 - \Delta F_2), \quad (4.39)$$

где v_0 — скорость струи жидкости; ΔF_1 и ΔF_2 — площади приемных окон, перекрытых струей.

Там же возрастет давление, а в другом — соответственно падает. Под действием разности давлений нагрузка (двигатель) придет в движение.

Из-за низкого давления, подводимого к струйной трубке, динамика струйного ГУ несколько хуже, чем у рассмотренных

выше. Линейность статической характеристики у него хуже, чем у золотниковых и у «сопло-заслонки». Струйные усилители просты по конструкции, сравнительно дешевы, малочувствительны к загрязнению, неприхотливы в работе и долговечны. Недостатком струйных усилителей также является неполное использование мощного потока рабочей жидкости из-за холостых перетечек жидкости в месте взаимодействия струи с приемными окнами. Струйные усилители чаще применяют в первых каскадах многокаскадных усилителей или в качестве самостоятельных ГУ (где позволяет мощность) в системах управления для автоматизации медленно протекающих процессов.

В современных системах автоматики в качестве сигнала управления часто используют электрический. Для согласования гидравлических усилителей с электронными элементами устанавливают электромеханический преобразователь (ЭМП), превращающий электрический сигнал в пропорциональное механическое перемещение. Часто по мощности этот сигнал недостаточен для управления однокаскадным гидравлическим усилителем. Увеличение же мощности поляризованного магнита, выполняющего функцию ЭМП, приводит к увеличению габаритов преобразователя (увеличению движущихся масс) и ухудшению его динамики (резко снижается быстродействие). Наиболее рациональным здесь оказывается введение дополнительного каскада (или нескольких каскадов) усиления между ЭМП и золотниковым усилителем. Приблизительно можно считать, что для расхода менее 6 л/мин достаточным является однокаскадный гидравлический усилитель с непосредственным электрическим управлением (через ЭМП), для расхода от 6 до 60 л/мин рационально применять двухкаскадный ГУ и свыше 60 л/мин — трехкаскадный ГУ. Известны многокаскадные гидравлические усилители с электрическим управлением (электрогидравлические) типа «сопло-заслонка — плунжерный золотник» (рис. 4.45, *г*), «золотник—золотник» (рис. 4.45, *д*), «струйная трубка—золотник», «игольчатый дроссель—золотник» (рис. 4.45, *е*) и другие. В этих усилителях широко используются различные обратные связи. Об одном из таких усилителей, получившем широкое распространение и имеющем высокие технические характеристики, будет сказано ниже при рассмотрении работы электрогидравлических следящих приводов.

Современные многокаскадные электрогидравлические усилители имеют наибольшее быстродействие $\{(0,6-5) \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}\}$ из всех известных типов усилителей, они позволяют реализовать высокие коэффициенты усиления по мощности (до 300 000). Недостатками их являются меньшая стабильность характеристик, утечки, сложность расчета и изготовления, высокая стоимость.

Пневматические усилители, так же как и гидравлические, позволяют получать на выходе переменные значения давления газа (воздуха) в заданной функции от перемещения входного эле-

мента (золотника, заслонки, струйной трубки). Пневматические усилители аналогичны гидравлическим, это позволяет не рассматривать их подробно, а привести лишь отдельные соображения. Некоторые однокаскадные пневматические усилители схематично представлены на рис. 4.46. Пневматические дроссельные усилители состоят из дросселя переменного сечения F_x и дросселя постоянного сечения F_1 , служащего для установления определенного диапазона изменения давления P_a . Для увеличения коэффициента усиления, повышения чувствительности и улучшения динамических качеств часто их, как и гидравлические, выполняют многокаскадными с различными обратными связями и электрическим управлением. В этом случае, кроме перечисленных

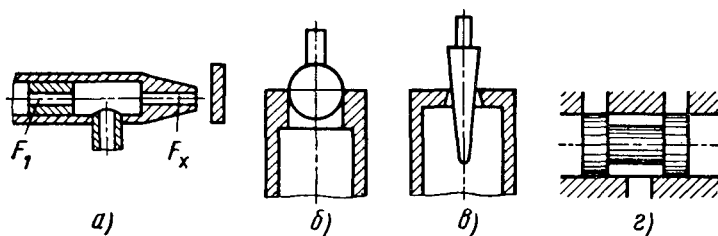


Рис. 4.46. Пневматические усилители:

а — типа струйной трубки; б — клапанного типа; в — игольчатый дроссель; г — золотниковый

выше элементов, в них включают еще дроссель переменного сечения во втором каскаде, а также промежуточную камеру с силовым элементом, чаще всего в виде мембраны или сильфона, служащим для управления вторым переменным дросселем. Из-за значительной сжимаемости воздуха (как рабочей среды), а также низкого давления сжатого воздуха (для промышленных систем) пневматические усилители имеют худшие технические характеристики (быстродействие, коэффициент усиления, линейность и др.), чем гидравлические, но конструктивно они проще их и дешевле в изготовлении. В силу этого гидравлические усилители широко используют в средствах автоматики, применяемых для управления медленно протекающими процессами.

§ 4.4. ПРИВОДЫ

Приводы являются исполнительными устройствами, усиливающими входной сигнал управления и превращающими его в механическое перемещение подвижных частей рабочих органов технологического оборудования. По виду используемой энергии приводы бывают пневматические, гидравлические, электрические, электромеханические, электромагнитные и комбинированные. Реже в практике автоматизации встречаются вакуумные, электростатические, инерционные, магнитострикционные и термодинами-

ческие. Все приводы с точки зрения контроля их выходных параметров можно разделить на два крупных класса: без обратной связи и с обратной связью. Первый класс составляют односкоростные приводы, выходной вал которых может двигаться только с постоянной скоростью, и многоскоростные, позволяющие изменять скорость ступенчато и бесступенчато. Вторым классом представляют регуляторы и следящие приводы. В зависимости от назначения привода решают разные задачи, поэтому требования, предъявляемые к ним, тоже различны.

Приводы с постоянной скоростью. Эти приводы представляют наиболее распространенную группу. Они приводят в движение различные загрузочные, установочные, зажимные устройства; автооператоры; транспортные механизмы; механизмы холостых ходов, периодического движения; переключающие и контрольно-измерительные устройства. Здесь они должны быстро и плавно осуществлять включение, реверс и останов.

Быстродействие приводов вытекает из необходимости обеспечения высокой производительности технологического оборудования, а плавность — из условий механической прочности кинематических связей и механизмов, ограничивающей величину инерционных сил и ударов. Исклучение в требованиях по быстродействию составляют приводы для медленно протекающих технологических процессов. Каждый привод должен соответствовать заданным энергетическим показателям по различным силе, мощности, моменту, иметь высокий к. п. д. и $\cos \phi$ (для электрических приводов), быть конструктивно несложным и иметь относительно невысокую стоимость.

В односкоростном приводе для питания двигателя энергией устанавливают переключаемый распределитель. В этих приводах можно использовать все виды энергии, перечисленные выше, и соответствующие им двигатели. Наиболее простыми для поступательного и поворотного движения механизмов являются пневмо- и гидроприводы, обеспечивающие предельно простое согласование выхода привода (штока) с перемещаемым механизмом.

Здесь необходимо заметить, что гидро- и пневмоприводы (равно как и электрические с двигателем постоянного тока) позволяют осуществлять бесступенчатое изменение скорости, так как бесступенчатое дозирование жидкости и сжатого воздуха (а также электрического тока) осуществляется сравнительно просто с помощью различных конструкций управляемых распределителей (преобразователей). Гидро- и пневмоприводы в силу указанных преимуществ, а также из-за простоты конструкции переключаемых распределителей нашли широкое применение в качестве односкоростных приводов (а также в многоскоростных и бесступенчатых приводах).

В пневмоприводе с постоянной скоростью (рис. 4.47) используется энергия сжатого воздуха, поступающего от общей цеховой сети под давлением 0,4—0,6 МН/м². Воздух очищен от

пыли и влаги, а также насыщен каплями масла в устройстве для подготовки воздуха. В качестве двигателей здесь применяют дифференциальные и недифференциальные цилиндры одно- и двустороннего принципа действия, поворотные цилиндры, диафрагменный и сильфонный двигатели.

Привод не применяют для обеспечения больших усилий и мощности, так как при этом получаются значительные габаритные размеры двигателя и в сильной степени начинает сказываться

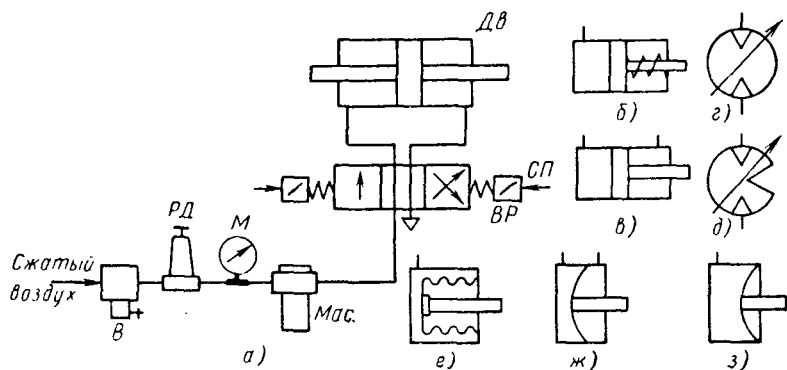


Рис. 4.47. Схема пневмопривода и исполнительные пневмодвигатели:

а — принципиальная схема привода; В — влагоотделитель; РД — воздушный редуктор; М — манометр; Мас. — масляный распылитель; ВР — воздушный трехпозиционный распределитель с электромагнитным управлением; Дв — пневмодвигатель; СП — сигнал переключения; б — схема дифференциального пневмоцилиндра одностороннего действия; в — дифференциальный многооборотный двигатель; г — пневмодвигатель односторонний; ж и з — мембранные двигатели дву- и одностороннего действия; е — двигатель сильфонного типа

сжимаемость воздушной среды. Особенностью пневмопривода является использование дешевой энергии и простота конструкции. Недостатком является неплавность перемещения и переключения, низкий к. п. д. (0,1—0,3) из-за утечек воздуха, низкая жесткость механической характеристики, а также возможность коррозии при плохой очистке воздуха от водяного конденсата. Управление приводом осуществляется подачей переключающего сигнала СП на соответствующие электромагниты воздушного распределителя ВР.

Гидропривод с постоянной скоростью (рис. 4.48) работает на энергии сжатого масла, которое поступает из насосной станции НС. В качестве двигателя здесь используют в основном цилиндры поступательного, поворотного действия и гидромоторы вращения. Гидропривод можно применять практически на любое необходимое усилие, так как давление масла может быть доведено до $15,0 \text{ МН/м}^2$ и выше, хотя на практике чаще всего пользуются давлением $4,5\text{—}6,0 \text{ МН/м}^2$. Такая большая энергонапряженность рабочей среды определяет сравнительно небольшие размеры двигателей и их движущихся частей, что обеспечивает высокое быстро-

действие гидропривода. Плавность переключения и перемещения, а также самосмазываемость увеличивают его срок службы.

Недостатком является необходимость в насосной станции, удорожающей энергию. Работа на высоких давлениях требует также специальных уплотнений как в двигателе, так и во всей контрольно-регулирующей аппаратуре, что повышает стоимость привода. Наличие утечек, низкий к. п. д. (0,3—0,6), а также нестабильность характеристик снижают его эффективность.

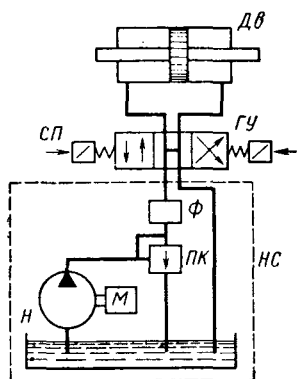


Рис. 4.48. Схема гидропривода:

Н — насос; *М* — электродвигатель; *ПК* — предохранительный клапан с переливным золотником; *Ф* — фильтр; *НС* — насосная станция; *Гу* — трехступенчатый гидравлический распределитель с электромагнитным управлением; *Дв* — гидродвигатель; *СП* — сигнал переключения

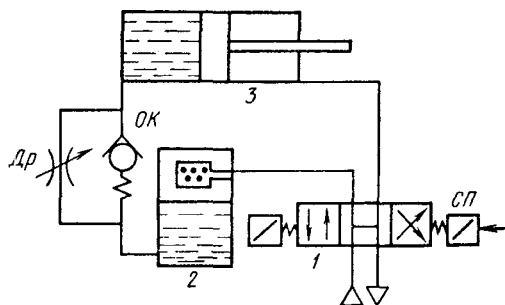


Рис. 4.49. Схема пневмогидравлического привода с электромагнитным управлением:

1 — трехступенчатый воздушный распределитель с электромагнитным управлением; *СП* — сигнал переключения; *2* — емкость с жидкостью; *3* — цилиндр; *ОК* — обратный клапан; *Др* — дроссель

В некоторых случаях в оборудовании используют комбинированный привод, например, пневмогидравлический, сочетающий преимущества пневматического (использование дешевой энергии сжатого воздуха) и некоторые особенности гидропривода, в частности, плавность хода. Одна из конструкций пневмогидравлического привода приведена на рис. 4.49. При движении поршня вправо воздух через распределитель *1* поступает в емкость с жидкостью, вытесняя последнюю в левую полость цилиндра через дроссель *Др*. Это определяет плавность хода поршня вправо. При подаче воздуха в правую полость цилиндра масло свободно через обратный клапан (*ОК*) проходит в емкость. Скорость движения поршня в этом случае будет большой. Такие устройства нашли применение в агрегатных головках и других машинах.

В качестве односкоростного привода вращения широко используют привод с обычным асинхронным (нерегулируемым) двигателем и механическим редуктором. Переключение двигателя осуществляется пускателем, имеющим дистанционное управление. В случае использования этого привода для поступательного движения на выходе его кроме механического редуктора устанавли-

вают одно из преобразующих механических звеньев типа винт—гайка, червячного и зубчато-реечного, кривошипного или кривошипно-кулисного звеньев. Реже применяют преобразующую гибкую передачу (стальную ленту, проволоку или трос).

На рис. 4.50 приведена схема электромеханического привода с трехфазным асинхронным двигателем АД. Двигатель подключается к сети переменного тока и реверсируется с помощью пускателя П при подаче на него сигнала включения СВ. Такой привод имеет простую конструкцию, высокую жесткость механической характеристики, высокий к. п. д. (0,85—0,9), относительно низкую стоимость. Недостатком его является механическая передача и связанные с ней шум, износ, низкое быстродействие.

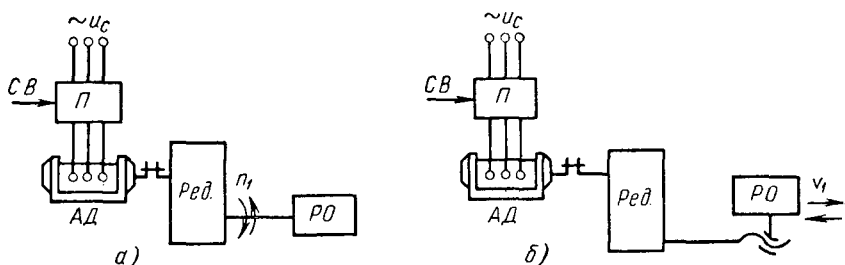


Рис. 4.50. Схема односкоростного электромеханического привода:

а — привод вращения; б — привод с поступательным движением конечного элемента

Электрические приводы с двигателем постоянного тока не нашли применения в качестве одно- и многоскоростных (ступенчатых) приводов: в первом случае из-за сложности преобразователей, во втором из-за недостаточной жесткости механической характеристики при работе в разомкнутом виде. Их применяют в качестве многопозиционных скоростных регуляторов. Об этом будет сказано несколько позже.

Многоскоростные ступенчатые и бесступенчатые приводы. Эти приводы, являясь более универсальными, решают более широкий круг задач, поэтому требования, предъявляемые к ним, также расширяются. Добавляются требования по обеспечению определенного диапазона изменения скорости или числа ступеней; определенной силы, мощности или момента во всем диапазоне или его части, а также жесткости механической характеристики, которая меняется с изменением скорости. Добавляются требования по точности преобразования входного сигнала в выходное движение вала привода. Здесь следует заметить, что точность преобразования в разомкнутом приводе полностью зависит от точности каждого элемента, входящего в состав привода, и ее повышение возможно лишь путем ужесточения допусков на эти элементы. Особенно сильно сказываются погрешности в механических передачах.

В качестве многоскоростных ступенчатых приводов широко применяют рассмотренный выше привод с асинхронным двигателем и механической коробкой скоростей (рис. 4.51). Частота

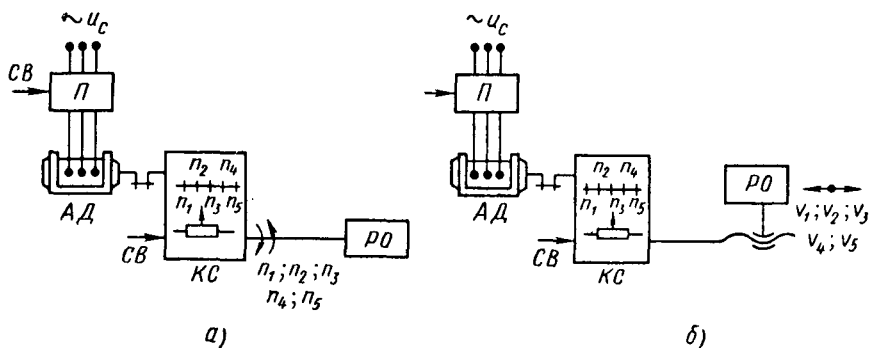


Рис. 4.51. Схема многоскоростного электромеханического привода:

а — привод вращения; б — привод для прямолинейного движения; П — пускатель; АД — асинхронный электродвигатель; КС — коробка скоростей; СВ — сигнал включения; РО — рабочий орган

вращения в коробке скоростей изменяется за счет переключения блоков шестерен от вспомогательных приводов с дистанционным электрическим управлением, но чаще всего применением электромагнитных муфт, включающих по команде ту или иную передачу.

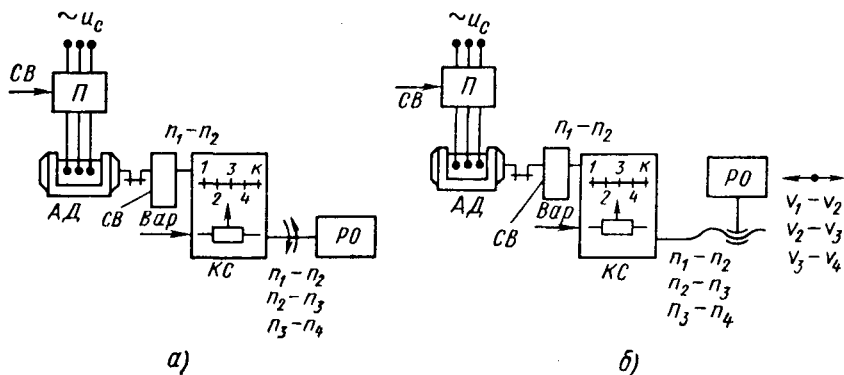


Рис. 4.52. Многодиапазонный электромеханический привод:

а — для вращательного; б — для возвратно-поступательного движения; КС — коробка скоростей; Вар — механический вариатор; АД — асинхронный электродвигатель; П — пускатель

Встречаются конструкции машин, в которых такие приводы с добавлением механических вариантов (рис. 4.52) применяют для бесступенчатого (точнее многодиапазонного) изменения скорости. Вариаторы позволяют бесступенчато (с диапазоном 2—3) изменять скорость между соседними значениями ступеней ко-

робки скоростей $KС$ так, что на выходе привода получается многодиапазонное бесступенчатое изменение скорости, однако плавность изменения будет неоднородной. В этом случае и без того громоздкая механическая передача еще более усложняется, к тому же добавляется индивидуальный вспомогательный пропорциональный привод (например, электрогидравлический) для управления вариатором. Сохраняются преимущества привода с асинхронным двигателем в части жесткости его механической характеристики, но он становится более сложным (его механическая часть). Увеличивается его стоимость и уменьшается к. п. д.

В качестве многоступенчатых приводов используют гидравлические, пневматические и пневмогидравлические приводы. Наибольшее распространение они получили в агрегатных станках и агрегатных сверлильных головках. В качестве двигателей чаще всего используют недифференциальные цилиндры двойного действия. Управляют ими от нескольких переключаемых распределителей, соответствующих определенным скоростям, или от

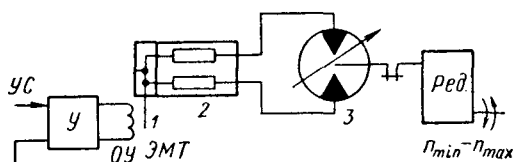


Рис. 4.53. Гидравлический объемный привод с бесступенчатым изменением скорости

многочисленных переключаемых распределителей, соответствующих определенным скоростям, или от

многопозиционных переключаемых распределителей. Таким приводам присущи все преимущества и недостатки, указанные для односкоростных приводов, а кроме того, они сложнее по конструкции, что связано с использованием многопозиционных переключателей.

Гидравлический привод также применяют для бесступенчатого изменения скорости, например, в механизмах главного движения некоторых токарных станков. Жесткость механической характеристики для таких разомкнутых приводов достигается применением более мощных приводов, в основном по объемным регулированием. В качестве примера на рис. 4.53 показан гидравлический объемный привод вращения, где регулирование частоты вращения гидромотора 3 достигается изменением производительности насоса 2 при изменении наклона шайбы 1. Управление наклоном шайбы 1 осуществляется через электрогидравлический преобразователь пропорционального действия изменением величины управляющего сигнала УС, поступающего от усилителя У в обмотки управления преобразователя. Такие приводы применяют для получения больших крутящих моментов или в качестве высокоскоростных (быстроходных) приводов. Эти приводы имеют высокий к. п. д. (0,6—0,8). Недостатками их являются сложность конструкции, сравнительно высокая стоимость, низкая чувствительность и точность преобразования, а также большая мощность управляющего сигнала.

Привод с шаговым двигателем. Несколько обособленную группу составляют приводы с шаговыми двигателями. Их в основном применяют в системах программного управления в качестве силовых и особенно часто как вспомогательные, выполняющие роль преобразователей импульсного сигнала в механическое движение вала двигателя, служащего, в свою очередь, входным сигналом какого-либо усилителя (часто гидравлического). Особенностью шагового привода является то, что при малых частотах импульсного входного сигнала управления вал двигателя поворачивается дискретно. Каждому импульсу соответствует

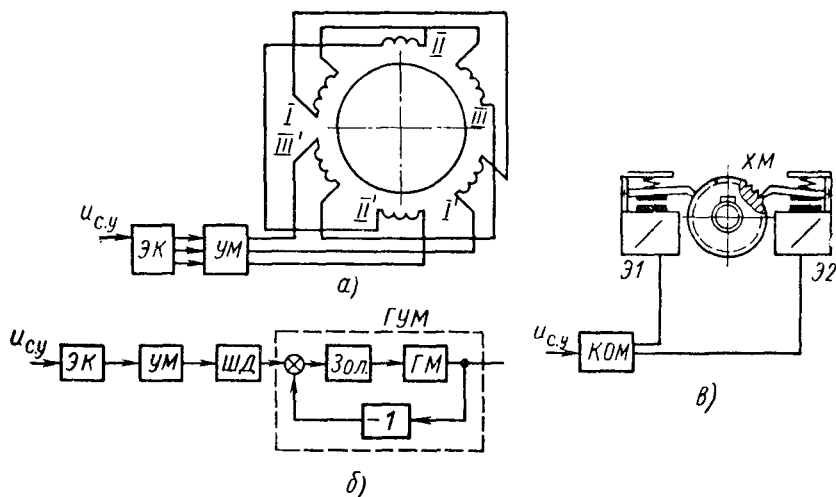


Рис. 4.54. Приводы с шаговым двигателем

поворот вала на фиксированный угол. На высоких частотах эта прерывистость становится менее ощутимой. Основными характеристиками шагового привода являются дискретность (величина элементарного поворота) и приемистость, определяемая максимальной частотой сигнала управления, которую шаговый привод обрабатывает без пропуска импульсов.

Простейшим типом шагового привода является привод с электромагнитными реле Э1 и Э2 (рис. 4.54, б) и храповым механизмом ХМ, которые управляются через коммутатор. Такой привод имеет низкую приемистость, и его применяют в качестве вспомогательного в различных устройствах при невысоких требованиях по быстродействию (шаговые искатели, счетчики).

Наиболее совершенным шаговым приводом является привод с многофазовым двигателем. На рис. 4.54, а в качестве примера показан трехфазовый шаговый двигатель ШД, управляемый с помощью электронного коммутатора ЭК. Коммутатор распределяет импульсы по фазам двигателя. Так как импульсный сигнал маломощный, в схеме имеется усилитель мощности УМ.

Шаговый привод имеет достаточно жесткую характеристику и прост по конструкции. Работая по разомкнутой схеме, шаговый привод предъявляет высокие требования по точности и надежности ко всем электронным элементам. Они должны обеспечить отработку каждого импульса, так как потеря импульсов непосредственно отражается на точности выходного перемещения, к тому же многие конструкции шаговых двигателей при пропуске импульсов вообще становятся неуправляемыми. Высокие требования предъявляются также к механическим преобразователям типа «винт—гайка», которые должны быть беззазорными и иметь малые потери на трение. Больше всего этим требованиям отвечают шариковые и гидростатические пары, но изготовление их в промышленности сопряжено с большими трудностями.

Однако в силовом исполнении (рис. 4.54, в) шаговый двигатель имеет недостаточное быстродействие. Приемистость лучших образцов отечественных двигателей составляет в форсирующем режиме 0,6—1,5 кГц, что при дискретности 0,005 мм обеспечит скорость движения 3—7,5 мм/с. Этого часто бывает недостаточно. Поэтому чаще используют маломощный шаговый привод в качестве вспомогательного.

На рис. 4.54, б показана схема использования шагового двигателя вместе с гидравлическим усилителем мощности ГУМ, работающего в следящем режиме. При поступлении входного сигнала u_c у вал шагового двигателя поворачивает золотник *Зол.*, управляющий работой гидромотора ГМ. Выходной вал ГМ, поворачиваясь, поворачивает втулку золотника в направлении, уменьшающем величину рассогласования (разницу в угловом положении золотника и втулки).

С точки зрения автоматизации, управление разомкнутым многоскоростным и бесступенчатым приводом заключается в обеспечении автоматического пуска, регулирования скорости, торможения, реверсирования и поддержания энергетического режима работы в соответствии с требованиями технологического процесса. Основным недостатком всех рассмотренных выше приводов заключается в их низкой точности, свойственной всем разомкнутым приводам. От этого недостатка свободны в значительной мере следящие приводы и автоматические регуляторы, работающие по замкнутой схеме.

Следящие приводы и автоматические регуляторы работают на принципе уменьшения рассогласования — разности между величинами входного и выходного сигналов, выраженными в одинаковых единицах измерения. Эта разность (или ошибка) появляется при сопоставлении в сравнивающем устройстве входного сигнала с сигналом обратной связи, характеризующим фактическое значение выходного параметра.

Разница между регулятором и следящим приводом заключается в том, что автоматический регулятор призван поддерживать неизменным заданный параметр независимо от изменения нагрузки

или воздействия внешней среды, т. е. его входной сигнал является величиной постоянной. У следящего привода входной сигнал может изменяться произвольно. Следящие приводы технологического оборудования в основном нашли применение в копируемых устройствах и системах программного управления, где задающий сигнал на входе привода изменяется по определенному заранее известному закону. Задачей следящего привода является воспроизведение этого изменяющегося сигнала движения выходного вала с определенной степенью точности.

Для этих приводов, работающих по замкнутой схеме, обязательным является обеспечение устойчивости, определенного быстродействия, коэффициента усиления привода по скорости в разомкнутом виде k_v , соблюдение условий нагрузки и диапазона регулирования. Для разомкнутых приводов требование по устойчивости не рассматривается, так как считается, что они всегда устойчивы, если не работают в режиме генератора колебаний. Рассматриваемые приводы могут осуществлять регулирование дискретно или непрерывно.

Закон регулирования, используемый в них, может быть пропорциональным по первой, второй производным и по интегралу. Соответственно этому приводы называют следящим приводом с пропорциональным управлением, с управлением по первой, второй производной, с управлением по интегралу или комбинированным управлением. В первом случае следящие приводы оснащают датчиками обратной связи, способными измерять угловое или линейное положение выходного вала и преобразовывать его в сигнал, удобный для сравнения с заданным. В следящих приводах с управлением по производной в качестве сигнала обратной связи можно взять производную от сигнала с датчика положения с помощью электронных решающих устройств, однако точно такую операцию выполнить сложно, поэтому предпочтительнее установить соответствующие датчики скорости (например, тахогенератор). В приводах с интегральным управлением датчики положения также остаются, сигнал с них интегрируется с помощью соответствующих устройств, например с помощью электронного усилителя постоянного тока с установкой емкости в его обратной связи.

Рассмотрим наиболее типичные схемы автоматических регуляторов и следящих приводов. Например, в регуляторе расхода, схема которого изображена на рис. 4.55, поддерживается постоянным уровень жидкости. Уровень жидкости задан соответствующей установкой конечных выключателей $KB1$ и $KB2$, что определяет дискретное регулирование. При уменьшении уровня ниже заданного поплавков 4 , опускаясь, через рычаг 5 нажимает на $KB1$. От него обесточится электромагнит воздухораспределителя, и последний под действием пружины переместится влево, соединив при этом верхнюю полость мембранной камеры 3 с атмосферой. Под действием пружины мембрана прогнется вверх, переместив вверх шток. Клапан 2 откроется, и жидкость через трубу 1 начнет

наполнять резервуар *б* до тех пор, пока уровень не поднимет поплавок *4* и через рычаг *5* не замкнется *КВ2*. От *КВ2* срабатывает воздухораспределитель *7*, который посредством мембранного двигателя закрывает клапан *2*. В рассмотренном примере регулирование уровня осуществляется дискретно (релейный регулятор).

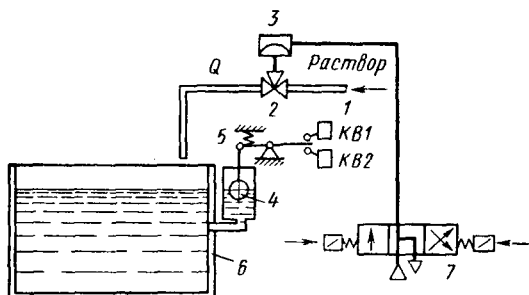


Рис. 4.55. Схема регулятора расхода

В регуляторе температуры (рис. 4.56) величина заданного значения температуры определяется температурой испарения жидкости *4* и настройкой регулируемого клапана *2*. При повышении температуры раствора в ванне *б* выше заданной пары жидкости *4* измерительного прибора *7* воздействуют на сильфон *5*

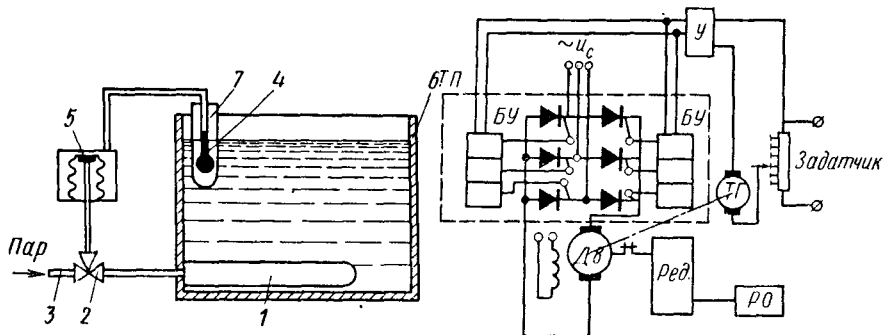


Рис. 4.56. Схема регулятора температуры

Рис. 4.57. Тиристорный регулятор скорости

и закрывают клапан поступления пара через трубу *3* в змеевик *1*. При снижении температуры раствора ниже заданной клапан открывается, так как пары жидкости *4* конденсируются и давление в сильфоне падает.

Как видно из рассмотренных примеров, регулятор состоит из двигателя, управляемого распределителем, датчика обратной связи (измеритель и сравнивающее устройство). Так, в регуляторе расхода используется пневмопривод, диафрагменный двигатель с двухпозиционным распределителем, переключаемый электромагнитом сигнал от конечного выключателя. В качестве дат-

чика-измерителя используется поплавков. Уровень задан расположением конечных выключателей. Сравнивающим устройством является рычажная система, которая сопоставляет положение поплавка и конечных выключателей KB .

Элементы регулятора (датчики, двигатели, распределители, усилители) выбирают в зависимости от требований технологического процесса. Повышенные требования предъявляются к регуляторам скорости, применяемым в механизмах подачи металлорежущих станков с системами программного управления. Один из таких регуляторов, применяемый в координатно-расточных станках, изображен на рис. 4.57. В тиристорном регуляторе скорость двигателя постоянного тока задается задатчиком. Фактическое ее значение измеряется тахометрической обратной связью $TГ$. Всякое, даже незначительное изменение скорости (в пределах чувствительности привода), вызванное, например, изменением нагрузки или внешнего воздействия, измеряется тахогенератором $TГ$, усиливается в усилителе $У$ и воздействует на тиристорный преобразователь через блоки управления. При этом изменяется момент открывания тиристоров так, что увеличивается выпрямленное напряжение, подводимое к якорю двигателя $Dв$ до тех пор, пока величина рассогласования не будет уменьшена до допустимой. При превышении скорости выходным валом заданный процесс протекает в обратном направлении, уменьшая выпрямленное напряжение. Так поддерживается постоянной заданная скорость. При использовании этого регулятора в качестве следящего привода в нем должны быть установлены в соответствии с законом управления необходимые датчики, а входной сигнал будет изменяться.

В следящем приводе в качестве преобразователя, управляющего двигателем постоянного тока, могут быть использованы генераторы постоянного тока $Г$, электромагнитные усилители $ЭМУ$, управляемые ртутные выпрямители $РП$, электронные, полупроводниковые и магнитные усилители. В общем случае схема электрического следящего привода с двигателем постоянного тока имеет вид, изображенный на рис. 4.58. На этом же рисунке приведены схемы различных преобразователей и усилителей, с помощью которых управляется двигатель. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Привод с генератором постоянного тока имеет низкий диапазон регулирования—до 40 (в отдельных случаях до 100). Привод с двигателем постоянного тока, управляемый указанными преобразователями и усилителями с соответствующей коррекцией, имеет примерно одинаковые характеристики для мощности от 0,8 до 1,5 кВт; быстродействие, определяемое частотой собственных колебаний 1,5—2 Гц (у привода с магнитным усилителем ниже), коэффициент усиления $k_v = = 100 \div 400$ 1/с. Наибольший диапазон регулирования имеет тиристорный привод (до 1000, при низких требованиях к жесткости механической характеристики он может быть увеличен до 2000).

Основным недостатком приводов с преобразователями по системе «генератор—двигатель» и ЭМУ является высокая стоимость и относительно малый срок службы. Из всех этих схем предпочтение получил тиристорный привод, у которого преобразователь имеет значительно больший срок службы. Он в настоящее время вытесняет распространенный привод с ЭМУ.

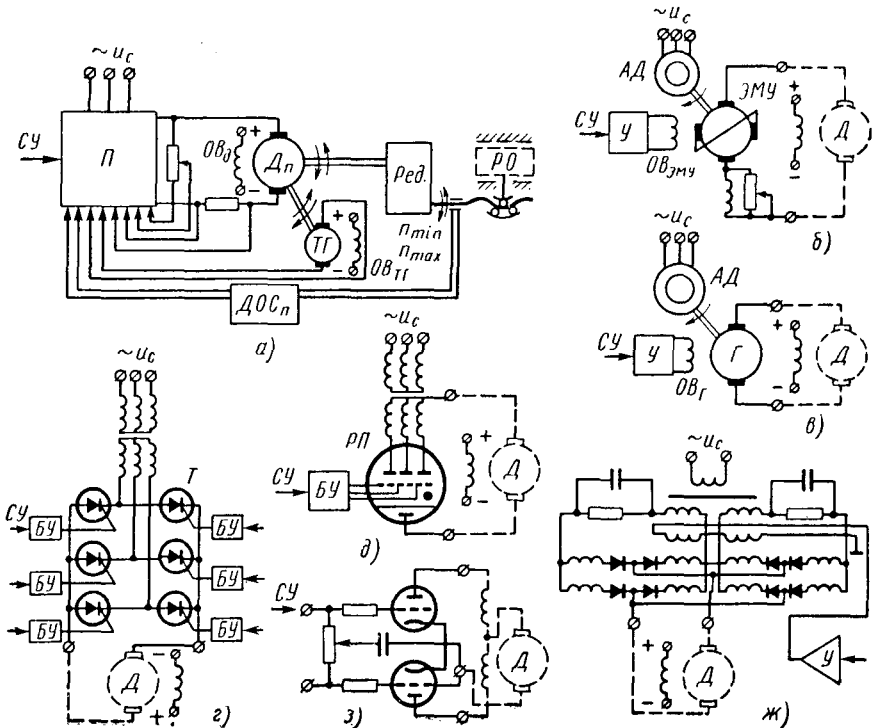


Рис. 4.58. Обобщенная схема следящего привода с двигателем постоянного тока: а — собственно схема привода; П — преобразователь; Дп — электродвигатель постоянного тока; Тг — тахометрическая скорость обратная связь; ДОСп — датчик обратной связи по положению; б — схема с ЭМУ; в — с генератором постоянного тока (система Г—Д); г — с тиристорным преобразователем; д — с ионным преобразователем; ж — с магнитным усилителем; з — с электронным усилителем

Привод отличается высокой стабильностью, сравнительно высоким к. п. д. (до 0,6), простотой управления, достаточным диапазоном регулирования, достаточным коэффициентом усиления k_v , но имеет низкое быстродействие, не соответствующее требованиям производительности. Нежелательными являются контакты в двигателе. Он имеет относительно высокую стоимость.

Следящий привод переменного тока с асинхронным двухфазным регулируемым двигателем с полым ротором. Такой привод позволяет осуществлять бесступенчатое изменение скорости выходного вала, изменяя напряжение в обмотке управления ОУ

(рис. 4.59) с помощью усилителя переменного тока. Здесь встречаются две схемы приводов: с управлением от сигнала постоянного тока (рис. 4.59, а) и от сигнала переменного тока (рис. 4.59, б). Во втором случае в качестве датчиков обратной связи по положению могут быть использованы сельсины, выдающие сигнал переменного тока. При этом схема значительно упрощается. Рассматриваемые приводы нашли применение в качестве приборных, где

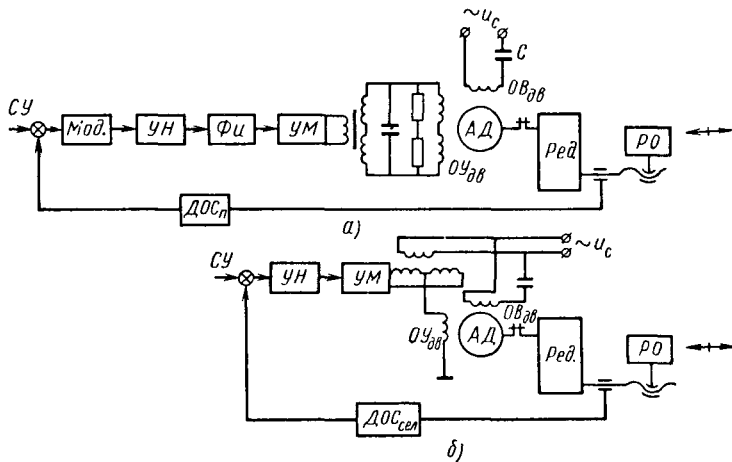


Рис. 4.59. Схема следящего привода переменного тока:

а — управляемого сигналом постоянного тока; б — управляемого сигналом переменного тока; СУ — сигнал управления постоянного тока; Мод. — модулятор; УН — усилитель напряжения; ФИ — фазоинвертор; УМ — усилитель мощности; АД — асинхронный двухфазный электродвигатель; ОУ_{дв} — обмотки управления двигателя; ОВ_{дв} — обмотки возбуждения двигателя; Ред. — механический редуктор; ДОС_п — датчик обратной связи по положению; ДОС_{сел} — датчик обратной связи (сельсин)

мощность выходного сигнала не превышает 0,05—0,2 кВт. Динамические характеристики такого маломощного привода хорошие, к. п. д. до 0,7. С увеличением мощности динамические характеристики ухудшаются.

Следящий привод с электромагнитными муфтами. Основным элементом следящих приводов с электромагнитными муфтами являются сами муфты. Они подразделяются на электромагнитные муфты трения и скольжения. Муфты трения делят на электромагнитные муфты сухого трения и муфты магнитоэмульсионные (вязкого трения).

Следящие приводы с электромагнитными муфтами сухого трения (рис. 4.60), где изменение скорости вращения выходного вала осуществляется за счет изменения силы трения, создаваемой электромагнитом, из-за низкого к. п. д., низкой жесткости, сильного износа дисков не получили широкого распространения в технологическом оборудовании. Но имеются конструкции копировальных устройств, где такие муфты (многодисковые) применяют в коробках скоростей для включения различных передач. В них

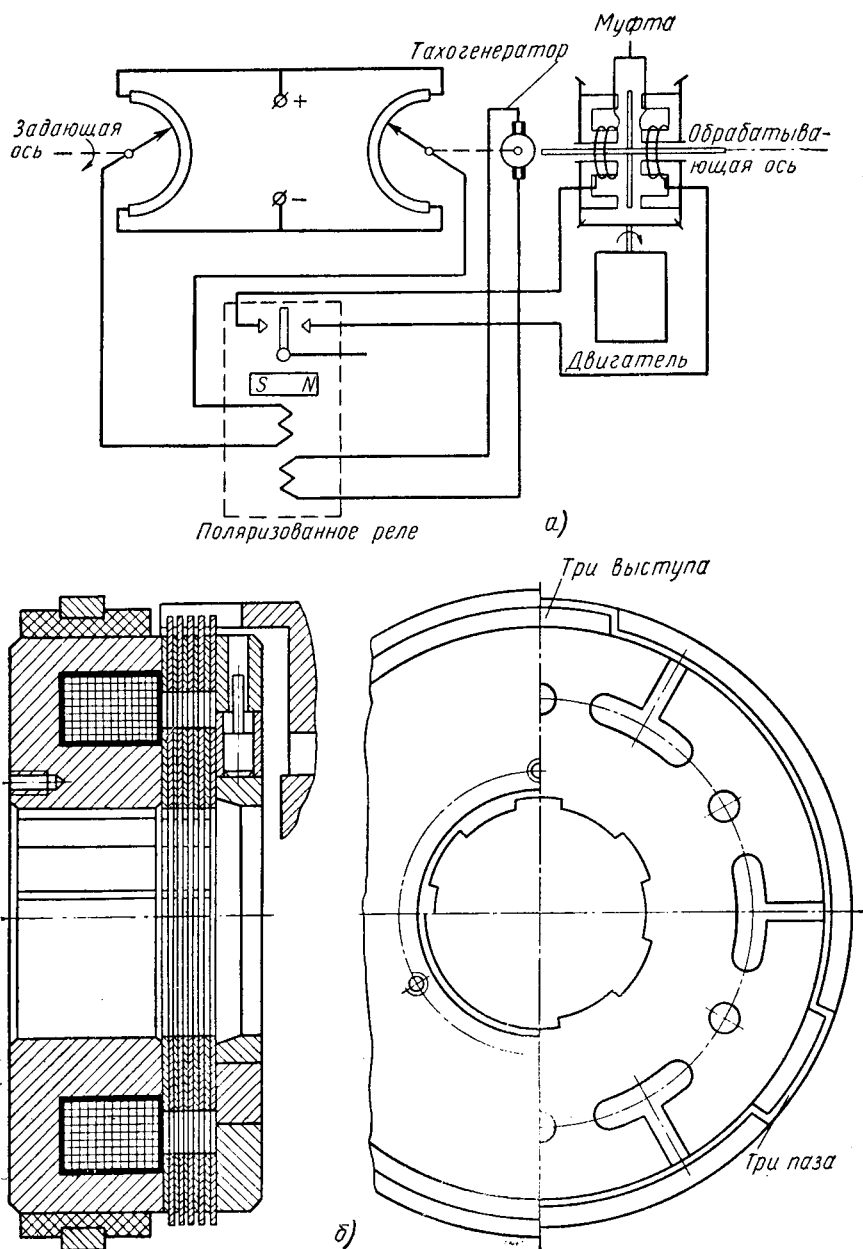


Рис. 4.60. Схема следящего привода с электромагнитными муфтами сухого трения:

а — схема привода; б — конструкция муфты сухого трения

используется постоянное усилие электромагнита. Привод получается релейным.

В следящих приводах с магнитоэмульсионными (порошковыми) (рис. 4.61) муфтами изменение скорости осуществляется за счет изменения коэффициента сцепления ферромагнитного порошка с маслом (6 : 1) в зависимости от изменения магнитного поля, создаваемого обмоткой. При изменении величин постоянного тока обмотки меняется коэффициент сцепления, что приводит к изменению частоты вращения $n_{вдм}$ ведомого вала. Задающее

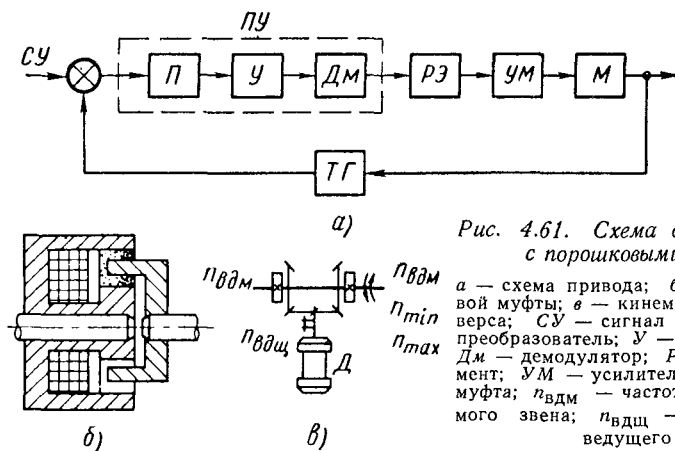


Рис. 4.61. Схема следящего привода с порошковыми муфтами:

а — схема привода; б — схема порошковой муфты; в — кинематическая схема реверса; СУ — сигнал управления; П — преобразователь; У — усилитель сигнала; Дм — демодулятор; РЭ — релейный элемент; УМ — усилитель мощности; М — муфта; $n_{вдм}$ — частота вращения ведомого звена; $n_{вдц}$ — частота вращения ведущего звена

движение в таких приводах обычно осуществляется от асинхронного или синхронного двигателя. Использование двух таких муфт позволяет осуществлять реверс. Эти приводы пригодны для передачи небольших мощностей и крутящих моментов. Мало мощный привод имеет удовлетворительное быстродействие, но нестабильные характеристики; вытекание масла и порошка, а также опасность воспламенения масла при высоких температурах, возникающих от трения, сокращают область его применения. К тому же такие муфты не выдерживают длительного хранения (слеживается наполнитель).

В следящих приводах с электромагнитными муфтами скольжения сцепление между двумя половинами муфт (ведущей и ведомой) осуществляется с помощью электромагнитных сил, образуемых в магнитном поле от постоянного тока, протекающего по катушке (рис. 4.62). Вращающий момент и скорость вращения такой муфты легко регулируются путем изменения тока возбуждения. Для осуществления реверса используют сдвоенную муфту, две части которой вращаются от двигателя в разные стороны. Схема привода с этой муфтой достаточно проста, так как кроме самой муфты и приводного двигателя в нее входят усилитель, питающий обмотку возбуждения, измерительный и стабилизирующий элементы. Имея большой момент инерции, такой привод

требует больших токов управления, а из-за большой скорости вращения необходим громоздкий редуктор с большим передаточным числом.

Перспективными в высокоточных системах управления являются гидравлические следящие приводы с электрическим управлением пропорционального распределителя, иногда их называют электрогидравлическими. Они имеют наибольшее быстродействие (на порядок выше, чем у следящих приводов постоянного тока), большой диапазон регулирования, высокую жесткость механической характеристики и позволяют передавать большие усилия и мощности. Основные недостатки электрогидравлических следящих приводов заключаются в некоторой нестабильности их характеристик, вызванной утечками и изменением температуры.

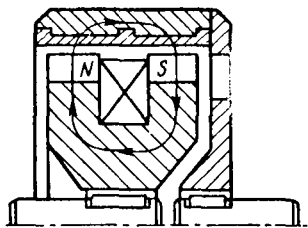


Рис. 4.62. Схема индукционной муфты скольжения

Среди них наибольшее применение получили электрогидравлические приводы с дроссельным управлением в силу высокой чувствительности и меньшей стоимости в сравнении с приводами объемного регулирования. Приводы с дроссельным управлением применяют как вращательного

типа с гидромотором, так и поступательного типа с цилиндром.

Наиболее простую схему имеет привод с цилиндром, так как при этом рабочий орган соединяется с цилиндром, минуя безлюфтовый редуктор и беззазорную передачу «винт—гайка». В качестве двигателя здесь наиболее часто применяют недифференциальный цилиндр двустороннего действия. Среди различных схем гидравлических распределителей: однокаскадных с плунжерным золотником или струйной трубкой, двухкаскадных с двумя золотниками, с игольчатым дросселем и золотником или «сопло-заслонкой» с плунжерным золотником, — наибольшую популярность приобретает распределитель типа «сопло-заслонка—сопло—плунжерный золотник». Этот распределитель обладает высокой чувствительностью (малым сигналом управления), высоким коэффициентом усиления и быстродействием, большой линейностью расходной характеристики. Он малочувствителен к загрязнению масла, изменению его температуры.

Рассмотрим схему электрогидравлического следящего привода с двухкаскадным гидравлическим пропорциональным распределителем типа «сопло-заслонка—сопло-золотник» (рис. 4.63). Движение поршня осуществляется при подаче на вход усилителя U сигнала программы ($u_{вх}$). Сигнал, усилившись, поступает в обмотки электромеханического преобразователя ЭМП и в зависимости от полярности отклоняет в ту или иную сторону заслонку на величину, пропорциональную входному сигналу. При этом изменяется проводимость сопел и нарушается равновесие моста,

составленного из двух сопел (регулируемых гидравлических сопротивлений) и двух дросселей (нерегулируемых гидравлических сопротивлений), в диагонали которого находится золотник. Это вызовет перепад давлений под торцами золотника, который переместится в сторону меньшего давления на величину, пропорциональную входному сигналу (в гидравлическом распределителе имеется единичная обратная связь по перемещению золотника). Сместившись от нейтрального положения, золотник

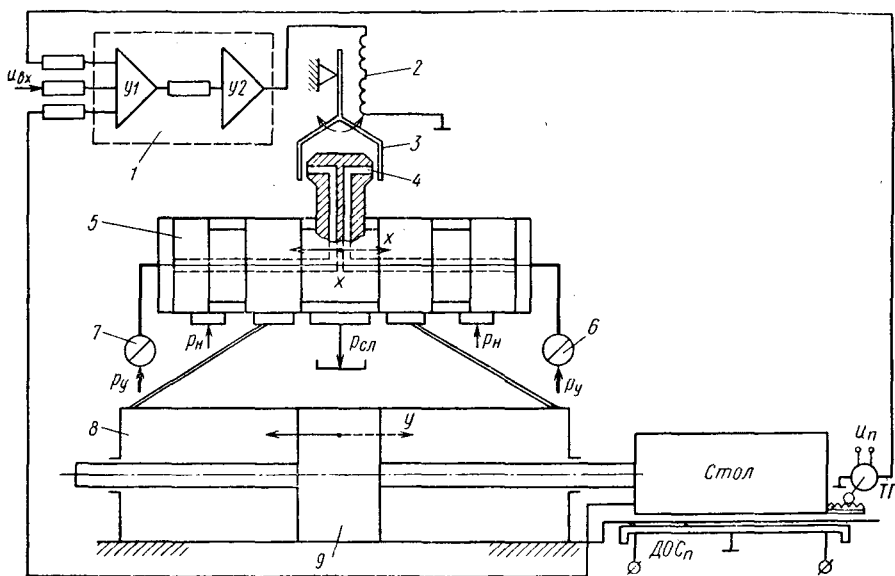


Рис. 4.63. Схема электрогидравлического следящего привода с цилиндром:

1 — электронные усилители У1 и У2; 2 — обмотка управления электрогидравлического преобразователя (ЭГП); 3 — заслонка, жестко связанная с якорем ЭГП; 4 — гидроусилитель «сопло-заслонка»; 5 — плунжерный золотник; 6, 7 — дроссели постоянного сечения; 8 — цилиндр; 9 — поршень; p_H — давление нагнетательной магистрали (от насосной станции); p_y — давление управления; ТГ — тахометрическая скоростная обратная связь; ДОСп — датчик обратной связи по перемещению стола

направит силовой поток масла в соответствующую полость цилиндра, а другую полость соединит со сливом, причем величина открывания рабочей щели золотником также пропорциональна (с определенной точностью) величине управляющего сигнала. Перемещение поршня (рабочего органа) и связанной с ним подвижной части датчика положения будет осуществляться до тех пор, пока сигнал рассогласования, равный разности между входным сигналом и сигналом обратной связи, не будет уменьшен до допустимых пределов. Исследования, проведенные Ю. В. Ивановым, показали, что этот привод имеет высокое быстродействие при большом коэффициенте усиления k_v , большой диапазон регулирования и плавное перемещение. Быстродействие оказалось на порядок выше, чем у приводов постоянного тока.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗАГРУЗКИ

§. 5.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ВИДЫ ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Автоматизация загрузки и разгрузки в общем комплексе задач по автоматизации технологических процессов является одной из наиболее сложных, что вызвано разнообразием процессов, а также форм и размеров заготовок (деталей). Иногда конструкция заготовок (деталей) такова, что автоматизировать загрузку вообще невозможно.

Технологичными по загрузке являются такие заготовки (детали), которые имеют форму и размеры, позволяющие в случае надобности автоматически захватывать их, ориентировать и подавать на позицию обработки или сборки.

Автоматическим загрузочно-разгрузочным устройством называется комплекс механизмов, обеспечивающих автоматическое перемещение заготовки с данного места хранения в рабочую зону станка и после завершения операции обработки удаление обработанной детали (полуфабриката) в заданное место хранения.

Загрузочно-разгрузочные устройства для штучных заготовок выполняют в виде самостоятельных узлов станка, узлов, органически связанных со станком, или узлов станочных приспособлений. Несмотря на исключительно важную роль в автоматах, загрузочно-разгрузочные устройства относятся к группе вспомогательных механизмов, так как сами не участвуют в собственно технологическом процессе обработки (сборки), т. е. в процессе изменения состояния предмета труда. Устройства состоят из емкости (магазина, бункера), в которой сосредотачивается запас заготовок, и из функциональных механизмов: ориентации, накопителя, отсекающего, питателя, заталкивателя, ворошителя, выталкивателя, разгрузочного лотка и привода.

Конструкция и принцип работы загрузочно-разгрузочных устройств определяются типом заготовок, видом обработки и особенностями рабочего пространства станка (автоматической линии), на котором устанавливается это устройство. Загрузочные устройства по способу сосредоточения в них запаса штучных заготовок бывают: магазинные, бункерно-магазинные и бункерные (рис. 5.1).

Магазинные загрузочные устройства (рис. 5.1, а) характеризуются тем, что запас заготовок в емкости сосредотачивается в один ряд и каждой заготовке придается вручную определенную

ориентация в пространстве. Передача заготовок в рабочую зону станка (приспособления) осуществляется с помощью питателя, а иногда и непосредственно из емкости (магазина).

Бункерно-магазинные загрузочные устройства (рис. 5.1, б) характеризуются тем, что запас заготовок сосредотачивается в емкости в несколько рядов (штабелем) и каждой заготовке придается вручную или специальным механизмом, не входящим в состав загрузочного устройства, определенная ориентация. Приемник

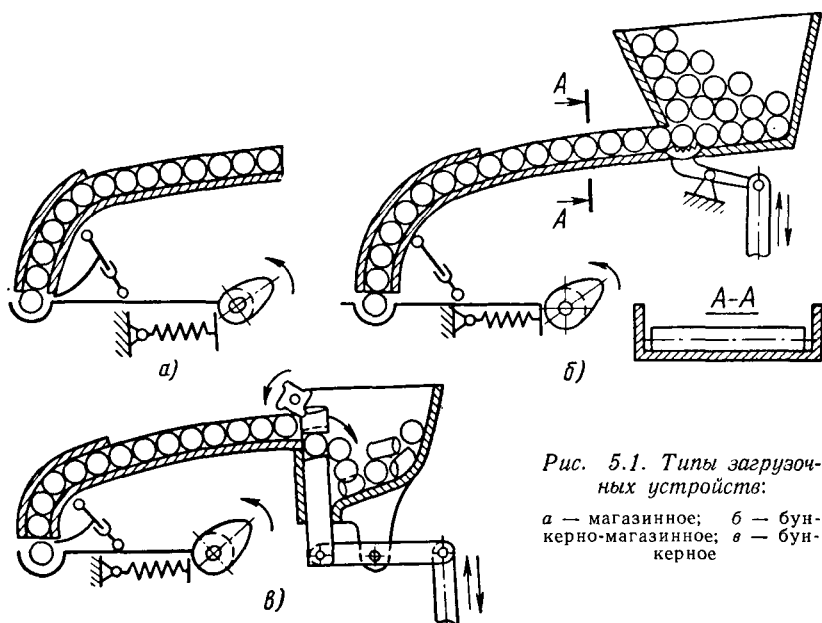


Рис. 5.1. Типы загрузочных устройств:

а — магазинное; б — бункерно-магазинное; в — бункерное

выполнен в виде лотка, а ширина лотка ограничивается длиной (высотой) заготовки. Заготовки в рабочую зону станка передаются питателем.

Бункерные загрузочные устройства (рис. 5.1, в) характеризуются тем, что запас заготовок сосредотачивается в емкости (бункере) беспорядочно (навалом). Необходимая ориентация заготовок перед передачей их в накопитель осуществляется специальным механизмом. Передача заготовок из накопителя в рабочую зону станка осуществляется питателем. Магазинные загрузочные устройства следует применять для заготовок, ориентация которых затруднена из-за особенностей геометрической формы, размеров или когда по масштабам производства нецелесообразно изготовлять сложные загрузочные устройства. Бункерно-магазинные устройства следует применять для загрузки заготовок простой геометрической формы, требующих малого времени на обработку или когда изготовление механизмов ориентации затруднено (невозможно) или экономически нецелесообразно. Бун-

кernые загрузочные устройства следует применять для заготовок простой и средней сложности геометрической формы, небольших размеров, обработка которых требует мало времени.

Выбор типа загрузочного устройства для штучных заготовок и вообще целесообразность его применения, за исключением случаев, когда оно обязательно для безопасной работы, должен быть подтвержден технико-экономическим расчетом. Независимо от типа загрузочные устройства могут быть еще разбиты на универсальные, универсально-наладочные и специальные. Первые два типа в результате переналадки или подналадки и замены некоторых деталей устройства могут быть использованы для группы заготовок, отличных одна от другой по размеру, а иногда и форме; устройства третьего типа пригодны только для заготовок определенного типа.

Следует различать загрузочные и загрузочно-разгрузочные устройства. Первые осуществляют загрузку заготовок, а сьем (разгрузку) обработанных деталей выполняют толкатели станка или деталь поступает в приемный лоток под действием сил тяжести. Вторые осуществляют не только загрузку, но и разгрузку. Загрузочно-разгрузочные устройства принято называть автооператорами или механическими руками.

§ 5.2. МАГАЗИНЫ

В зависимости от способа перемещения в них заготовок магазины разделяются на самотечные, принудительные (чаще их называют магазины-транспортёры) и полусамотечные.

В самотечных магазинах (гравитационных) заготовки перемещаются под действием силы тяжести качением или скольжением. Самотечные магазины используют для подачи заготовок вплотную и в порядке исключения для заготовок специальной формы — вразрядку.

В магазинах-транспортёрах перемещение заготовок осуществляется под действием приложенной силы или под действием сил тяжести и приложенной силы. Транспортирование заготовок в магазинах-транспортёрах осуществляется вплотную и вразрядку, поштучно или порциями.

В полусамотечных магазинах заготовки скользят по плоскости, установленной под углом к горизонту, большим угла трения. Перемещение заготовки получают за счет искусственного уменьшения силы трения между поверхностями скольжения путем поперечного колебания или равномерного движения несущей плоскости, или в результате образования между поверхностями скольжения воздушной подушки. Классификация магазинов, основанная на материалах ЭНИМСа, приведена в работе [4].

В автоматических загрузочных устройствах, используемых в приборостроении, наибольшее применение имеют самотечные магазины. Их используют для подачи заготовок (деталей) простых

геометрических форм и выполняют в виде лотков, трубок и режестержней.

Лотки. По характеру движения заготовок различают лотки-скаты и лотки-склизы. По форме продольного профиля лотки бывают (рис. 5.2) прямолинейные обычные, прямолинейные роликовые, изогнутые, винтовые (спиральные), зигзагообразные и специальные (змейковые, каскадные и др.).

По форме поперечного сечения различают открытые и закрытые лотки (рис. 5.3). Закрытые применяют при вертикальном расположении лотка, наклоне лотка под углом свыше 10° , при большой длине заготовок и независимо от длины для заготовок типа колпачков, ступенчатых и конических валиков, так как

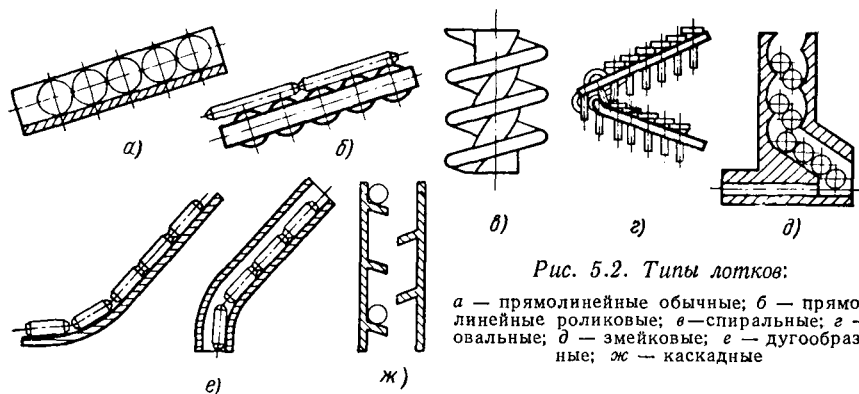


Рис. 5.2. Типы лотков:

a — прямолинейные обычные; *б* — прямолинейные роликовые; *в* — спиральные; *г* — овалынные; *д* — змейковые; *е* — дугообразные; *ж* — каскадные

они имеют склонность перекашиваться. В закрытых лотках в стенках делают смотровые щели для наблюдения за перемещением и устранения застревания заготовок. Расчет лотков состоит в определении размеров в поперечном и продольном сечениях, наклоне лотка и скоростей перемещения заготовок.

Лотки-скаты. Высота стенок (бортов) открытых лотков для валиков $H = (0,55 \div 0,6)R$; для колец и дисков $H > 0,6R$; для заготовок с односторонней полостью (колпачков) $H = (0,7 \div 0,8)R$; у закрытых лотков $H = D + \Delta'$, где R — радиус заготовки; Δ' — зазор, принимаемый $0,5-1$ мм.

При расчете ширины коробчатого открытого лотка B для заготовок (валиков) исключают возможность заклинивания в процессе перемещения, т. е. обеспечивается надежная проходимость заготовок в лотке, откуда

$$B = L + \Delta,$$

где L — длина заготовки; Δ — допустимый зазор.

Пройодимость заготовок в лотке зависит от конфигурации торцов и контура заготовок. Условие незаклинивания заготовки в лотке согласно обозначениям, принятым на рис. 5.4, можно выразить как $\text{tg } \alpha \geq \text{tg } \rho = f$, где α — угол перекося заготовки

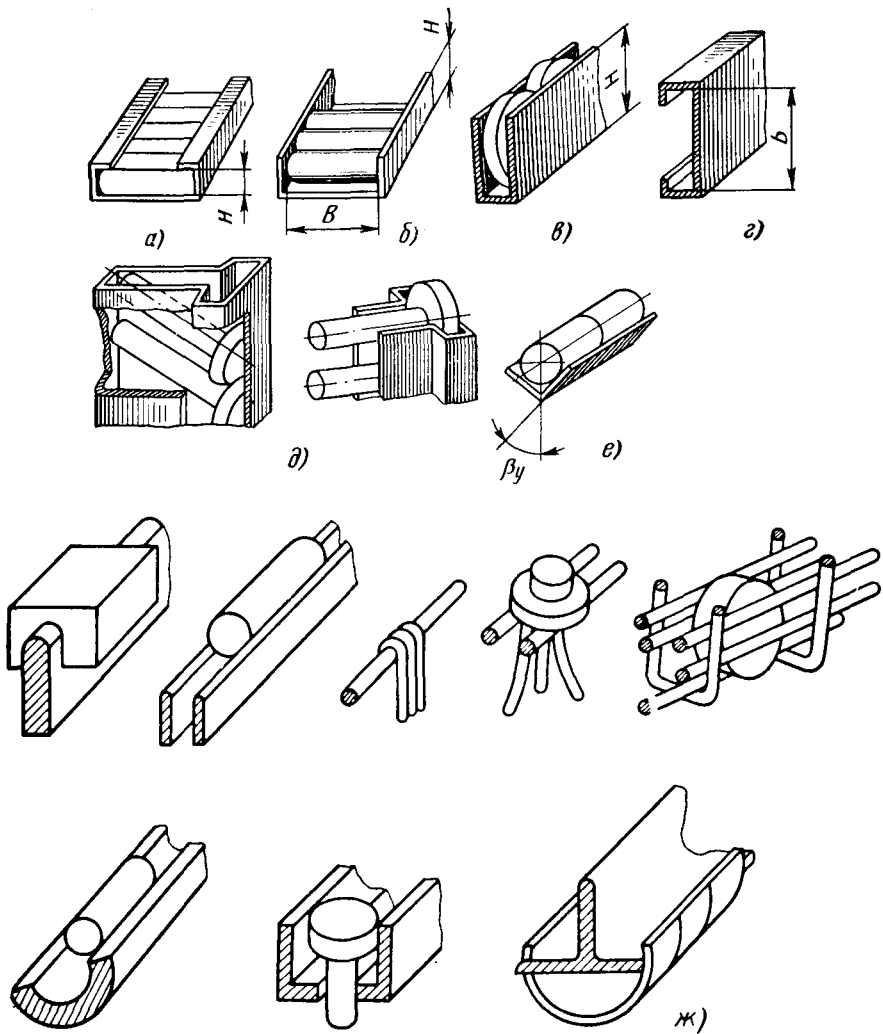


Рис. 5.3. Поперечное сечение лотков:

a — закрытый для валиков; *б* — открытый для валиков; *в* — открытый для дисков; *г* — закрытый для дисков; *д* — пазовые лотки; *е* — угловой лоток; *ж* — стержневые и специальные

в лотке; ρ — угол трения; f — коэффициент трения между заготовкой и стенками лотка.

Для заготовок с плоскими торцами*

$$\Delta = \sqrt{d^2 + L^2} \cos \alpha - L,$$

где d — диаметр заготовки.

* Для другого типа заготовок значение Δ приведено в работе [12].

Если выразить $\cos \alpha$ через $\operatorname{tg} \alpha$ и принять $\rho = \alpha$, получим

$$\Delta = \frac{\sqrt{d^2 + L^2}}{\sqrt{1 + f^2}} - L,$$

а следовательно, ширина лотка для заготовок с плоскими торцами

$$B = L + \Delta = \frac{\sqrt{d^2 + L^2}}{\sqrt{1 + f^2}}.$$

Размеры, вычисленные по этой формуле, дают предельные значения зазора Δ при определенном значении коэффициента трения f . Следовательно, расчетные наибольшие значения зазора Δ_{\max} должны быть всегда несколько меньшими или в крайнем случае равными предельным. Таким образом, ширина лотка B должна удовлетворять двум требованиям одновременно:

$$L + \Delta_{\max} \geq B \geq L + \Delta_{\min}.$$

Зазор Δ_{\max} следует определять, учитывая величину допусков на длину L и ширину B , т. е. в формулу для B надо подставлять наименьшие значения d и L . Наименьший зазор Δ обычно берут по ходовой посадке 5-го класса точности или по 7-му классу точности. Если торцы заготовки выполнены с фасками, выточками и т. п., расчетный диаметр d следует уменьшить. Значения расчетных диаметров приведены в работе [4].

Угол наклона лотка (наименьший) рассчитывают с учетом сил трения при контакте заготовки со стенками лотка:

$$\sin \gamma \geq K f_1 \left(f_1 \sqrt{\frac{2H}{R}} + \operatorname{tg} \beta \right),$$

где f_1 — коэффициент трения между заготовкой и стенками лотка; H — высота стенки (борта) лотка; R — радиус заготовки; β — угол перекося (поворота заготовки), т. е. угол, составленный торцом заготовки со стенкой лотка при одновременном контакте заготовки с обеими стенками; K — коэффициент запаса, зависящий от чистоты лотка, для чистых лотков $K = 1,2$, для обычных $K = 1,5$ и для загрязненных $K = 2,5 \div 3$.

При начальной скорости $v_0 = 0$ и высоте наклонной поверхности h скорость качения заготовки по лотку

$$v = \sqrt{\frac{2g(Rh - fL)}{1,5R}},$$

а при $v_0 > 0$

$$v = \sqrt{\frac{2g(Rh - fL)}{1,5R} + v_0^2},$$

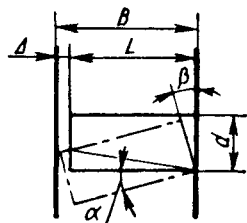


Рис. 5.4. Схема для расчета проходимости заготовок (деталей) в коробчатых лотках

где L — длина горизонтальной проекции наклонной поверхности; f — коэффициент трения качения; g — ускорение силы тяжести.

Время перемещения по горизонтальному лотку при условии, что заготовки не соприкасаются со стенками лотка,

$$t = \sqrt{\frac{2s}{g(\sin \gamma - f \cos \gamma)}},$$

а если заготовки соприкасаются с обеими стенками лотка, то

$$t = \sqrt{\frac{2s}{g \left[\sin \gamma - f \cos \gamma - f_c \left(f \sqrt{\frac{2H}{R}} + \operatorname{tg} \beta' \right) \right]}},$$

где β' — угол поворота заготовки; f_c — коэффициент трения поперечного скольжения заготовки; H — высота; S — путь заготовки; f — коэффициент трения качения.

Время перемещения заготовки по вертикальному лотку

$$t = K_1 \sqrt{\frac{2H}{g}},$$

где H — высота перемещения заготовки в м; K_1 — коэффициент запаса, учитывающий трение заготовки о стенки лотка, а также дополнительное время, необходимое для ускорения заготовки после перемещения $K_1 = 1,5 \div 2,0$.

Лотки-склизы. Высота стенок коробчатых лотков-склизов: у открытых $H \geq s$, у закрытых $H = s + \Delta$, где s — толщина (высота) заготовки; Δ — зазор.

Ширина лотка

$$B = L + \Delta,$$

где

$$\Delta = \sqrt{d^2 + L^2} \cos \alpha - L,$$

здесь d и L — размеры заготовки.

Угол наклона. С учетом трения сторон заготовки о боковые стенки коробчатого лотка угол наклона должен быть в 1,5—2 раза больше угла трения между заготовкой и лотком. Следовательно, лоток следует устанавливать под углом $\gamma \geq 25^\circ$. В тех случаях, когда коробчатые лотки имеют изогнутые участки, их ширину в зависимости от формы заготовки рассчитывают по следующим формулам:

для случая, показанного на рис. 5.5, а,

$$\begin{aligned} B &= R_n - 0,5 \sqrt{4R_n^2 - L^2} + d + C = \\ &= 0,5 \left[\sqrt{(R_n + d)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} \right] - (R_n - d); \end{aligned}$$

число заготовок на криволинейном участке

$$n = \frac{\varphi}{2\alpha}; \quad \sin \varphi = \frac{L}{2R_n - d};$$

для случая, показанного на рис. 5.5, б,

$$B = d + \Delta d + (1,0 \div 1,5); \quad B = R_n - R_i;$$

число заготовок на криволинейном участке

$$n = \frac{\varphi}{2\alpha} + 1; \quad \sin \alpha = \frac{d}{2R_n - d}.$$

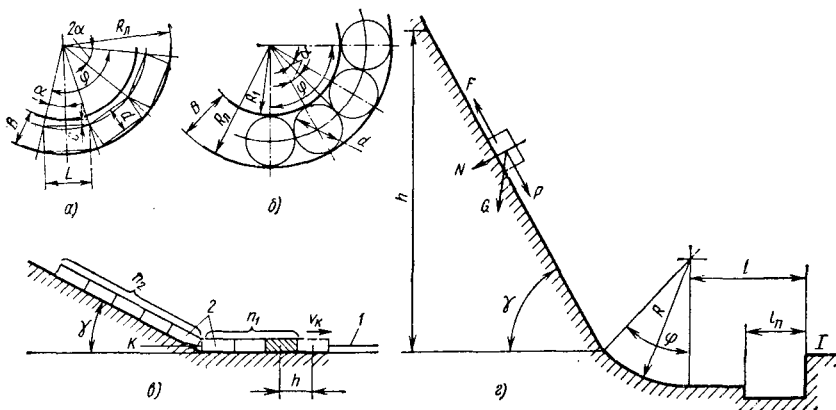


Рис. 5.5. Схемы для расчета ширины лотка. Заготовки перемещаются: а — скольжением; б — качением; в — схема лотка с наклонным и горизонтальными участками; г — схема перемещения детали по наклонному лотку

В тех случаях, когда лоток выполнен так, как показано на схеме (рис. 5.5, в), для того чтобы крайняя (заштрихованная) заготовка заняла требуемое положение, необходимо, чтобы заготовки, находящиеся на наклонной части лотка (n_2 шт.), могли сдвинуть заготовки, находящиеся на прямом участке (n_1 шт.). Для того чтобы заготовки двигались, необходимо соблюсти следующие условия:

$$n > \left[\frac{(n_1 + 0,5) f_1}{\sin \gamma - f \cos \gamma} + 0,5 \right] \text{ и } \sin \gamma > f \cos \gamma,$$

где f_1 — коэффициент трения скольжения для металлических заготовок равен 0,2—0,3.

В тех случаях, когда не соблюдается первое неравенство, для того чтобы было движение заготовок, устанавливают дополнительный толкатель (см. стрелку К). Если же не соблюдается второе неравенство, движение вообще невозможно. Для заготовок, перемещаемых скольжением, $\gamma > 25^\circ$, а качением $\gamma > 12^\circ$.

В тех случаях, когда лоток имеет форму, показанную на рис. 5.5, з, скорость заготовок в конце наклонного участка лотка

$$v_c = \sqrt{2gh(1 - f \cos \gamma)},$$

а на выходе с криволинейного участка

$$v_{кр} = \sqrt{(2ghk + A)e^{-2f\varphi} + A \cos \varphi + B \sin \varphi},$$

где

$$A = \frac{6Rgt}{1 + 4f^2}; \quad B = \frac{2Rg(1 - 2f^2)}{1 + 4f^2},$$

и наконец, скорость на горизонтальном участке лотка

$$v_k = \sqrt{v_{кр}^2 + 2gfl},$$

где f — коэффициент трения качения; l — длина горизонтального участка.

Остальные обозначения даны на рисунке.

Лотки пазовые для заготовок с буртом (рис. 5.6, а). Угол наклона у этих лотков берут большим, чем у обычных коробча-

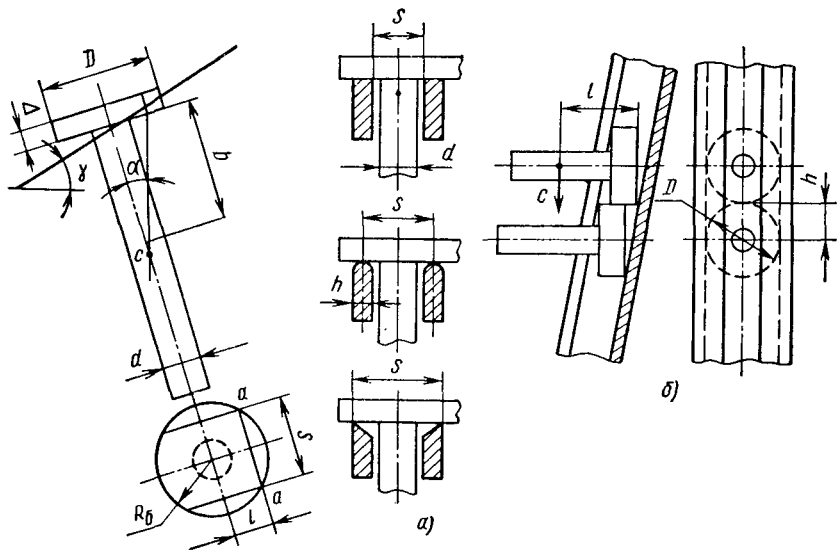


Рис. 5.6. Пазовые лотки для деталей с буртом

тых. Как показывает практика, для этих лотков $\gamma \geq 26^\circ$. Если заготовки движутся, соприкасаясь цилиндрическими поверхностями головок, должно быть соблюдено неравенство $\gamma < \alpha$ или

$$\operatorname{tg} \gamma < \frac{\sqrt{R_6^2 - \left(\frac{S}{2}\right)^2}}{b} = \frac{l}{b},$$

где S — расстояние между точками a — a контакта (опоры) головки заготовки; R_6 — радиус бурта заготовки; b — расстояние от нижней плоскости бурта до центра тяжести c заготовки; $S = B_1 + h$; B_1 — расстояние между внутренними стенками лотка; $B_1 = 1,1d$; d — диаметр стержня заготовки; h — толщина стенок (рельсов) лотка (выбирается конструктивно); l — расстояние точек контакта a от оси детали, $l = \sqrt{R_6^2 - \left(\frac{S}{2}\right)^2}$.

Для того чтобы бурты заготовок, расположенные внахлестку, не мешали друг другу, вызывая дополнительные сопротивления движению заготовок, должно быть соблюдено требование

$$k \geq 1,1\Delta_1,$$

где Δ_1 — толщина бурта.

В тех случаях, когда пазовый лоток выполнен так, как показано на рис. 5.6, б, перемещение заготовок с буртом по вертикальному лотку возможно при

$$\frac{h}{l} > f \text{ или } f < \frac{D}{2(b+h)},$$

где l — расстояние центра тяжести c заготовки от задней стенки лотка; $h = 0,5D$; D — диаметр бурта (головки) заготовки.

Угловые лотки. Для перемещения заготовок в лотке, имеющем угловое сечение (см. рис. 5.3, е), требуется большее усилие, чем в коробчатом, так как трение возрастает и лоток нужно устанавливать под большим углом. Обычно угол наклона лотка γ принимают больше 25° . Угол $\beta_\gamma = 45^\circ$, а ширина бортов $b = (0,7 \div 0,8)d$.

Трубчатые самотечные магазины бывают прямые и изогнутые, а в зависимости от способа изготовления — жесткие и гибкие, последние изготавливают из проволоки навивкой или из резинового шланга. Диаметр отверстия трубки d_1 должен исключать одновременное попадание двух заготовок и поворот их в положение, при котором возможно заклинивание заготовки, обычно $d_1 = (1,1 \div 1,15)d$. На конце трубчатого магазина закрепляют наконечник для укрепления на корпусе питателя. Формы наконечников определяют в каждом конкретном случае.

Трубчатые магазины для плоских заготовок, имеющих форму дисков, квадратов, прямоугольников, называют шахтными магазинами, их изготавливают только жесткими и прямыми. Поперечное сечение таких магазинов соответствует форме подаваемых заготовок, но размеры внутренней полости магазина на 1,2—3 мм больше размеров (диаметра, стороны квадрата, прямоугольника и т. п.) подаваемых заготовок.

Бункер-магазины бывают с вертикальным и горизонтальным расположением. В отличие от лотков в бункер-магазинах основной запас ориентированных заготовок располагается в несколько

рядов. Бункер-магазины с вертикальным расположением применяют для заготовок типа стержней, колец и дисков, а с горизонтальным — для заготовок типа колец и дисков.

§ 5.3. БУНКЕРНЫЕ ЗАГРУЗОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА

Бункерные загрузочные устройства состоят из бункера (емкости), механизма ориентации, предохранительного механизма, магазина накопителя, отсекателя и питателя.

Бункера. Наиболее распространенные формы бункеров для механизмов ориентации с движущимися захватно-ориентирующими органами показаны на рис. 5.7. По конструкции бункера бывают цилиндрическими, коническими и ковшеобразными. Их выполняют с одной емкостью для накопления и выборки заготовок (рис. 5.7, а) и с двумя емкостями, соединяемыми одна с другой (рис. 5.7, б). В последнем случае одна емкость, предбункер 1, служит для сосредоточения основного запаса заготовок, а другая емкость, собственно бункер

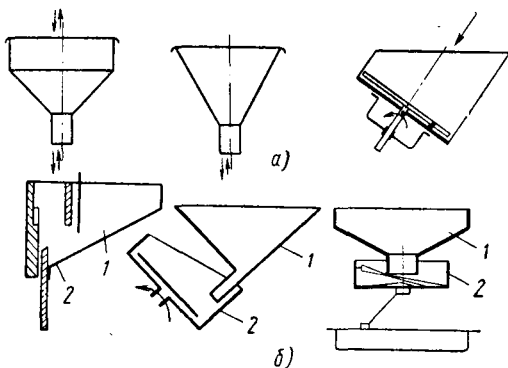


Рис. 5.7. Схемы бункеров

2, — для выборки заготовок. Заготовки из предбункера в бункер перемещаются постепенно под действием сил тяжести. Иногда предбункер выполняют отдельно, и его можно располагать вертикально.

Первая группа бункеров имеет широкое применение, но обладает рядом недостатков: интенсивное ворошение заготовок в результате воздействия движущегося захватного органа приводит к забоинам и царапинам на поверхности заготовок; большое накопление заготовок в бункере, а значит, и значительное давление верхних слоев на нижние затрудняет подготовку заготовок к захвату и приводит к падению производительности загрузочного устройства.

Вторая группа свободна от недостатков бункеров первой группы и может быть рекомендована как основная для загрузочных устройств.

Бункера выполняют литыми и сварными. Чаще применяют сварные бункера. Объем бункера (рабочей полости) определяется тем необходимым запасом заготовок, который должен вмещаться для обеспечения непрерывной работы загрузочного устройства в течение расчетного периода времени:

$$V_6 = \frac{V_3 T}{tq}, \text{ или } V_6 = \frac{V_3 T Q_{\text{ср}}}{q},$$

где V_6 — объем бункера в см^3 ; V_3 — объем заготовки в см^3 ; T — период времени непрерывной работы (без досыпки) загрузочного устройства в мин; t — штучное время обработки в мин; q — коэффициент объемного заполнения; $Q_{\text{ср}}$ — средняя производительность загрузочного устройства в шт/мин.

Коэффициент объемного заполнения q зависит от конфигурации и размеров заготовок и определяется экспериментально. Для простых по форме заготовок $q = 0,4 \div 0,6$. Следует указать, что производительность бункерно-загрузочного устройства не зависит от размера бункера (емкости).

Механизмы ориентации обеспечивают захват из емкости (бункера) и ориентацию заготовок в пространстве, но не во времени; таким образом, заготовки выходят из механизма в определенном положении (ориентированными), но в разные промежутки времени. Ориентация заготовок во времени осуществляется питателем загрузочного устройства. Заготовки в бункере расположены хаотически, поэтому процесс ориентации их с выдачей в заданном положении в магазин-накопитель носит случайный характер и должен рассматриваться с позиции теории вероятностей.

Механизм ориентации выдает заготовки неритмично, т. е. через различные промежутки времени, однако в определенные отрезки времени производительность механизма можно считать примерно постоянной и равной $Q_{\text{ср}}$. В питатель, а значит, и в рабочий механизм станка заготовки должны подаваться равномерно в количестве, которое обозначим через $Q_{\text{п}}$. Так как на производительность механизма ориентации оказывают влияние факторы, управлять которыми не всегда возможно, механизм ориентации проектируется на работу «с переполнением», т. е. $Q_{\text{ср}} > Q_{\text{п}}$. Превышение $Q_{\text{ср}}$ над $Q_{\text{п}}$ в зависимости от типа устройства, условий его эксплуатации и сложности конфигураций подаваемых заготовок составляет от 10 до 35%.

Так как в отдельные периоды времени заготовки могут заполнить приемные механизмы (накопители), в механизме ориентации должен быть предусмотрен предохранительный механизм, автоматически отключающий захватно-ориентирующий орган и автоматически его включающий, как только окажется возможным прием заготовок. В ряде случаев вместо предохранительного механизма предусматривают механизмы для сброса лишних заготовок в специальную тару.

Указанные механизмы будут рассмотрены ниже при описании конкретных конструкций механизмов ориентации. Количество известных в настоящее время конструкций механизмов ориентации велико, но их можно объединить в два класса: а) механизмы ориентации с захватными органами, совершающими вращательное, колебательное или возвратно-поступательное движение, и б) механизмы с вибрирующими захватно-ориентирующими органами или, как их называют, вибробункеры.

Механизмы ориентации первого класса по способу выдачи заготовок в магазин-накопитель разбивают на механизмы: с поштучной выдачей заготовок, с выдачей порциями непрерывно следующих друг за другом заготовок и с выдачей заготовок непрерывным потоком. Механизмы ориентации второго класса выдают заготовки в магазин-накопитель только непрерывным потоком.

Средняя производительность механизмов ориентации рассчитывается по следующим формулам:

для механизмов с поштучной выдачей заготовок

$$Q_{\text{ср}} = kzn = k \frac{v}{m_1} = k \frac{v}{l+a} \text{ [шт/мин];}$$

для механизмов с выдачей заготовок порциями

$$Q_{\text{ср}} = kzm \text{ [шт/мин];}$$

для механизмов с непрерывной выдачей заготовок

$$Q_{\text{ср}} = k \frac{v}{l} \text{ [шт/мин],}$$

где k — коэффициент, характеризующий вероятность захвата заготовок, зависящий от ряда факторов и определяемый экспериментальным путем; z — число захватных органов; n — частота вращения или число двойных ходов рабочего органа в минуту; m_1 — шаг захватных органов; v — окружная скорость захватного органа; m — максимальное число одновременно захватываемых заготовок; l — размер заготовки в направлении движения.

Способ захвата и ориентации подлежащих подаче заготовок зависит от их формы и размеров, наличия в них осей и плоскостей симметрии и особых свойств (хрупкости, сцепляемости и др.). Ориентация может осуществляться в один, два и более приемов.

Механизм ориентации необходимо выбирать в соответствии со следующей классификацией штучных заготовок (рис. 5.8). Заготовки разделены на шесть групп. К первой группе (рис. 5.8, а) относятся заготовки, имеющие множество осей симметрии (шарики); заготовки этой группы не нужно ориентировать. Ко второй группе (рис. 5.8, б) относятся заготовки тел вращения, имеющие одну ось симметрии и одну плоскость симметрии, перпендикулярную к оси вращения; заготовки этой группы необходимо ориентировать по оси вращения. К третьей группе (рис. 5.8, в) относятся заготовки тел вращения, не имеющие плоскости симметрии, перпендикулярной к оси, т. е. заготовки с одной осью симметрии — осью вращения; заготовки этой группы необходимо ориентировать дважды: по оси вращения и относительно плоскости, перпендикулярной к оси вращения. К четвертой группе (рис. 5.8, г) относятся заготовки тел вращения с несимметричными элементами, эти заготовки в зависимости от конфигурации и размеров несимметричных элементов необходимо ориентировать многократно. К пятой группе (рис. 5.8, д) отнесены призматические

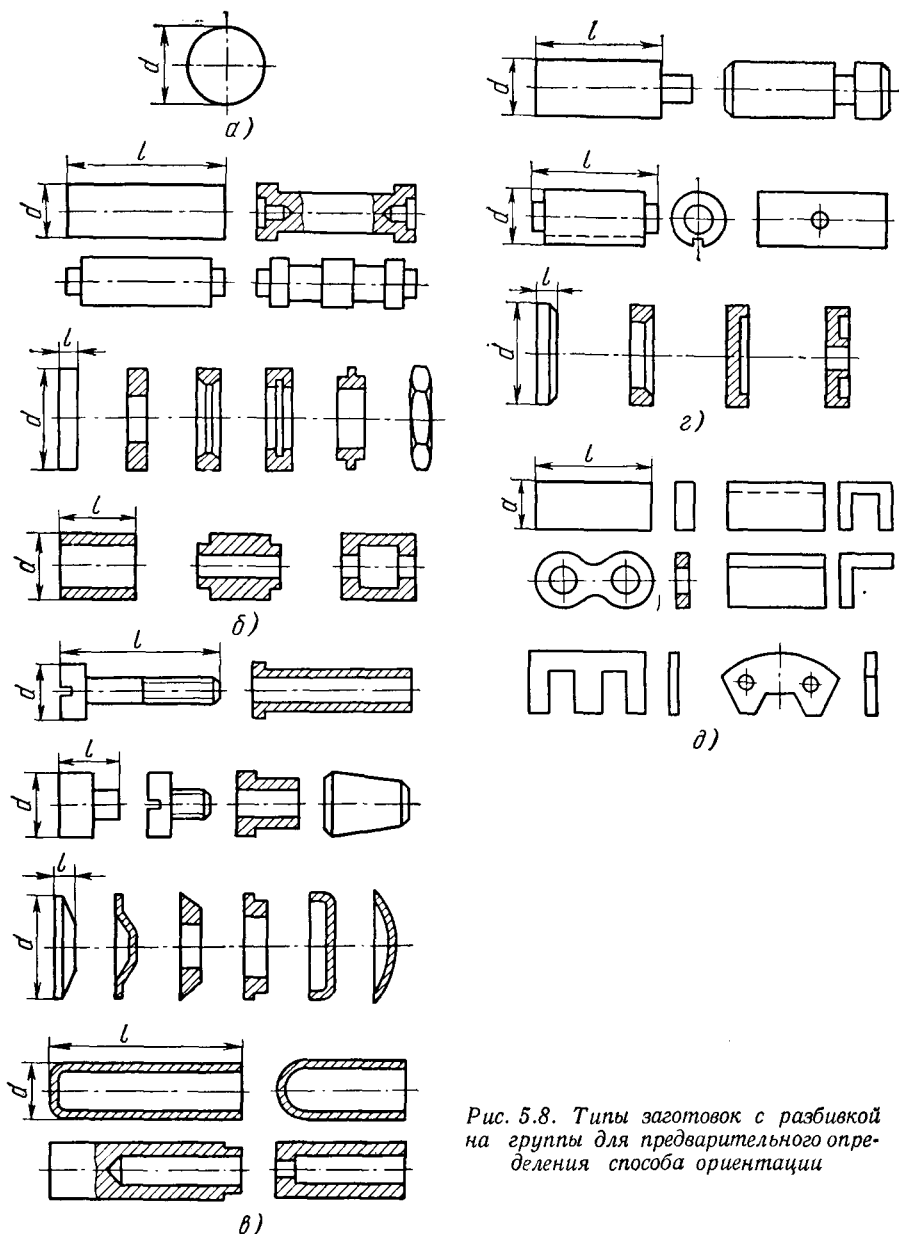


Рис. 5.8. Типы заготовок с разбивкой на группы для предварительного определения способа ориентации

и пластинчатые заготовки; если заготовки симметричны относительно трех взаимно перпендикулярных плоскостей, их ориентация не вызывает трудностей, а если заготовки имеют несимметричные элементы, то нужна многократная ориентация. К шестой группе относятся заготовки, не поддающиеся автоматическому

ориентированию: нетвердые (тонкие резиновые прокладки, слабо прессованные таблетки), недостаточно, жесткие (детали из тонкой проволоки), взаимосопрягаемые, взаимосцепляющиеся (уголки,

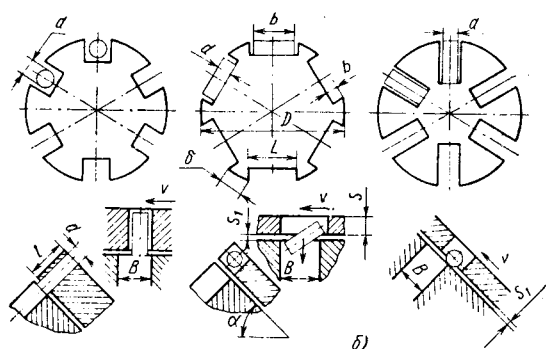
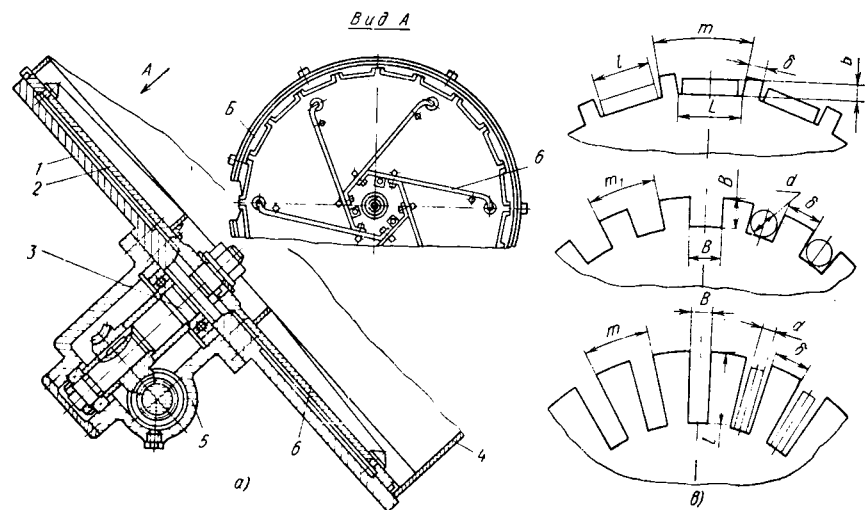
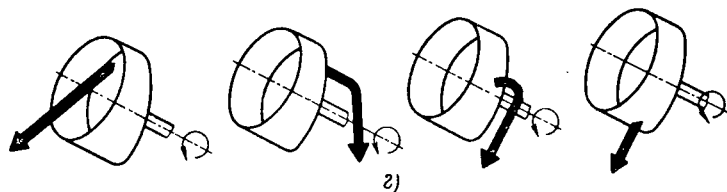


Рис. 5.9. Диск-манчик-механизм ориентации:

a — механизм; *б* и *в* — расчетные схемы; *г* — способы выдачи заготовок



конические полые детали, крючки и т. п.). Такие заготовки рекомендуется изготовлять на автоматических линиях и транспортировать с одной операции на другую с ориентацией в жестких захватах.

Кроме того, заготовки следует различать по отношению размеров. Для заготовок формы тел вращения это будет отношение

длины заготовки к диаметру, а для плоских заготовок — отношение ширины к длине. Отношение $\frac{l}{d}$ (или $\frac{l}{a}$) определяет и степень устойчивости положения заготовок в загрузочном пространстве бункера при работе, а следовательно, и расположение захватывающих и ориентирующих органов бункера. Приведенную классификацию заготовок по степени сложности ориентации следует рассматривать как один из примеров. Для практических целей рекомендуется создать специальные классификаторы.

Примеры конструкции механизмов ориентации. На рис. 5.9 показан дисковый карманчиковый механизм ориентации. Различают карманчиковые механизмы с расположением пазов по хорде рабочего диска перпендикулярно плоскости диска и по радиусу диска (рис. 5.9, а, б и в). Помимо захвата заготовок, эти механизмы различают и по способу выдачи (рис. 5.9, г). Неподвижный диск 1 (рис. 5.9, а) механизма смонтирован на корпусе червячного редуктора 5. Подвижной (рабочий) диск 2 закреплен на валу 3 червячного редуктора. В диске 2 по окружности сделаны карманы Б, а на поверхности диска укреплены лопасти б, способствующие лучшему заполнению карманов заготовками. Бункер 4 укреплен на неподвижном диске 1. Собственно механизм ориентации устанавливают под углом 35—45° к горизонту. Работает механизм следующим образом. Заготовки загружаются в бункер на поверхность рабочего диска 2. При вращении диска заготовки западают в карманы Б и выносятся к приемному окну неподвижного диска, через которое выдаются в лоток-накопитель. Способ выдачи заготовок в лоток-накопитель зависит от исполнения приемной части накопителя; заготовки из горизонтального положения в приемнике могут поворачиваться, т. е. поступать в накопитель в направлении оси заготовки или сохранять горизонтальное положение.

В данном исполнении захват и ориентация происходят в один прием. Если заготовка требует ориентации в два приема, что имеет место при подаче несимметричных заготовок, например колпачков со смещенным центром тяжести, применяют механизмы ориентации с двойными карманами или карманчиковые механизмы ориентации с механизмом вторичной ориентации, смонтированным в приемной части накопителя [12].

В тех случаях, когда из рабочего диска карманчикового механизма ориентации заготовки непосредственно выдаются в приемник, расчету подлежат: размеры карманов, входной части приемника, скорость вращения рабочего диска, а следовательно и производительность механизма ориентации. Способ захвата заготовок влияет на производительность механизма ориентации, так как от него зависит скорость вращения рабочего диска и коэффициент вероятности захвата. Увеличение производительности карманчиковых механизмов ориентации достигается за счет интенсивного ворошения заготовок.

Расчет карманчиковых механизмов ориентации производится следующим образом. Карманчиковые механизмы ориентации с расположением карманов по хорде применяют для заготовок типа валиков цилиндрических и фасонных колпачков диаметром менее 15 мм, длиной менее 80 мм при условии, что $l/d > 2,5$, но не более 4,5 (рис. 5.9, б и в).

Размеры карманов: шаг $m = l + \delta + \Delta l$; ширина $L = l + 0,5d$, глубина кармана $b = (0,9 \div 1)d$, толщина рабочего диска $s = (0,8 \div 0,9)d$, где Δl — зазор между заготовкой и стенкой кармана; δ — толщина перегородки (определяется конструктивно). Число карманов

$$z = \frac{180}{\arcsin \frac{(1,5 + 2,5d)}{D} + \arcsin \frac{(l + 0,5)}{D}},$$

где D — диаметр диска с карманами [выбирается по конструктивным соображениям, обычно $D = (8 \div 15) l$].

Перемещение заготовки из рабочего диска в приемник (рис. 5.9, в) происходит в период вращения диска за счет действия сил тяжести заготовки. Размер окна приемника

$$B = n_1 \sqrt{\frac{l^2 + d^2}{1 + f}}, \text{ или } B = l + v \sqrt{\frac{2d}{g}},$$

где v — скорость перемещения рабочего диска; f — коэффициент трения; n_1 — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2—1,5. Угол наклона рабочего диска $\alpha = 45 \div 50^\circ$. Максимальная скорость рабочего диска при вертикальной выдаче заготовок в накопитель

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{\omega l}{2a_1} \left[\frac{1}{2} \ln \left(1 + \frac{l^2}{4\rho^2} \right) - 1 + \frac{2\rho}{l} \operatorname{arctg} \frac{l}{2\rho} \right]},$$

где ω — ускорение заготовки при скольжении по плоскости, наклоненной под углом α ; $\omega = g (\cos \alpha - f \sin \alpha)$; ρ — радиус инерции заготовки относительно оси, проходящей через точку касания заготовки с краем приемника,

$$\rho = \sqrt{\frac{l^2 + 15 \left(\frac{d}{2} \right)^2}{12}}; \alpha_1 = n_1 \operatorname{arctg} \frac{f + \frac{d}{l}}{1 - f \frac{d}{l}}.$$

α_1 — угол поворота заготовки при входе в приемник. Ориентировочное значение $v_{\max} = 4$ м/мин (для $\frac{l}{d} = 2$). В тех случаях, когда заготовки из рабочего диска поступают в специальное приемное устройство, в горизонтальном положении скорость движения диска

$$v = \sqrt{\frac{\omega}{2} \cdot \frac{(L - l)^2}{(d - s_1)}},$$

где s_1 — зазор между подвижным и неподвижным дисками.

Карманчиковые механизмы с расположением заготовок перпендикулярно плоскости диска применяют для втулок, фасонных стержней и колпачков диаметром 15—20 мм, длиной менее 50 мм при условии, что $l/d = 1,25 \div 3,0$. При $l/d > 1,6$ длина кармана $L < d + \frac{dv}{2} \approx 1,6 d$; при $l/d \leq 1,6$ длина кармана $L = 1,6 d$. Глубина кармана $H = (0,9 \div 1,0) l$. Шаг $m_1 = L + \delta$. Толщина перегородки должна быть такой, чтобы заготовка не могла лежать одновременно на трех зубцах.

Для лучшей подготовки заготовок к захвату рабочий диск имеет уклон к наружному диаметру под углом $\varphi = 3 \div 5^\circ$ и снабжается радиальными желобками (на схемах отсутствуют).

Размер окна приемника при вертикальной выдаче заготовок в накопитель

$$B = \sqrt{\frac{l^2 + d^2}{1 + f^2}} n.$$

Максимальная скорость вращения рабочего диска

$$v_{\max} = \frac{B - d}{\sqrt{\frac{2(l-s)}{g(\cos \alpha - f \sin \alpha)}}}.$$

Угол наклона рабочего диска $\alpha = 30 \div 35^\circ$. Ориентировочно $v_{\max} = 3,8$ м/мин.

Карманчиковые механизмы с расположением заготовки по радиусу диска (рис. 5.9, в) используют для тех же заготовок, что и с расположением по хорде, но при условии, что $l/d = 2 \div 3,5$. Размер кармана по ширине $b = (1,4 \div 1,6) d$, по глубине $L = l + 0,5 d$, шаг $m = b + (1,5 \div 2) d$. Размер окна приемника при условии, что заготовки в приемник поступают горизонтально,

$$B = \frac{2d}{1 + f^2} n.$$

Угол наклона рабочего диска $\alpha = 45^\circ$. Максимальная скорость вращения рабочего диска

$$v_{\max} = \left(B - \frac{d}{2} \right) \sqrt{\frac{g(\cos \alpha - f \sin \alpha)}{2 \left(\frac{d}{2} - s_1 \right)}},$$

где s_1 — зазор между рабочим диском и корпусом механизма ориентации. В табл. 5.1 приведены размеры рабочих дисков для карманчиковых механизмов ориентации.

Если заготовки имеют форму колпачков, диаметр которых равен или в 1,1—1,2 раза больше высоты, или ступенчатых стержней и стержней с фасонной образующей при условии, что диаметр менее 40 мм, применяют механизмы ориентации, показанные на рис. 5.10. В этих механизмах ориентация независимо от формы заготовки совмещается с захватом и осуществляется в один прием по

Таблица 5.1

Эскиз	L_0 в мм	L в мм	B в мм	S в мм	D в мм
a, b	$0,25l$	$l + 0,7d$	$1,5d$	$0,9d$	$\geq 10d$
c, d	$0,25d$	—	$1,2d$	$0,9d$	$\geq 10d$
e, f	$0,25d$	$l + 0,7d$	$1,2d$	$0,9d$	$\geq 10d$
g, h, i, m	$0,25d$	—	$1,2d$	$0,8d$	$\geq 10d$
k, l, m	$0,25d$	$l + 0,7d$	$1,2d$	$0,9d$	$\geq 10d$

наружному очертанию заготовки. Захватные и ориентирующие вырезы, из которых заготовки под действием сил тяжести и сил инерции поступают в приемник, а затем в накопитель, выполнены на боковой поверхности чашеобразного рабочего органа.

Механизм ориентации, показанный на рис. 5.10, устроен следующим образом. Заготовки, насыпанные в ковшеобразный бункер 4, скатываются по наклонному дну последнего и западают в вырезы барабана (чашеобразного рабочего органа) 3. Вырезы выполнены по форме подаваемой заготовки и с торца закрыты кольцом 2. При вращении барабана 3 заготовки через окно, сделанное в кольце корпуса, попадают в приемник, а оттуда в накопитель 5. Кольцо 2 и барабан 3 приводятся во вращение от червячного редуктора 1. При переполнении приемника заготовки из вырезов барабана 3, при вращении последнего, выпадают обратно в бункер 4, а при освобождении приемника вновь поступают в него. Иногда эти механизмы снабжены устройством для выталкивания застрявших в вырезе барабана заготовок. Такое устрой-

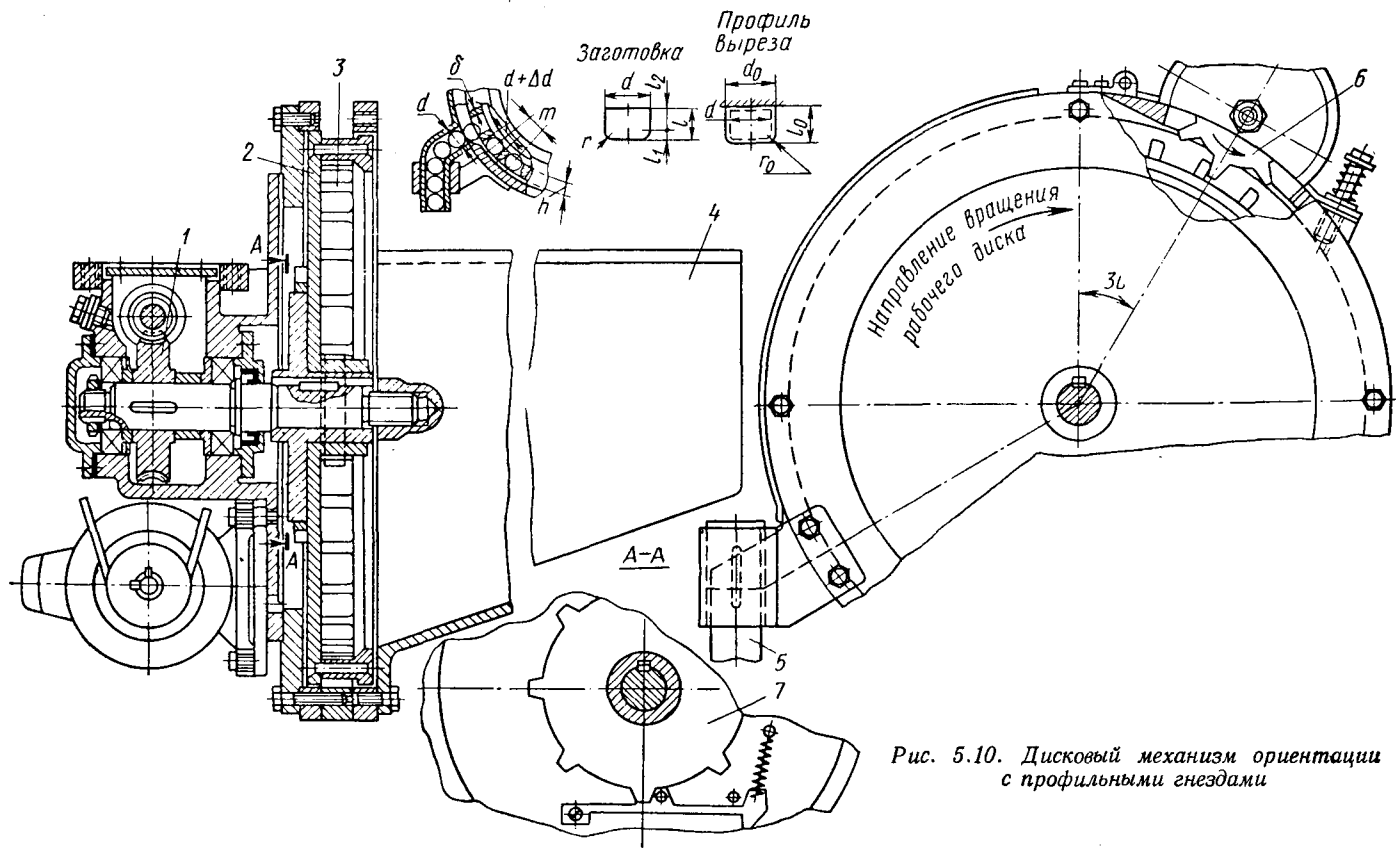


Рис. 5.10. Дискóвый механизм ориентации с профильными гнездами

ство состоит из звездочки 6, которая своими зубцами входит в вырезы барабана 3, сцепляясь с ними. Если в вырезе барабана 3 окажется невыпавшая заготовка, то она, попадая под зубцы звездочки 6, будет вытолкнута во внутреннюю полость барабана 3.

В механизме ориентации предусмотрено предохранительное устройство 7, прекращающее вращение барабана в случае какой-либо задержки (описание предохранительных устройств приводится на стр. 257). После того как причина остановки будет устранена, барабан 3 включается автоматически. При проектировании этих механизмов ориентации важно правильно выбрать форму вырез в барабане, форму приемника и скорость вращения барабана. Ниже приводится расчет указанных параметров для колпачков.

Размеры и форма вырез в барабане рассчитываются по формулам:

$$d_0 = d + \Delta d; l_0 = l + \Delta l;$$

$$r_0 = r + (1 \div 3) \Delta l.$$

Зазор Δl определяется из условия устранения западания в вырез неправильно ориентированных заготовок (колпачков). При $r \leq \frac{d}{2}$ зазор Δl должен быть меньше l_1 . Радиус выреза r_0 при $r = \frac{d}{2}$ принимается $r_0 \geq r + \Delta l$, а при $r < \frac{d}{2}$ $r_0 = r + (1 \div 3) \Delta l$. Заготовки должны иметь любой размер по диагонали больше высоты выреза, а длина заготовки должна удовлетворять условию $l < d - \Delta l$. Зазор Δd , необходимый для западания заготовки в вырез, принимается $\Delta d \approx \Delta l$. Высота выреза $h = (0,7 \div 0,9) d$. Применение пояска на внутренней полости барабана способствует лучшему западанию заготовок в вырезы. Ширина пояска $b = (0,5 \div 1,0) l$, где l — длина заготовки. Угол скоса пояска $\beta = 45 \div 60^\circ$. Шаг между вырезами $m = d + \Delta d + \delta$, где δ — толщина перегородки между вырезами, выбираемая конструктивно в пределах 4—12 мм. Профиль приемника определяют опытным путем.

Для колпачков, втулок, длина которых больше диаметра, широкое применение получили механизмы ориентации с наклонно расположенными штырями на внутренней поверхности кольца и с крючками, расположенными на боковой или торцовой поверхности вращающегося диска [12]. В механизме ориентации, показанном на рис. 5.11, а, захват, а вместе с ним и ориентации заготовок, осуществляются крючками 4, расположенными на периферии вращающегося диска 3. Засыпанные в бункер 1 заготовки, скатываясь по наклонному дну в корпус 2 механизма, встречают на своем пути вращающийся диск с крючками. Заготовки, захваченные крючками, передаются в приемник 5, имеющий вид трубчатого лотка с разрезом, сквозь который свободно проходит стержень крючка. В приемнике 5 заготовки, соскользнув с крючка, поступают в накопитель 6. Если накопитель заполнен или заго-

товка заняла на крючке неправильное положение и не может попасть в приемник 5, вращение диска с крючками прекращается благодаря наличию предохранительного механизма в виде проталкивающей муфты. Как только причина остановки будет уstra-

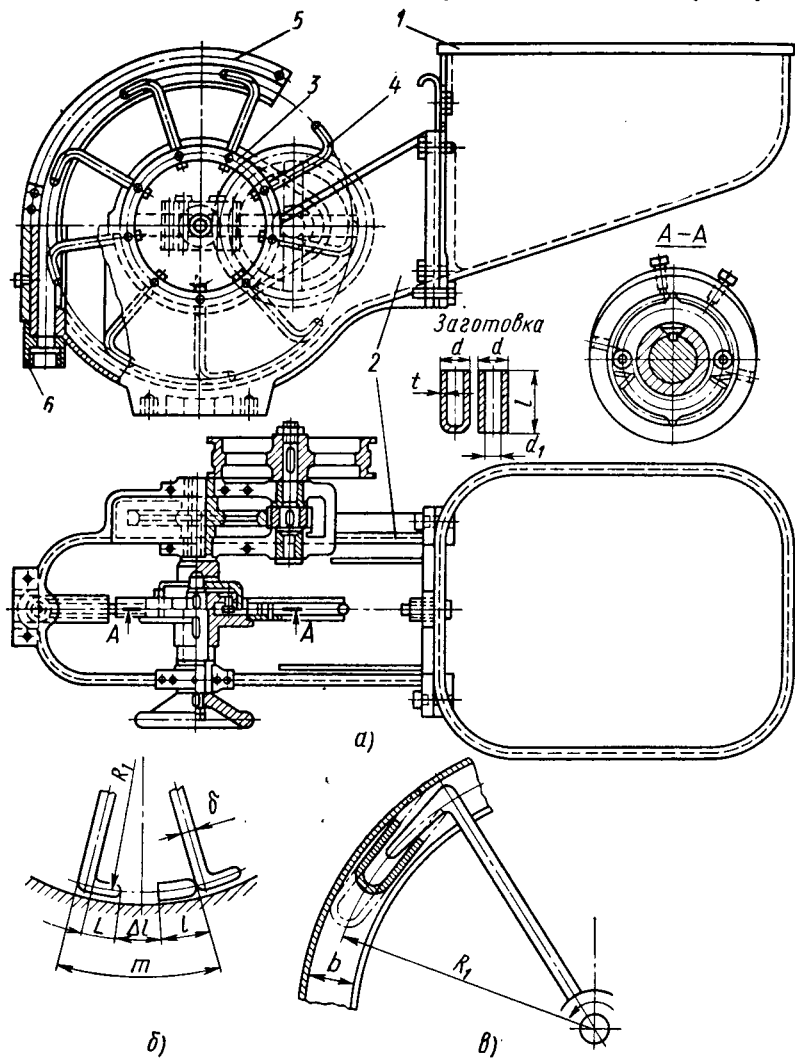


Рис. 5.11. Крючковый механизм ориентации

нена и накопитель будет способен принимать заготовки, включение диска с крючками происходит автоматически. Размеры заготовок и основные параметры крючковых механизмов ориентации определяются следующим образом. Крючки расположены на боковой поверхности диска. Минимальный внутренний диаметр заготовки $d = 6$ мм; максимальный наружный диаметр заготовок

$a = 20$ мм; максимальная длина заготовки $l = 70$ мм; минимальная толщина стенок заготовки $t = 0,3$ мм. Диаметр по крючкам зависит от d и l заготовки и принимается равным 250—400 мм. Шаг крючка (рис. 5.11, б) $m = \delta + L + l + \Delta l$, где диаметр стержня крючка $\delta = (0,4 \div 0,6) d$; длина загнутой части крючка $L = (1,2 \div 1,3) l$; зазор Δl зависит от скорости диска с крючками

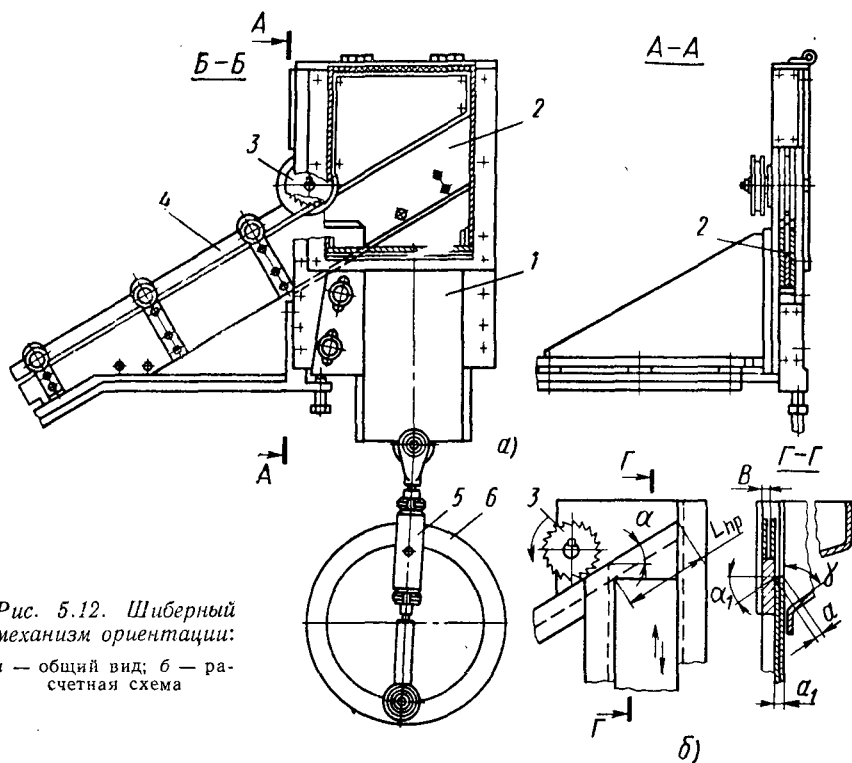


Рис. 5.12. Шиберный механизм ориентации:

a — общий вид; $б$ — расчетная схема

(чем больше скорость, тем больше Δl), определяемый опытным путем или расчетом. Число крючков $z = 8 \div 14$. Ширина приемника (рис. 5.11, в) $b \geq \frac{4d^2 + 8R_1d + l^2}{8R + 4d}$, где R_1 — радиус по крючкам.

Выше были рассмотрены примеры механизмов ориентации с поштучной выдачей заготовок. Широкое применение на заводах получили и механизмы ориентации с выдачей заготовок порциями. К этим механизмам относятся шиберные, секторные, элеваторные, барабанно-лопастные и дисковые с радиальными пазами на торце рабочего диска. В шиберном механизме ориентации (рис. 5.12, а) заготовки, засыпанные в бункер, захватываются вертикально перемещающимся шибером (ножом) 1. Часть захваченных заготовок падает на поверхность приемника 2, а некоторые попадают стержнями между планками приемника лотка. Заготовки, занявшие неверное положение, скатываясь вниз по поверхности прием-

ника 2, отбрасываются обратно в бункер звездочкой 3, имеющей вращение навстречу потоку перемещающихся заготовок. Заготовки, занявшие правильное положение, т. е. между планками, опираясь головками на планки лотка приемника 2, скользят вниз, проходят под звездочкой 3 и направляющей планкой 4 и поступают в накопитель. Шибер 1 получает возвратно-поступательное движение от кривошипного механизма, состоящего из диска 6 и шатуна 5. Кривошипный диск 6 сидит на валу, на котором смонтирована коническая фрикционная муфта, являющаяся предохранителем при перегрузке привода бункера. Привод шибера может осуществляться от кулачка или пневмоцилиндра.

При выборе числа двойных ходов шибера в минуту необходимо исходить из следующих положений: а) время перемещения шибера за один рабочий цикл должно быть больше времени полной выдачи ориентированных заготовок из приемника в накопитель; б) сила инерции в конце хода шибера должна быть меньше силы, способной оторвать заготовку от ножа.

С учетом этих условий число двойных ходов

$$n_{\max} = 60 \sqrt{\frac{g(\sin \alpha - f \cos \alpha)}{2L_{\text{пр}}}},$$

где g — ускорение силы тяжести; α — угол наклона приемника, обычно $\alpha = 30^\circ$; f — коэффициент трения заготовок о приемник; $L_{\text{пр}}$ — длина той части приемника, на которую поступают заготовки из шибера, $L_{\text{пр}} = (8 \div 10) l$; l — длина заготовки.

Ширина щели (рис. 5.12, б) приемника $B = 1,1 d$ (d — диаметр заготовки); угол скоса шибера $\alpha_1 = 45^\circ$, ширина скошенной части $a = (2,5 \div 3,0) d$, толщина шибера $a_1 = a \cos \alpha_1$, ширина шибера $L_1 = L_{\text{пр}} \cos \alpha$, необходимое расчетное число ходов шибера $n = \frac{Q}{mk}$ (Q — производительность обслуживаемого станка), $m = \frac{L_{\text{пр}}}{d}$; k — коэффициент вероятности захвата.

В приборостроении широкое применение наряду с шиберными механизмами ориентации имеют секторные механизмы ориентации (рис. 5.13). Секторный механизм ориентации состоит из бункера 1, подвижного сектора 2 и сбрасывателя 3, предназначенного

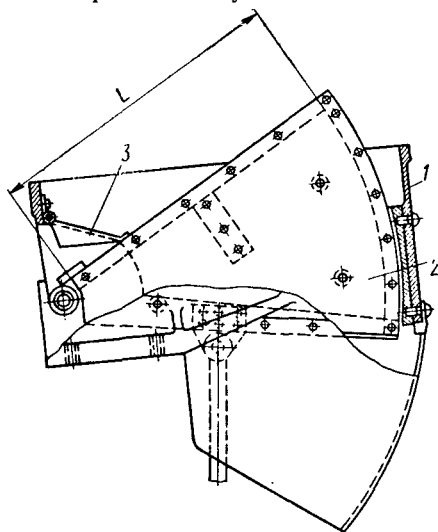


Рис. 5.13. Секторный механизм ориентации

для перекрытия части щели для обеспечения свободного скольжения заготовок из сектора в накопитель (лоток). Сбрасыватель закреплен на поворотном рычаге и поджимается к сектору пружиной (имеются и другие конструкции сбрасывателей). Сектор 2 сборный, и его исполнение зависит от формы заготовок. Сектор закреплен в бункере на осях, относительно которых имеет качание. Качательные движения сектору сообщают с помощью кулачка, кулисы, кривошипа или штока пневмоцилиндра. При определении числа двойных ходов сектора следует исходить из необходимости выдачи захваченных за один рабочий цикл заготовок из паза сектора в накопитель и исключения выбрасывания заготовок в момент нахождения накопителя в верхнем положении.

Первое условие может быть удовлетворено, если время t_1 движения заготовки из крайнего положения на секторе в накопитель меньше или равно времени t_2 качания сектора на угол $2(\alpha_1 - \rho)$, т. е. $t_1 \leq t_2$ (α_1 — угол наклона сектора в крайнем верхнем положении к горизонту в град.; ρ — угол трения, определяющий начало движения заготовок по пазу к накопителю под действием силы тяжести, в град.).

Время выпадания заготовки из паза сектора в лоток

$$t_1 = \sqrt{\frac{2L}{g(\sin \alpha_1 - f \cos \alpha_1)}},$$

где L — длина паза сектора.

Время t_2 определяется из пропорции

$$\frac{t_2}{t_3} = \frac{2(\alpha_1 - \rho)}{2(\alpha_1 + \Delta)},$$

где t_3 — полное время хода сектора, равное $\frac{1}{n}$ [с]; Δ — угол перебега сектора, определяемый из соотношения $\sin \Delta = \frac{h_2}{L}$; h_2 — глубина опускания сектора ниже горизонтальной плоскости. Тогда

$$nt_2 = \frac{\alpha_1 - \rho}{\alpha_1 + \Delta} \text{ и } t_2 = \frac{\alpha_1 - \rho}{(\alpha_1 + \Delta)n}.$$

Второе условие может быть выражено неравенством

$$g \cos \alpha_1 > L\varepsilon_k,$$

где ε_k — угловое ускорение сектора при подходе к верхнему положению в рад/с².

При максимальном угловом ускорении

$$g \cos \alpha_1 = L\varepsilon_k,$$

откуда

$$\varepsilon_k = \frac{g \cos \alpha_1}{L}.$$

Так как ε_k пропорционально n^2 , т. е. квадрату числа двойных ходов (при кривошипном приводе), то

$$d_5 n^2 = \frac{g \cos \alpha_1}{L},$$

откуда

$$n = \sqrt{\frac{g \cos \alpha_1}{d_5 L}},$$

где d_5 — коэффициент, зависящий от угла α_1 и определяемый по следующим данным:

α_1 в градусах	20	30	40	50	60
d_5	0,0042	0,0055	0,0069	0,0077	0,0085

Число двойных ходов в единицу времени можно увеличить за счет увеличения скорости опускания сектора и придания сектору при подъеме колебаний небольшой амплитуды. Максимальный угол наклона сектора к горизонту α_1 в верхнем его положении ограничивается условием прилегания заготовки к сектору всей опорной поверхностью и определяется из следующего неравенства:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\max} \leq \frac{d_1}{2x},$$

где d_1 — диаметр головки; x — расстояние до центра тяжести заготовки.

Длина сектора L определяется размерами заготовок, необходимой производительностью и числом рабочих циклов. Ширина сектора зависит от поперечного сечения подаваемых заготовок.

На заводах для подачи колец, дисков, валиков, гладких и с головками, применяют элеваторные механизмы ориентации, схема одного из таких механизмов показана на рис. 5.14, а. Механизм имеет бункер 5, наклонный транспортер 2 и привод 1 с натяжным устройством. Заготовки скатываются по наклонному дну бункера к наклонным полкам 4 лопастями, прикрепленными к транспортеру, захватываются и поднимаются к приемнику 3. Для того чтобы заготовки, скатываясь в сторону наклона полки, не выпадали, предусмотрены бортовые планки. Достигнув приемника, заготовки перемещаются через вырез в планке в накопитель. Если приемник переполнен, заготовка поднимается выше и соскальзывает в лоток возврата. Лопасты наклонены под углом 30—35°. Конструктивное исполнение зависит от формы подаваемых заготовок, например, для гладких валиков лопасти установлены таким образом, что, исключается размещение двух валиков друг над другом; для дисков устанавливаются козырек, способствующий повороту заготовок на ребро и т. д.

Элеваторные механизмы отличаются друг от друга исполнением захватных органов. На рис. 5.14, б в качестве захватного органа использованы магниты, на рис. 5.14, в — отверстия в ленте,

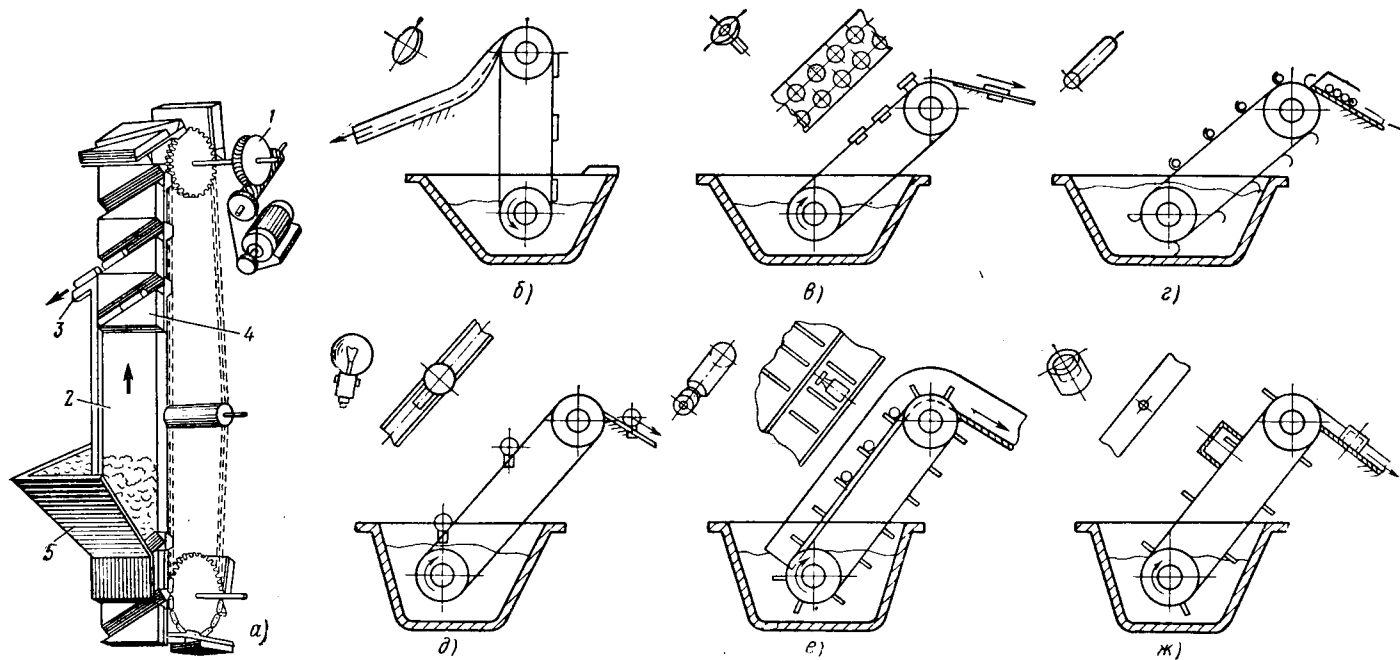


Рис. 5.14. Элеваторные механизмы

на рис. 5.14, *г, д, е* — лопасти, на рис. 5.14, *ж* — штыри. Элеваторные механизмы ориентации могут получить широкое применение, особенно в условиях серийного производства.

В дисковых механизмах ориентации с радиальными пазами на торце диска (рис. 5.15) заготовки, западая в пазы при вращении диска *1*, благодаря тому,

что он расположен наклонно, скользят и выпадают в накопитель *2*. Для того чтобы исключить преждевременные выпадения заготовок из пазов во время вращения диска *1*, пазы на некоторой части пути диска перекрыты неподвижной планкой *3*. Рабочий диск *1* получает периодический поворот от многолопастного мальтийского креста, число пазов креста соответствует числу радиальных пазов, расположенных под равными углами на рабочем диске. Число пазов на диске следует выбирать наибольшим для уменьшения инерционных усилий. Ширину пазов и их глубину выбирают в зависимости от размеров подаваемых заготовок.

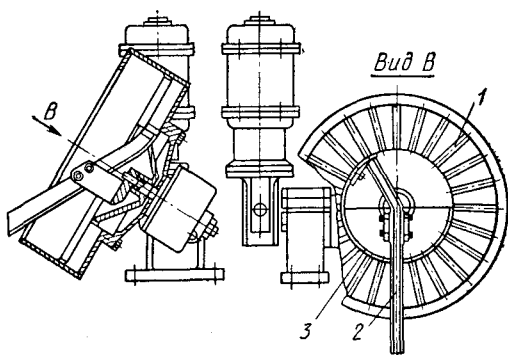


Рис. 5.15. Дисковый механизм с радиальными пазами на торце

Так как время остановки рабочего диска определяется примерно временем половины оборота кривошипа мальтийского креста, то максимальная допустимая частота вращения кривошипа, при которой все заготовки успевают выпасть из паза в накопитель, будет

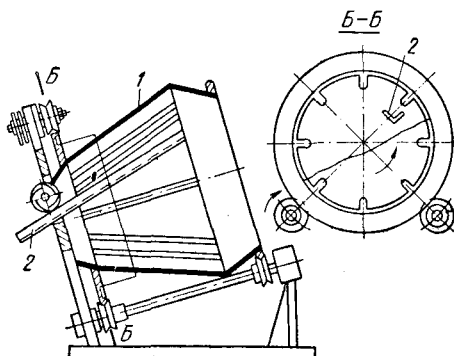


Рис. 5.16. Барабанные механизмы ориентации

$$n_{\max} = \frac{30}{\sqrt{\frac{2s}{g(\sin \alpha - f \cos \alpha)}}},$$

где α — угол наклона диска в градусах, обычно $\alpha = 40 \div 60^\circ$; s — путь заготовки.

К этой же группе механизмов ориентации следует отнести и барабанные механизмы ориентации, показанные на рис. 5.16. В этом механизме лопасти (или пазы), осуществляющие захват

и ориентацию заготовок, сделаны на внутренней полости наклонно расположенного барабана 1. Захваченные заготовки выпадают через профильное окно в накопитель 2. Барабан получает непрерывное вращение от червячного редуктора (на схеме отсутствует).

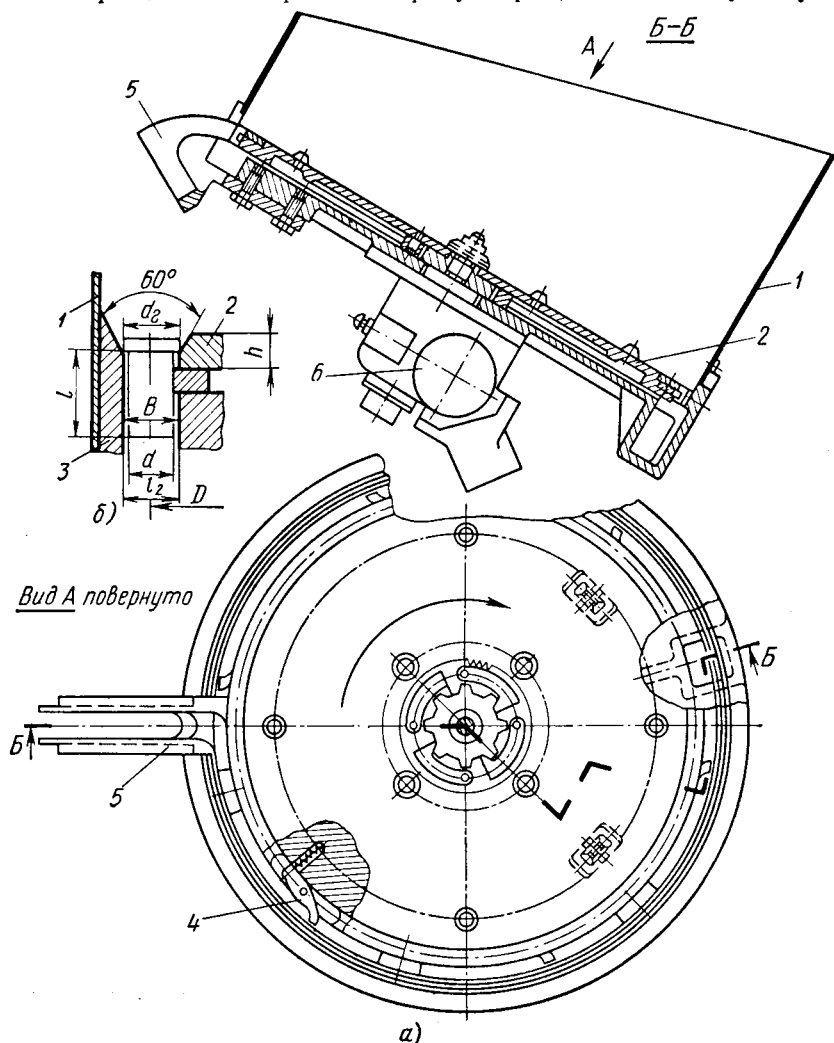


Рис. 5.17. Дискосый щелевой механизм ориентации

В этих механизмах ориентации важно правильно выбрать скорость вращения барабана с радиальными пазами. Если скорость велика, заготовки не успевают переместиться в накопитель, а при малой скорости механизм ориентации будет иметь низкую производительность.

В дискосых щелевых механизмах ориентации (рис. 5.17, а) загружаемые в бункер 1 заготовки при вращении диска 2 западают

в щель между коническим кольцом 3 и диском 2 и зависят на головках. В пазу диска установлены на осях собачки 4, которые при вращении диска захватывают запавшие в щель заготовки и транспортируют их к приемнику 5. Когда диск вращается, запавшие в щель заготовки выталкиваются собачками в приемник, а из последнего в накопитель. При заполнении накопителя и приемника собачки утопают в пазу диска и выталкивание заготовок в приемник прекращается. Привод диска осуществляется от червячного редуктора 6. Такого типа механизмы ориентации используют для заготовок типа стержней с головкой, полупустотелых и пустотелых заклепок при условии, что длина стержня незначительна (менее 50 мм), разница между диаметром головки и стержнем небольшая, а наружный диаметр стержня менее 10 мм. Основные размеры механизма ориентации определяют по следующим формулам (рис. 5.17, б).

Минимальная величина среднего диаметра щели

$$D_{\min} > \frac{4l^2}{d}; \quad D_{\min} \approx (5 \div 8) \frac{l^2}{d}$$

(верхний предел для малых по размеру заготовок), ширина ориентирующей щели

$$l_2 = \frac{d_r + d}{2} (0,8 \div 0,9) = \frac{2d}{1 + f^2} (0,8 \div 0,9),$$

где d — диаметр стержня заготовки; l — длина стержня; d_r — диаметр головки; f — коэффициент трения, принимаемый равным 0,5.

Высота скоса рабочего диска $h = 0,9 d_r$. Угол наклона диска к горизонту $25\text{—}30^\circ$. Радиус средней линии щели приемника $r = (2 \div 4) d$, угол $\beta = 30 \div 45^\circ$.

Последняя группа механизмов ориентации характеризуется непрерывностью выдачи заготовок в накопитель. Из большого разнообразия конструкций этих механизмов рассмотрим только некоторые, наиболее характерные для приборостроительной промышленности.

Существует несколько разновидностей механизмов ориентации: механизмы с западанием заготовок в трубку, в которых трубка неподвижна, а бункер совершает возвратно-поступательное движение, механизмы, в которых бункер неподвижен, а трубка совершает возвратно-поступательное движение [12], и, наконец, механизмы, в которых бункер неподвижен, а трубка вращается. Механизм ориентации с вращающейся трубкой и неподвижным бункером показан на рис. 5.18. Бункер 1 из листовой стали укреплен (обычно приварен) на корпусе 2; внутри корпуса на шарикоподшипниках вращается втулка 3, получающая привод от обслуживаемого станка или электродвигателя через ременную передачу и пару конических зубчатых колес. Внутри втулки по скользящей посадке вставлена трубка 4, соединенная с втулкой шпонкой.

Трубка имеет приемную коническую расточку, в ее торец установлен ворошитель 5. Вращаясь, втулка 3 увлекает за собой трубку 4 с ворошителем 5. Последний ворошит заготовки, засыпаемые в бункер, и создает условия для их западания в трубку, откуда они в требуемом положении поступают в магазин (накопитель).

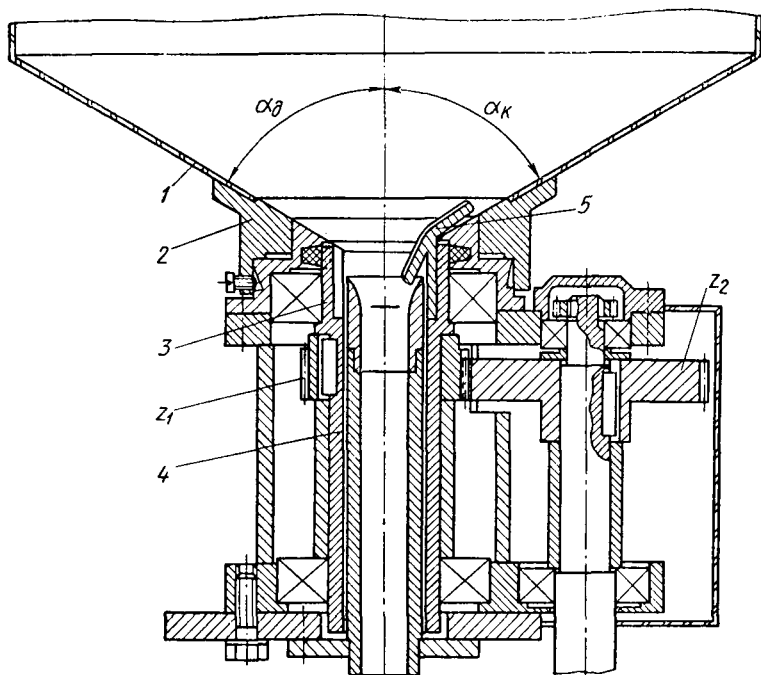


Рис. 5.18. Механизм ориентации с вращающейся трубкой

Механизм ориентации с вращающейся трубкой используют для цилиндрических и конических роликов с $\frac{l}{d} = 1,1 \div 3,5$ при условии, что $d < 20$ мм и $l < 60$ мм.

Если механизм используется для конических роликов, он обеспечивает только первичную ориентацию, вторичная ориентация по положению центра тяжести осуществляется устройством, выполненным вне механизма ориентации.

Механизм относится к категории универсально-наладочных. Переналадка на различные типоразмеры заготовок заключается в смене насадки и трубки. Угол наклона конуса кожуха бункера $\alpha_k = 90^\circ - 2\rho$ (ρ — угол трения скольжения заготовок по днищу); угол уклона конуса основания днища $\alpha_d = 45 \div 60^\circ$. Угол конуса насадки $\alpha_n \approx 45^\circ$.

Диаметр отверстия в трубке при $\frac{l}{d} \leq 2,4$

$$D = d \sqrt{\frac{(l/d)^2 + 1}{1 + f^2}} n_1,$$

где f — коэффициент трения, равный 0,3—0,4; n_1 — коэффициент надежности, равный 0,9—0,95.

При $\frac{l}{d} > 2,4$ диаметр отверстия в трубке $D = 2dn_1$.

Фрикционные механизмы ориентации применяют для подачи дисков, колец, фланцев и небольших по длине стержней (валиков). В механизме, показанном на рис. 5.19, заготовки загружаются в бункер 2 на поверхность вращающегося диска 1, по которому и поступают в накопитель 3. Диск 1 вращается от шкива и через коническую зубчатую передачу. В качестве привода может быть использована вместо конических зубчатых колес червячная передача.

Предохранительные устройства механизмов ориентации. Выше указывалось, что средняя производительность механизма ориентации должна быть выше потребности обслуживаемого станка. Для прекращения подачи в накопитель заготовок, если он заполнен, используют два способа: а) автоматически останавливается рабочий орган, осуществляющий захват и ориентацию заготовок, пере-

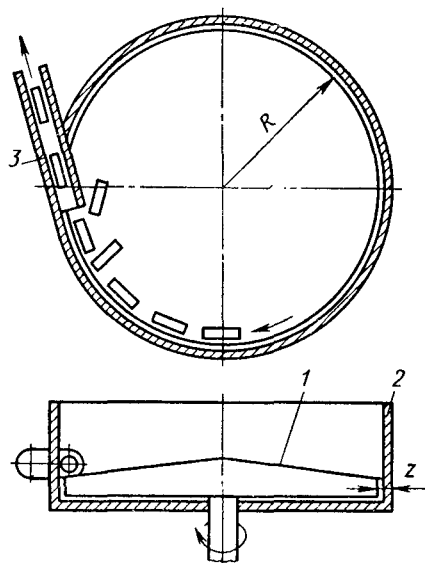


Рис. 5.19. Фрикционный механизм ориентации

крываются окна приемника или происходит проскальзывание рабочего органа, при этом лишние заготовки (заготовки, не вмещающиеся в накопитель) остаются в рабочем органе механизма ориентации; б) отводятся лишние заготовки обратно в бункер или в отдельную тару. Примеры механизмов для остановки рабочего органа приведены на рис. 5. 20. Предохранительное устройство, показанное на рис. 5.20, а, применяют в механизмах ориентации с горизонтальной осью вращения рабочего органа (крючковые механизмы ориентации). Механизм, прекращающий вращение рабочего диска, имеет закрепленный на валике 4 кулачок 7, на выступы которого опираются сухари 3, размещенные в отверстиях фланца 6, насаженного на валик 1 привода. Давление пружин 5 на сухари 3 подобрано так, чтобы валик 4, на который по-

сажен рабочий диск 2, вращался только при нормальной нагрузке на него. В случае перегрузки, что бывает при переполнении накопителя или при случайном заедании рабочего диска 2, пружины 5 позволяют сухарями 3 выйти из контакта с выступами кулачка 7, в результате чего вращение валика 4 прекращается. Как только причина остановки будет устранена, рабочий диск включается автоматически.

Предохранительное устройство, показанное на рис. 5.20, б, применяют в механизмах ориентации с вертикально или наклонно расположенной осью вращения рабочего диска (см. механизм

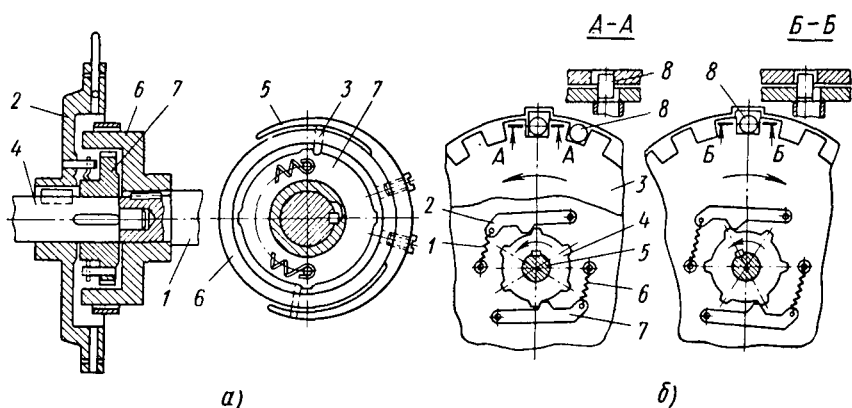


Рис. 5.20. Предохранительные механизмы

ориентации на рис. 5.10 и 5.17). Кулачок 4 (рис. 5.20, б) устройства закреплен на приводном валу 5, а два рычага 2 и 7 — на рабочем диске 3 и поджимаются пружинами 1 и 6 к кулачку. При переполнении накопителя рабочий диск упирается краем захватного органа (кармана) в заготовку, выступающую из приемника или накопителя. Вследствие скосов на выступах кулачка и рычагов 2 и 7 последние, преодолевая сопротивление пружин, расходятся и скользят по выступам кулачка. Как только выступ кулачка переместится на величину, равную его ширине, рычаги опустятся, но рабочий диск будет неподвижен до встречи рычагов с очередным выступом кулачка. Если причина остановки рабочего диска будет исключена, диск в момент встречи рычагов с очередным выступом кулачка включается автоматически.

Рычаги скошены с двух сторон, что позволяет в момент опускания рычага по скосу кулачка поворачивать рабочий диск в направлении, противоположном движению кулачка, и тем самым освободить зажатую заготовку 8 между краем кармана диска 3 и накопителем. В ряде случаев поступление заготовок в накопитель прекращается закрытием окон (карманов) на рабочем диске или проскальзыванием захватного органа рабочего диска по поверхности подаваемых заготовок.

Вибрационные механизмы ориентации, или, как их чаще называют, вибробункера, имеют широкое применение, так как обладают существенными преимуществами перед механизмами ориентации с движущимися захватно-ориентирующими органами. Вибробункера просты по конструкции, легко встраиваются в цепь управления станками, не требуют каких-либо механических связей, а также дешевы в изготовлении, допускают подачи малых по массе и хрупких заготовок. Кроме того, вибробункера позволяют осуществлять многократное ориентирование, а следовательно, подачу заготовок формы тел вращения, имеющих плоскости симметрии, проходящие через ось и перпендикулярно ей или имеющие только плоскость симметрии, проходящую через ось, и плоских заготовок с двумя или с одной плоскостями симметрии. Таким образом, эти механизмы позволяют ориентировать и подавать как симметричные, так и несимметричные заготовки.

Вибробункера бывают со спиральными и прямолинейными лотками. Вибробункера со спиральным лотком состоят из привода с системой пружинной подвески и бункера (чаши) с лотком, устройствами для ориентации заготовок и с приемником накопителя. Иногда между приемником и накопителем для сложных по конфигурации заготовок устанавливают дополнительные устройства для ориентации.

Работа вибробункера или вибролотка основана на движении заготовок (деталей) по лотку под действием вибраций, т. е. колебаний малой амплитуды и большой частоты. В вибробункерах и вибролотках: а) заготовки движутся под действием только сил инерции; б) равномерная и постоянная скорость движения заготовок создает благоприятные условия для ориентации, что особенно важно для заготовок сложной формы; в) движение заготовок по лотку не зависит от массы заготовок.

Таким образом, как крупные, так и мелкие заготовки перемещаются с одинаковой скоростью. На лотке 1 (рис. 5.21), наклоненном под углом α , лежит заготовка 2. Лоток 1 подвешен на плоских пружинах, расположенных под углом γ . Один конец пружины закреплен на лотке, а другой—на основании. Лоток получает возвратно-поступательное перемещение с небольшой амплитудой и значительной частотой в направлении под углом β к лотку. Направление траектории любой точки лотка составляет с горизонтальной плоскостью угол $\gamma = \alpha + \beta$. Заготовка будет непрерывно двигаться по лотку, если последнему сообщить колебательное движение с разными ускорениями в прямом и обратном направлении. В зависимости от принятого закона движения заго-

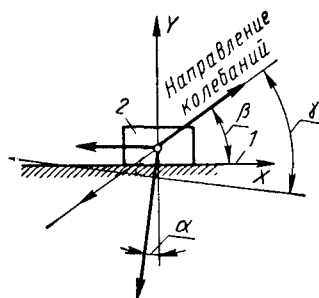


Рис. 5.21. Расчетная схема

товки либо проскальзывают, либо, отрываясь от лотка, совершают полет, а затем снова падают на поверхность лотка и т. д. Часть каждого цикла заготовка перемещается, не касаясь поверхности лотка. Так как амплитуда колебаний мала, а число колебаний велико, все отдельные микродвижения заготовок, находящихся на лотке, сливаются в одно, создающее впечатление равномерного движения. По колеблющемуся лотку заготовки транспортируются при несимметричном и симметричном гармонических законах колебательного движения. При несимметричном колебании

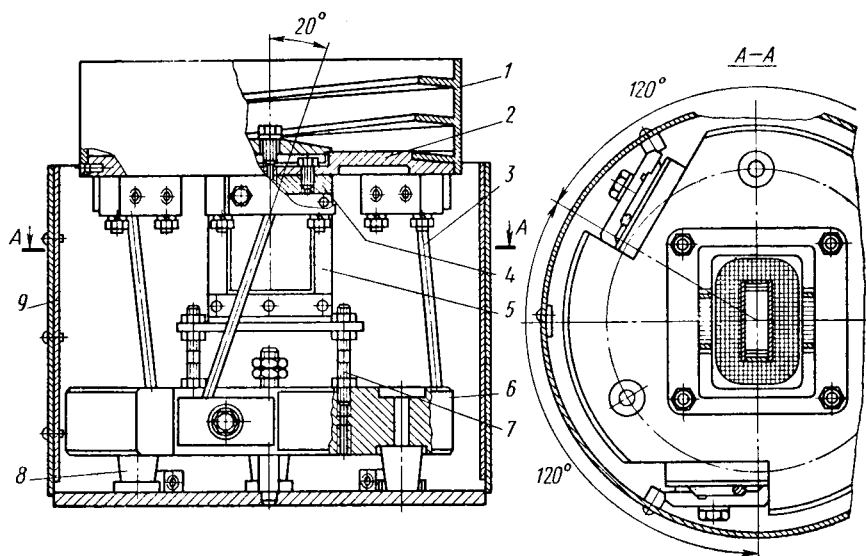


Рис. 5.22. Вибробункер с вертикальным электромагнитным вибратором

лотка, как правило, заготовка по лотку проскальзывает, т. е. перемещается без отрыва от лотка. При симметричном законе колебательного движения заготовка по лотку может проскальзывать в безотрывном режиме или совершать микрополет, т. е. часть цикла перемещаться в направлении лотка, не касаясь его поверхности, затем снова падает на лоток. В вибробункерах, как правило, применяют гармонический закон колебаний, который легко получается с помощью электромагнитного привода и упругой системы (чаша с деталями крепится к основанию на пружинных подвесах, образуя упругую систему). Заготовки перемещаются за счет одновременного сообщения им вертикальных возвратно-поступательных движений электромагнитным приводом и крутильных колебаний упругой системой.

На рис. 5.22 показан вибробункер с вертикальным электромагнитным вибратором. Вибробункер состоит из чаши 1, на внутренней поверхности которой имеется спиральный лоток, а на наружной смонтирован приемник накопителя. Дно 2 чаши укреплено

на пружинной подвеске, в рассматриваемой конструкции состоящей из трех цилиндрических стержней 3. В центре дна чаши укреплен якорь 4 электромагнита 5, установленного на массивном основании 6. Зазор между якорем и электромагнитом регулируется подъемом или опусканием последнего винтами 7. Зазор оказывает влияние на скорость перемещения заготовок по лотку и величину напряжения, необходимого для обеспечения скорости перемещения заготовок.

Для виброизоляции вибробункер установлен на резиновых амортизаторах 8. Привод закрыт кожухом 9. Регулирование производительности осуществляется изменением тока, подаваемого в электромагнит, которое производится при помощи встроенного реостата. Регулировка частоты собственных колебаний при постоянном усилии осуществляется путем изменения рабочей длины подвесок, в рассматриваемой конструкции—изменением рабочей длины круглых стержней. Если в качестве подвески используются рессоры (многослойные плоские пружины), то резонансная настройка может регулироваться путем изменения количества пластин в пакетах подвесок.

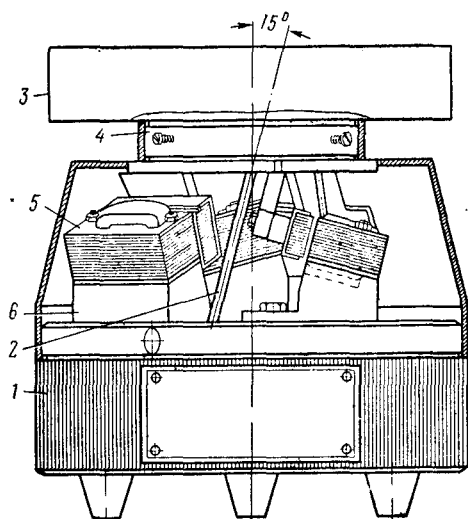


Рис. 5.23. Вибробункер с тангенциальным расположением электромагнитных вибраторов

Вибробункер с тангенциально расположенными вибраторами показан на рис. 5.23. В этом вибробункере три вибратора расположены равномерно по окружности, причем тангенциально к подвескам. На верхней плоскости установленного на резиновых амортизаторах массивного основания 1 закреплены нижние концы трех подвесок 2 (цилиндрических стержней). Верхние концы подвесок прикреплены к кольцу 4, несущему чашу (бункер) 3 со спиральной лотком. Тангенциально к каждой подвеске (пружине) смонтированы три вибратора, электромагниты 5 которых на стойках 6 болтами прикреплены к основанию 1. Якоря вибраторов крепятся к насадочному кольцу или к удлиненным угольникам тангенциально к пружинам. Регулировка зазора между якорями и электромагнитами осуществляется перемещением стоек 6 по пазам основания. Привод закрыт кожухом. Приборы управления в рассматриваемом вибробункере вынесены в отдельную приставку.

Для сложных по конфигурации заготовок применяют вибробункера с отдельным приводом. Такой вибробункер состоит из

привода горизонтальных колебаний, привода вертикальных колебаний, чаши (бункера), неподвижного дна, основания и амортизаторов.

Во всех рассмотренных вибробункерах в качестве привода используются электромагнитные вибраторы. Сила притяжения электромагнита зависит от величины магнитного потока; при включении обмотки катушки в сеть имеем следующую картину: при возрастании магнитного потока якорь притягивается, а при убывании возвращается под действием упругой подвески.

При питании переменным током, когда на протяжении одного периода имеются два максимума силы тока (положительный и отрицательный), магнитный поток дважды изменяется от нуля до максимума, и в соответствии с этим частота колебаний возмущающей силы будет вдвое больше частоты переменного тока. При питании однополупериодным пульсирующим током, когда на протяжении одного периода имеется один максимум силы тока, частота колебаний возмущающей силы совпадает с частотой переменного тока.

Обычно работа электромагнитных вибраторов осуществляется при частоте 50 и 100 Гц. Вибробункера для крупных и средних заготовок лучше рассчитывать на работу при меньшей частоте. С повышением частоты усиливается шум, издаваемый бункером, особенно ощутимый у вибробункеров с чашей большого диаметра, так как частота 50 Гц лежит вблизи нижнего порога слышимости. С другой стороны, при работе на большой частоте, при одной и той же скорости движения, заготовки значительно меньше отрываются от лотка.

В машиностроении для сравнительно крупных заготовок получили распространение дебалансные вибраторы различных конструктивных исполнений. Конструкция этих вибраторов и их расчет рассмотрены в литературе [10, 18].

Автоматическим ориентированием называется процесс, в результате которого заготовки без участия человека приводятся из хаотического состояния в определенное положение относительно некоторых поверхностей. Критерием годности заготовок для ориентации является сложность их формы и сцепляемость заготовок между собой. Трудно ориентировать заготовки неправильной геометрической формы. К таким заготовкам тел вращения относятся заготовки, имеющие плоскости симметрии, проходящие через ось и перпендикулярно ей или имеющие только плоскость симметрии, проходящую через ось, а в случае плоских заготовок — заготовки с двумя и одной плоскостями симметрии. Невозможно использовать бункера для мелких заготовок, имеющих длинные и гибкие элементы, спирали и пружины с неподогнутыми крайними витками. Основы теории автоматической ориентации изложены в трудах наших ученых (М. В. Медвидь, Н. И. Шеришевский, В. А. Яхимович, В. Ф. Прейс, А. Н. Рабинович и др.).

Ориентация подаваемых заготовок осуществляется в бункере при перемещении заготовок по спиральному лотку, а иногда еще и в специальных устройствах на пути следования в питатель, установленных перед накопителем. В общем случае устройства для автоматического ориентирования должны иметь два органа: контрольный, который проверяет правильность положения заготовок, и исполнительный, который подает команду на удаление неправильно расположенных заготовок (пассивная ориентация) или на изменение их положения на требуемое поворотом вокруг соответствующих осей или любым иным способом (активная ориентация). Очень часто контрольный и сортировочный органы объединены. В зависимости от требований к ориентированию, от конфигурации заготовки и физико-механических свойств материала заготовки применяют различные методы контроля ее положения: механи-

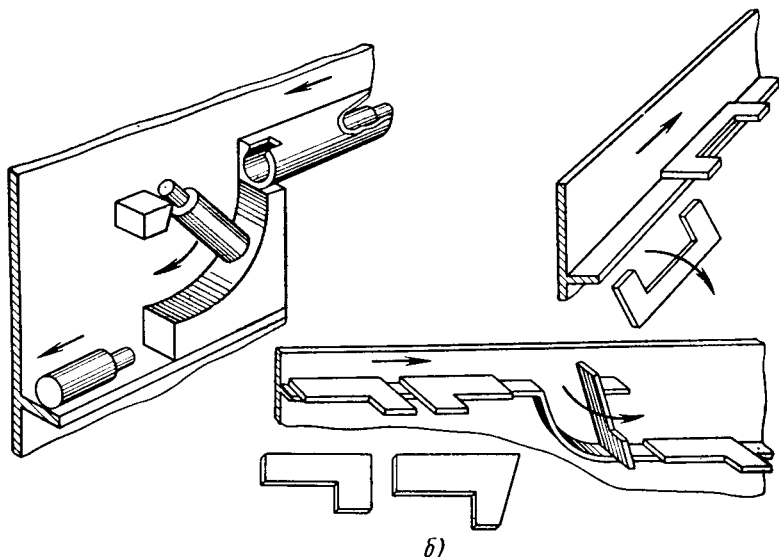
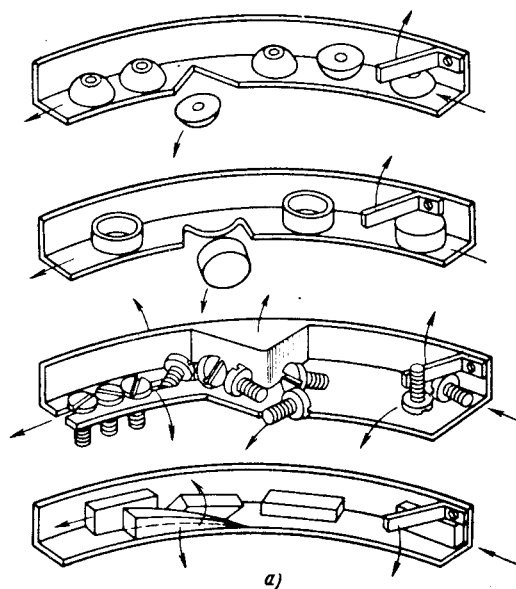


Рис. 5.24. Примеры ориентации заготовок в вибробункерах

ческие, пневматические, магнитные, электрические, фотоэлектрические (с использованием в качестве чувствительного элемента фотодиодов и фотоспротивлений), электроконтактные и индукционные.

Заготовки простой конфигурации ориентируются за счет вырезов на лотках, козырьков, наклона отдельных участков лотка и т. д. Примеры ориентации таких заготовок показаны на рис. 5.24, а и б. Для сложных по конфигурации деталей применяют описанные выше приемы ориентации (вырезы, козырьки, наклоны лотка) и специальные устройства, смонтированные в чаше или на отводном (приемном) лотке вне чаши [10, 12].

Механизмы поштучной выдачи заготовок. Эти механизмы, чаще называемые отсекателями, предназначены для отделения одной заготовки от общего потока заготовок, поступающих из магазина или накопителя, с целью дальнейшего ее перемещения в питатель или на транспортирующую систему обслуживаемого станка. Необходимость установки механизма поштучной выдачи определяется в каждом конкретном случае в зависимости от формы и размеров заготовки, конструкции магазина или накопителя, а также конструкции станка, обслуживаемого загрузочным устройством. Специальные механизмы для поштучной выдачи, в свою очередь, разделяют на механизмы: простого действия, производящие только поштучную выдачу, и двойного действия, осуществляющие отделение заготовки от общего потока и последующую поштучную выдачу в питатель. Существует большое разнообразие конструкций механизмов поштучной выдачи. Ниже приведено только несколько разновидностей, поясняющих работу этих механизмов.

В качестве собственно отсекателей заготовок используют штифты, планки, диски, барабаны и т. п. В тех случаях, когда отсекателями заготовок являются штифты, они имеют возвратно-поступательное или колебательное движение (рис. 5.25). Штифты-отсекатели приводятся в движение от подвижной части питателя, кулачков распределительного вала или от пневматических цилиндров, получающих питание от сети управления циклом автоматизированного станка. Недостаток штифтовых отсекателей состоит в том, что они имеют нейтральное положение, поэтому при недостаточной скорости действия отсекателя возможно наскокивание штифтов на заготовку или проскакивание нескольких заготовок. Другим недостатком штифтовых отсекателей является невысокая производительность, так как скорость отсекаания зависит от скорости перемещения заготовок.

Для заготовок тел вращения наряду со штифтовыми отсекателями широко используют дисковые или барабанные отсекатели. Дисковые отсекатели представляют собой диски или барабаны с вырезами по форме подаваемой заготовки, которые получают принудительное периодическое вращение от специального механизма. При повороте такого диска или барабана на некоторый угол

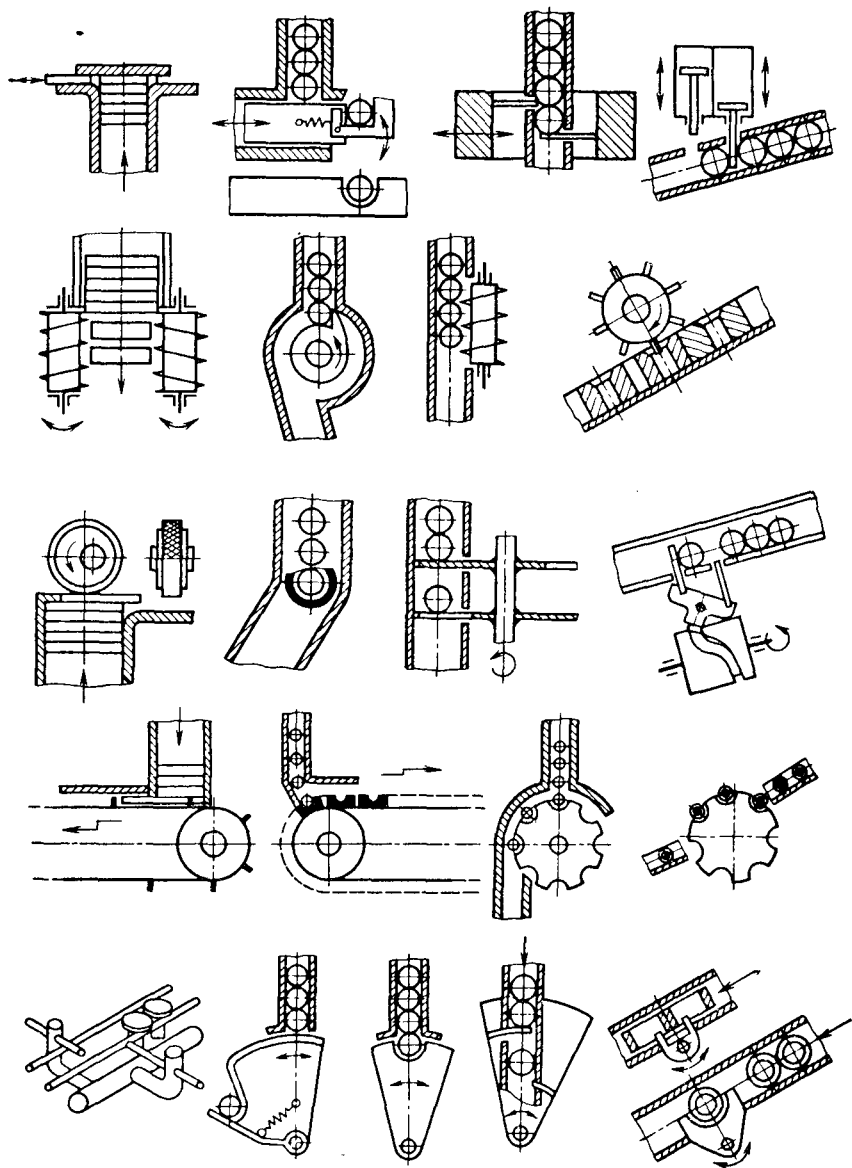


Рис. 5.25. Механизмы поштучной выдачи

запасная из магазина в вырез заготовка отделяется от общей массы и передается в питатель, в то время как остальные заготовки удерживаются в магазине (накопителе). Дисковые отсекатели, имея относительно малую скорость вращения, обеспечивают высокую производительность, плавность работы и отсутствие повреждений поверхности подаваемых заготовок. Расчет отсекателей

обычно не производят, размеры же определяют по результатам вычерчивания положения отсекаателей в крайних положениях.

Помимо рассмотренных механизмов, применяют винтовые, цепные, планочные с колебательным движением, магнитные, струйные и др.

Накопители. Бесперебойная работа бункерного загрузочного устройства обеспечивается, как и указывалось ранее, тем, что оно имеет накопитель, сосредотачивающий запас заготовок. Этот запас заготовок сглаживает колебания производительности механизма ориентации. В тех случаях, когда механизм ориентации выдает в накопитель лишние заготовки (накопитель заполнен), происходит остановка движения рабочего органа или заготовки остаются в последнем.

Накопитель рассчитывают на оптимальную величину загрузки. Для расчета используют математические модели процесса накопления и выдачи заготовок из накопителя, описываемые теорией процессов Маркова. Ниже приведена полученная на основании этих расчетов формула для расчета емкости накопителя при использовании механизмов ориентации с движущимся рабочим органом, осуществляющим захват и ориентацию заготовок:

$$V = \frac{\lg \left[1 + \frac{\theta}{1-p} - \frac{Q_m}{mn(1-p)} \right]}{\lg \theta + \lg \left(\frac{mn}{Q_m} - 1 \right) - \lg(1-\theta)} - 1,$$

где V — емкость накопителя в шт.; θ — вероятность захвата заготовки; p — вероятность (надежность) бесперебойного питания, обычно рекомендуемая $p = 0,999$; m — число захватных органов или произведение числа захватных органов на максимальное число заготовок, захватываемых одним захватным органом (последнее для шиберных, секторных, лопастных и т. п. механизмов ориентации); n — частота вращения (или двойные ходы) рабочего органа; Q_m — производительность обслуживаемого станка, принимаемая обычно с запасом в 20—25%.

Если рассчитывают накопитель для вибробункера, то необходимо учесть еще процесс ориентирования заготовок. Длина накопителя зависит от его емкости и размеров подаваемых заготовок l :

$$L_m = Vl.$$

Накопители выполняют в виде жестких или витых трубок, коробчатых закрытых лотков, пазовых лотков и змейковых лотков.

Питатели. Питателями называют механизмы загрузочных устройств, предназначенные для перемещения подаваемых заготовок из магазина (накопителя) в приспособление или в механизм для перемещения станка (поворотный стол, шаговый транспортер и т. д.). Конструкции питателей весьма разнообразны: их форма, размеры и привод подвижных частей для транспортирования

заготовок зависят от конструкции станка, взаимного расположения подаваемой заготовки и станочного приспособления и геометрической формы подаваемых заготовок.

В отличие от работы механизма ориентации, работа питателя жестко связана с кинематикой станка и входит в его цикл. В ряде

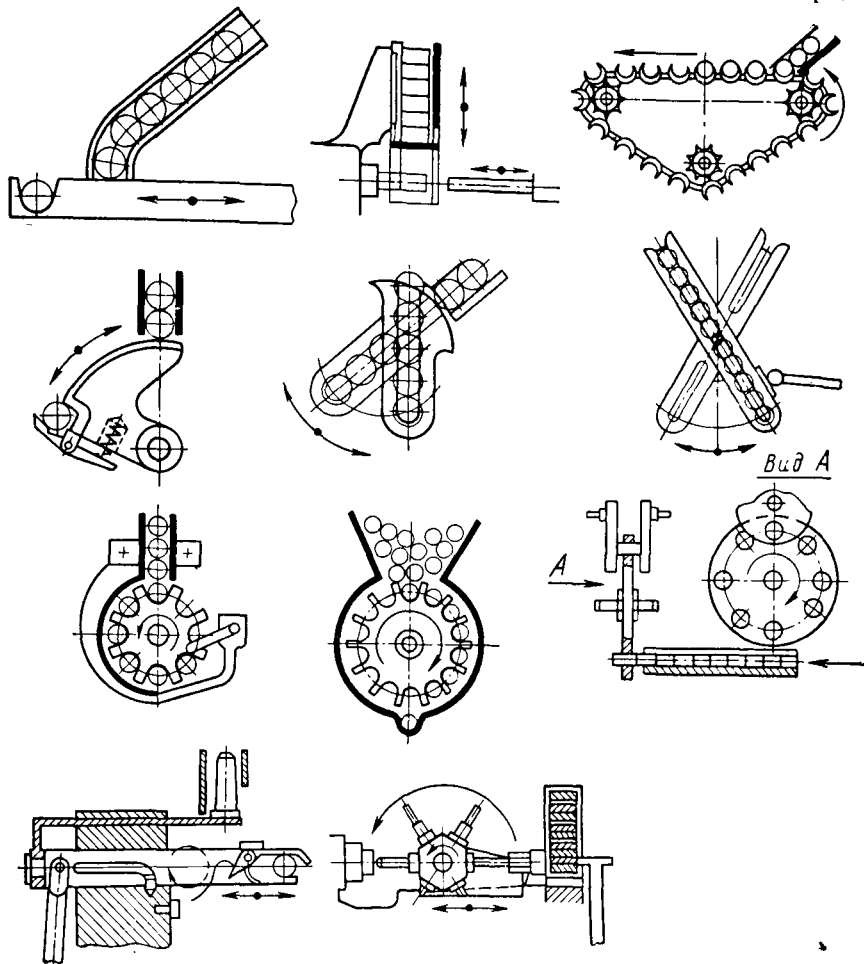


Рис. 5.26. Схемы питателей

загрузочных устройств питатель отсутствует. Это имеет место, когда заготовки из магазина или накопителя поступают непосредственно на поворотный стол станка, в захваты грейферного механизма или в приспособления, смонтированные на шаговом транспортере. Перемещение заготовок из магазина (накопителя) в этом случае осуществляется под действием сил тяжести или принудительно инструментом, установленным в исполнительном механизме станка.

Более широкое применение имеют загрузочные устройства, у которых питатель выполнен в виде самостоятельного узла. По движению исполнительного органа различают питатели с возвратно-поступательным, с возвратно-колебательным, с вращательным, с комбинированным движением (рис. 5.26). Питатель состоит из исполнительного органа, чаще называемого держателем, захвата и привода. В некоторые питатели еще вклю-

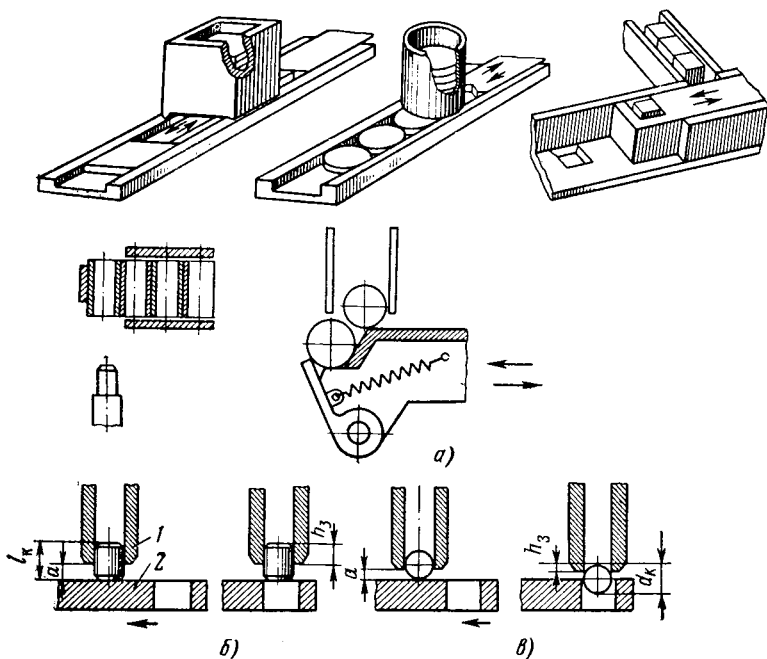


Рис. 5.27. Схемы шибрных питателей

чают тормозное устройство, изменяющее скорость перемещения держателя. По роду привода питатели бывают механические, пневматические, гидравлические и электромеханические. В приборостроении наибольшее применение имеют механические и пневматические приводы.

Питатели с возвратно-поступательным движением рабочего органа являются наиболее распространенными в загрузочных устройствах для металлорежущих станков и прессов. В питателях этого типа подлежащие обработке заготовки имеют прямолинейное перемещение, осуществляемое при помощи толкателя (шибера), совершающего возвратно-поступательное движение. Эти питатели (схемы питателей показаны на рис. 5.27, а) работают следующим образом. Когда толкатель (шибер) отведен в исходное положение, к нему (или в захват толкателя) механизмом поштучной выдачи из накопителя или магазина подается очередная заго-

товка. При рабочем ходе толкателя (шибера) заготовка перемещается в рабочее пространство станка (пресса) или в зажимное приспособление. Перемещение заготовки осуществляется по направляющим или путем переноса. В первом случае толкатель не имеет захвата, а во втором толкатель для удержания заготовки в момент перемещения снабжается захватом.

Движение толкателю (шиберу) передается от рычага, рычага и пружины, сектора и рейки, зубчатого колеса и рейки, двух реек и зубчатого колеса, поршневого пневмоцилиндра и гидроцилиндра. Заготовка из магазина (накопителя) под толкатель или в гнездо (вырез) толкателя, как и следует из приведенных схем, может поступать сверху или сбоку толкателя.

Производительность питателей, в которых в качестве рабочего органа используется толкатель, совершающий возвратно-поступательное движение,

$$Q = \frac{60}{T_p + T_x} = \frac{60}{L/v_t + T_x},$$

где T_p — время транспортирования заготовки; T_x — время холостого хода толкателя; v_t — скорость рабочего хода толкателя; L — ход толкателя.

Исходя из условий безотрывного перемещения заготовки и принимая в качестве закона движения, обеспечивающего плавное изменение ускорения, синусоидальный, получим ускорение

$$\frac{2\pi}{T_p^2} L = fg,$$

откуда

$$T_p = \sqrt{\frac{2\pi L}{fg}}.$$

Обозначив $\frac{T_x}{T_p} = k$ и подставив значение T_p в формулу для Q , получим

$$Q = \frac{60}{(1+k) \sqrt{\frac{2\pi}{fg} L}}.$$

В тех случаях, когда подаваемая заготовка (деталь) из накопителя перемещается в гнездо держателя или захват, следует рассчитывать время западания заготовки, так как в ряде случаев оно будет оказывать влияние на производительность питателя, а значит, и процесс загрузки.

Когда заготовки поступают так, как показано на рис. 5.27,б, время западания

$$t_3 = 2 \sqrt{\frac{4l_k}{3g}},$$

а если так, как на рис. 5.27, в, то

$$t_3 = 1,3 \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

При этом расстояние (зазор) между торцом накопителя I и плоскостью захвата 2 в первом случае должно быть $a < \frac{1}{3} l_k$, а во втором случае — $a = \frac{d}{2} - 0,5$.

Питатели с колебательным движением захватывающего органа (рис. 5.28) получили широкое применение. Заготовки в них зажи-

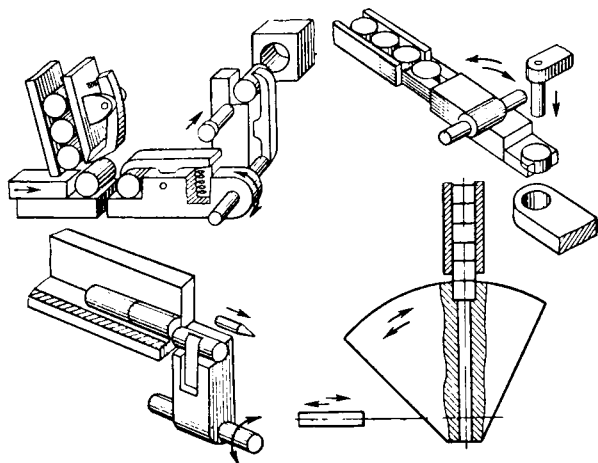


Рис. 5.28. Питатели с колебательным движением держателя с захватом

маются (или удерживаются) присоской, магнитом и т. п. Рабочее движение держатель с захватом получает от рычажного, кулачкового привода или, что чаще, от привода, состоящего из зубчатого колеса (сектора) и рейки.

Питатели с вращательным движением (револьверные) имеют широкое применение в штамповочных и сборочных работах. Чаще эти питатели являются частью станка, а не загрузочного устройства. По положению оси круга (револьверного диска), в котором расположены гнезда для заготовки или специальные захваты, эти питатели можно разделить на две группы: питатели с горизонтальной осью вращения и питатели с вертикальной осью вращения.

Каждую из указанных групп в зависимости от способа поступления заготовок в рабочий орган (круг или барабан) с захватами или гнездами можно разбить на два типа: питатели, в которые заготовки поступают с торцевой поверхности рабочего органа, и питатели, в которые заготовки укладываются с боковой поверх-

ности рабочего органа. Параметры рабочего органа рассчитывают в зависимости от размеров заготовки и производительности обслуживаемого станка (пресса) и создания благоприятных условий работы привода. В качестве привода для периодического поворота рабочего органа используют храповые, кулачково-цепочные и мальтийские механизмы.

Комбинированные питатели, чаще называемые автооператорами, могут быть классифицированы по типу и количеству движений, которые осуществляют держатель, несущий захват, а также сам захват. Несколько схем комбинированных питателей с указанием стрелками основных перемещений показаны на рис. 5.26 и 5.29. В этих питателях детали (заготовки) из магазина захватываются магнитами, резиновыми присосками, клещевыми или патронными захватами. Захваченные детали в результате возвратно-поступательного движения, а затем колебательного или вращательного переносятся в транспортный механизм станка (линии) или непосредственно в рабочую зону станка, где и загружаются в приспособление.

Наибольшим распространением пользуется комбинированный питатель типа поворотного крана, схема которого показана на рис. 5.30, а. В общем случае число возможных вариантов комбинации движений питателя

$$M = (k - n) + 2^{l+m} \sum_{s=2}^p C_{k-(l+m)}^s,$$

где k — общее количество рассматриваемых движений, $k = 10$; l — количество пар «взаимозаменяемых» движений, т. е. таких движений, из которых обычно используют только одно (в данном случае такими парами будут $B^{(A3)}$ и $B^{(\alpha3)}$, $B^{(A3)}$ и $B^{(\Gamma2)}$), $l = 2$; m — количество пар «взаимоисключающих» движений, т. е. движений, использование одного из которых исключает использование другого (в данном случае такими парами будут $B^{(A1)}$ и $B^{(A2)}$, $B^{(\Gamma1)}$ и $B^{(\Gamma2)}$), $m = 2$; n — количество «несамостоятельных» движений, т. е. движений, которые отдельно не используют (в данном случае таким движением будет $B^{(\Phi)}$), $n = 1$; p — наибольшее количество движений, которые используют в автооператорах, $p = 5$; $C_{k-(l+m)}^s$ — число сочетаний из $[k - (l + m)]$ по s , где $s = 2; 3; 4; 5$.

С учетом указанных числовых значений величин, входящих в формулу, получаем $M \approx 900$.

Комбинированные питатели (автооператоры) рассматриваемого типа выполняют в виде отдельного устройства (обычно это универсальные автооператоры, снабженные индивидуальными узлами управления, привода и т. д.) либо в виде встроенного в технологическую машину узла, получающего движение от общего привода. Комбинированные питатели (автооператоры) универсального

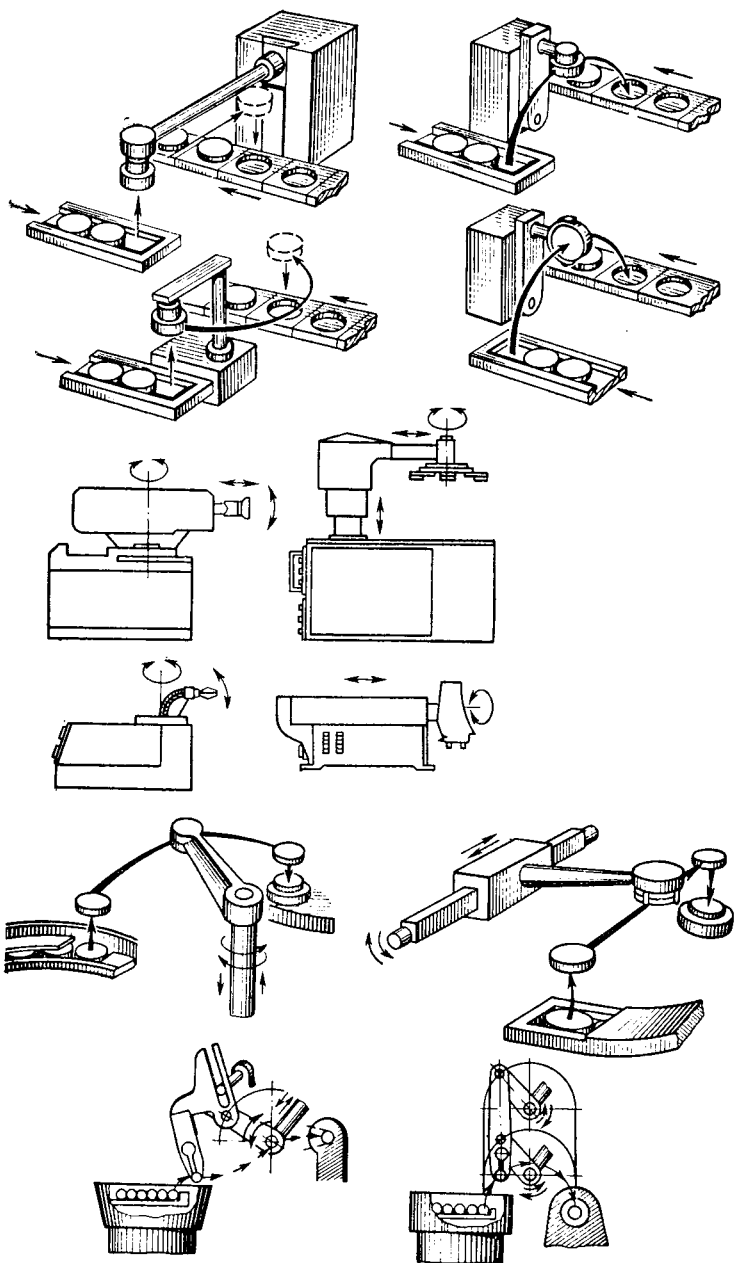


Рис. 5.29. Комбинированные питатели

типа в последнее время оснащаются числовыми системами автоматического управления.

Основные требования к механической части автооператора с программным управлением следующие: достаточное число движений захватного органа и его универсальность; достаточные размеры зоны обслуживания; точность системы программного управления, осуществляющей перемещение, которая должна быть позиционного типа.

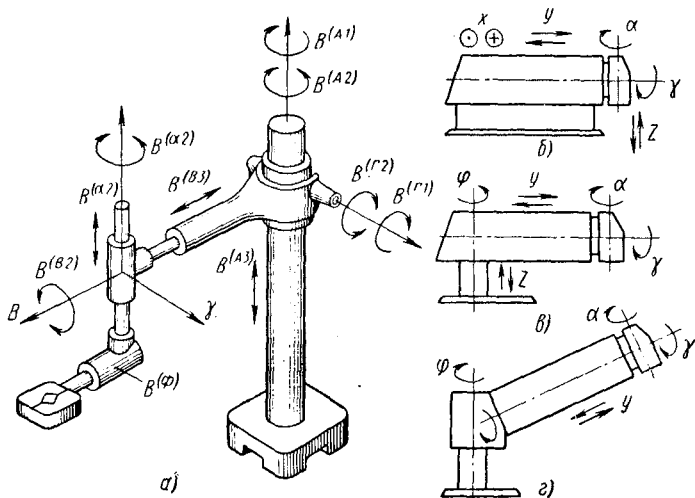


Рис. 5.30. Схема питателя типа поворотного крана

Для загрузки наибольшее распространение получили автооператоры трех основных типов: а) использующие декартову (прямоугольную) координатную систему (рис. 5.30, б); б) цилиндрическую координатную систему (рис. 5.30, в); в) «сферическую» систему координат (рис. 5.30, г).

Сводная таблица движений исполнительного органа автоматической руки с ПУ приведена в табл. 5.2.

Каждый тип автооператора с ПУ имеет свои преимущества и недостатки. Так, например, если характер обслуживаемого станка (сборочной позиции) требует небольшой зоны, но высокой точности, то более приемлемым является первый тип. Если требуется большая зона обслуживания, но низкая точность сборки, то второй и третий типы устройств обладают рядом преимуществ перед предыдущим. Основное преимущество применения автооператора с ПУ заключается в том, что на этом оборудовании можно производить, например, сборочные операции широкого диапазона деталей. С одной стороны, имеем большой диапазон различных деталей, с другой — разнообразный характер выполняемых операций. Переход от сборки одних узлов (операций) к другим осуществляется сменой программы и вспомогательной оснастки.

Таблица 5.2

Вид движения	Характер движения исполнительного органа	Автоматическая «рука» с ПУ		
		I тип	II тип	III тип
Движения, связанные с перемещением детали	Линейное перемещение вдоль горизонтальной оси X	Обязательно	—	—
	Линейное перемещение вдоль горизонтальной оси Y	То же	Обязательно	Обязательно
	Линейное перемещение вдоль вертикальной оси Z	»	То же	Факультативно
	Вращательное движение вокруг вертикальной оси (подъем)	—	—	Обязательно
Движения, связанные с изменением направленности детали	Вращательное движение вокруг вертикальной оси (поворот)	—	Обязательно	То же
	Вращение вокруг горизонтальной оси Y	Обязательно	Обязательно	Обязательно
	Вращение вокруг горизонтальной оси X	Факультативно	—	—
	Вращение вокруг вертикальной оси Z	То же	Факультативно	Факультативно

Захваты. Их классифицируют по способу захватывания, по способу действия и по захватываемой поверхности. По способу захватывания захваты бывают незажимные и зажимные. В незажимном захвате заготовка лежит и удерживается за счет сил тяжести. В зажимных захватах заготовка зажимается принудительно. По способу действия захваты бывают неприводные и приводные. Для неприводного захвата характерно, что в процессе срабатывания все его элементы остаются неподвижными; приводные захваты имеют собственный привод или используют движение питателя. По поверхности захватывания захваты делятся на наружные и внутренние.

К захватам питателей, помимо общих требований компактности конструкции, надежности и безопасности в работе, предъявляется ряд дополнительных требований: неизменность положения заготовки в процессе ее транспортирования, обеспечение правильности положения заготовки относительно зажимного приспособления, быстрота переналадки и легкость установки на держателе питателя, минимальное время срабатывания и, наконец, отсутствие повреждения поверхности захватываемой заготовки (детали).

Незажимные захваты как по принципу действия, так и по конструкции проще зажимных, но область применения их ограничена. Эти захваты в зависимости от формы заготовки выполнены для

плоских заготовок в виде планки с плоским торцом или с призматическим вырезом по торцу, или в виде круглого, граненого или фасонного отверстия в толкателе. Если заготовка имеет вид втулки и захватывается за внутреннюю поверхность, захват имеет вид ступенчатого валика и, наконец, если заготовка имеет форму валика, захват выполняют в виде призматического выреза.

Планочные торцовые захваты могут перемещать заготовки 1 поштучно (рис. 5.31, а), дорожкой (рис. 5.31, б) или каскадом

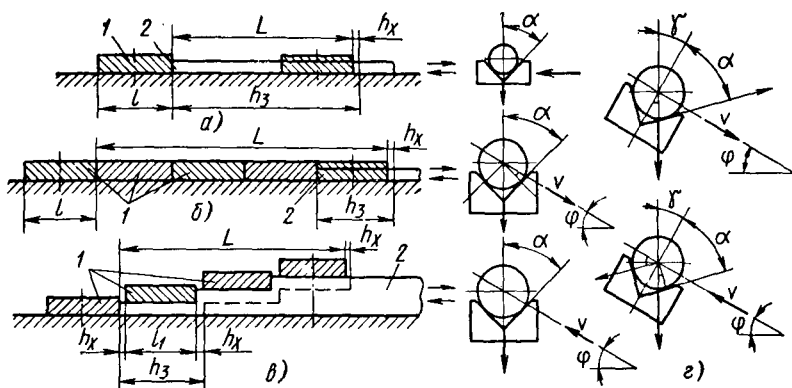


Рис. 5.31. Схемы толкающих захватов

(рис. 5.31, в), в последнем случае захват выполняют ступенчатым. Величина хода толкателя 2 при поштучном транспортировании

$$h_3 = L + h_x;$$

при транспортировании дорожкой

$$h_3 = \frac{L}{z} + h_x = l + h_x;$$

при транспортировании каскадом

$$h_3 = \frac{L}{z} + h_x = l + 2h_x,$$

где L — величина перемещения заготовки; l — размер заготовки в направлении перемещения; z — количество заготовок между рабочей и исходной позициями; h_x — величина перебега захвата (обычно 0,8—1,2 мм).

Если рабочий орган питателя имеет захват в виде призматического выреза (рис. 5.31, в), в котором без закрепления находится заготовка типа валика, и рабочий орган совершает возвратно-поступательное движение и сохраняется условие отсутствия потери ориентации вследствие ускоренного движения согласно исследованию И. И. Слуцкого, максимально допустимое ускорение рабочего органа определяется по следующим формулам.

При движении по горизонтали

$$a = g \frac{\frac{f}{2} \sin \alpha + \cos \alpha}{\sin \alpha + \frac{f}{2} \cos \alpha}.$$

Так как величина $\frac{f}{2}$ мала, поэтому членами $\frac{f}{2} \sin \alpha$ и $\frac{f}{2} \cos \alpha$ можно пренебречь, тогда при $\gamma = 0$ и $\varphi = 0$

$$a = g \operatorname{ctg} \alpha.$$

При движении под углом φ к горизонтальной плоскости, при этом призматический захват расположен горизонтально, а ускорение направлено вверх, при $\gamma = 0$ и $\varphi > 0$

$$a = g \frac{\cos \alpha}{\sin (\alpha + \varphi)}.$$

При сохранении указанных выше условий, но ускорение направлено вниз, и при $\gamma = 0$ и $\varphi > 0$

$$a = g \frac{\cos \alpha}{\sin (\alpha - \varphi)}.$$

При движении под углом φ к горизонтальной плоскости, когда ускорение под углом φ направлено вверх, а призматический захват параллелен траектории движения, при $\gamma = \varphi > 0$

$$a = g \frac{\cos (\varphi - \gamma)}{\sin \alpha};$$

при $\varphi > \gamma > 0$

$$a = g \frac{\cos (\alpha - \gamma)}{\sin [\alpha + (\varphi - \gamma)]}.$$

При тех же условиях, но ускорение направлено вниз, при $\gamma = \varphi > 0$

$$a = g \frac{\cos (\alpha + \varphi)}{\sin \alpha};$$

при $\varphi > \gamma > 0$

$$a = g \frac{\cos (\alpha + \varphi)}{\sin [\alpha - (\varphi - \gamma)]}.$$

Из приведенных формул могут быть сделаны следующие выводы: 1) при движении рабочего органа с призматическим захватом по горизонтали ускорение зависит только от угла призматического углубления; с увеличением угла φ допустимое ускорение уменьшается; 2) при движениях под углом φ к горизонту призматические захваты, расположенные горизонтально, допускают большие ускорения, чем рабочие органы с призматическими углублениями, расположенные параллельно траектории движения.

В тех случаях, когда рабочий орган питателя, совершающий возвратно-поступательное движение, имеет призматическое углубление, следует учитывать, что от угла призматического углубления зависит погрешность ориентации заготовки.

По конструкции различают три группы зажимных захватов: клещевые, патронные и оправочные. Клещевые захваты используют для заготовок типа валов, а патронные и оправочные—для втулок, колец и дисков. Клещевые захваты показаны на рис. 5.32.

Патронные захваты (рис. 5.33) получили широкое применение для зажима заготовок типа втулок, колец и дисков, они бывают с механическим, пневматическим и гидравлическим приводами. Патронный (кулачковый) захват, показанный на рис. 5.33, а, имеет стакан 8, тягу 6 и корпус 2, укрепленный в держателе 1 питателя; в корпусе на осях 3 закреплены рычаги 4 с кулачками 5, перемещающиеся под действием пружины 7. На торцевой поверхности корпуса 2 на винтах смонтирован диск 10 с шариком 9, который способствует правильной установке заготовки.

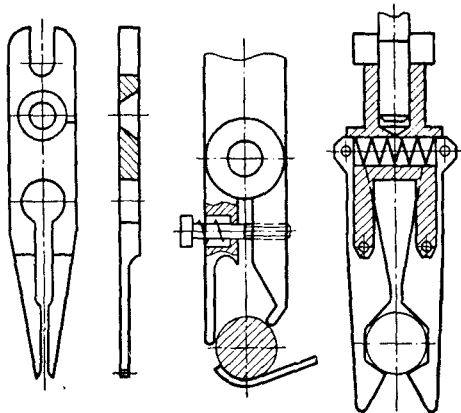


Рис. 5.32. Клещевые захваты

В тех случаях, когда заготовка загружается во вращающееся приспособление, захват следует выполнять так, как показано на рис. 5.33, б. Захват смонтирован на двух шариковых подшипниках 3, установленных в корпусе 4. Подшипники позволяют захвату вращаться с приспособлением в момент установки заготовки. В корпусе рассматриваемого захвата имеются три подпружиненных губки 6, насаженные на оси 5. Для регулировки губок в обойме 10 установлены винты-упоры 9, а для регулировки силы зажима — винты с колпачками 7 и пружинами 8. Упор 11 служит для ограничения положения заготовки в захвате. Захват в держателе питателя 1 устанавливается с помощью оправки 2.

Захват, показанный на рис. 5.33, в, осуществляет зажим заготовки за внутренней поверхностью и представляет собой оправку 1, установленную во втулке 2. Оправка укреплена в держателе 4 питателя, или, если захват вращающийся, оправка вставляется во втулку, смонтированную на шарикоподшипниках 3 корпуса 5. На оправке заготовка удерживается пружинами или пробками, находящимися под действием резиновой втулки (рис. 5.33, г и д).

В тех случаях, когда размеры заготовок значительны, широко используют патронные захваты и оправки, захваты с приводом от гидро- или пневмоцилиндров.

В качестве захватов питателей, исключая деформацию или повреждение поверхности подаваемых заготовок (деталей), или если заготовки имеют толщину менее 0,5 мм, применяют вакуумные, струйные и магнитные захваты. Вакуумные захваты имеют широкое применение в приборостроении. Они позволяют захватывать заготовки любой формы, включая и воздухопроницаемые.

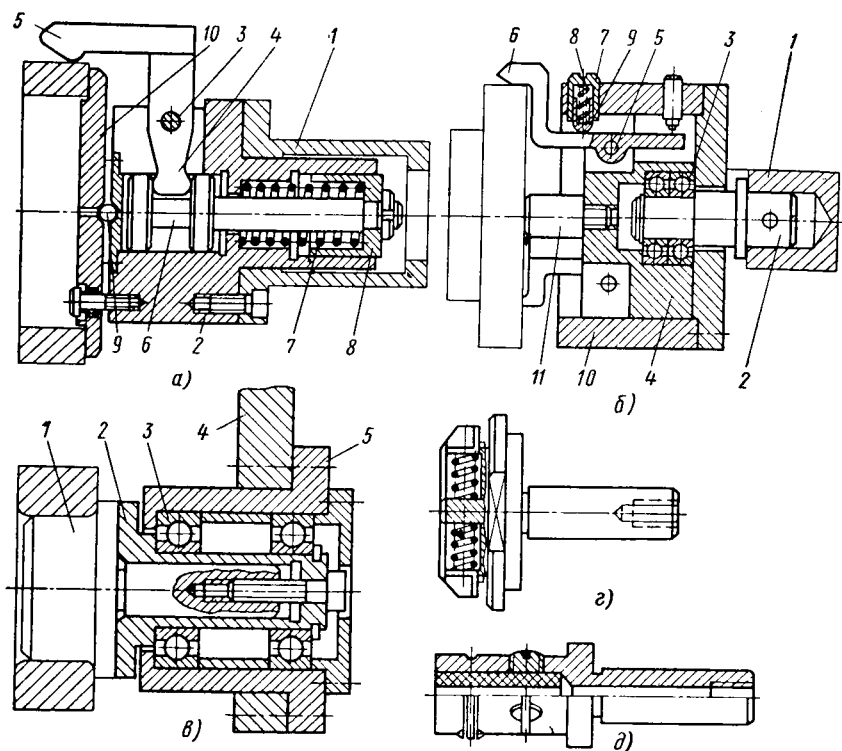


Рис. 5.33. Патронные захваты

Вакуумные захваты находят применение не только в загрузочных устройствах, но и в сборочном инструменте (вакуумные пинцеты) для захвата деталей, поверхность которых не должна быть повреждена. В вакуумном захвате связь между заготовкой и захватом осуществляется за счет разрежения, образующегося в полости пневматического захвата (присоса). Силами, удерживающими заготовку, являются подъемная сила захвата и сила трения между заготовкой и захватом. Чтобы освободить заготовку, надо устранить разрежение. Вакуумные захваты по упругости камеры условно делят на упругие, с уплотнительной кромкой и неупругие. Неупругие захваты используют для малых по размеру заготовок, при условии, что шероховатость поверхности захвата выше 4-го класса чистоты. Вакуумные захваты в плоскости контакта с заго-

товкой могут иметь разнообразную форму, но предпочтительное применение имеют круглые захваты.

Вакуумные захваты бывают управляемые и неуправляемые. В первых создание во внутренней полости разрежения обеспечивается работой специальных вакуумных или эжекционных устройств. В неуправляемых вакуумных захватах разрежение, необходимое для работы присоса, создается за счет уменьшения объема внутренней полости присоса. Подъемной силой вакуумного захвата при данном рабочем разрежении называется минимальная сила вакуумного притяжения, направленная перпендикулярно плоскости стыка, при которой заготовка еще удерживается захватом (рис. 5.34). Присасывающая сила вакуумного захвата

$$N_{\text{п}} = m \frac{\pi d^2}{4} (p_a - p_1),$$

где m — число отверстий присоса; d — диаметр отверстия в см; p_a — атмосферное давление в Н/см²; p_1 — давление внутри захвата в Н/см².

Условие удержания детали заключается в том, чтобы присасывающая сила была больше составляющих отрывающей силы:

$$\text{при } \alpha = 0^\circ \quad N_{\text{п}} = k_1 N;$$

$$\text{при } \alpha = 90^\circ \quad T_{\text{п}} = k_2 T,$$

где N — составляющая силы, направленная перпендикулярно плоскости присоса; T — составляющая силы, направленная по касательной; k_1 и k_2 — коэффициенты запаса.

Необходимое разрежение при условии, что $k_1 = k_2 = 2$, и при $\alpha = 0^\circ$

$$p_a - p_1 = \frac{8G}{\pi d^2 m},$$

а при $\alpha = 90^\circ$

$$p_a - p_1 = \frac{16G}{f \pi d^2 m},$$

где G — сила, отрывающая заготовку от присоса; f — коэффициент трения между деталью и поверхностью присоса.

Приводы питателей. Ранее указывалось, что движение рабочего органа питателя, несущего захват, осуществляется от рычагов, зубчатых передач, поршневого пневмоцилиндра. Ниже приведены краткие сведения по расчету приводов.

Для изменения направления поступательного движения используют клиновые, рычажные или реечные механизмы. В тех случаях, когда используется клиновый механизм, ход ведомого звена привода, обеспечивающего ход h_3 , рассчитывается по формулам:

для схемы, приведенной на рис. 5.35, а,

$$h_{\text{п}} = \frac{h_3}{\text{tg } \beta};$$

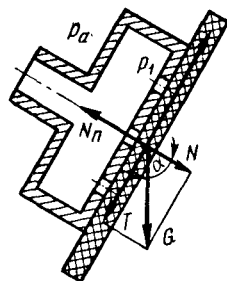


Рис. 5.34. Схема вакуумного захвата

для схемы, приведенной на рис. 5.35, б,

$$h_n = h + \Delta h = \frac{h_3}{\operatorname{tg} \beta} + (r_1 + r) \operatorname{tg} \frac{\beta}{2},$$

где h_n — ход ведомого звена привода; h_3 — ход ведущего звена захватного органа; β — угол клина; r_1 — радиус закругления клина; r — радиус ролика.

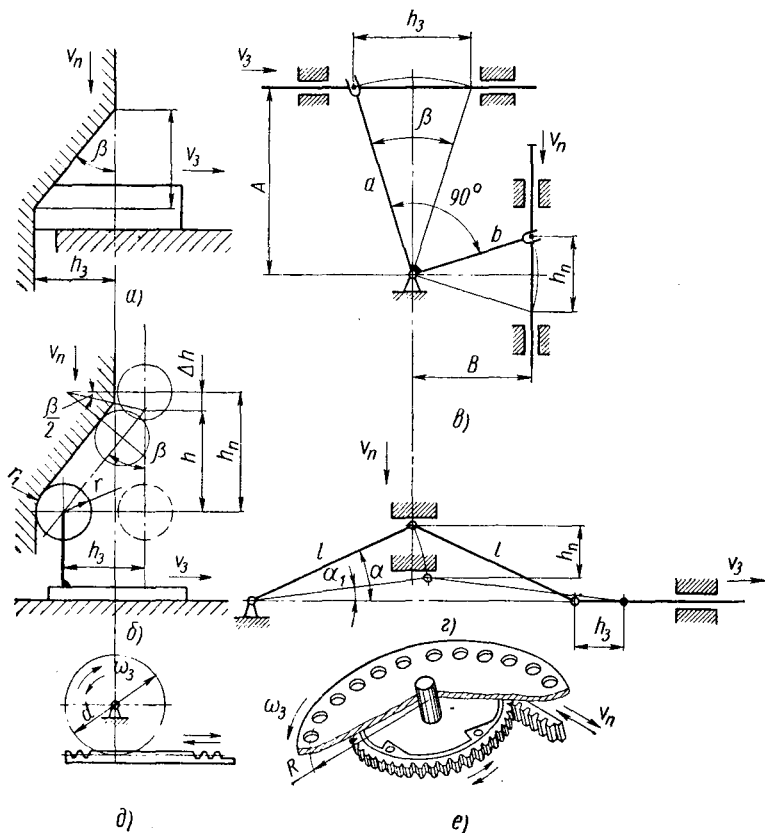


Рис. 5.35. Схема приводов для поступательного движения

При использовании рычажных механизмов расчет рабочего хода привода, обеспечивающего ход h_3 , рассчитывается по формулам:

для схемы, приведенной на рис. 5.35, в,

$$h_n = h_3 \frac{b}{a} = h_3 \frac{B}{A} = h_3 i = 2A_i \operatorname{tg} \frac{\beta}{2};$$

для схемы, приведенной на рис. 5.35, г,

$$h_n = \frac{h_3 \sin \alpha - \sin \alpha_1}{2 \cos \alpha_1 - \cos \alpha},$$

где a и b — длины рычагов; A и B — расстояние от центра вращения рычага до осей перемещения ползушек; i — передаточное отношение, $i = \frac{b}{a}$; β — угол качания рычага, рекомендуется принимать 1,05 рад (60°); α и α_1 — максимальный и минимальный угол качания рычага, рекомендуется принимать $\alpha \leq 0,524$ рад (30°) и $\alpha_1 \geq 0,088$ рад (5°).

При использовании реечных механизмов передаточное отношение:

для схемы, приведенной на рис. 5.35, δ ,

$$i = \frac{h_{\text{п}}}{h_3} = 0,5;$$

для схемы, приведенной на рис. 5.35, e ,

$$i = \frac{D_2}{D_1} = \frac{h_{\text{п}}}{h_3},$$

где D_1 и D_2 — диаметры начальных окружностей.

Для преобразования поступательного движения во вращательное иногда используют реечный механизм типа, показанного на рис. 5.35, δ . В этом случае ход рейки $h_{\text{п}} = 0,5\varphi d$ и передаточное отношение $j_{\text{п}} = \frac{v_{\text{п}}}{\omega_3}$,

где φ — угол поворота ведущего звена в радианах; d — диаметр зубчатого колеса.

В тех случаях, когда для уменьшения хода привода $h_{\text{п}}$ используют зубчатый перебор c

$$j_{\text{п}} = R i_{\text{в}} = \frac{v_{\text{п}}}{\omega_3} \quad h_{\text{п}} = \frac{\varphi}{2i_{\text{в}}} d,$$

где R — радиус перемещения захватного органа; $i_{\text{в}}$ — передаточное отношение зубчатого перебора от вала приводного зубчатого колеса к валу захватного органа.

В качестве приводов в питателях для сообщения возвратно-поступательного движения широко используют пневмо- и гидроприводы.

Основными величинами, характеризующими эксплуатационные возможности пневмопривода, являются сила на штоке и длина рабочего хода. Сила на штоке у поршневых приводов определяется по формулам:

а) для поршневого привода двойного действия

$$P = \frac{\pi D^2}{4} p \eta;$$

б) для поршневого привода простого действия

$$P = \frac{\pi D^2}{4} p \eta - P_1,$$

где D — диаметр поршня в см; p — давление сжатого воздуха в Н/см²; P_1 — сопротивление пружины при рабочем ходе поршня в Н; η — к. п. д. привода, $\eta \approx 0,85$.

Сила на штоке у диафрагменных (камерных) приводов определяется по формулам:

а) для пневматических камер двойного действия

$$P = 0,26 (D^2 + Dd + d^2) p;$$

б) для пневматических камер простого действия

$$P = 0,26 (D^2 + Dd + d^2) p - P_1,$$

где D — диаметр полости диафрагменной камеры в см; d — диаметр фланца штока в см; p — давление сжатого воздуха в Н/см²; P_1 — сопротивление пружины в Н.

Выражение $D^2 + Dd + d^2$ является активной площадью диафрагмы.

Сила на штоке у приводов с диафрагменной камерой переменна: в начале хода она максимальная и соответствует рассчитанной по формулам, приведенным выше, затем она падает по мере перемещения штока. Если необходимо повысить силовой эффект поршневого или пневмокамерного привода, в прессах используют механизмы-усилители. В качестве механизмов-усилителей используют рычаги 1-го и 2-го рода и шарнирные рычаги.

Помимо силовых характеристик, при проектировании пневмоприводов приходится рассчитывать время срабатывания пневмопривода, расход воздуха и сечение воздухопроводных трубок. Время срабатывания пневмопривода:

$$t = 22,8 \cdot 10^{-6} \frac{\varepsilon L}{\beta^2 \sqrt{\varepsilon^{1,43} - \varepsilon^{1,715}}} \text{ [с]; } t' = 84,4 \cdot 10^{-6} \frac{\varepsilon L}{\beta^2} \text{ [с],}$$

где $\varepsilon = \frac{P_r}{pF\beta_1}$, здесь P_r — приведенная сила на штоке в начале движения (сила сопротивления перемещению штока) в Н; F — площадь поршня в см²; β_1 — коэффициент, учитывающий трение между поршнем и цилиндром, $\beta_1 = 0,92$; p — давление воздуха 0,4 Н/см²; L — ход поршня в см; $\beta = \frac{d}{D}$ — отношение диаметра воздухопровода к диаметру цилиндра.

Первую формулу (t) следует применить при $\varepsilon > 0,528$, а вторую (t') — при $\varepsilon \leq 0,528$.

Для поршневых пневмоцилиндров расход воздуха на одно включение

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} l p \text{ [см]}^3;$$

для диафрагменных камер

$$Q = 0,26 (D_1^2 + D_1 d + d^2) l p,$$

где D — диаметр поршневого пневмоцилиндра в см; D_1 — внутренний диаметр камеры в см; d — диаметр шайбы штока в см; l — ход штока в см; p — давление сжатого воздуха в Н/см².

Внутренний диаметр проходных трубок (воздухопроводов), выбираемый в зависимости от объема рабочей полости пневмопривода, ориентировочно может быть определен по формулам:

для поршневых пневмоцилиндров

$$d = D \sqrt{\frac{l}{vt}} \text{ [см];}$$

для пневмокамер

$$d = 2 \sqrt{\frac{(D_1^2 + D_1 d + d^2) l}{12vt}} \text{ [см],}$$

где v — скорость воздуха в воздухопроводе, которая может быть принята равной 1000—1500 см/с; t — время, в течение которого требуемый объем сжатого воздуха на одно включение проходит по воздухопроводу данного сечения, в с.

Практикой установлены следующие значения диаметров воздухопровода для поршневых пневмоприводов:

Диаметр поршня в мм	50—100	150	200	250
Внутренний диаметр воздухопровода в мм	4—6	6—8	8—10	10—13

Для питателей, требующих периодически-прерывистого движения рабочего органа, несущего заготовки, используют в качестве привода храповые, кулачково-цевочные или мальтийские механизмы (рис. 5.36). Независимо от вида механизмы, осуществляющие периодически-прерывистое движение, должны удовлетворять следующим условиям: а) осуществлять поворот в кратчайшее время при минимальных значениях ускорений; б) ускорение ведомого звена не должно иметь разрывов второго рода (т. е. начальная угловая скорость $\omega_0 = 0$ и начальное ускорение $\epsilon_0 = 0$); в) обеспечивать точный останов с фиксацией ведомого звена.

Храповые механизмы выполняют с качающейся осью собачки и возвратно-поступательно перемещающейся осью качания собачки.

Расчет храповых механизмов первого типа (рис. 5.36, а) ведут по следующим формулам:

угол поворота храпового колеса

$$\alpha = \frac{360}{z} k,$$

где z — число зубьев храпового колеса; k — число зубьев колеса, захватываемых собачкой при повороте рабочего органа питателя из позиции в позицию;

угол качания собачки

$$\beta = \alpha + \beta',$$

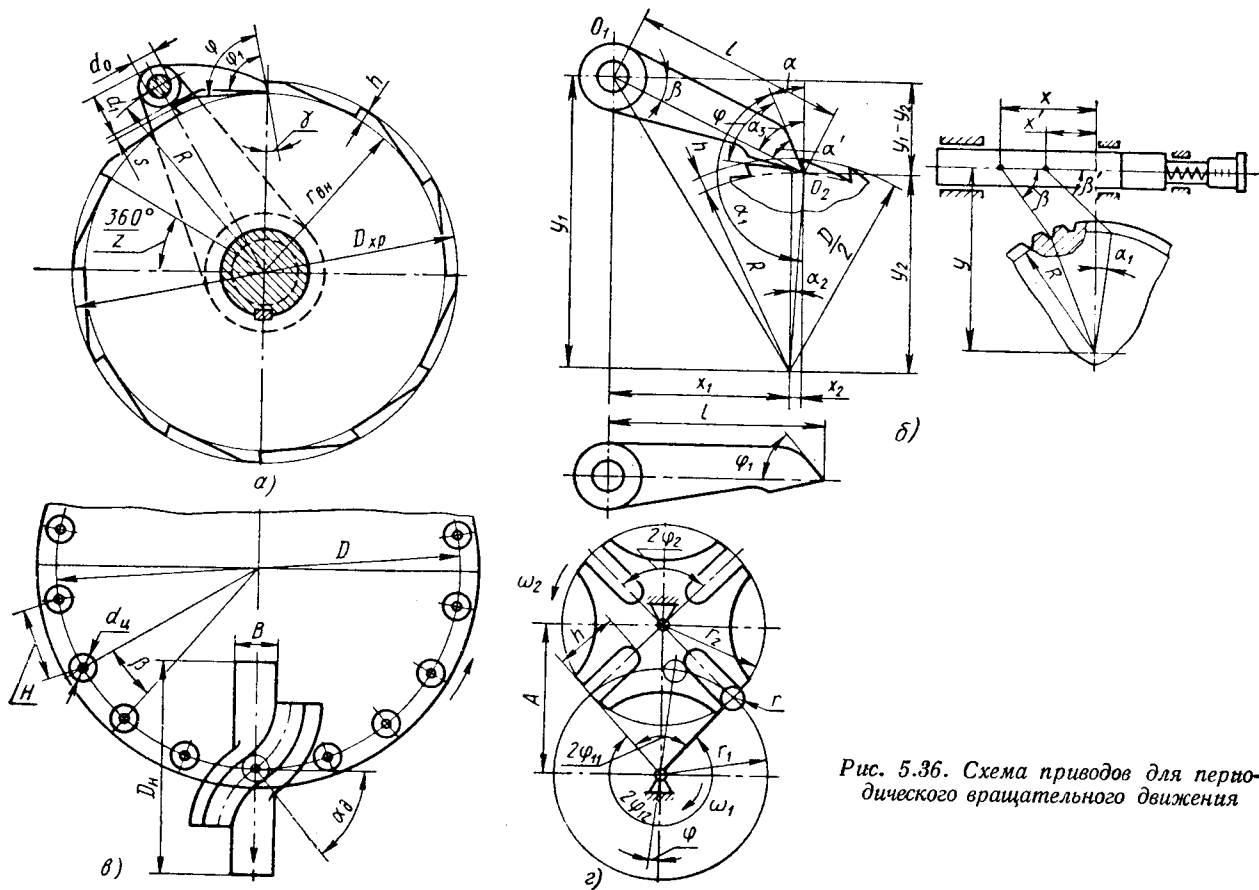


Рис. 5.36. Схема приводов для периодического вращательного движения

где β' — дополнительный угол качания рычага с собачкой, увеличивающий надежность заскакивания собачки во впадину зуба; радиус расположения центра собачки

$$R = \frac{D_{xp}}{2} + \frac{d_1}{2} + s,$$

радиус храпового колеса по впадинам зубьев

$$r_{вн} = \frac{D_{xp}}{2} - h,$$

где D_{xp} — наружный диаметр храпового колеса; d_1 — диаметр бобышки собачки; h — высота зуба; s — зазор между бобышкой и вершиной зуба.

Передний угол зуба γ принимают 8—12°, угол впадины зуба $\varphi = 45 \div 80^\circ$, а φ_1 — угол при вершине носика собачки, равен ($\varphi - 5^\circ$).

Расчет храпового механизма периодического поворота рабочего органа питателя с возвратно-поступательным движением собачки (рис. 5.36, б) проводят по следующим формулам.

Ход ползушки

$$s = s_p + s_x,$$

где s_x — перебег ползушки в мм; s_p — ход ползушки, соответствующий повороту рабочего органа на угол γ_p , в мм, $s_p = 2R_0 \times \sin \frac{\gamma_p}{2}$; R_0 — радиус контакта собачки с диском, $R_0 = 0,25 \times (D + D_1)$, здесь D — наружный диаметр диска в мм; D_1 — диаметр впадин диска в мм.

Величина s_x перебега ползушки определяется с учетом свободного западания собачки во впадину диска и принимается равной $s_x = (0,03 \div 0,05) s_p$.

Координаты центра качания собачки связаны с углом поворота храпового механизма и могут быть установлены по формулам, предложенным В. А. Бурковым:

$$x = \pm r_{вн} \sin \alpha + l \cos \beta; \quad y = r_{вн} \cos \alpha + l \cos \beta.$$

По выбранным или вычисленным значениям y , $r_{вн}$ и l можно определить координаты x последовательных положений центра собачки относительно оси, проходящей через центр храпового колеса и перпендикулярной к оси ползушки, несущей собачку. При этом задаются начальным углом $\alpha = \alpha_1$, и последующими значениями α , соответствующими углами поворота колеса на один, два, три и т. д. зубьев:

$$x = \pm r_{вн} \sin \alpha + l \sqrt{1 - \left(\frac{y - r_{вн} \cos \alpha}{l} \right)^2};$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \left(\frac{y - r_{вн} \cos \alpha}{l} \right)^2}.$$

Начальное значение угла $\beta = \beta_1$ (угол встречи) фиксируется упором, ограничивающим угол качания собачки. Угол поднутрения зуба храпового колеса или угол зуба собачки устанавливаются на основании расчета (при начальном положении механизма). Так как при перемещении собачки угол изменяется, то контакт колеса и собачки будет только по радиусу закругления впадин, поэтому радиусы закругления зуба собачки и впадины зубьев следует увеличивать. Ползушка собачки получает перемещение от кривошипного механизма или от клина.

Кулачково-цевочные механизмы для периодического поворота рабочего органа питателей загрузочных устройств имеют ограниченное применение, хотя и обладают рядом преимуществ: возможностью выполнения различных законов движения рабочего органа, получения выгодного соотношения между временем выстоя рабочего органа и временем движения и во многих случаях отказаться от дополнительного фиксирования рабочего органа во время выстоя.

Ниже приведены основные формулы для расчета кулачково-цевочных механизмов (рис. 5.36, в).

Шаг между цевочными роликами

$$H = D \sin \frac{\beta}{2} = D \sin \frac{180}{n},$$

где D — диаметр цевочного диска по центрам роликов; n — число роликов; β — угол между центрами соседних роликов.

Ширина фиксирующего диска кулака

$$B = H - d_{\text{ц}},$$

где $d_{\text{ц}}$ — наружный диаметр роликов цевочного диска.

Угол давления в середине кривой кулачка с рабочим профилем, построенным по косинусоидальному закону,

$$\text{tg } \theta_{\text{max}} = \frac{180}{\alpha_{\text{д}}} \cdot \frac{H}{D_{\text{к}}} = \frac{T_{\text{ц}} H}{2t_{\text{д}} D_{\text{к}}},$$

где $T_{\text{ц}} = \frac{60q}{Q}$; $t_{\text{д}} = T_{\text{ц}} \frac{\alpha_{\text{д}}}{360}$; $\alpha_{\text{д}} = 60 \div 120^\circ$; Q — заданная производительность питателя в шт/мин; q — число параллельно обрабатываемых изделий; $D_{\text{к}}$ — диаметр кулачка.

Крутящий момент, необходимый для поворота вала с кулачком,

$$M_{\text{кр}} = M_{\text{сопр}} \frac{D_{\text{к}}}{D} \text{tg } \theta,$$

где $M_{\text{сопр}}$ — момент сопротивления, преодолеваемый при повороте цевочного диска с учетом статического и динамического моментов сопротивления.

Наибольшее применение получили механизмы с внешним зацеплением (мальтийские механизмы), имеющие одну цевку

(рис. 5.36, з). Расчет этих механизмов производится по следующим формулам.

Угол поворота пальца кривошипа $2\varphi_{11}$, соответствующий движению креста,

$$2\varphi_{11} = \pi \left(1 - \frac{2}{z} \right),$$

где z — число пазов креста.

Угол поворота пальца кривошипа $2\varphi_{12}$, соответствующий покою (выстою) креста,

$$2\varphi_{12} = \pi \left(1 + \frac{2}{z} \right).$$

Угол поворота креста

$$2\varphi_2 = \frac{2\pi}{z}.$$

Угловая скорость кривошипа

$$\omega_1 = \frac{\pi n}{30},$$

где n — частота вращения вала кривошипа в об/мин.

Время движения креста

$$t_d = \frac{30}{n} \left(1 - \frac{2}{z} \right) = \frac{2\varphi_{11}}{\omega_1} \text{ [с]}.$$

Время покоя креста

$$t_n = \frac{2\pi - 2\varphi_{11}}{\omega_1} = \frac{30}{n} \left(1 + \frac{2}{z} \right) \text{ [с]}.$$

Время полного оборота кривошипа

$$T = \frac{60}{n} = t_d + t_n \text{ [с]}.$$

Коэффициент движения

$$k_d = \frac{t_d}{t_d + t_n} = \frac{z - 2}{2z}.$$

Коэффициент времени работы

$$k_p = \frac{t_n}{t_d} = \frac{z + 2}{z - 2}.$$

Длина пазов креста

$$h = A \left(\cos \frac{\pi}{z} + \sin \frac{\pi}{z} - 1 \right) + r,$$

где A — межсосевое расстояние; r — радиус цевки. (Для каждого значения z произвольно выбирается межсосевое расстояние, либо радиус кривошипа r_1 , либо расстояние от оси вращения креста до торцов его пазов r_2).

Угловая скорость креста

$$\omega_2 = \omega_1 \frac{\lambda (\cos \varphi - \lambda)}{1 - 2\lambda \cos \varphi + \lambda^2},$$

где $\lambda = \frac{r_1}{A}$; φ — текущее значение угла поворота пальца кривошипа.

Максимальная угловая скорость креста (при $\varphi = 0^\circ$)

$$\omega_{2 \max} = \omega_1 \frac{\lambda}{1 - \lambda} = \omega_1 \frac{\sin \pi/z}{1 - \sin \pi/z}.$$

Угловое ускорение креста (знак «+» соответствует первой половине поворота креста, знак «-» — второй половине)

$$\varepsilon_2 = \pm \omega_1^2 \frac{\lambda (1 - \lambda^2) \sin \varphi}{(1 - 2\lambda \cos \varphi + \lambda^2)^2}.$$

Максимальное ускорение креста при

$$\varphi_3 = \arccos \left(-\frac{1 + \lambda^2}{4\lambda} + \sqrt{\frac{(1 + \lambda^2)^2}{16\lambda^2} + 2} \right)$$

будет:

при z	...	3	4	6	8	12
$\varepsilon_{2 \max}$...	$31,6\omega_1^2$	$5,5\omega_1^2$	$1,4\omega_1^2$	$0,7\omega_1^2$	$0,35\omega_1^2$

Угловое ускорение креста в моменты входа и выхода цевки из зацепления (т. е. при $\varphi = \varphi_{11}$)

$$\varepsilon_{2 \text{ нач. конт}} = \pm \omega_1^2 \operatorname{tg} \frac{\pi}{z}.$$

Следовательно:

при z	...	3	4	6	8	12
$\varepsilon_{2 \text{ нач. конт}}$...	$1,7\omega_1^2$	$1,0\omega_1^2$	$0,6\omega_1^2$	$0,4\omega_1^2$	$0,25\omega_1^2$

При проектировании питателя, помимо выбора конструктивной схемы, необходимо установить величину, характер, скорость перемещения рабочего органа (держателя), несущего захват. Величина и характер перемещения рабочего органа, несущего захват, в основном зависят от типа обслуживаемого станка и расположения питателя относительно зажимного приспособления станка и функциональных механизмов загрузочного устройства.

Скорость перемещения рабочего органа зависит от конструкции захвата, т. е. заготовка зажата в захвате или находится в незакрепленном состоянии. В случае, когда заготовка не закреплена, фактором, лимитирующим скорость рабочего органа, несущего захват, является требование сохранения устойчивости и определенной ориентации заготовки (детали). Если же заготовка (деталь) зажата в захвате, указанные ограничения отсутствуют,

скорость рабочего органа с захватом, несущим заготовку (деталь), ограничивается прочностью рабочего органа. Любое из указанных явлений (отскок, пластическая деформация) приводит к снижению точности перемещения заготовки к месту загрузки, а значит, и надежности работы загрузочного устройства.

Повысить скорость перемещения рабочего органа питателя, несущего заготовку (деталь), зажатую в захвате, возможно, если в питателе предусмотреть тормозные устройства. Если привод рабочего органа гидропоршневой, следует тормозить поршень

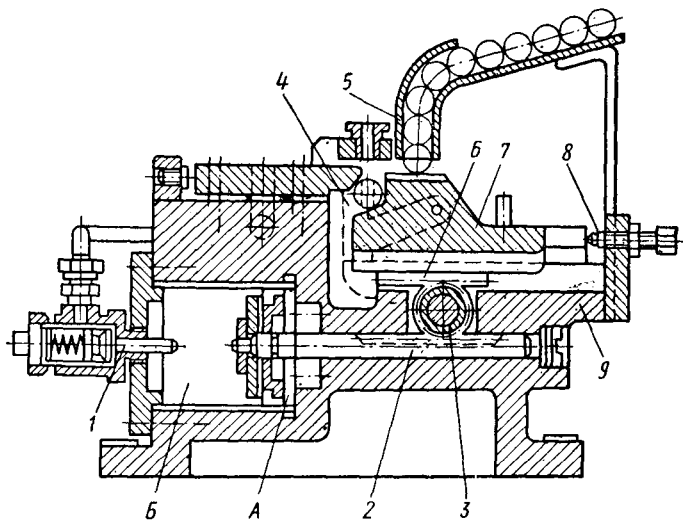


Рис. 5.37. Автоматическое приспособление для сверления валков

и связанные с ним массы искусственным повышением сопротивлений гидролиний за счет уменьшения отверстия, открытого для прохода масла в золотниковом устройстве, или другими способами. Законами движения рабочего органа, несущего незажатую заготовку, являются тригонометрические законы — синусный, косинусидаальный и их комбинации. Предпочтение следует отдать синусидаальному закону движения, обеспечивающему минимальные ускорения в начале и в конце хода.

Автоматические приспособления с магазинными и бункерными загрузочными устройствами применяют на сверлильных, резьбо-нарезных и фрезерных станках. Наибольшее применение имеют приспособления с магазинными загрузочными устройствами, некоторые из них и приводятся ниже.

Для сверления отверстий в валиках может быть использовано автоматическое приспособление, показанное на рис. 5.37. Работает приспособление следующим образом. Заготовки из магазина опускаются в призматический вырез ползуна питателя, когда он находится в крайнем правом положении, определяемом регулируемым упором. После того как сжатый воздух из сети

будет поступать в полость *A* пневмоцилиндра, вмонтированного в корпус *9*, шток-рейка *2* последнего через зубчатое колесо *3* и рейку *6* переместит ползун питателя *7* вправо до контакта с регулируемым винтом-упором *8*, а захват *4* (показан пунктиром), поднимаясь, перекрывает отверстие магазина *5*. После того как шток нажмет на клапан *1*, дается команда на подачу шпинделя станка, а вместе с ним и инструмента вниз. Одновременно сжатый

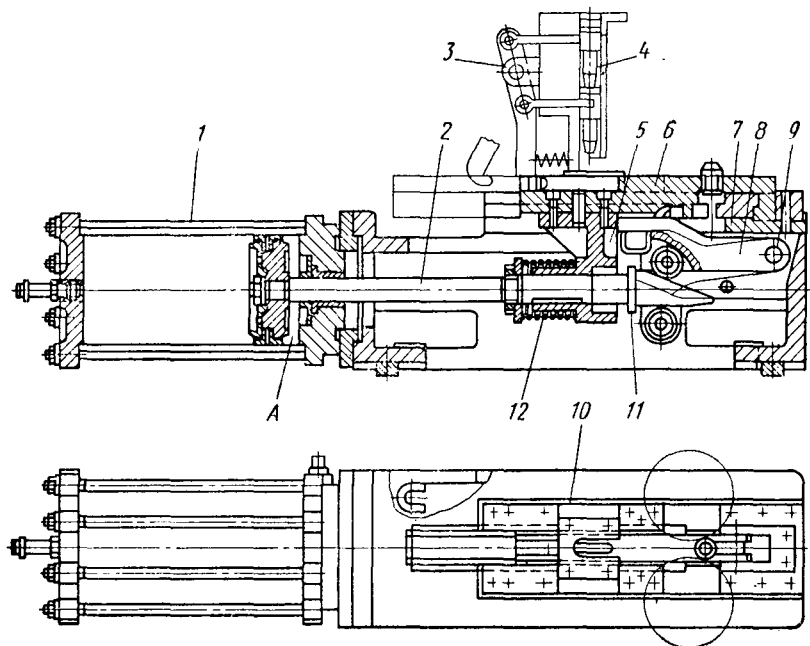


Рис. 5.38. Автоматическое приспособление для фрезерования лысок

воздух из сети поступает в полость *B* пневмоцилиндра, и шток-рейка *2* через зубчатое колесо *3* и рейку *6* перемещает ползун питателя *8* влево. Захват *4*, захватив из магазина *5* заготовку, подает ее в рабочую зону приспособления, где она и зажимается при дальнейшем перемещении ползуна питателя *7*. Далее происходит обработка, а затем освобождение обработанной детали, и цикл загрузки повторяется.

К категории автоматических приспособлений условно можно отнести столы-транспортёры, используемые при работе на многошпиндельных вертикально-сверлильных станках. В столах-транспортёрах заготовки устанавливаются в приспособлениях (кондукторах), закрепленных на прерывисто движущейся цепи, приводимой в движение специальным механизмом. Шаг цепи соответствует расстоянию между шпинделями станка.

Приспособление, показанное на рис. 5.38, предназначено для фрезерования двух лысок резбовых втулок или стержней на

горизонтально-фрезерном станке 6Н81. Заготовки вручную подают в магазин 4, где от выпадания в питатель удерживаются механизмом поштучной выдачи двойного действия. При поступлении сжатого воздуха из цеховой сети в полость А пневмоцилиндра 1 шток последнего движется влево и проходит в отверстие кронштейна 5, укрепленного на ползуне 6 питателя; как только его бурт зайдет в выточку кронштейна, последний, а вместе с ним и ползун питателя будут отведены в крайнее левое положение. В этом положении упорный винт ползуна питателя нажмет на рычаг механизма поштучной выдачи 3. Нижняя заготовка, освобожденная отсекателем, под действием собственного веса выпадет в вырез планки 10, где и будет удержана за головку; остальные же заготовки, находящиеся в магазине, будут удержаны верхним отсекателем, который перекроет отверстие магазина. При впуске сжатого воздуха в полость Б пневмоцилиндра 1 шток 2 перемещается вправо. Пружина 12 перемещает кронштейн 5, а значит, и ползун 6 питателя вместе с заготовкой вправо к неподвижной призме 7; происходит предварительное зажатие поданной заготовки. Ползун питателя останавливается, а шток, продолжая двигаться вправо, своей конической насадкой 11 воздействует на рычаг 8, который, повернувшись на оси 9, запрет ползун 6 питателя; заготовка будет окончательно зажата. Одновременно механизм поштучной выдачи, отводящий верхний отсекающий и перекрывающий магазин нижним отсекателем, позволит заготовкам опуститься и подготовиться к выдаче в питатель.

После того как будет закончена обработка, сжатый воздух поступает в полость А пневмоцилиндра, рычага 8 освобождает ползун 6 питателя, и последний перемещается пружиной влево, освобождает обработанную деталь, позволяя ей выпасть в приемный лоток, и цикл загрузки повторяется.

АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРКИ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

§ 6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Под технологическим процессом автоматической сборки изделия или сборочных единиц понимают часть производственного процесса, выполняемого в автоматическом режиме на отдельной машине или линии. В состав автоматической сборки могут входить различные по характеру технологические операции и приемы, выполняемые в определенной последовательности и связанные единством поставленной задачи и единством организации производства.

Автоматическая сборка представляет собой технологический процесс, в котором все основные и вспомогательные работы по сборке изделия, а также транспортировка собираемого изделия и входящих в его состав деталей в процессе сборки выполняются без непосредственного участия рабочего. Признаком, определяющим автоматическую сборку, является отсутствие рабочего, непрерывно связанного со сборкой изделия. Существуют четыре ступени механизации и автоматизации сборки изделий.

1. Частичная механизация, при которой механизированные средства применяются на отдельных сборочных операциях, а основная доля работы производится вручную простейшим немеханизированным инструментом.

2. Комплексная или всесторонняя механизация, при которой все основные рабочие операции выполняются механизированными инструментами и приспособлениями.

3. Частичная автоматизация, при которой часть процессов сборки осуществляется с применением автоматизированных технических средств, а остальные работы выполняются операторами-сборщиками с использованием механизированных инструментов и приспособлений.

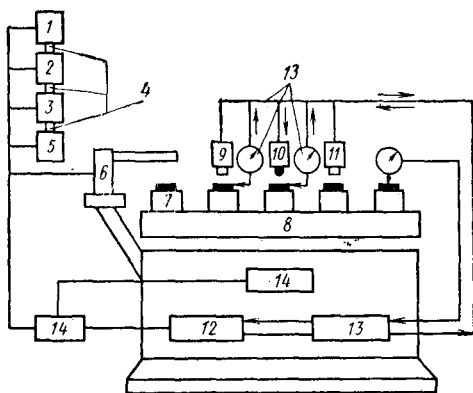
4. Комплексная автоматизация, представляющая собой высшую форму механизации сборки; на этой ступени все рабочие операции, а также операции регулирования сопряжений и контроля собранных узлов и изделий выполняются машинами-автоматами под наблюдением небольшого количества операторов.

Разработка научных основ автоматизации сборки тесно связана с глубоким и всесторонним изучением физической сущности сборочных процессов с целью выявления основных закономерностей их протекания и эффективного управления ими. В усло-

виях автоматизации выбор технологического варианта должен базироваться на точных расчетах. Недопустимы просчеты и весьма нежелательны последующие изменения принятых и осуществляемых решений, так как это удлиняет сроки подготовки производства и увеличивает его издержки. Проблема автоматизации сборочных работ включает следующие вопросы: технологичность деталей для автоматической сборки, вопросы автоматизации технологического процесса сборки и вопросы, связанные с созданием и исследованием оборудования для автоматической сборки.

Рис. 6.1. Схема автоматического сборочного станка:

1, 2, 3, 4, 5 — загрузочное устройство и его функциональные узлы (бункер, механизм ориентации, накопитель и т. п.); 6 — комбинированный питатель (автооператор); 7 — приспособления; 8 — транспортное устройство; 9, 10, 11 — рабочие головки, осуществляющие сборку, обработку в процессе сборки, нанесение покрытий и т. п.; 12 — командоаппарат; 13 — контрольные устройства; 14 — силовые системы



Технологический процесс автоматической сборки состоит из следующих взаимосвязанных, последовательно выполняемых технологических элементов (переходов):

1. Загрузки собираемых деталей в загрузочные и транспортные устройства и последующего перемещения деталей к месту сборки с предварительной их ориентацией.

2. Базирования и относительной ориентации деталей на сборочной позиции с требуемой точностью.

3. Сопряжения поверхностей соединяемых деталей и закрепления установленной детали, т. е. осуществления собственно сборки (с закреплением или без него).

4. Контрольных операций в процессе сборки деталей.

5. Удаления собранного узла со сборочной позиции, если сборка на данной позиции заканчивается, или перемещения сборочной единицы на следующую сборочную позицию.

Схема автоматического сборочного станка показана на рис. 6.1. В качестве загрузочных устройств для мелких деталей в станках автоматической сборки применяют вибробункера обычные и многоярусные. Последние позволяют подавать на позицию сборки различные по наименованию детали и существенно уменьшить площадь, занимаемую станком.

Для автоматической загрузки деталей, а в ряде случаев и транспортировки с одной сборочной позиции на другую (особенно

для сложных по конфигурации деталей или крупных по размеру) используют комбинированные питатели (автооператоры) с программным управлением. Схемы таких питателей и их компоновка показаны на рис. 5.29 и 5.30. В ряде случаев детали загружает рабочий вручную или их подают к станку (линии) в специальной таре, в которую их укладывает в требуемом положении рабочий, выполняющий последнюю операцию обработки.

Для собираемых деталей, исключающих возможность использования бункерных механизмов, иногда применяют специальные способы подачи их в зону сборки, к таким приемам следует отнести: а) подачу штампуемых деталей в ленте с отделением их от ленты на сборочной позиции; б) удержание деталей клеем на бумажной ленте и т. д.

Перед сопряжением детали, находящиеся на сборочной позиции, должны быть зафиксированы, т. е. должны занять вполне определенное устойчивое положение. Базирование деталей на сборочных позициях так же, как и в приспособлениях для механической обработки, производится по правилу шести точек, но при этом возникает добавочное требование наибольшей стабильности положения сопрягаемых поверхностей при колебании размеров детали в пределах допуска. В зависимости от вида сопряжения схемы базирования деталей могут быть различными. В некоторых случаях в сборочных автоматах деталь в приспособлении не закрепляется, а устанавливается свободно.

Для осуществления сборки детали на сборочной позиции ориентируются относительно друг друга так, чтобы их можно было последующим движением беспрепятственно собрать. Пространственная относительная ориентация деталей перед сборкой представляет собой сложную задачу, которая решается на базе теории размерных цепей и цепей относительных поворотов системы «собираемые детали — сборочное устройство».

При базировании деталей, участвующих в сборке, необходимо контактирование их поверхностей с соответствующими поверхностями приспособлений. Поверхности базирования, принадлежащие приспособлению, должны обладать строго определенной формой и размерами, в противном случае базировка не даст необходимой ориентации собираемой детали (базовой или комплектующей).

Форма поверхностей базирования может быть плоской, цилиндрической, призматической, конической, резьбовой, керновой, сферической и полукруглой, типа ласточкина хвоста и комбинированной. Базирование может осуществляться по наружной или внутренней поверхности собираемой детали. Тип выбирается в каждом конкретном случае. Наибольшее применение для базирования, как показывает опыт, имеют цилиндрические, призматические и комбинированные поверхности. Помимо формы поверхности при выборе способа базирования необходимо учитывать шероховатость поверхности и твердость собираемых деталей.

Основная осторожность должна быть проявлена при базировании деталей с шероховатостью от 6 до 14-го класса чистоты, с керамическими и стеклянными деталями.

Все сказанное относилось к ориентации собираемых деталей независимо друг от друга. Весьма важным является решение задачи ориентации собираемых деталей относительно друг друга, что необходимо для их беспрепятственного сопряжения. При автоматической сборке часто встречаются случаи, когда оборудование не может обеспечить точность взаимного расположения деталей, гарантирующую их беспрепятственное соединение. Для этого одну из собираемых деталей во время соединения превращают в подвижный компенсатор, а базирование комплектующей детали ведется по сопрягаемым поверхностям другой (самоцентрирование). Это позволяет значительно расширить допуски.

Чтобы одна из собираемых деталей могла смещаться и поворачиваться при входе в другую, необходимо обеспечить возможность ее перемещения и поворота на базирующих устройствах механизмов, находящихся на сборочной позиции, т. е. станок для сборки должен иметь базирующее устройство, придающее подвижность одной из собираемых деталей. Существует ряд разновидностей механизмов, решающих задачу взаимного базирования собираемых деталей. Эти механизмы иногда называют «механизмами с подвижными базами». Наиболее широкое применение для взаимного базирования деталей получили вибрационные механизмы. В этих механизмах соединение обеспечивается за счет вибрации одной или обеих собираемых деталей. Амплитуда и характер вибраций зависят от величины и характера погрешности взаимного расположения собираемых деталей. При плоском законе распределения погрешностей, т. е. если известно направление возможного отклонения деталей от их расчетного положения, для соединения деталей достаточно обеспечить их вибрационное перемещение в этом направлении. При пространственном распределении погрешностей, т. е. если отклонение деталей возможно в направлении двух координат, необходимо обеспечить вибрационное перемещение деталей по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Траектория относительного перемещения деталей зависит от конструкции вибрационного устройства.

Основная функция сборочного автомата — соединение деталей в узел и их закрепление. Эти операции выполняют манипуляторы, сборочные приспособления, транспортирующие устройства с механизмом фиксации и механизмы для закрепления деталей. Соответственно способу закрепления в автоматическом оборудовании на определенных местах по ходу технологического процесса ставятся силовые головки (винтоверты, прессы со специальными насадками для запрессовки, кернения, развальцовки и т. д.), каждая из которых выполняет определенную функцию.

Важную роль в процессе автоматической сборки играет контроль. Введение контрольных операций позволяет уменьшить

потери от брака, повысить качество собираемых изделий, сократить простой сборочного оборудования, обеспечить нормальный ход технологического процесса.

Основные функции, выполняемые контрольными устройствами в сборочных автоматах, следующие:

1. Контроль наличия деталей, поступающих на сборку.
2. Контроль правильности взаимного расположения деталей в собираемом узле.
3. Проверка качества собранного изделия.
4. Контроль работы отдельных механизмов автомата.
5. Измерение отдельных деталей при селективной сборке с последующим вызовом деталей соответствующей группы из загрузочного устройства.

Все перечисленные контрольные операции в ходе выполнения технологического процесса автоматической сборки осуществляются различными датчиками, регистрирующими устройствами, а также системами автоматического регулирования, взаимно связанными с командоаппаратами.

Последний из элементов процесса автоматической сборки — удаление собранного узла со сборочной позиции или его перемещение на следующую сборочную позицию — не представляет особой сложности. Межоперационное перемещение деталей выполняют транспортные устройства в виде многопозиционных делительных столов, различных типов транспортеров и другие устройства. Удаление собранного изделия со сборочной позиции может производиться путем простого механического выталкивания или выдувания воздухом в тару, где изделия располагаются навалом. Если сборка изделия не закончена, собранные сборочные единицы удалить в общую тару навалом нецелесообразно. С помощью несложных транспортных средств (перегрузателей) собранные сборочные единицы в ориентированном положении передаются непосредственно через накопитель на следующий станок (автоматическую линию) для сборки, а иногда и на рабочее место сборщика. К удалению изделий с помощью механизмов прибегают для того, чтобы избежать каких-либо повреждений.

Сборочные автоматы во многих случаях занимают меньшие производственные площади по сравнению с рабочими местами сборщиков, обеспечивающих вручную тот же выпуск продукции. Таким образом, при автоматизации сборки возможно повысить выпуск продукции с единицы производственной площади, чему способствует также повышение скорости работы автоматического оборудования по сравнению с ручной сборкой.

§ 6.2. МЕТОДЫ СБОРКИ

Существуют два вида сборки: а) обусловленная, т. е. сборка, к которой предъявляются специальные требования по точности выполнения сопряжения и закрепления собираемых деталей,

и б) безусловленная, т. е. сборка, к точности которой или сопряжению собираемых деталей не предъявляется каких-либо особых требования.

Обусловленная сборка осуществляется следующими методами: а) методом полной взаимозаменяемости; б) методом неполной взаимозаменяемости; в) методом рассортировки собираемых деталей на группы (селекцией); г) с применением компенсаторов и д) с индивидуальной пригонкой соединяемых деталей. Из указанных методов полная автоматизация сборки может быть осуществлена при первых трех методах, а частичная автоматизация — при последних методах с установкой компенсаторов или пригонкой замыкающего элемента по месту вручную.

Метод полной взаимозаменяемости заключается в получении требуемой точности замыкающего звена размерной цепи у всех изделий партии путем простого соединения всех деталей, участвующих своими размерами или поворотами своих поверхностей в качестве звеньев этой размерной цепи.

Метод полной взаимозаменяемости предусматривает необходимость соответствующего расчета допусков на отдельные параметры элементов и размеры деталей и гарантию их получения при изготовлении этих элементов.

При сборке по этому методу допуски на размеры сопрягаемых деталей, установленные по конструктивным соображениям, равны или больше технологических допусков на те же размеры.

Таким образом, необходимыми условиями при использовании метода полной взаимозаменяемости являются:

а) расчет и установление допусков на все составляющие звенья, исходя из требуемой величины допуска на исходное (замыкающее) звено, т. е. соблюдение для плоских размерных цепей с параллельными звеньями следующего равенства:

$$\delta_{и\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \delta A_i, \quad (6.1)$$

где m — количество звеньев размерной цепи; δA_i — величина допуска или погрешность i -го звена; $\delta_{и\Delta}$ — заданный допуск исходного звена;

б) величина координаты середины поля допуска исходного звена $C\delta_{и\Delta}$ относительно номинала равна разности алгебраических сумм величин координат середин полей допусков всех увеличивающих и уменьшающих звеньев:

$$C\delta_{и\Delta} = \sum_{i=1}^n C \delta A_{i\text{ув}} - \sum_{n+1}^{m-1} C \delta A_{i\text{ум}}, \quad (6.2)$$

где $C\delta A_{i\text{ув}}$ и $C\delta A_{i\text{ум}}$ — соответственно величины координаты середины полей допусков i -го увеличивающего и уменьшающего звеньев; n — количество увеличивающих звеньев; m — общее количество звеньев размерной цепи;

в) разность алгебраических сумм отклонений средних значений всех увеличивающих и уменьшающих звеньев размерной цепи, полученная расчетом, должна быть равна заданному среднему значению исходного звена размерной цепи:

$$C\delta_{n\Delta} = \sum_{i=1}^n (C\delta A_{i\text{ув}} + \alpha_{i\text{ув}}\delta' A_{i\text{ув}}) - \sum_{i=1}^{m-1} (C\delta A_{i\text{ум}} + \alpha_{i\text{ум}}\delta' A_{i\text{ум}}) - \alpha_{n\Delta}\delta'_{n\Delta}, \quad (6.3)$$

где $\alpha_{i\text{ув}}$ и $\alpha_{i\text{ум}}$ — соответственно асимметрия распределения размеров i -го увеличивающего и уменьшающего звеньев размерной цепи; $\delta' A_{i\text{ув}}$ и $\delta' A_{i\text{ум}}$ — соответственно половина абсолютной величины поля допуска i -го увеличивающего или уменьшающего звеньев размерной цепи.

Средняя величина допуска составляющих звеньев размерной цепи

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{\delta_{n\Delta}}{m-1}. \quad (6.4)$$

Величину $\delta_{\text{ср}}$ корректируют с учетом точности получения каждого составляющего звена и проверяют удовлетворение условию

$$\delta_{n\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \delta A_i. \quad (6.5)$$

Сборка по методу полной взаимозаменяемости имеет следующие преимущества: простота осуществления сборки, возможность кооперирования производства, упрощение снабжения запасными частями и ремонта изделий (приборов, машин и т. п.), находящихся в эксплуатации; возможности использования малоквалифицированного труда; возможности организации поточной сборки; стабильность сборки по времени; простота механизации и автоматизации. Указанные преимущества обусловили широкое применение этого метода сборки в массовом и крупносерийном производствах.

Метод полной взаимозаменяемости требует предварительного 100-процентного контроля деталей, поступающих на сборку, однако при этом не отпадает полностью необходимость в межоперационном и окончательном контроле, так как некачественная сборка может произойти и в виду нечеткой работы отдельных механизмов сборочного автомата или полуавтомата (отсутствие одной из собираемых деталей вследствие задержек в загрузочном устройстве, перекос собираемой детали и т. п.).

Применение метода полной взаимозаменяемости ограничивается высокой себестоимостью изготовления деталей, так как с уменьшением величины допуска исходного (замыкающего) звена и с увеличением количества звеньев размерной цепи прихо-

дится уменьшать допуски на соответствующие звенья, что повышает точность обработки, приводит к ее удорожанию.

Метод неполной взаимозаменяемости заключается в том, что в результате сборки партии изделий требуемая точность замыкающего (исходного) звена достигается не у всех звеньев, а только у большей их части. В основе метода лежит положение теории вероятности, по которому крайние значения погрешностей всех звеньев размерной цепи встречаются гораздо реже, чем средние.

Незначительное количество изделий, имеющих отклонение замыкающего звена, выходящее за пределы установленного допуска, может быть при надлежащей организации производства исправлено путем подгонки. Как и указывалось выше, у некоторых изделий погрешность замыкающего звена может выйти за пределы заданного монтажного допуска, а потому имеет место определенный риск.

Коэффициент риска

$$k_p = \frac{\delta_{н\Delta}}{2\sigma_{н\Delta}}, \quad (6.6)$$

где $\delta_{н\Delta}$ — заданный допуск исходного звена; $\sigma_{н\Delta}$ — среднеквадратичное отклонение исходного звена при установлении больших допусков на соответствующие звенья.

Средний допуск на составляющий размер при использовании метода неполной взаимозаменяемости

$$\delta_{ср} = \frac{\delta_{н\Delta}}{k_p \sqrt{\lambda'_{ср} (m-1)}}, \quad (6.7)$$

где $\lambda'_{ср}$ — коэффициент, зависящий от характера кривых распределения погрешностей; для законов, близких к нормальному (закону Гаусса) $\lambda' = 1/9$; при неизвестном характере кривой распределения $\lambda' = 1/3$. Основные преимущества метода неполной взаимозаменяемости следующие: допуски на размеры сопрягаемых деталей берутся большими, чем при сборке по методу полной взаимозаменяемости, что удешевляет изготовление, процент же изделий, имеющих выход погрешностей замыкающего звена за пределы требуемого допуска, незначителен, и затраты на исправление этих изделий обычно малы по сравнению с экономией труда и средств, получаемой при изготовлении деталей с более широкими допусками. Остальные преимущества те же, что и у метода полной взаимозаменяемости. К недостаткам метода неполной взаимозаменяемости относятся: а) необходимость обеспечения случайности попадания в одну сборочную размерную цепь всех звеньев, для чего нужны специальные стеллажи и регламентированный порядок сборки; б) при автоматической сборке на станках необходимо в последних предусматривать устройства для измерения отклонений у собираемых деталей и блокирующие устройства,

прекращающие работу автомата, если исключается собираемость деталей; в) необходимость организации рабочих мест для исправления изделий, размеры которых вышли за пределы допуска.

Метод рассортировки собираемых изделий на группы (метод групповой взаимозаменяемости). Сущность этого метода заключается в подборе сопрягаемых размеров деталей, изготовленных по расширенным допускам, при этом соединение деталей можно производить путем непосредственного подбора, предварительной сортировки на группы, комбинации сортировки деталей на группы с непосредственным подбором.

Практически метод групповой взаимозаменяемости осуществляется следующим образом: а) устанавливают приемлемые для производственных условий допуски на размеры сопрягаемых деталей, т. е. технологические допуски; б) определяют по чертежу соединения допуск требуемой посадки; в) определяют число групп сортировки деталей; г) определяют допуски для охватывающей и охватываемой детали каждой группы. Число групп зависит от заданной точности сопряжений и точности изготовления деталей. Этот метод используют в малозвенных размерных цепях, характеризующихся весьма высокой точностью замыкающих звеньев.

В массовом производстве для сортировки деталей на группы используют специальные контрольно-сортировочные автоматы. Недостатком этого способа следует считать возможность появления незавершенного производства вследствие того, что количество деталей в одноименных группах неодинаково, т. е. появляются избыточные детали, которые не попадают в заданные группы.

Для исключения незавершенного производства иногда применяют сборку с индивидуальной селекцией или с пригонкой, т. е. ручную сборку. Недостатками метода рассортировки собираемых изделий на группы являются следующие: а) необходимо измерять все детали для их последующей рассортировки на группы; б) необходимо изготавливать детали с достаточно малыми допусками на взаимное расположение поверхностей, их форму и шероховатость.

Метод регулировки (с применением компенсаторов). Характерной особенностью этого типа сборки является то, что требуемая точность замыкающего звена достигается путем изменения величины заранее выбранного компенсирующего звена без снятия с него припуска. При помощи компенсаторов в узлах и механизмах может быть обеспечено регулирование линейных размеров в плоских размерных цепях с параллельными звеньями, угловых размеров или же устранено влияние несоосности.

Для компенсации погрешностей составляющих звеньев применяют наборы прокладок, регулируемые винты, втулки с резьбой, клинья и другие элементы. Таким образом, для изменения величины компенсирующего звена могут быть использованы подвиж-

ные и неподвижные компенсаторы. Автоматическая сборка с набором компенсаторов требует введения в станок для сборки специальных устройств, служащих для определения значения размера компенсации с последующим вызовом соответствующего набора компенсирующих прокладок, причем компенсирующие прокладки определенных размеров выдаются по сигналу с контрольного устройства.

Основными преимуществами этого метода сборки являются: возможность производить обработку входящих в узел деталей по расширенным допускам и возможность компенсации погрешностей замыкающего звена, обусловленных износом, температурными деформациями и т. п. В этом случае полностью исключаются пригоночные работы.

Метод пригонки заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена в процессе сборки достигается в результате изменения размера одной детали посредством снятия необходимого припуска. Если в приборе имеются электронные цепи, то достижение требуемых по ТУ точности выходных параметров осуществляется методами групповой взаимозаменяемости, регулировки или пригонки.

При методе групповой взаимозаменяемости требуемая точность выходных параметров достигается включением в цепь одного или нескольких схемных элементов с узкими допусками на их параметры, полученными в результате отбора группы элементов из партии таких же элементов. При методе регулировки используют регулировочные элементы и сущность регулировки состоит в том, что точность выходных параметров электронных цепей достигается путем изменения величины параметра компенсирующего звена, в результате чего обеспечивается компенсация погрешностей выходных параметров.

При методе подгонки требуемая точность выходных параметров электронной цепи достигается путем подбора одного из схемных элементов с постоянными параметрами, постановка которого в схему цепи обеспечивает частичную или полную компенсацию погрешностей выходных параметров. Метод подгонки принципиально аналогичен методу регулировки, разница между ними заключается в том, что при регулировке компенсация обеспечивается схемными элементами с переменными параметрами, а при подгонке — элементами с постоянными параметрами.

Метод регулировки позволяет компенсировать погрешности не только в период изготовления, но и в период эксплуатации прибора при возникновении погрешностей в результате старения схемных элементов.

При регулировке приборов используют в основном два способа: регулировка по измерительным приборам и регулировка путем сравнения настраиваемого прибора с образцом, т. е. способ электрической компенсации.

§ 6.3. УСЛОВИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СБОРКИ

Для решения вопроса об автоматизации процесса сборки важнейшее значение имеет технологичность конструкции. Технологичность конструкции изделия в значительной степени предопределяет как трудоемкость этого изделия, так и сроки его освоения. Специфика автоматической сборки требует иного конструктивного оформления изделий, нежели ручная сборка.

В настоящее время еще нет достаточно четких критериев оценки технологичности изделий применительно к автоматической сборке, и эта задача решается в каждом конкретном случае, однако можно сформулировать некоторые условия, которым должны удовлетворять изделия и детали, предназначенные для автоматической сборки.

1. Широкое применение унифицированных и нормализованных изделий и составляющих их деталей при проектировании приборов позволяет провести в процессе подготовки производства более тщательную конструкторскую и технологическую переработку и создает предпосылки к увеличению серийности их выпуска, при этом увеличивается уровень автоматизации производства и снижается себестоимость изготовления изделия.

2. Число деталей в собираемом изделии должно быть наименьшим, что ведет к уменьшению числа рабочих позиций в автоматических станках или линиях. Это может быть достигнуто путем соответствующего конструирования и применения специальной технологии изготовления, например использования армированного литья и т. п. Однако этим условием следует пользоваться только после соответствующего технико-экономического расчета, так как в ряде случаев уменьшение числа деталей сопровождается значительным усложнением других деталей, входящих в изделие, что приводит к резкому увеличению трудоемкости заготовительных процессов и механической обработки и возможному увеличению себестоимости собираемого изделия (сборочной единицы).

3. Сложные изделия, состоящие из большого количества деталей, должны строиться по блочному принципу, т. е. изделие должно состоять из отдельных законченных сборочных компонентов (блоков), в которые входит сравнительно малое количество простых по конфигурации деталей (не более 15—18 шт.). Лучшими считаются блоки и изделия, состоящие из 4—12 деталей. Увеличение количества деталей в собираемых на автоматических станках или линиях изделиях приводит к снижению надежности работы этих станков (линий) и снижению эффективности автоматизации сборки. В промышленности находит применение и блочно-модульный принцип конструирования сложных изделий, который состоит в использовании функциональных блоков из унифицированных по габаритам и стыковочным параметрам конструктивно

законченных функциональных сборочных единиц — модулей. Модули являются самостоятельными элементами, которые могут быть использованы при конструировании и изготовлении новых самых разнообразных по назначению блоков. В приборостроении и особенно в радиоэлектронной промышленности принципы блочного и блочно-модульного конструирования находят широкое применение, например, при создании системы приборов и средств автоматики, универсальной системы элементов промышленной пневмоавтоматики, создании электронно-вычислительной аппаратуры и т. п.

4. Детали, входящие в собираемое изделие (сборочную единицу), должны иметь простую форму (цилиндр, призма и т. п.). В тех же случаях, когда из конструктивных соображений детали имеют сложную конфигурацию, необходимо, чтобы они имели явно выраженные базовые поверхности, желательны цилиндрические или плоские, и явно выраженные места (ключи), что необходимо для надежного ориентирования в загрузочных и транспортных устройствах.

5. Желательно, чтобы поверхность сопряжения служила и установочной базой, так как в этом случае погрешность взаимной ориентации собираемых деталей будет наименьшей. В предварительно собранных сборочных единицах поверхности сопряжения с другими сборочными единицами и деталями должны быть легко доступными.

6. При автоматической сборке изделий следует стремиться к уменьшению числа крепежных деталей, так как последние существенно усложняют процесс сборки. Вместо резьбового крепежа целесообразно применять сварку, расклепку, развальцовку, гибку и т. д.

7. Следует избегать шпоночных соединений как весьма сложно осуществляемых при автоматической сборке, закрепления деталей разжимными кольцами, закручивания проволокой и т. п.

8. Шероховатость поверхностей сопряжения собираемых деталей должна быть обоснована, так как заниженные требования к шероховатости могут способствовать заклиниванию детали в процессе сборки, а завышенные — увеличивают стоимость изделий.

9. При конструировании изделий, поступающих на автоматическую сборку, следует стремиться к такой компоновке изделия, при которой обеспечивается постановка комплектующих деталей на базовую простейшим движением. Заслуживают внимания конструкции изделий, в которых комплектующие детали последовательно поступают в одном и том же направлении на базовую деталь.

10. Детали, сопрягаемые в осевом направлении, на кромках сопрягаемых поверхностей должны иметь конструктивные элементы, облегчающие самоустановку и центрирование поверхностей. Такими элементами обычно являются фаски, направляющие расточки и т. п. Форма и размеры конструктивных элементов зависят от точности изготовления деталей и условий сборки.

11. На собираемых деталях должны отсутствовать острые углы и заусенцы, кроме того, детали должны быть сухими и без загрязнений.

12. Допустимые отклонения размеров, формы, взаимного расположения сопрягаемых поверхностей собираемых деталей должны расчетно обоснованы с точки зрения обеспечения оптимальной точности процесса автоматизированной сборки. Допуски на размеры деталей должны обеспечивать возможность осуществления сборки методом полной или частичной взаимозаменяемости, использование метода селективной сборки нежелательно, так как последняя требует сложных сортирующих устройств и системы накопителей деталей для отдельных размерных или других групп; нежелательна и сборка с пригонкой, которая усложняет технологический процесс, требует дополнительных контрольных устройств и механизмов пригонки.

13. Следует избегать длинных путей соединения, особенно при прессовых посадках; образования воздушных подушек, например, в глухих отверстиях; исключать взаимное сцепление деталей при транспортировке.

14. Форма деталей должна быть симметричной или подчеркнута асимметричной. «Приблизительная симметрия» собираемых деталей трудна для манипулирования. В случае необходимости прибегают к фасонной маркировке (вырезы, отверстия и т. п.).

При оценке изделий (сборочных единиц) на технологичность следует учитывать технологический, экономический и организационный критерии. Технологический критерий включает уровень унификации применяемых деталей, точность размеров и формы деталей, рациональность технологии их изготовления, пригодность деталей к автоматической загрузке, сложность сборки, рациональность вида соединения, сложность регулировки и контроля, уровень механизации и автоматизации. В качестве экономического критерия можно использовать себестоимость изготовления изделия (сборочной единицы).

В качестве организационного критерия можно использовать быстроту подготовки производства. Следует различать абсолютные и относительные критерии: первые используют в тех случаях, когда производство изделия, включая и автоматическую сборку, организуется впервые, а относительные критерии используются тогда, когда имеется несколько однотипных конструкций или конструкция одного и того же прибора подвергается конструктивно-технологическому анализу в связи с переходом на автоматическую сборку.

§ 6.4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ

При построении технологического процесса автоматической сборки необходимо учитывать следующие рекомендации.

1. Процесс должен предусматривать наименьшее число перемен положения деталей и сборочных единиц, так как для их осу-

ществления требуются довольно точные, а иногда и сложные механизмы.

2. Производительность при сборке зависит от метода сборки. Наибольшую производительность дает метод полной взаимозаменяемости.

3. Процесс следует строить по одному потоку, т. е. избегать сборки отдельных сборочных единиц, впоследствии соединяющихся друг с другом, так как взаимная ориентация предварительно собранных сборочных единиц затруднительна.

4. В ряде случаев целесообразно объединять операции сборки с механической обработкой. При таком объединении обычно базовая деталь изготавливается обработкой резанием, а комплектующие детали подаются из загрузочных устройств. Значительно реже механическую обработку производят как один из переходов сборки.

5. Подача комплектующих деталей непрерывным потоком нежелательна.

6. При выборе типа станка, помимо масштабов выпуска изделий, существенное значение имеет конфигурация собираемых деталей и их прочность. Наличие в собираемом изделии деталей сложной формы, которые затруднительно ориентировать автоматически или невозможно подавать из загрузочных устройств (хрупкие детали, крупные детали, детали сложной формы), требует сборки на полуавтоматических станках. При разработке процесса автоматической сборки, а следовательно, и определении степени автоматизации необходимо учитывать требуемую производительность и экономическую целесообразность создаваемых средств механизации и автоматизации.

7. При сборке сложных изделий, состоящих из большого числа деталей, рекомендуется введение промежуточного контроля. Промежуточный контроль необходим и для определения наличия комплектности собираемых деталей.

8. Автоматическое оборудование для сборки очень чувствительно к качеству поступающих на сборку деталей. Подавляющее число остановок происходит из-за брака деталей. Контроль и отбор брака является главным условием успешной работы автоматических станков.

В тех случаях, когда необходимо по условиям эксплуатации изделий обеспечить предельный момент вращения или усилия в рабочих головках, должны быть предусмотрены предельные муфты в механических передачах и предохранительные клапаны в пневматических и гидравлических приводах.

Проектирование процесса автоматической сборки должно осуществляться в следующей последовательности:

1. Изучение сведений о качестве изделий, действующей технологии изготовления, контроля и сборки. Необходимо провести анализ сборочного процесса с целью выявления тех операций, от которых зависит качество выпускаемых изделий, следует

изучить виды и режимы соединений, базы на базовых и сопрягаемых деталях, условия ориентации и подачи деталей или сборочных единиц в процессе сборки. На этом этапе подготовки к созданию процесса сборки надлежит изучать возможные дефекты поступающих на сборку деталей и сборочных единиц и степень их влияния на процесс сборки. Следует получить и достаточно полную экономическую информацию о действующем процессе сборки. На основании изучения всех указанных материалов принимается предварительное решение о возможности автоматической сборки.

2. Составлению возможных вариантов сборки и разработке вариантов технологического процесса сборки должны предшествовать выявление оптимальной степени расчленения изделий и обоснование выбора его конструкции и технологичности соединений.

На основе материалов изучения собираемого изделия и составляющих его деталей разрабатывают возможные варианты схем сборки, содержащие сведения о технологической схеме сборки, степени концентрации и дифференцирования процесса, структуры, вариантов схем базирования деталей и их закрепления после сопряжения; осуществляется выбор промежуточного контроля, необходимости механизмов блокирования, объема запаса деталей в накопителях, выбор типа межоперационного транспорта.

После разработки вариантов процесса сборки происходит их технико-экономический анализ, результатом которого является выбор рекомендуемого процесса.

§ 6.5. ОСНОВНЫЕ ТОЧНОСТНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СБОРОЧНЫМ СТАНКАМ

В отличие от металлорежущих станков для сборочных станков конечным результатом технологического процесса является сборочная единица, собираемая на данном станке из определенного числа деталей, размеры которых колеблются в пределах допусков. Следовательно, для сборочных станков-автоматов можно сформулировать два основных требования: высокая надежность протекания процесса автоматической сборки; точность выполнения сборочных операций.

Под надежностью в данном случае следует понимать несобранную часть деталей (в %) из общего числа поступивших на сборочную позицию. Надежность и вообще возможность автоматической сборки определяется суммарной погрешностью относительной ориентации собираемых деталей перед их сопряжением, которая зависит от конструкции сборочного станка, кинематической точности его отдельных механизмов и точности исполнения отдельных узлов и деталей, поступающих на сборку.

Таким образом, для нормального протекания процесса автоматической сборки необходимо, чтобы суммарная погрешность относительной ориентации деталей перед их сопряжением не

превышала допустимых значений. Это условие можем выразить в следующем виде:

$$\Delta_{\Sigma \max} \leq [\Delta_R], \quad (6.8)$$

где $\Delta_{\Sigma \max}$ — максимальное значение суммарной погрешности относительной ориентации собираемых деталей; Δ_R — величина, определяемая видом соединения и группой посадки.

Допустимая погрешность относительной ориентации собираемых деталей определяется видом сопряжения и точностью изготовления сопрягаемых поверхностей. Точность выполнения сборочной операции определяется погрешностями взаимного расположения деталей относительно друг друга в собранном узле.

Структура суммарной погрешности относительной ориентации. Суммарную погрешность относительной ориентации деталей на позиции сборки для любого сборочного станка можно представить в виде следующей функции:

$$\Delta_{\Sigma} = f(\Delta'_{\Sigma}; \Delta_{\delta}, \Delta_{\text{р. п. ч}}), \quad (6.9)$$

где Δ_{Σ} — суммарная погрешность относительной ориентации деталей на позиции сборки; Δ'_{Σ} — суммарная погрешность относительного расположения сборочного приспособления и сборочной головки*; Δ_{δ} — погрешность базирования деталей на позиции сборки; $\Delta_{\text{р. п. ч}}$ — погрешность расположения рабочих частей сборочной головки или приспособления.

Суммарная погрешность относительного расположения сборочного приспособления и сборочной головки непосредственно зависит от конструкции сборочного станка, которая определяется выбранной схемой автоматической сборки. Следовательно, при рассмотрении погрешности Δ'_{Σ} будем исходить из конструкции сборочного станка. Для этого на основе анализа большого числа сборочных станков, используемых в приборостроении, последние можно подразделить на несколько групп и для каждой группы рассматривать составные части суммарной погрешности относительного расположения сборочного приспособления и сборочной головки Δ'_{Σ} .

1. Сборочные станки с неподвижными сборочными приспособлениями и сборочными головками. Для станков данной группы погрешность Δ'_{Σ} состоит из погрешностей изготовления станка Δ_c и погрешности настройки Δ_n . При учете этих погрешностей нужно исходить из следующих соображений:

а) для сборочных станков, в которых отсутствуют механизмы регулирования положения сборочного приспособления и сборочной головки, погрешность Δ'_{Σ} определяется непосредственно погрешностью изготовления станка Δ_c , т. е. погрешностью уста-

* Под термином «сборочное приспособление» понимается устройство, в котором происходит базирование базовой детали, а под термином «сборочная головка» понимается устройство, которое производит установку присоединяемой детали на базовую.

новки сборочного приспособления относительно сборочной головки или наоборот, которая получается во время сборки самого станка;

б) для сборочных станков, в которых имеются регулирующие механизмы, позволяющие регулировать положение сборочной головки или сборочного приспособления по одной координате, погрешность Δ'_z состоит из погрешностей Δ_c и Δ_n ;

в) для сборочных станков, в которых имеются регулирующие механизмы, позволяющие регулировать положение сборочной головки или сборочного приспособления по двум координатам, погрешность Δ'_z определяется только погрешностью настройки Δ_n ; в тех случаях, когда детали на позиции сборки базируются по постоянным упорам, погрешность Δ'_z определяется отклонением размера между упорами. Следует указать, что при определении погрешности Δ'_z учитываются не только линейные смещения, но и относительные перекосы.

Для данного конкретного станка погрешности Δ_c и Δ_n имеют постоянный характер.

2. Сборочные станки, в которых сборочные приспособления установлены на ведомом звене транспортирующего устройства, а сборочные головки неподвижны. Для станков данной группы погрешность Δ'_z суммируется из следующих погрешностей: а) изготовления станка Δ_c , т. е. погрешности относительного расположения сборочных приспособлений на ведомом звене транспортирующего устройства или на питателе (при однопозиционной сборке); для данного случая погрешность Δ_c имеет систематический переменный характер; б) настройки Δ_n (в тех случаях, когда имеются регулирующие механизмы); для данного случая погрешность тоже имеет систематический переменный характер; в) суммарной погрешности фиксации ведомого звена транспортирующего устройства или питателя $\Delta_{с.ф.}$, которая состоит из погрешностей деления Δ_d и фиксации $\Delta_{ф.}$. Погрешность деления для многопозиционных станков и однопозиционных с множественными питателями имеет систематический переменный характер, а для однопозиционных станков с одностепенными питателями — систематический постоянный характер. Погрешность фиксации имеет случайный характер.

3. Сборочные станки с неподвижными сборочными приспособлениями и с периодически перемещающимися сборочными головками. Погрешность Δ'_z для станков данной группы определяется теми же погрешностями, что и для первой группы, только добавляется суммарная погрешность фиксации сборочной головки в рабочем положении $\Delta'_{с.ф.}$, которая тоже состоит из погрешности деления и погрешности фиксации. Погрешность деления в данном случае имеет систематический постоянный характер, а погрешность фиксации — случайный характер.

4. Сборочные станки со сборочными приспособлениями, расположенными на ведомом звене транспортирующего устройства,

и с периодически перемещающимися сборочными головками. Погрешность Δ'_z для станков данной группы определяется теми же погрешностями, что и для станков второй группы, только, кроме всех перечисленных погрешностей, добавляется суммарная погрешность фиксации сборочной головки $\Delta'_{с.ф.}$. В сборочных станках второй и четвертой групп, кроме основного движения сборки сборочных приспособлений вместе с ведомым звеном транспортирующего устройства, эти приспособления еще могут иметь дополнительное периодическое движение относительно ведомого звена транспортирующего устройства. Траектория этого дополнительного периодического движения определяется конструкцией собираемого узла. Для таких станков при определении погрешности Δ'_z нужно также учитывать суммарную погрешность фиксации сборочного приспособления $\Delta''_{с.ф.}$, которая состоит из погрешности деления и погрешности фиксации. Первая составляющая имеет систематический переменный характер, а вторая — случайный.

5. Сборочные станки, в которых это дополнительное периодическое движение сборочного приспособления становится основным движением (например, при последовательной однопозиционной сборке узла, состоящего из большого числа деталей). Для таких сборочных станков погрешность Δ'_z состоит из погрешности изготовления станка или погрешности настройки и суммарной погрешности фиксации сборочного приспособления. Погрешность деления в зависимости от конструкции станка может иметь систематический постоянный или систематический переменный характер.

6. Сборочные станки, являющиеся разновидностью сборочных станков пятой группы, в которых сборочная головка имеет периодические перемещения. Погрешность для станков данной группы определяется, как и для пятой группы, только добавляется суммарная погрешность фиксации сборочной головки. Погрешность базирования деталей на позиции сборки Δ'_z обуславливается выбранной схемой базирования. При выборе схемы базирования нужно исходить из того, чтобы колебание размеров детали в пределах допуска незначительно отражалось на ее положении. Например, при базировании цилиндрических деталей по габариту погрешность базирования определяется наличием зазора между базовой поверхностью детали и отверстием сборочного приспособления или сборочной головки.

Кроме того, когда базирование производится по поверхностям, не совпадающим с сопрягаемыми поверхностями при сборке, нужно учитывать погрешность расположения последних относительно первых. К таким погрешностям относятся эксцентриситеты и перекосы. Погрешность базирования имеет случайный характер.

Погрешность изготовления сборочной головки Δ_n представляет собой погрешность относительного расположения рабочих частей головки, из которых происходит выдача присоединяемых

деталей к базовой детали. Эта погрешность имеет место в тех случаях, когда производится параллельное или последовательно-параллельное присоединение к базовой детали (например, при сборке контактных узлов и монтажных мостиков).

Количественное определение суммарной погрешности относительной ориентации. Как видно из приведенного выше качественного анализа суммарной погрешности относительной ориентации, в состав последней входят скалярные и векторные погрешности, которые, в свою очередь, могут быть систематическими и случайными. Следовательно, при количественном определении суммарной погрешности относительной ориентации систематические погрешности будут суммироваться алгебраически, а случайные — с учетом отдельных положений теории вероятностей. Так как в состав суммарной погрешности относительной ориентации входят погрешности, которые свои отклонения могут иметь по двум координатным осям, то при определении величины последней расчет нужно вести по двум координатным осям X и Y (для расчета использованы исследования А. Б. Пакниса).

Суммарная погрешность относительной ориентации характеризуется координатой середины поля рассеяния (средним значением) $\Delta_{0\Sigma}$ и предельным отклонением от среднего значения (половиной поля рассеяния) δ_{Σ} . Так как в состав случайной части суммарной погрешности относительной ориентации входят случайные погрешности, которые свои отклонения могут иметь по двум координатным осям, то нужно предполагать, что закон распределения последней будет близким к двумерному гауссовскому закону распределения.

Суммарная погрешность относительной ориентации деталей представляет собой замыкающее звено размерной цепи, составляющими звеньями которой являются все вышеприведенные погрешности. Следовательно, при количественном определении последней будем пользоваться методами расчета размерных цепей.

Вначале по каждой координатной оси определяются координата середины поля рассеяния суммарной погрешности относительной ориентации и практически предельные отклонения от среднего значения. Так как в состав суммарной погрешности относительной ориентации входят скалярные и векторные погрешности, то для каждой координатной оси получим

$$\Delta_{0\Sigma(X)} = \Delta_{E(X)} + \Delta_{0\Sigma t(X)} + \Delta_{0\Sigma s(X)}, \quad (6.10)$$

где $\Delta_{0\Sigma(X)}$ — координата середины поля рассеяния суммарной погрешности относительной ориентации по оси X ; $\Delta_{0\Sigma s(X)}$ — систематическая часть суммарной погрешности относительной ориентации по оси X ; $\Delta_{E(X)}$ — координата середины поля рассеяния, определяемая скалярными погрешностями по оси X ;

$\Delta_{0 \Sigma i(X)}$ — координата середины поля рассеяния, определяемая векторными погрешностями по оси X .

На основании работ П. Ф. Дунаева и Н. А. Бородачева можем написать

$$\Delta_{0 \Sigma i(X)} = \sum_{i=1}^{i=n} A_i(X) (\Delta_{0i(X)} + \alpha_{i(X)} \delta_{i(X)}) - \alpha_{\Sigma i(X)} \delta_{\Sigma i(X)}, \quad (6.11)$$

где Δ_0 — координата середины поля рассеяния (допуска); δ — половина поля рассеяния (допуска); α — коэффициент относительной асимметрии распределения в поле рассеяния (допуска); A — передаточное отношение между сопоставляемыми звеньями размерной цепи.

Индекс i относится к составляющим звеньям размерной цепи, а индекс Σi — к замыкающему звену.

Половина поля рассеяния суммарной погрешности относительной ориентации по оси X , обусловленной скалярными первичными погрешностями, определяется по следующей формуле:

$$\delta_{\Sigma i(X)} = \frac{1}{k_{\Sigma i(X)}} \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} A_i^2(X) k_i^2(X) \delta_i^2(X)}, \quad (6.12)$$

где k — коэффициент относительного рассеяния.

Для векторных погрешностей

$$\Delta_{0 \Sigma s(X)} = \sum_{s=1}^{s=n} A_s(X) C_{xs(X)} \delta_s - \alpha_{\Sigma s(X)} \delta_{\Sigma s(X)}, \quad (6.13)$$

где C_{xs} — приведенный коэффициент относительной асимметрии и половина поля рассеяния;

$$\delta_{\Sigma s(X)} = \frac{1}{k_{\Sigma s(X)}} \sqrt{\sum_{s=1}^{s=n} A_s^2(X) k_{xs}^2(X) \delta_s^2(X)}, \quad (6.14)$$

здесь k_{xs} — приведенный коэффициент относительного рассеяния.

Практически предельное отклонение от среднего значения (половина поля рассеяния) по одной оси определяется следующей формулой:

$$\delta_{\Sigma(X)} = \frac{1}{k_{\Sigma(X)}} \times \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} A_i^2(X) k_i^2(X) \delta_i^2(X) + \sum_{s=1}^{s=n} A_s^2(X) k_{xs}^2(X) \delta_s^2(X)} \quad (6.15)$$

Коэффициенты α_{Σ} и k_{Σ} для суммарной погрешности относительной ориентации определяются по эмпирическим формулам, предложенным П. Ф. Дунаевым:

$$\alpha_{\Sigma} = \frac{0,59 \sum_{i=1}^{i=n} A_i \alpha_i \delta_i}{\sum_{i=1}^{i=n} |A_i| \delta_i}; \quad (6.16)$$

$$k_{\Sigma} = 1 + \frac{0,55}{\sum_{i=1}^{i=n} \delta_i |A_i|} \left(\sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} A_i^2 k_i^2 \delta_i^2} - \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} A_i^2 \delta_i^2} \right). \quad (6.17)$$

Аналогично определяется координата середины поля рассеяния суммарной погрешности относительной ориентации по оси Y . Общая координата середины поля рассеяния суммарной погрешности относительной ориентации будет равна

$$\Delta_{0\Sigma} = \sqrt{\Delta_{0\Sigma(x)}^2 + \Delta_{0\Sigma(y)}^2} \quad (6.18)$$

и общая половина поля рассеяния определяется по формуле

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\Sigma(x)}^2 + \delta_{\Sigma(y)}^2}. \quad (6.19)$$

Практически предельное отклонение суммарной погрешности относительной ориентации от теоретического взаимного положения деталей перед их сопряжением

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{0\Sigma} \pm \delta_{\Sigma}. \quad (6.20)$$

Таким образом, суммарная погрешность относительной ориентации в каждом отдельном случае будет заключена в следующих пределах:

$$\Delta_{0\Sigma} - \delta_{\Sigma} \leq \Delta_{\Sigma} \leq \Delta_{0\Sigma} + \delta_{\Sigma}. \quad (6.21)$$

В таких сборочных станках, где преобладающее большинство первичных погрешностей действует по одной из координатных осей, суммарную погрешность относительной ориентации можно рассматривать по одной координатной оси, что в значительной мере упрощает расчет. Обычно за координатную ось, по которой рассматривается суммарная погрешность относительной ориентации, выбирается траектория движения ведомого звена транспортирующего устройства (в станках прямолинейного типа) и касательная к траектории движения (в станках роторного типа), так как в этих случаях сильно сказывается влияние точности работы транспортирующего устройства.

Основные положения по количественной оценке погрешности базирования. Величина погрешности базирования, как указывалось выше, непосредственно зависит от выбранной схемы базирования. Например, в тех случаях, когда базирование деталей

осуществляется по габариту, погрешность базирования обуславливается зазорами между базовой поверхностью детали и отверстием сборочного приспособления или сборочной головки. В таком случае положение детали в пределах поля зазора представляет собой векторную случайную величину, количественная величина которой определяется по формулам (6.13) и (6.14), только вместо δ_s берется половина поля рассеяния диаметрального зазора δ_z .

Приведенные коэффициенты $C_{x_s} = C_{x_z}$ и $k_{x_s} = k_{x_z}$ определяются по методике П. Ф. Дунаева в зависимости от принятого закона распределения положения детали в пределах зазора. Расчетные формулы коэффициентов k_{x_z} для зазоров $C_{x_z} = 0$ приведены в табл. 6.1. Как видно, приведенные коэффициенты зависят от величины середины поля рассеяния диаметрального зазора k_{x_z} и половины поля рассеяния диаметрального зазора Δ_{0z} , которые, в свою очередь, определяют по следующим формулам:

$$\Delta_{0z} = (N_a - N_b) + (\Delta_{0a} - \Delta_{0b}) + (\alpha_a \delta_a - \alpha_b \delta_b) - \alpha_z \delta_z; \quad (6.22)$$

$$\delta_z = \frac{1}{k_z} \sqrt{k_a^2 \delta_a^2 + k_b^2 \delta_b^2}, \quad (6.23)$$

где N — номинальное значение.

Индекс a относится к охватывающей поверхности, а индекс b — к охватываемой.

Коэффициенты относительной асимметрии α_z и относительного рассеяния k_z кривой распределения диаметрального зазора определяют по формулам (6.16) и (6.17).

Когда базовая поверхность детали задана координатами, коэффициенты k_{x_z} могут быть определены по формулам, приведенным в табл. 6.1, а в тех случаях, когда деталь будет все время соприкасаться с одной или с обеими стенками (противоположными), коэффициенты $C_{x_s} = C_{x_3}$ и $k_{x_s} = k_{x_3}$ по методике Н. А. Бородачаева подбирают по табл. 6.2. В последнем случае при расчете по формулам (6.1) и (6.2) вместо δ_s подставляется половина абсолютной величины поля зазора δ_3 в рассматриваемом сопряжении:

$$\delta_3 = \frac{1}{2} [(N_a - N_b)] + (\Delta_{0a} - \Delta_{0b}) + (\alpha_a \delta_a - \alpha_b \delta_b) + \frac{1}{k_3} \sqrt{k_a^2 \delta_a^2 + k_b^2 \delta_b^2}. \quad (6.24)$$

При указанных зазорах детали могут получить перекосы в пределах зазора. Погрешность базирования, вызванная этими перекосами,

$$\Delta_{\delta(\beta, z)} = L \sin \beta_2, \quad (6.25)$$

где L — расчетная длина от центра поворота детали при перекосе; β_2 — угол поворота детали, определяемый величиной зазора.

Кoeffици-ент	Закон распределения детали в поле зазора						
	Равновероятное положение по радиусу	Гаусса (0 — 3σ) по радиусу	Гаусса (от —3σ до +3σ) по радиусу	По равному возрасту на радиусе	Деталь примыкает к одной стенке равномерно по окружности	Равновероятное в любой точке поля зазора (круговой закон)	Гаусса в любой точке поля зазора (круговой закон)
k_{xz}	Базовая поверхность задана двумя координатами				Базовые поверхности цилиндрические		
	$0,4325 \times \left(1 + \frac{O_{0z}}{\delta_z}\right)$	$0,303 \times \left(1 + \frac{\Delta_{0z}}{\delta_z}\right)$	$0,25 \times \left(1 + \frac{O_{0z}}{\delta_z}\right)$	$0,297 \times \left(1 + \frac{\Delta_{0z}}{\delta_z}\right)$	$\sqrt{0,5 \left[k_z^2 + 2,25 \times \left(\alpha_z + \frac{\Delta_{0z}}{\delta_z} \right) \right]}$	$0,614 \times \left(1 + \frac{\Delta_{0z}}{\delta_z}\right)$	$0,447 \times \left(1 + \frac{\Delta_{0z}}{\delta_z}\right)$

Таблица 6.2

Распределение зазоров	Положение детали в поле зазора			
	Примыкает к одной стенке		Примыкает равномерно к обеим стенкам	
	C_{xz}	k_{xz}	C_{xz}	k_{xz}
По закону Гаусса	± 0,5	0,5	0	1,58
По закону равной вероятности	± 0,5	0,86	0	1,73

Таблица 6.3

Кoeffици-ент	Закон распределения погрешностей					
	по отрезку кривой Гаусса (от —3σ до 0)	при равно-возрастном распределении	по закону равной вероятности	по кривой Гаусса (от —3σ до +3σ)	по кривой Максвелла	по отрезку кривой Гаусса (от 0 до +3σ)
k_s	3,23	2,94	2,45	2,24	1,73	1,41

Следует указать, что при учете погрешности базирования, вызванной перекосами в пределах зазоров, не нужно учитывать радиального смещения детали в поле зазора, так как в противном случае погрешность базирования, вызванная зазорами, будет учтена два раза. Погрешность базирования, вызванная перекосом сопрягаемой поверхности относительно базовой, определяют по следующей формуле:

$$\Delta_{\delta(\beta)} = l \operatorname{tg} \beta, \quad (6.26)$$

где l — длина поверхности, входящей в сопряжение; β — угол перекоса сопрягаемой поверхности относительно базовой.

Указанные перекосы также определяют по двум координатным осям. Погрешность базирования, вызванная эксцентриситетом (смещением осей), определяют по формулам (6.13) и (6.14), а коэффициенты k_{xs} и C_{xs} (при $C_{xz} = 0$) подбирают по табл. 6.3.

В тех случаях, когда базовая поверхность задана двумя координатами, погрешность базирования, вызванная смещением сопрягаемых поверхностей относительно базовой, определяют по формулам (6.11) и (6.12), а коэффициенты α_i и k_i подбирают по табл. 6.4.

Таблица 6.4

Кoeffициент	Закон распределения погрешностей					
	Гаусса	по отрезку кривой Гаусса (от 0 до $+3\sigma$)	Максвелла	равной вероятности	равновозрастающее распределение	Симпсона
α_i	0	—0,47	—0,28	0	0,33	0
k_i	1,0	1,21	1,14	1,73	1,41	1,22

Суммарная погрешность фиксации определяется погрешностью деления и погрешностью фиксации. Погрешность деления имеет систематический характер и учитывается своей полной величиной, которая определяется точностью расположения сухарей под фиксатор. Погрешность фиксации имеет случайный характер и ее можно представить в виде следующей функции:

$$\Delta_{\phi} = \varphi(\Delta_{к. \phi}, \Delta_{п}, P_{\phi}, J_{\phi}), \quad (6.27)$$

где $\Delta_{к. \phi}$ — погрешность, определяемая конструкцией фиксирующего механизма и точностью его изготовления; $\Delta_{п}$ — погрешность положения ведомого звена транспортирующего устройства (питателя) в конечном положении, определяемая точностью работы механизмов периодических перемещений; P_{ϕ} — сила, действующая на фиксатор; J_{ϕ} — жесткость фиксирующего механизма.

Как видно из уравнения (6.27), погрешность фиксации определяется многими факторами и будет иметь нормальный закон

распределения. Количественная величина Δ_{ϕ} определяется экспериментальным путем для каждой отдельной конструкции транспортирующего устройства, и, как показывают исследования, кроме точности изготовления фиксирующего механизма, большое влияние на эту величину оказывает вид механизмов периодических перемещений и режим работы последних.

После определения отдельных составляющих (Δ'_{Σ} , Δ_{δ} , Δ_{π}) суммарной погрешности относительной ориентации количественную величину последней определяют по формулам (6.10)—(6.15) и (6.18)—(6.20). При рассмотрении целой группы одинаковых станков все перечисленные выше погрешности являются случайными и пределы колебания последних определяются соответствующими допусками.

Расчет на максимум и минимум. Иногда этот расчет называют методом наихудшего случая, основываясь на правиле арифметического сложения номинальных значений размеров, допусков и погрешностей. Рассмотрим этот способ на примере сборки втулки и ступицы.

Для типового соединения валика со втулкой условие собираемости выражается в следующем виде:

$$\Delta_{\Sigma \max} \leq \frac{\Delta_{z \min}}{2}, \quad (6.28)$$

где $\Delta_{\Sigma \max}$ — максимальная суммарная погрешность относительной ориентации собираемых деталей, которая представляет собой взаимное смещение осей собираемых деталей; $\Delta_{z \min}$ — минимальный диаметральный зазор.

Но при сборке таких деталей, которые имеют посадки с натягом и переходные посадки, выдержать это условие практически невозможно. Таким образом, при сборке деталей с указанными посадками должны быть предусмотрены соответствующие компенсаторы, в качестве которых обычно служат фаски и радиусы закругления на собираемых деталях, а для одной из собираемых деталей на сборочной позиции оставляют некоторые степени свободы. При этом условие собираемости выражается так:

$$\Delta_{\Sigma \max} \leq \frac{\Delta_{z \min}}{2} + k, \quad (6.29)$$

где k — величина, компенсирующая часть суммарной погрешности относительной ориентации собираемых деталей.

При известных $\Delta_{\Sigma \max}$ и k можно определить величину допустимого минимального диаметрального зазора в сопряжении:

$$[\Delta_{z \min}] \geq 2 (\Delta_{\Sigma \max} - k). \quad (6.30)$$

С другой стороны, допустимая минимальная величина диаметрального зазора не должна превышать минимального диаметрального зазора $\Delta_{z \min}$, определяемого посадкой соединения собираемых деталей.

При известных $\Delta_{z \min}$ и $\Delta_{\Sigma \max}$ можно определить необходимую величину фаски или радиуса закругления на собираемых деталях, которая равна:

для посадок с зазором

$$k \geq \Delta_{\Sigma \max} - \frac{\Delta_{z \min}}{2}; \quad (6.31)$$

для посадок с натягом

$$K \geq \Delta_{\Sigma \max} + \frac{\Delta_{н \max}}{2}, \quad (6.32)$$

где $\Delta_{н \max}$ — максимальная величина натяга.

Величины $\Delta_{z \max}$, $\Delta_{z \min}$ и $\Delta_{н \max}$, в свою очередь, являются замыкающими звеньями соответствующих размерных цепей, величина которых может быть определена по методу максимума-минимума и теоретико-вероятностному методу. Ниже приведен расчет только по первому методу для двух схем. Базирование собираемых деталей на сборочной позиции рассматривается в одной координатной плоскости.

Базирование валика и втулки (диска) на сборочной позиции осуществляется по наружным поверхностям, как показано на рис. 6.2. Для нормального протекания процесса сборки необходимо, чтобы

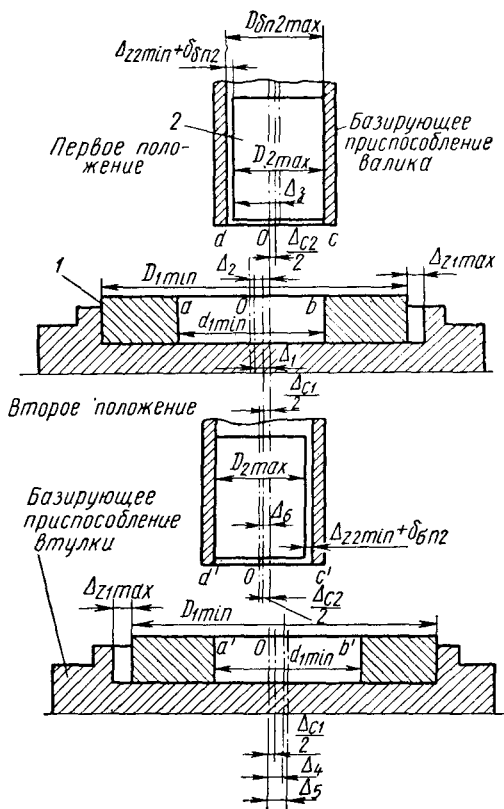


Рис. 6.2. Схемы определения минимального допустимого зазора в сопряжении при базировании валика 1 и втулки 2 по наружным поверхностям

$$cd' \leq ab'; \quad (6.33)$$

$$cd' = D_{2\max} + \Delta_3 + \Delta_6; \quad (6.34)$$

$$a'b = d_{1\min} - \Delta_2 - \Delta_5, \quad (6.35)$$

где $D_{2\max}$ — максимальный диаметр валика 1; $d_{1\min}$ — минимальный внутренний диаметр втулки 2; Δ_2 — смещение оси внутреннего диаметра втулки относительно оси OO в первом крайнем положении собираемых деталей; Δ_3 — смещение оси валика относительно оси OO в первом крайнем положении собираемых дета-

лей; Δ_5 — смещение оси внутреннего диаметра втулки относительно оси OO во втором крайнем положении собираемых деталей; Δ_6 — смещение оси валика относительно оси OO во втором крайнем положении собираемых деталей.

За ось отсчета OO принимается ось базирующего приспособления втулки при $\Delta_{c1} = 0$.

Величины Δ_1 и Δ_4 , показанные на рис. 6.2, представляют собой смещение осей наружного диаметра втулки относительно

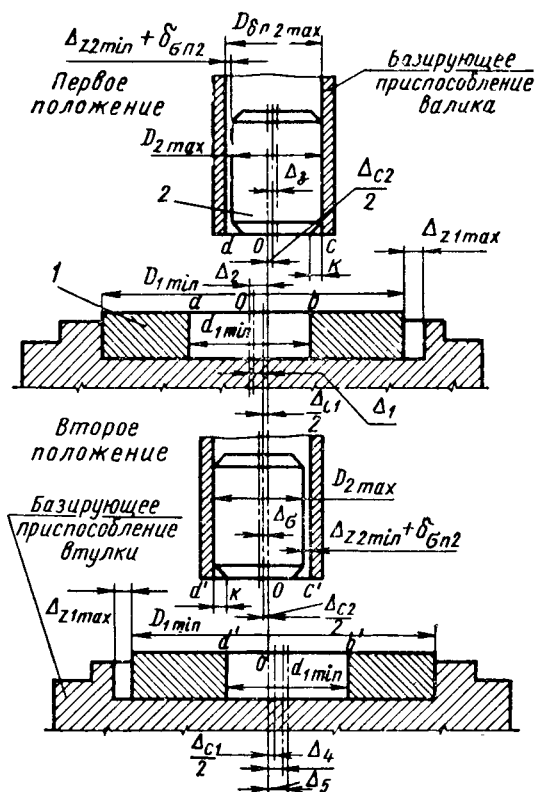


Рис. 6.3. Схемы определения величины фаски при базировании валика 2 и втулки 1 по наружным поверхностям

оси OO соответственно в первом и втором крайних положениях собираемых деталей.

После подстановки и значений из уравнения (6.35) в неравенство (6.33), проведя некоторые преобразования, получим

$$[\Delta_z \text{ min}] \geq \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_5 + \Delta_6. \quad (6.36)$$

Величины, входящие в правую часть неравенства для данной схемы базирования деталей, равны:

$$\Delta_2 = \frac{\Delta_{c1} + \Delta_{z1 \max}}{2} + \Delta\beta_1 + \Delta_{\varepsilon 1}; \quad (6.37)$$

$$\Delta_3 = \frac{\Delta_{c2} + \Delta_{z2 \min} + \delta_{\sigma n2}}{2}; \quad (6.38)$$

$$\Delta_5 = \frac{1}{2}(\Delta_{c1} + \Delta_{z2 \max}) + \Delta_{\varepsilon 1} + \Delta\beta_1; \quad (6.39)$$

$$\Delta_6 = \frac{1}{2}(\Delta_{c2} + \Delta_{z2 \min} + \delta_{\sigma n2}), \quad (6.40)$$

где Δ_{c1} — погрешность установки базирующего приспособления (сборочного приспособления) для втулки; при многопозиционной сборке сюда еще входит погрешность положения ведомого звена транспортирующего устройства, на котором закреплены базирующие приспособления; Δ_{c2} — погрешность установки базирующего приспособления (сборочной головки) для валика; $\Delta_{z1 \max}$ — максимальный диаметральный зазор между наружной поверхностью втулки и базирующего приспособления; $\Delta_{z2 \min}$ — минимальный диаметральный зазор между валиком и базирующим приспособлением; $\delta_{\sigma n2}$ — допуск на изготовление базирующего приспособления валика; $\Delta_{\varepsilon 1}$ — эксцентricность внутренней поверхности втулки относительно наружной; $\Delta\beta_1$ — погрешность, вызванная перекосом оси внутреннего диаметра втулки;

$$\Delta_{z1 \max} = \delta_{D1} + \delta_{\sigma n1} + \Delta_{zi \min}, \quad (6.41)$$

где $\delta_{\sigma n1}$ — допуск на изготовление базирующего приспособления втулки (сборочного приспособления).

Подставляя в неравенство (6.36) значения из уравнений (6.38) и (6.41), получим

$$[\Delta_{z \min}] \geq \delta_{D1} + \Delta_{z1 \min} + \Delta_{z2 \min} + \delta_{\sigma n1} + \delta_{\sigma n2} + 2(\Delta_{\varepsilon 1} + \Delta\beta_1) + \Delta_{c1} + \Delta_{c2}. \quad (6.42)$$

Минимальная величина фаски или радиуса закругления для посадок с зазором (рис. 6.3)

$$k \geq \frac{1}{2}(\delta_{D1} + \Delta_{z1 \min} + \Delta_{z2 \min} + \delta_{\sigma n1} + \delta_{\sigma n2} + \Delta_{c1} + \Delta_{c2} - \Delta_{z \max}) + \Delta_{\varepsilon 1} + \Delta\beta_1. \quad (6.43)$$

Минимальная величина фаски или радиуса закругления для посадок с натягом

$$k \geq \frac{1}{2}(\delta_{D1} + \Delta_{zi \min} + \Delta_{z2 \min} + \delta_{\sigma n1} + \delta_{\sigma n2} + \Delta_{c1} + \Delta_{c2} + \Delta_{H \max}) + \Delta_{\varepsilon 1} + \Delta\beta_1. \quad (6.44)$$

При данной схеме базирования деталей на сборочной позиции и жестком креплении базирующих приспособлений величина фаски

или радиуса закругления не должна превышать следующего значения:

для посадок с зазором

$$k \leq \Delta_{z1 \min} + \Delta_{z2 \min}; \quad (6.45)$$

для посадок с натягом

$$k \leq \Delta_{z1 \min} + \Delta_{z2 \min} + \frac{1}{2} \Delta_{H \max}. \quad (6.46)$$

В противном случае фаски или радиусы закругления становятся неэффективными. Но как видно из неравенства (6.42), увеличение зазоров требует увеличения допустимой величины минимального зазора в самом соединении собираемого узла.

Следовательно, более целесообразно использовать плавающее крепление одного из базирующих устройств, а зазоры $\Delta_{z1 \min}$ и $\Delta_{z2 \min}$ свести до минимума.

Базирование валика по наружной поверхности, а втулки — коническим пальцем по внутренней поверхности (рис. 6.4).

При данной схеме базирования минимальная величина допустимого зазора [$\Delta_{z \min}$] и величина k определяются по той же самой методике, что и для первой. В данном случае указанные величины выражаются так:

$$[\Delta_{z \min}] \geq \Delta_{z2 \min} + \delta_{\sigma_{п2}} + 2\Delta\beta_1 + \Delta_{c1} + \Delta_{c2}. \quad (6.47)$$

Минимальная величина фаски или радиуса закругления равна (рис. 6.5):

для посадок с зазором

$$k \geq \frac{1}{2} [\Delta_{z2 \min} + \delta_{\sigma_{п2}} + 2\Delta\beta_1 + \Delta_{c1} + \Delta_{c2} - \Delta_{z \min}]; \quad (6.48)$$

для посадок с натягом

$$k \geq \frac{1}{2} [\Delta_{z2 \min} + \delta_{\sigma_{п2}} + 2\Delta\beta_1 + \Delta_{c1} + \Delta_{c2} - \Delta_{H \min}]. \quad (6.49)$$

Для посадок с зазором

$$k > \Delta_{z2 \min}, \quad (6.50)$$

для посадки с натягом

$$k > \Delta_{z2 \min} + \frac{1}{2} \Delta_{H \max}.$$

Необходимо предусмотреть плавающее крепление для одного из базирующих приспособлений. Из формул (6.45), (6.46), (6.48), (6.49), (6.50) видно, что при данной схеме базирования точность изготовления наружной поверхности втулки не оказывает влияния на величины $\Delta_{z \min}$ и k и может быть любой.

При известной точности изготовления собираемых деталей и данной величине k из формул (6.43), (6.46), (6.47), (6.49), (6.50) могут быть определены величины Δ_{c1} и Δ_{c2} , т. е. необходимая точность изготовления самого сборочного агрегата.

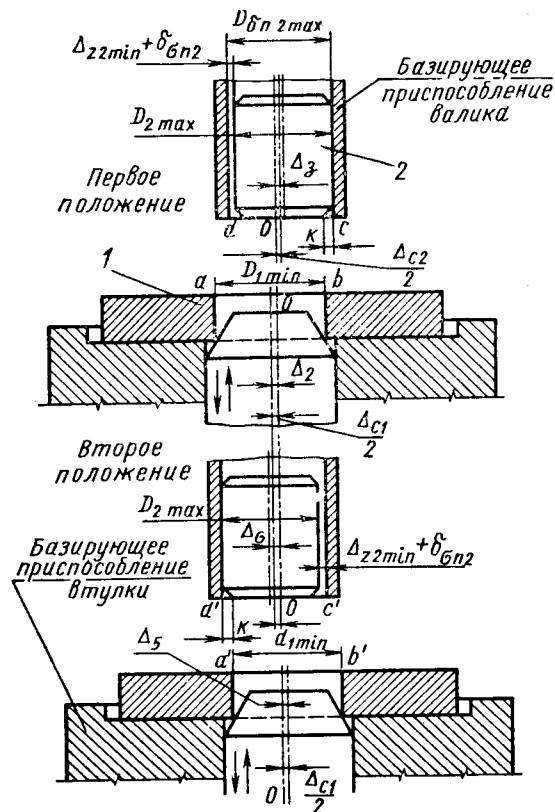


Рис. 6.4. Схемы определения минимального допустимого зазора в сопряжении при базировании валика 2 по наружной поверхности, а втулки 1 коническим пальцем по внутренней поверхности

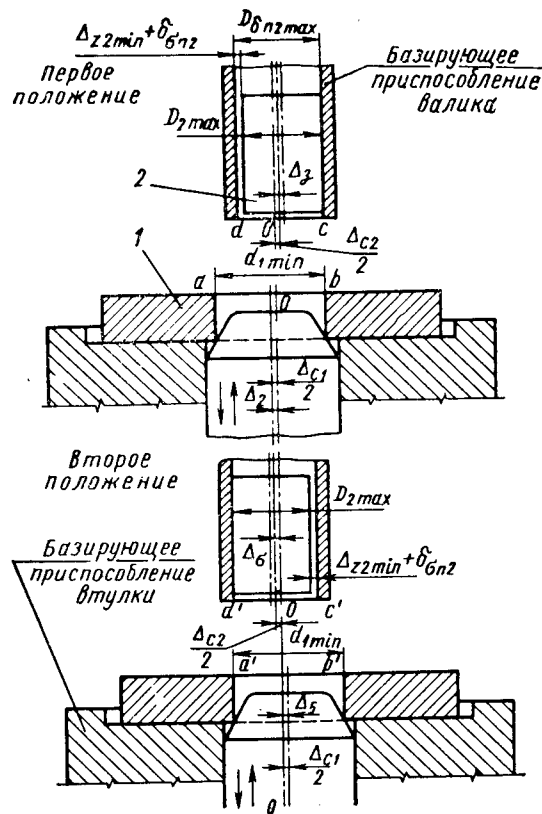


Рис. 6.5. Схемы определения величины фаски при базировании валика 2 по наружной поверхности, а втулки 1 коническим пальцем по внутренней поверхности

§ 6.6. СТАНКИ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ

Станки для автоматической сборки можно разбить на однопозиционные и многопозиционные, а по степени автоматизации — на полуавтоматические и автоматические.

Однопозиционные станки для автоматической сборки применяются для сборки изделий или сборочных единиц, состоящих из 2—3 деталей. Как правило, на них выполняются сборочные операции, состоящие из одного перехода. Большая часть эксплуатируемых в промышленности однопозиционных станков для сборки

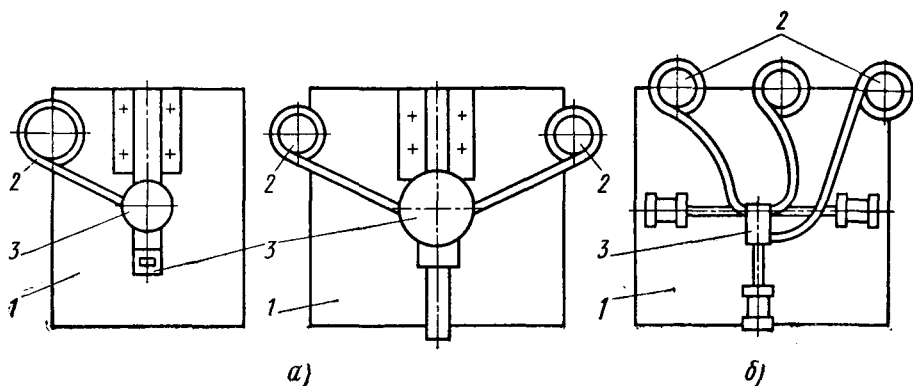


Рис. 6.6. Схемы планировки однопозиционных сборочных полуавтоматов (а) и автоматов (б)

является полуавтоматами. В полуавтоматах собственно сборка, а иногда и подача части собираемых деталей осуществляются автоматически, все же остальные цикловые операции производятся оператором.

На рис. 6.6 показаны схемы планировки однопозиционных полуавтоматических станков и автоматов для сборки. Станки состоят из станины 1, одного или двух загрузочных устройств 2 для подачи собираемых деталей и рабочей головки 3, шпиндель которой несет инструмент для сборки; в зависимости от характера соединения рабочая головка обеспечивает возвратно-поступательное, вращательное или винтовое движения. При большом разнообразии сборочных операций и конструкций устройств для этих операций траектория рабочего движения в большинстве случаев оказывается простой. Под траекторией рабочего движения будем понимать траекторию относительного движения рабочего органа автомата и объекта сборки. В табл. 6.5 приводятся виды относительного движения, используемые в операциях закрепления.

Наличие простых видов относительного движения позволяет создавать простые типовые конструкции рабочих головок, обеспечивающих выполнение групп операций, характеризующихся общностью траектории. В качестве механизмов для осуществления

Операция	Вид движения			Операция	Вид движения		
	Прямолинейное	Вращательное	Винтовое (по спирали)		Прямолинейное	Вращательное	Винтовое (по спирали)
Клепка	+	—	+	Развальцовка	+	—	+
Сварка	+	+	—	Отбортовка	+	+	—
Пайка	+	+	—	Чеканка	+	—	—
Запрессовка и напрессовка . . .	+	—	—	Намотка	—	+	+
				Завинчивание	—	—	+

в рабочих головках основных движений используют: а) для прямолинейного движения — кулачковый, кулисный, кривошипный или эксцентриковый механизмы, зубчатые колеса в сочетании с рейкой, рычажные механизмы, пневматический или гидравлический цилиндр, соленоид (электромагнит); б) для вращательного движения — электродвигатель, пневматический или гидравлические двигатели; в) для винтового движения — комбинацию средств, обеспечивающих первые два вида движений.

В тех случаях, когда предельный момент вращения или усилия в операции сборки регламентирован в рабочей головке, предусматриваются предохранительные механизмы (муфты, клапаны и т. п.)

В однопозиционных автоматах для сборки все цикловые операции осуществляются автоматически. Многопозиционные станки для сборки характеризуются последовательным осуществлением двух и более переходов, причем наряду с переходами сборки могут иметь место переходы механической обработки резанием, термической и химической обработки, а в ряде случаев и контроля собранного изделия.

Многопозиционная сборка может осуществляться последовательным, параллельным и последовательно-параллельным методами. Последовательный метод сборки характеризуется использованием одноинструментальных рабочих органов, при этом методе сборки каждая последующая технологическая операция может начинаться либо сразу после предыдущей, либо через некоторый промежуток времени, но не раньше, чем закончится предыдущая. Параллельный метод сборки характеризуется тем, что все операции могут производиться одновременно. При этом в зависимости от характера сборки начало и окончание отдельных операций и переходов может совпадать или не совпадать во времени. Параллельный метод сборки характеризуется использованием, как правило, многоинструментальных рабочих органов.

Последовательно-параллельный метод сборки представляет сочетание последовательного и параллельного выполнения отдельных технологических операций и переходов.

Многопозиционный станок для автоматической сборки, как правило, имеет следующие основные узлы:

а) автоматические загрузочные устройства, обеспечивающие ориентацию и подачу на сборочную позицию собираемых деталей;

б) устройства (стационарные приспособления или спутники), в которых обеспечивается установка базовой детали и необходимое взаимное с ней положение собираемых деталей;

в) транспортные устройства, перемещающие приспособления или спутники с одной позиции станка к другой; в качестве транспортных устройств используют поворотные столы, грейферные механизмы или механизмы, замкнутые с прямолинейным перемещением и гибкой связью;

г) рабочие головки (исполнительные механизмы), осуществляющие процесс соединения, а также необходимые для сборки данного изделия (сборочной единицы) технологические операции, как-то: обработка резанием, нагрев, покрытие и т. д.;

д) механизмы съема собранных изделий (сборочных единиц);

е) системы управления, включающие в некоторых случаях устройства для контроля наличия деталей или правильности их ориентации в приспособлениях и связанные с ними блокировочные механизмы.

Если все цикловые операции выполняются автоматически, то станки относятся к автоматам, а если одна или несколько цикловых операций осуществляются оператором — то к полуавтоматам.

По способу компоновки многопозиционные автоматы и полуавтоматы для сборки могут быть разбиты на следующие группы: а) дискретного действия с поворотным столом; б) дискретного действия с линейной транспортной системой; в) непрерывно-последовательного действия роторного типа; г) непрерывно-последовательного действия с пневмочервячной транспортной системой; д) комбинированные, т. е. сочетающие различные по действию сборочные станки.

Автоматические многопозиционные станки для сборки, отнесенные к группам в, г, д, чаще называют автоматическими линиями, их схемы будут рассмотрены в гл. 7.

Схемы планировки многопозиционных станков дискретного действия с поворотным столом показаны на рис. 6.7.

По компоновке они делятся на многопозиционные станки со столами, расположенными в горизонтальной плоскости и периодически поворачивающимися относительно вертикальной оси, и многопозиционные станки с дисками или барабанами, расположенными в вертикальной плоскости (на рис. 6.7 отсутствуют) и периодически поворачивающимися относительно горизонтальной оси. Первые, т. е. станки со столами, расположенными в горизонталь-

ной плоскости, в приборостроении имеют преимущественное применение.

Основу станков со столом, расположенным в горизонтальной плоскости (рис. 6.7, а), составляет круглый стол 1, получающий периодический поворот от храпового, цевочного или мальтийского механизмов с последующим фиксированием в заданном положении механизмом фиксации 7. На круглом столе станка установлены

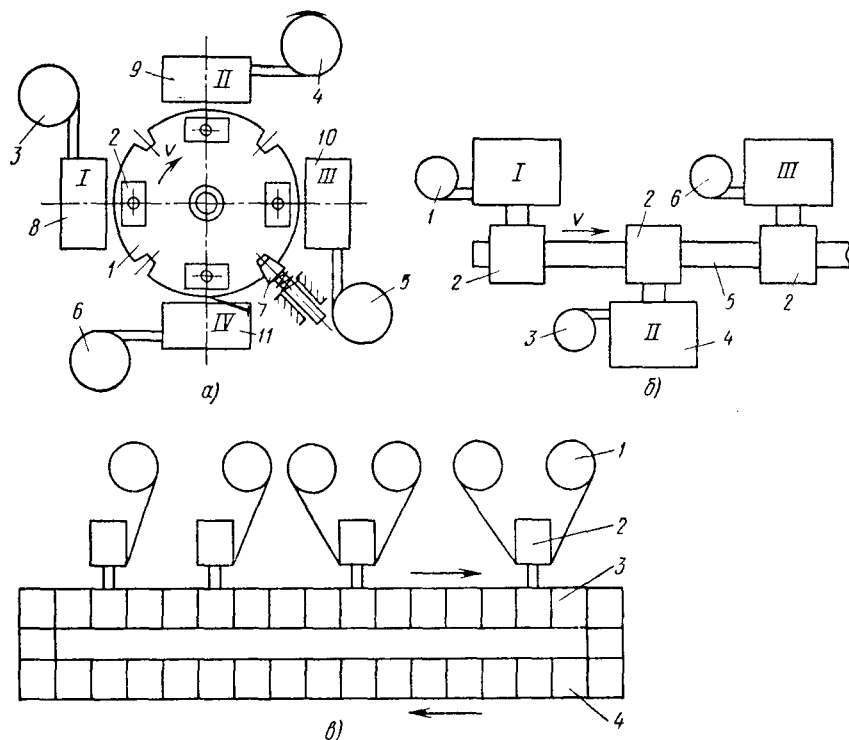


Рис. 6.7. Схемы планировок многопозиционных сборочных полуавтоматов и автоматов

приспособления 2, в которые из загрузочных устройств 3, 4, 5, 6 поступают базовая деталь и собираемые с ней детали.

Приспособления имеют постоянное крепление или выполняются плавающими, в последнем случае после поворота круглого стола они получают необходимую ориентацию (фиксирование) относительно рабочих головок 8, 9, 10, 11. В момент выстоя круглого стола происходит сборка, в результате чего комплектующие детали собираются с базовой. Процесс сборки осуществляется последовательно. Разгрузка собранного изделия (сборочной единицы) происходит после позиции IV в процессе поворота круглого стола. Станки с такой планировкой просты по конструкции, при относительно небольших затратах могут быть переналажены на другой

вид продукции и легко поддаются агрегатированию. Недостатком станков с этой планировкой следует считать их громоздкость при сборке изделия (сборочной единицы), состоящего из многих деталей (более 6—8), а также сложность обслуживания ввиду труднодоступности к рабочим головкам и приспособлениям.

Многопозиционные станки со столом, расположенным в горизонтальной плоскости, имеют следующие характеристики: диаметр круглого стола до 3 м, число позиций от 3 до 36, точность поворота зависит от используемого механизма поворота, такт работы составляет от 7—8 до 1 с. Как указывалось, многопозиционные станки с дисками или барабанами, поворачивающимися относительно горизонтальной оси, имеют меньшее распространение. Они применяются для сборки изделий, относимых к классу тел вращения (предохранители, резисторы и т. п.), состоящих из 3—4 деталей (диаметр диска или барабана не более 500—700 мм, число позиций 4—10).

Станок, схема планировки которого показана на рис. 6.7, б, то же дискретного действия, но с линейной транспортной системой. В этом станке базовая деталь из загрузочного устройства 1 поступает в приспособление-спутник 2 и в последнем шаговым транспортным устройством 5 перемещается во вторую позицию, где из питателя загрузочного устройства 3 подается комплектующая деталь, происходит фиксирование приспособления-спутника 2 и собственно сборка (или какая-либо обработка, если в этом есть необходимость) в результате воздействия инструмента, смонтированного в рабочей головке 4. После расфиксирования приспособления-спутника последнее транспортером 5 перемещается в следующую позицию сборки, в которой комплектующая деталь поступает из загрузочного устройства 6, происходит повторение цикла сборки (обработка), после чего опять происходит расфиксирование приспособления-спутника 2 и его перемещение в следующую позицию. В зависимости от характера собираемого изделия (сборочной единицы), вида соединений, используемых при сборке, станки этого типа могут выполняться с приспособлениями-спутниками и без приспособлений.

Планировка многопозиционных станков с шаговым транспортером может быть различной. В приборостроении распространены как станки прямолинейного типа, так и станки с замкнутым контуром.

Схема планировки многопозиционного станка для сборки с замкнутым в плане контуром транспортера показана на рис. 6.7, в. Здесь ветвь 3 транспортера является рабочей частью и вдоль нее расположены рабочие головки 2, устанавливающие на базовую деталь комплектующие детали или несущие инструменты для обработки резанием, или устройства для нагрева, или нанесения покрытий и т. п. Подача комплектующих деталей к рабочим головкам осуществляется из загрузочных устройств 1.

Холостая ветвь 4 транспортера — передняя — служит для возврата приспособлений-спутников. У этой ветви находится оператор или устанавливается специальное автоматическое разгрузочное устройство, которое снимает собранные изделия (сборочные узлы). Многопозиционные станки, отнесенные к этой группе, чаще называют, как и указывалось выше, автоматическими линиями, они имеют следующие характеристики: число рабочих позиций, а следовательно, и рабочих головок от 2 до 50, такт работы от 24 до 1,5 с. Достоинством станков с шаговыми транспортерами следует считать возможность автоматической сборки изделий (сборочных единиц), состоящих из большого числа деталей, их компактность, а также доступность к рабочим головкам и другим механизмам при обслуживании и ремонте.

Агрегатные станки для сборки являются специальными станками из стандартных агрегатов, узлов и деталей, предназначенных для осуществления определенных функций. Основными узлами агрегатных станков являются станина, поворотный стол, на котором устанавливаются приспособления для удерживания и ориентации относительно друг друга собираемых деталей, силовые головки, осуществляющие сборку или обработку отдельных поверхностей у собираемых деталей или собранного узла, загрузочные устройства, питающие собираемыми деталями станок.

Силовые головки и загрузочные устройства монтируют на неподвижном столе или на кронштейнах горизонтальных, вертикальных или наклонных. Управление станком (линией) сосредоточено на специальном пульте, а вся электроаппаратура обычно размещена в специальном шкафу. Агрегатные станки для сборки по конструкции подразделяют на однопозиционные и многопозиционные. Первые используются очень редко, что и дает основание их не рассматривать.

Многопозиционные агрегатные станки для сборки бывают с круговым движением стола, на котором установлены приспособления для собираемых деталей, и с прямолинейным движением приспособлений от позиции к позиции. Последний тип станков используется для сборки узлов (изделий), состоящих из большого числа деталей.

Схема многопозиционного агрегатного станка линейного типа показана на рис. 6.8. Конструкция состоит из привода, куда входит электродвигатель 1, клиноременная передача (шків 2, ремень 3, шків 4, редуктор 5, зубчатая передача 6, 7). Привод передает вращение на распределительный вал 8, где расположены кулачки 9 для подъема и опускания траверсы 10. Кулачки 11 и 23 через рычаги 12 и 24 и тяги 13 и 25 осуществляют продольное перемещение спутников, а кулачки 14 и 17 через механизмы подачи 15, 16, 18, 19 — поперечное. От звездочки 20 через цепь 21 синхронное вращение передается на вал блока управления 22.

В базовой конструкции имеются компенсаторы усилий (давления), выполненные в виде механизмов, состоящих из грузов 27,

рычагов 28, штоков 29 и площадок 30. Компенсаторы усилий служат для ограничения усилий при выполнении сборочных операций методом пластического деформирования. Силовые головки, применяемые в этих станках, получают движение от траверсы 10. В случае превышения заданного усилия, регулируемого грузом 27, силовой элемент головки передает давление на спутник 26, пло-

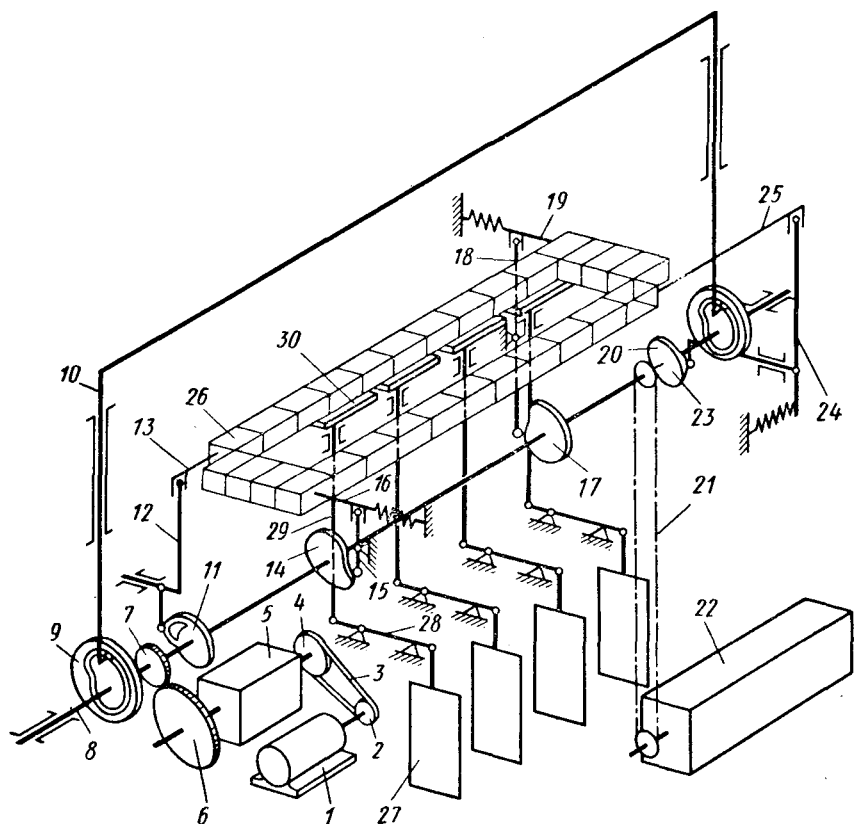


Рис. 6.8. Кинематическая схема многопозиционного агрегатного сборочного автомата линейного типа

щадку 30 и через рычаги 28 и штоки 29 поднимает груз. Таким образом, давление (усилие) при сборке сохраняется постоянным.

На рис. 6.9 показана схема основных узлов (без исполнительных механизмов) агрегатного станка для сборки с круговым движением стола. К этим узлам относится станина, поворотный стол, привод, узел управления работой технологических и вспомогательных исполнительных механизмов. Станина 6 — литая коробчатая; на станине смонтирован электродвигатель 5, который через клиноременную передачу сообщает вращение червяку 3, а последний — червячному колесу 4, сидящему на конце распределительного

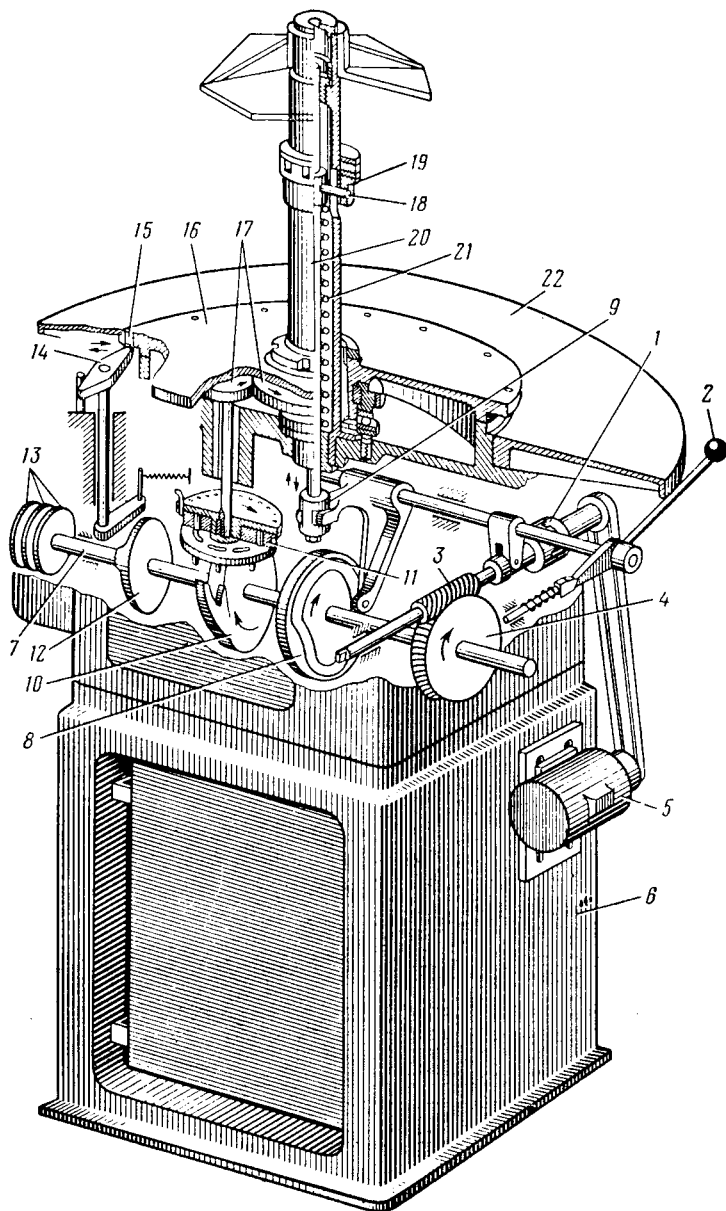


Рис. 6.9. Схема агрегатного станка для сборки с круговым движением стола

вала 7. Для включения и выключения распределительного вала предусмотрена кулачковая муфта 1, управляемая через вильчатый рычаг рукояткой 2. На распределительном валу 7 смонтированы кулачки, управляющие приводом исполнительных механизмов,

поворотом стола, фиксацией стола и управлением электросхемой, контрольными и силовыми головками. Кулачок 8 с двусторонними рабочими кривыми управляет приводом исполнительных механизмов. Он воздействует через ролик на рычаг 9 промежуточного валика. Вращательное движение рычага 9 преобразуется в возвратно-поступательное движение штанги 20, которое передается через па-

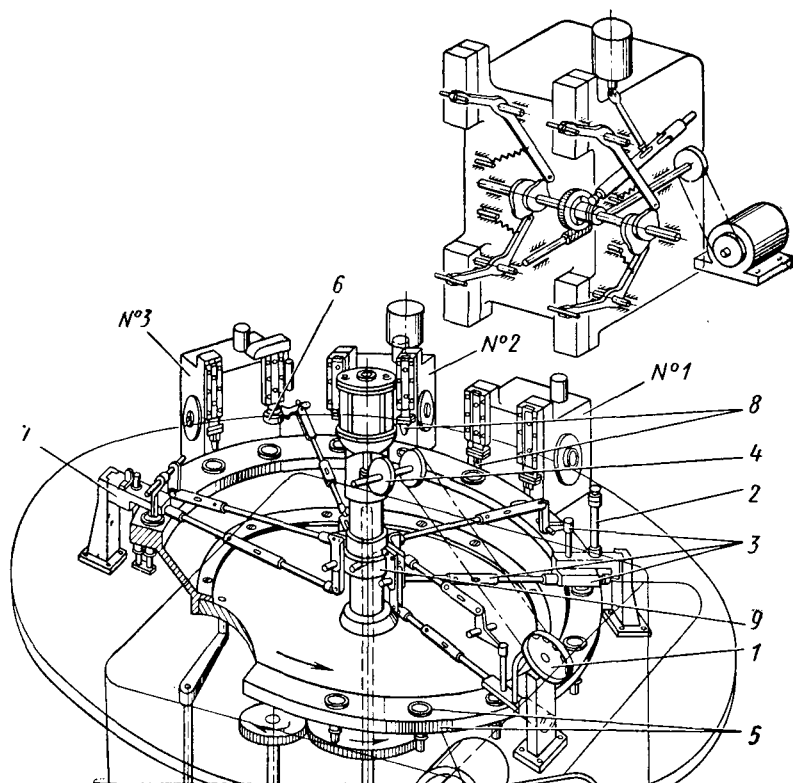


Рис. 6.10. Схема станка для сборки зубчатых колес с трибами

лец 18 муфте 19, а последняя воздействует на промежуточные рычаги, передающие перемещение исполнительным механизмам.

Рабочим ходом штанги принято движение вверх. В процессе этого движения пружина отдает накопленную энергию, облегчая работу кулачка 8. Привод исполнительных механизмов смонтирован на центральной колонне 21, которая одновременно является цапфой для размещения поворотного стола 16 и кольца-платформы 22 для исполнительных механизмов и загрузочных устройств. На столе 16 установлены шаговые упоры 15, число которых соответствует числу позиций, необходимых для полного осуществления процесса сборки узла (изделия). Поворот стола с шаговыми упорами осуществляется цилиндрическим пазовым кулачком 10,

который, воздействуя на очередной палец поворотной муфты 11, вращает валик и через зубчатые колеса 17 — стол станка.

Муфта 11 состоит из трех дисков; в нижний диск запрессованы пальцы, входящие в контакт с пазом кулачка; верхний диск, сидящий на валу, имеет шесть пальцев, которые входят в дугообразные прорези среднего диска, где смонтированы буферные пружины. Такое исполнение муфты обеспечивает плавность поворота и плотное прижатие упора 15 стола к фиксатору 14. Перед поворотом стола муфта за счет спада кривой кулачка 10 разворачивается в противоположную сторону, пружины муфты разжимаются, снимают нагрузки с упора 15. Фиксатор 14 в результате воздействия на него кулачка 12 поворачивается и позволяет свободнее пройти упору 15 стола, после чего фиксатор 14 возвращается в исходное положение и входит в контакт с очередным упором 15 стола 16. Как и указывалось, на распределительном валу смонтирована еще группа кулачков 13, служащих для управления электросхемой и силовыми головками.

На платформе 22 вокруг поворотного стола 16 монтируются исполнительные механизмы: электромагнитные прессы, силовые головки для клепки, кернения, прессы для запрессовки и т. д. в последовательности сборки. Конструкции исполнительных органов не приведены, так как они могут быть созданы на базе устройств, рассмотренных в гл. 6.

В порядке иллюстрации использования рассмотренного типа агрегатного станка на рис. 6.10 приведена схема автомата для сборки зубчатых колес с трибами. Автомат состоит из бункерного загрузочного устройства для трибов 1 с приводом 4, магазинного загрузочного устройства для зубчатых колес 2, отсекаателя с досылателями 3, поворотного стола 5, механизма для проверки прочности соединения на крутящий момент 6 и механизма разгрузки 7. Кроме того, имеются силовые головки № 1, 2, 3, осуществляющие собственно сборку и контроль. В головках установлен инструмент 8. Привод отсекаателей с досылателями производится от кулачка поводковой муфты 9. Процесс сборки состоит из девяти переходов. С рядом конструкций агрегатных станков и исполнительных узлов этих станков можно ознакомиться в книгах [10, 11, 18].

Глава 7

ПОТОЧНЫЕ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ

§ 7.1. СВЯЗЬ МЕЖДУ АВТОМАТИЗАЦИЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И ФОРМАМИ ИХ ОРГАНИЗАЦИИ

В повышении технического уровня производства в механизации и автоматизации, особенно при ручных работах, решающее значение имеет широкое внедрение поточных методов. Поточная форма организации производства является наиболее передовой и прогрессивной формой, так как она основана на наиболее совершенной технологии и позволяет осуществить комплексную механизацию и автоматизацию всего производственного цикла. Эта форма производства желательна при всех типах и видах производства.

Поточное производство характеризуется тем, что все или основные операции обрабатываемой детали (или группы деталей) или собираемых изделий закрепляют за определенными видами оборудования (рабочими местами), которые, в свою очередь, располагают в порядке выполнения этих операций. При этом детали (собираемые изделия, сборочные единицы) передаются с операции на операцию поштучно, пачками (по несколько штук), комплектами или партиями сразу после завершения предыдущей операции. Технической основой поточного производства является поточная линия, состоящая из комплекса технологического, вспомогательного и подъемно-транспортного оборудования. Поточная система призвана вначале с известным приближением, а затем полностью преобразовать дискретные процессы в непрерывные. Непрерывность выполнения операции зависит от совмещения (перекрытия) во времени ее составляющих переходов, приемов, элементов. Степень непрерывности изготовления детали (изделия) зависит от полноты совмещения технологических и нетехнологических (транспортных, контрольных и др.) операций.

§ 7.2. ПОТОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Поточной называется прогрессивная форма организации производства, при которой специализированные рабочие места расположены друг за другом в порядке выполнения операции технологического процесса образуют поточные линии. Поточное производство в любом случае представляет собой совокупность поточных линий.

Поточная линия, как и указывалось ранее, — это такой производственный участок, на котором постоянно или периодически изготавливается один или несколько видов изделий, при этом рабочие места (станки, рабочие машины, стеллажи и т. д.), специализированные на выполнение одной или нескольких однотипных операций, расположены по ходу технологического процесса (в линию). Любая поточная линия во всех случаях характеризуется прямо-точностью.

По степени специализации поточные линии делятся на *одноточные* и *многопоточные* (применительно к механическим цехам их называют однодетальными и многодетальными). В первом случае линия специализируется на изготовлении изделия (детали) одного наименования; во втором случае — на изготовлении изделий (деталей) нескольких наименований. Многопредметные (многодетальные) поточные линии в зависимости от установленных порядка последовательности запуска и обработки (сборки) изделий разных наименований делятся на *переменно-поточные* и *комплектно-групповые* и *групповые* (партионно-групповые).

Переменно-поточными называются линии, на которых запуск и обработка изделий (деталей) разных наименований или разных типоразмеров ведутся последовательно чередующимися партиями, сменяющимися одновременно (или почти одновременно) по всем рабочим местам линии. Основой переменнo-поточных линий являются типовые технологические процессы. Переменно-поточные линии получают широкое применение в серийном производстве.

Комплектно-групповыми поточными линиями называются линии, на которых запуск в обработку (сборку) разных изделий (деталей) разных наименований или типоразмеров ведется комплектами (группами), регламентированными технологическим процессом. Основой линии такого типа является единый или комплексный технологический маршрут обработки (сборки) изделий (деталей), входящих в комплект, и однородность каждой из операций (групповой их характер) для изделий (деталей) комплекта, позволяющая производить параллельную или последовательную обработку их без переналадки оборудования за счет применения групповой оснастки.

По признаку непрерывности производственного процесса поточные линии бывают непрерывно-поточные и прерывно-поточные. Непрерывно-поточными называются линии, в которых весь производственный цикл изготовления изделия (обработки или сборки) совершается без перерывов, без пролеживания изделий в ожидании той или иной операции. Таким образом, условием для создания непрерывно-поточных линий является обеспечение синхронизации операции, т. е. достижение их равенства или кратности по величине такта производства.

Прерывно-поточные линии характеризуются отсутствием синхронности операций процесса. В этих линиях недогруженные ра-

бочие места простаивают или переключаются на выполнение так называемых дополнительных работ.

По степени механизации и автоматизации поточные линии делятся на немеханизированные, механизированные и комплексномеханизированные. В первых изделия (детали) устанавливают и транспортируют с одного рабочего места на другое вручную, во вторых изделия устанавливаются механизированными подъемными средствами и транспортируются с одного рабочего места на другое стационарными транспортными средствами (конвейерами, кран-балками и т. д.) и в третьих все основные и транспортные операции механизированы. Выше приведены только основные понятия о поточных линиях, данные о них см. в литературе [6, 11, 17, 24].

К поточному процессу при любой форме потока предъявляются следующие общие требования: 1) процесс должен быть высокопроизводительным и базироваться на максимальном использовании передовой технологии и организации производства; 2) операции должны быть стабильными по физическим параметрам, трудоемкости и длительности; 3) отдельные операции и весь процесс в целом должны отличаться ритмичной повторяемостью; 4) операции должны быть синхронизированы.

Все эти требования в наибольшей степени выполнимы в условиях массового выпуска продукции. Поэтому поточное производство впервые было применено на заводах массового и крупносерийного производства. Однако опыт нашей промышленности показал, что, применяя научно обоснованные методы в области конструирования объектов, технологии и организации производства, можно внедрять поточные процессы не только в массовом, но и серийном, мелкосерийном и даже индивидуальном производствах.

Для этого необходимы: а) конструктивная унификация (стандартизация, нормализация, унификация объектов, создание конструктивных рядов, агрегатирование, конструктивная преемственность); б) технологическая унификация (типизация технологических процессов или групповой метод обработки); в) организационно-производственная нормализация и регламентация, в частности проведение таких организационных мероприятий, как многостаночное обслуживание, совмещение профессий, работа по стандартному плану, регламентирование порядка смены и чередования объектов и др.

Новые условия организации и управления социалистической промышленностью, обеспечивающие углубленную специализацию и кооперирование в промышленности, а также групповые методы обработки, в свою очередь, открывают широкие возможности применения потока в серийном и мелкосерийном производстве. В связи с этим отметим три основных положения, составляющих специфику группового метода при решении задач организации поточного производства.

1. При групповом методе предусматривается: а) конструктивно-технологическая классификация деталей и узлов; б) создание группового технологического процесса; в) создание группового технологического, контрольного и транспортного оснащения; г) создание групповых инструментальных наладок оборудования и соответствующая организация рабочих мест.

2. Принципы группового метода, указанные в первом положении, могут относиться как к деталям, операциям, так и к сборочным процессам, в частности: а) к технологическому процессу обработки в данной стадии (заготовительной, механической, сборочной) производства деталей различных наименований (первое направление); б) к отдельным операциям обработки деталей различных наименований (второе направление); в) к ряду операций обработки деталей одного и того же наименования (третье направление).

3. При групповом методе не всегда возможно полное сходство деталей (или операций технологического процесса), оснащения и инструментальной наладки для всех деталей (объектов), включаемых в группы. Могут иметь место те или иные отклонения в технологическом маршруте, составе и объеме выполняемых работ по операциям, в нормах времени, типаже оборудования и оснащения, длительности переналадок и т. д. В зависимости от этих различий в пределах данного общего группового процесса возможно создание подгрупп технологических процессов, для которых обеспечивается наибольшее сходство во всех их элементах.

Эти три основных положения группового метода являются исходными и в совокупности определяют возможность создания поточных линий, выбор формы, их организации, экономичность работы и систему их оперативного планирования.

Отметим еще одно важное обстоятельство. Известно, что поточные линии в самом общем виде подразделяются на однопредметные и многопредметные. На однопредметных линиях обрабатывается (собирается) объект одного наименования (деталь, узел, изделие); на многопредметных и на так называемых групповых поточных линиях (разновидности многопредметных линий) — объекты нескольких различных наименований. Существует мнение, что групповой метод обработки — основа для создания только групповых поточных линий. На самом же деле этот метод является основой формирования не только групповых, но и многопредметных линий вообще и даже однопредметных линий.

Практика показывает, что внедрение поточной системы нужно проводить в направлении, обратном ходу технологического процесса, т. е. начиная со сборки. Это оказывает определяющее влияние на все предшествующие сборочному процессу стадии производства и обеспечивает необходимые предпосылки к переводу их на поток. Действительно, поточная сборка предъявляет определенные требования к качеству механической обработки деталей и срокам подачи их на поточную линию. Эти требования должны, во-первых, по возможности обеспечить отсутствие на сборке приго-

ночных работ и, во-вторых, повысить серийность производства в механических цехах. Внедрение поточной системы в механических цехах, в свою очередь, обусловит повышенные требования к заготовительным цехам и т. д. При таком порядке внедрения поточной системы обеспечивается большая ее эффективность и охватываются все стадии формирования продукции в их логической последовательности.

Расчет однопредметных поточных линий для механической обработки. Для механической обработки используются прерывные потоки, расчет которых осуществляют по следующим формулам.

Расчетный ритм потока

$$R = \frac{T_{см}}{N_{см. зап}},$$

где $T_{см}$ — продолжительность смены; $N_{см. зап}$ — сменная программа запуска, определяемая из формулы

$$N_{см. зап} = \frac{100N_{см}}{100 - a},$$

здесь $N_{см}$ — сменная программа выпуска обрабатываемых деталей; a — планируемый процент брака от программы запуска заготовок.

Потребное количество оборудования на каждой операции C_p ; коэффициент его загрузки k_c на каждой операции и средний коэффициент загрузки оборудования в потоке $k_{с. ср}$, а также коэффициент загрузки отдельных рабочих k_p и средний коэффициент загрузки рабочих потока $k_{p. ср}$ рассчитываются по формулам:

$$C_p = \frac{t_{ш}}{R}; \quad k_c = \frac{C_p}{C_{п}}; \quad k_{с. ср} = \frac{\sum_1^m C_p}{\sum_1^m C_{п}};$$

$$k_p = \frac{T_{зан}}{T_{см}}; \quad k_{p. ср} = \frac{\sum_1^n k_p P'_п}{\sum_1^m P_{п}},$$

где $t_{ш}$ — штучное время; $C_{п}$ — принятое количество оборудования для выполнения каждой операции; m — количество операций на потоке; $T_{зан}$ — время занятости рабочего в течение смены с учетом обслуживания нескольких станков; n — количество различных коэффициентов загрузки рабочих; $P'_п$ — число рабочих с одинаковым коэффициентом загрузки; $P_{п}$ — число рабочих, занятых на каждой операции.

На основании проведенных расчетов строят график работы потока, являющегося стандарт-планом работы поточной линии.

Расчет однопредметных поточных линий сборки. Для сборки обычно используют поточные непрерывные линии.

Ритм непрерывного потока

$$R = \frac{T_{\text{оп}}}{N_{\text{см}}} = \frac{T_{\text{см}} - (T_{\text{об}} + T_{\text{отд}})}{N_{\text{см}}},$$

где $T_{\text{см}}$ — продолжительность смены; $T_{\text{оп}}$ — фонд оперативного времени в смену; $T_{\text{об}}$ — суммарное время на обслуживание рабочих мест; $T_{\text{отд}}$ — суммарное время на отдых и личные надобности; $N_{\text{см}}$ — сменная программа выпуска изделий,

$$N_{\text{см}} = \frac{N_{\text{год}}}{F} T_{\text{см}} = \frac{N_{\text{год}} T_{\text{см}}}{(D T_{\text{см}} - D' T_{\text{с}}) S},$$

где $N_{\text{год}}$ — годовая программа выпуска; F — годовой фонд часов работы потока; D — количество рабочих дней в году; D' — количество предвыходных и праздничных дней в году; $T_{\text{с}}$ — время, на которое сокращается рабочий день в предвыходные и предпраздничные дни; S — количество рабочих смен в сутки.

Продолжительность операции сборки равна или кратна ритму потока, т. е. должен быть соблюден принцип пропорциональности процесса:

$$t_{\text{оп}} + t_{\text{тр}} = P_{\text{к}} R,$$

где $t_{\text{оп}}$ — норма оперативного времени на данную операцию, $t_{\text{тр}}$ — неперекрываемое время на межоперационное транспортирование; $P_{\text{к}}$ — целое число кратности.

Число основных рабочих для каждой операции $P_{\text{р}}$, коэффициент загрузки рабочих на каждой операции $k_{\text{р}}$, средний коэффициент загрузки рабочих потоков $k_{\text{р. ср}}$, коэффициент, учитывающий отпуска, невыходы на работу по болезни и выполнение государственных обязанностей, $k_{\text{сп}}$ рассчитываются по формулам:

$$P_{\text{р}} = \frac{t_{\text{оп}} + t_{\text{тр}}}{R}; \quad k_{\text{р}} = \frac{P_{\text{р}}}{P_{\text{п}}};$$

$$k_{\text{р. ср}} = \frac{\sum_1^m P_{\text{р}}}{\sum_1^m P_{\text{п}}}; \quad k_{\text{сп}} = SK \sum_1^m P_{\text{п}},$$

где $P_{\text{п}}$ — принятое число рабочих; K — списочное число рабочих; m — количество операций в потоке.

Количество рабочих мест (стендов, позиций) при сборке небольших изделий равняется числу сборщиков, принятых для работы в одну смену,

$$C = \sum_1^m P_{\text{п}}.$$

При сборке крупных изделий на одном объекте одновременно (параллельно) может работать несколько сборщиков, выполняющих каждый свою операцию. В этом случае количество необходимых рабочих мест значительно сокращается и определяется по формуле

$$C = \sum_1^m P_n - \sum_1^{m'} P_n,$$

где m' — количество операций, выполняемых одновременно с другими на тех же объектах сборки. Коэффициент загрузки станков соответствует коэффициенту загрузки рабочих.

Нами были рассмотрены два примера расчета линии. Расчет поточных линий других типов, в особенности при использовании групповых методов обработки и сборки, изложен в работе С. П. Митрофанова «Научная организация серийного производства».

Транспортные средства поточного производства. Перемещение объектов поточного производства производится различными транспортными устройствами. В непрерывно-поточном производстве эти устройства не только перемещают в установленном направлении изготавливаемые изделия (детали), одновременно они в известной мере выполняют и технологические функции, способствуя обеспечению непрерывности и комплексной механизации и автоматизации производства. Поэтому на непрерывно-поточных линиях используется исключительно межоперационный транспорт непрерывного действия. В прерывно-поточном производстве функции межоперационного транспорта более ограничены. Поскольку технологические и транспортные операции при изготовлении изделий (деталей) не совмещены во времени, они, как правило, выполняются раздельно.

В этих условиях наряду с транспортными средствами непрерывного действия применяются различные транспортные устройства периодического действия. Конструктивные и эксплуатационные параметры транспортных средств зависят от габаритов и массы перемещаемых изделий (деталей), технологического содержания выполняемых операций, территориального размещения оборудования и рабочих мест и от других факторов. В зависимости от этих условий в поточном производстве применяют неконвейерные и конвейерные транспортные устройства.

К первым относится широкая номенклатура ручных, гравитационных и механизированных транспортных средств, как-то ручные и механизированные тележки, скаты, склизы, кран-балки и др., а ко вторым — различные по назначению, роду действия, конструкции и расположению транспортирующего устройства конвейеры.

Неконвейерные транспортные устройства применяются преимущественно на слабо механизированных поточных линиях, работающих со свободным тактом.

Учитывая особенности приборостроения (малые по габаритным размерам детали), в обрабатывающих цехах передачу деталей от станка к станку в настоящее время осуществляют вручную. Это оказывается удобнее, быстрее, чем при использовании универсальных транспортных устройств периодического действия.

Наиболее перспективными для целей комплексной механизации поточного производства следует считать транспортные устройства конвейерного типа с непрерывным или пульсирующим движением

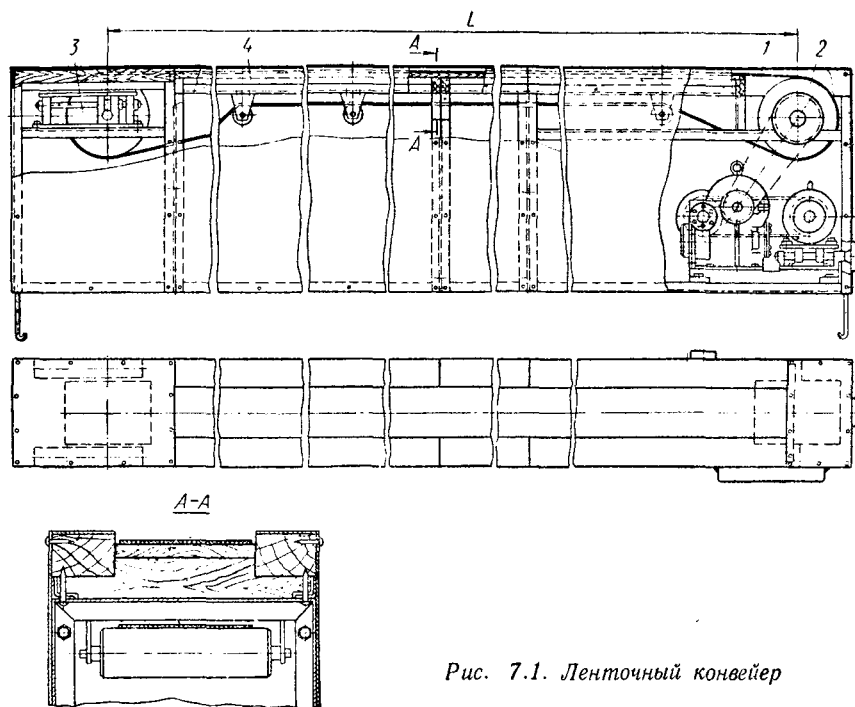


Рис. 7.1. Ленточный конвейер

рабочего органа. Их очевидное преимущество перед другими транспортными средствами заключается в том, что они не только перемещают изготавливаемые изделия (детали), но одновременно регулируют темп производства, являясь, таким образом, органической частью поточной линии. Транспортные устройства преимущественное применение получили в сборочных цехах. Нужно полагать, что в ряде случаев они с успехом могут быть использованы и в обрабатывающих цехах.

Конвейеры, применяемые в цехах приборостроительных заводов, по конструкции несущей части делят на ленточные, пластинчатые, тележечные, подвесные; по назначению несущего органа — на распределительные и рабочие; по характеру движения несущего органа — на конвейеры с непрерывно-поступательным и с периодическим движением и, наконец, по положению несущего

органа в пространстве — на горизонтально-замкнутые и вертикально-замкнутые.

Ленточные конвейеры (рис. 7.1) относятся к распределительным транспортным средствам. Конвейер представляет собой бесконечную ленту шириной 200—600 мм (ширина зависит от собираемого или обрабатываемого изделия), изготовленную из прорезиненного материала или эластичного пластика; в некоторых случаях на ленте закрепляют специальные гнезда для деталей. Лента охватывает два барабана 2 и 3; барабан 2 приводит ленту в движение, а барабан 3 входит в состав натяжного механизма. Для удобства монтажа ленточные конвейеры изготавливают из отдельных самостоятельных секций 4, что позволяет компоновать конвейер различной длины. Высота напольного ленточного конвейера 700—800 мм. Верхняя ветвь ленты является рабочей, и на ней располагаются детали или изделия, транспортирующиеся между рабочими столиками. Эта ветвь перемещается по деревянному настилу или на роликах. Нижняя ветвь (нерабочая) поддерживается роликами. Ролики смонтированы на каркасе конвейера. По расположению несущего органа ленточные конвейеры бывают только вертикально-замкнутыми.

Движение ленты может быть непрерывным и пульсирующим с регулируемым ритмом. В приборостроении в цехах сборки предпочтение отдают пульсирующим ленточным конвейерам. Скорость непрерывно движущейся ленты находится в пределах 0,6—1,5 м/мин, а при пульсирующем движении — 10—20 м/мин.

Загрузка конвейера, съём собранных изделий с ленты или собираемых деталей (изделий) на рабочие столики может осуществляться вручную или автооператорами (механическими руками). С целью повышения производительности труда на каждом рабочем месте конвейера предусматриваются накопители, позволяющие усреднять время выполнения каждой сборочной операции.

Пластинчатые конвейеры по устройству близки к ленточным, только вместо ленты здесь грузонесущим элементом являются пластины. В качестве тягового органа используются пластинчатые цепи. Пластины (столы) могут быть металлическими, деревянными и пластмассовыми в зависимости от назначения конвейера. Пластинчатые конвейеры применяются для транспортирования более тяжелых и громоздких изделий, а также для изделий меньшей массы и габаритных размеров; когда предъявляются повышенные требования к точности и качеству поверхности собираемых изделий или к механизации съема изделий; в сравнении с ленточными они являются более сложными по устройству несущей части и по обслуживанию. Пластинчатые конвейеры используются в качестве распределительных и рабочих. В последнем случае к пластинам крепятся поворотные платформы, на которые и устанавливаются объекты сборки. Если собираемое изделие в процессе сборки должно поворачиваться, то на пластины конвейера устанавливаются специальные поворотные приспособления.

По положению несущего органа в пространстве пластинчатые конвейеры бывают только вертикально-замкнутыми. Пластинчатые конвейеры в подавляющем большинстве случаев имеют периодическое движение несущего органа. Для приборостроения характерны следующие размеры и режимы работы пластинчатых конвейеров: ширина несущего органа 300—500 мм, высота 800—1000 мм, длина 16—50 м, скорость движения 10 м/мин.

Тележечные конвейеры предназначаются для транспортирования тяжелых изделий. Тяговым органом в этих конвейерах является цепь, а несущим органом — тележка. Тележки могут быть разгружаемые и саморазгружающиеся (опрокидывающиеся). Тележечные горизонтально-замкнутые конвейеры могут быть как рабочими, так и распределительными с непрерывно-поступательным и периодическим движением тележки. Размеры и режимы работы тележечных конвейеров, используемых в приборостроении следующие: ширина несущего органа $200 \times 250 + 450 \times 500$ мм, ширина конвейера 1500 мм, длина до 50 м, высота 850—950 мм, скорость для непрерывного движения 0,5—1 м/мин, для периодического движения 10—10,5 м/мин. Если движение непрерывное, но сьем изделия с несущего органа механизированный, то скорость берут 5—10 м/мин.

Подвесные конвейеры получили широкое применение особенно в обрабатывающих цехах. В подвесных конвейерах тяговым элементом является цепь или канат, а грузонесущим — подвеска, каретка которой катится по направляющему пути. Различают три типа подвесных конвейеров: грузонесущие, грузотолкающие и грузотянущие. В приборостроении, как правило, используют грузонесущие конвейеры.

Подвесные конвейеры широко используют в обрабатывающих, гальванических и лакокрасочных цехах и реже в сборочных. На подвесных конвейерах проще, чем на других, решается вопрос автоматической их разгрузки и загрузки.

§ 7.3. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Типы автоматических линий. Автоматическая линия — это автоматическая система машин, комплекс основного, вспомогательного и подъемно-транспортного оборудования и механизмов, с помощью которых в определенной последовательности и с определенным ритмом изготавливается продукция. Основными признаками автоматической линии являются: а) выполнение технологических операций в определенной последовательности без участия человека (его функции заключаются в контроле за работой оборудования и его поднастройке, а также в загрузке заготовок деталей при сборке и выгрузке деталей или изделий после сборки); б) автоматическое перемещение заготовок (деталей) транспортными устройствами между отдельными агрегатами линии до окончания обработки (сборки), предусмотренной технологическим процессом линии.

В зависимости от назначения, степени автоматизации и условий работы автоматические линии имеют различную структуру и конструктивное исполнение. По типу встроенных в линию станков различают автоматические линии из станков общего назначения, агрегатных станков, специальных станков или комбинированные, т. е. состоящие из станков различных типов.

По виду транспортных устройств и способу передачи заготовок (деталей) со станка на станок линии бывают: а) со сквозным транспортированием через рабочую зону; б) с верхним транспортированием; в) с боковым (фронтальным) транспортированием; г) с комбинированным транспортированием.

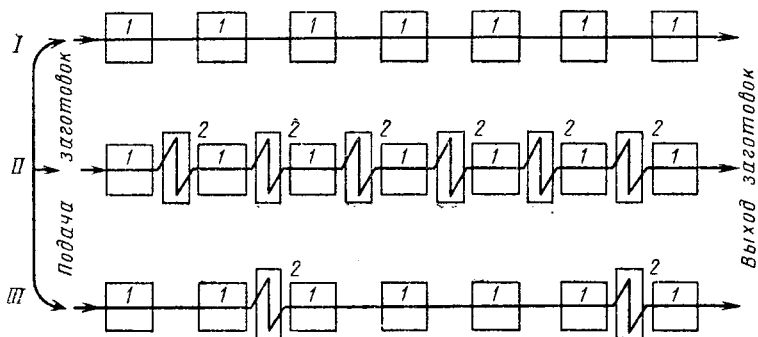


Рис. 7.2. Компоновки автоматических станочных линий

Заготовки в автоматической линии могут транспортироваться периодически (с одной рабочей позиции на другую), не подвергаясь во время перемещения обработке, и непрерывно с одновременной обработкой. По расположению оборудования автоматические линии бывают замкнутые и незамкнутые. В приборостроении предпочтительное применение получили незамкнутые автоматические линии.

С точки зрения организации потока и компоновки автоматические станочные линии выполняют в трех вариантах (рис. 7.2).

В варианте I станки 1 сблокированы в единую, неразрывную цепь с жесткой подачей заготовок. В случае простоя какого-либо станка вся линия останавливается. В варианте II станки 1 гибко связаны между собой через бункера 2 (приемники-накопители или магазины), и поэтому каждый станок представляет собой независимую машину. Если выбывает из строя какой-либо станок, впереди стоящие станки продолжают работу, увеличивая запас деталей в бункерах. Станки, расположенные позади, также не останавливаются. Их питание осуществляется за счет запаса деталей в соответствующих бункерах. В варианте III, наиболее общем, автоматизация с жесткой связью произведена в пределах коротких участков, соединенных между собой гибкой связью при помощи бункеров 2. Этот вид компоновки станков является самым распространенным. При таком способе организации потока временная потеря

работоспособности какого-либо участка не приводит к остановке всей линии. В этом случае задачи при проектировании сводятся: а) к выбору места установки и количества бункеров, обеспечивающих самопополнение запасов деталей в бункерах; б) к определению величины этих запасов с таким расчетом, чтобы временная остановка отдельных участков не нарушала выпуска изделий автоматической линией.

По расположению станков автоматические линии разделяются на линейные, Г-образные, П-образные и О-образные. Наиболее простую конструкцию транспортных средств имеют линии с линейным расположением оборудования, однако такое расположение не всегда возможно и рационально. В зависимости от характера обрабатываемых деталей, трудоемкости операций и других технологических факторов автоматические линии могут быть с параллельной обработкой, последовательной или смешанной.

Автоматическая линия с параллельной обработкой (рис. 7.3, а) позволяет обрабатывать несложные детали с малым количеством обрабатываемых поверхностей. В этом случае есть возможность для всех автоматов пользоваться одним транспортным устройством, а также одним бункером для заготовок и одним бункером для готовых деталей.

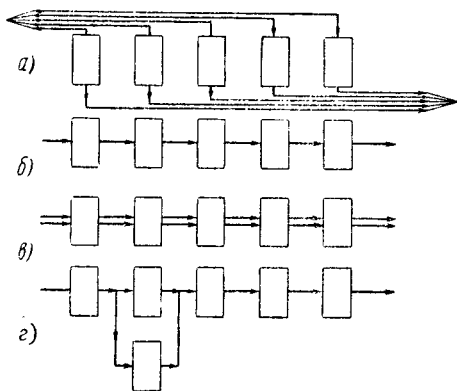


Рис. 7.3. Схемы автоматических линий с параллельной, последовательной и смешанной обработкой

Автоматическая линия с последовательной обработкой (рис. 7.3, б) экономически выгодна для обработки деталей сложной геометрической формы, где требуется обработка многих поверхностей различной сложности. В этом случае вместо создания двух однопоточных линий целесообразно применять автоматическую линию с многопоточной последовательной обработкой (рис. 7.3, в).

Параллельно-последовательная автоматическая линия (рис. 7.3, г) выгодна в тех случаях, когда по ходу технологического процесса отдельные операции требуют больших затрат времени, чем все остальные. Во избежание простоев на остальных операциях и снижения производительности линии для этих операций применяют параллельно работающие станки.

Вид обрабатываемых деталей, их геометрическая форма влияют на тип автоматической линии. Так, например, для обработки деталей типа валов линия может быть скомпонована из универсальных станков и станков-автоматов. Для обработки корпусных деталей применяются линии из агрегатных станков, для обработки деталей

типа дисков — линии из станков-автоматов и агрегатных станков. Для изготовления крепежа используются обычно линии из станков-полуавтоматов и автоматов.

В зависимости от типа линии и характера обрабатываемых деталей используются различные транспортные устройства. Чаще всего транспортные устройства в линиях выполняются либо в виде шаговых транспортеров, перемещающих обрабатываемые детали по направляющим, либо в виде ленточных и цепных транспортеров, встроенных в агрегаты. Последний вид транспортных устройств часто применяется в линиях термической обработки, а также на сборке. В ряде линий транспортировка деталей осуществляется независимо действующими цепными, ленточными и другими транспортерами, расположенными вне автоматов. В этом случае загрузка и выгрузка деталей осуществляются специальными загрузочно-выгрузочными устройствами.

Помимо указанных автоматических линий в производстве широко используются роторные линии конструкции д-ра техн. наук Л. Н. Кошкина. Роторные автоматические линии относятся к категории квазинепрерывных. Они эффективны для обработки деталей простой формы и сборки изделий, состоящих из небольшого числа деталей, выпускаемых в массовом масштабе.

Автоматические роторные линии (рис. 7.4, б) независимо от содержания технологического процесса имеют общую структуру (рис. 7.4, а), которая характеризуется наличием ротора питания 2 рабочих роторов 3, контрольных и транспортных роторов 5. Каждый ротор представляет собой автоматическую роторную машину, имеющую привод 1 и блоки с инструментами 4.

Принципиальная схема роторной машины, используемой для вытяжки колпачков, показана на рис. 7.5. Заготовки 1 подаются ротором питания 2 в блоки инструментов 3, смонтированных в пазах рабочего ротора 4, имеющего непрерывное вращение от электродвигателя (на рисунке отсутствует), и коническую зубчатую передачу 10. В инструментальных блоках укреплены матрицы, а через направляющие втулки входят пуансоны 5 и выталкиватели 9. Выталкиватели и пуансоны, вращаясь вместе с блоком и рабочим ротором, получают возвратно-поступательное движение по заданному закону от копиров 6 неподвижного барабана 7, закрепленных в станине. Блоки одного рабочего ротора выполняют одну технологическую операцию. Операция обработки изделия происходит и заканчивается на пути совместного движения заготовки и инструментального блока (примерно на 0,8 полного оборота ротора), после чего изделие попадает в захваты транспортного ротора 8, который сбрасывает его в тару или, если это автоматическая линия, передает в следующий рабочий ротор для продолжения обработки.

Таким образом, обработка заготовок производится в процессе их транспортирования совместно с инструментами и зажимными приспособлениями, заключенными в инструментальных блоках.

Число пазов с инструментальными блоками и профили копиров (в простейших случаях) подобраны так, что когда в предыдущем блоке заканчивается рабочая операция, в последующем блоке она начинается. В более сложных случаях рабочие циклы обработки

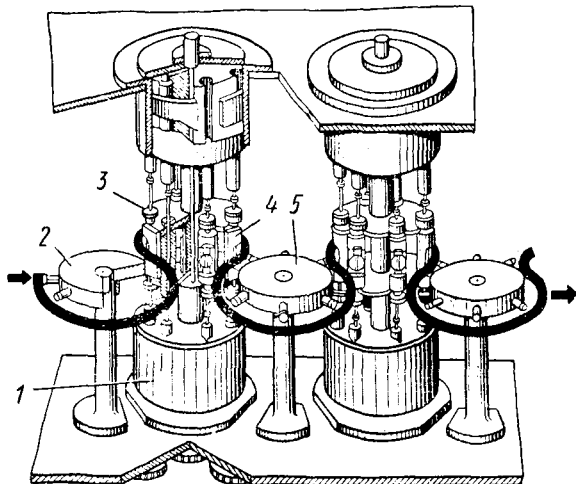
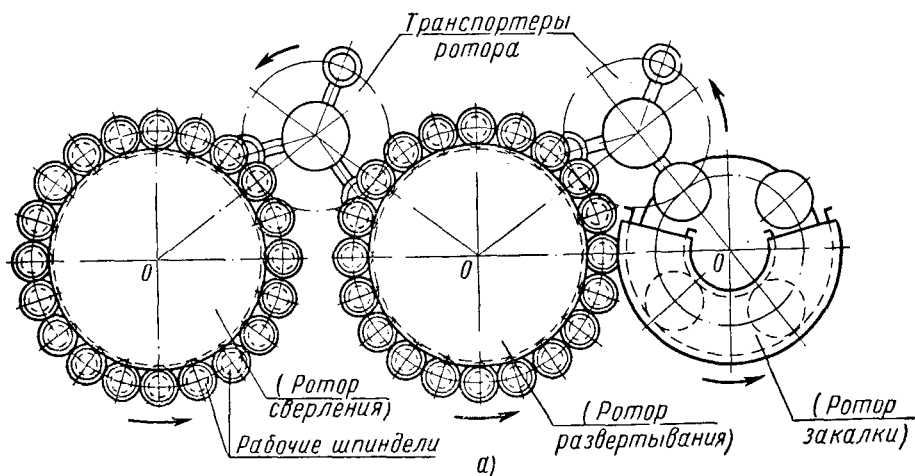


Рис. 7.4. Роторная линия:
а — структура; б — компоновка

взаимно перекрываются так, что в каждый момент времени обрабатывается несколько заготовок со сдвигом по фазе, обеспечивающим непрерывную загрузку машины. Из рассмотрения работы роторного автомата следует, что транспортная скорость заготовок в этих автоматах определяется диаметром ротора и его частотой вращения. Схема многопозиционного станка непрерывно-последовательного действия роторного типа для сборки показана на рис. 7.6.

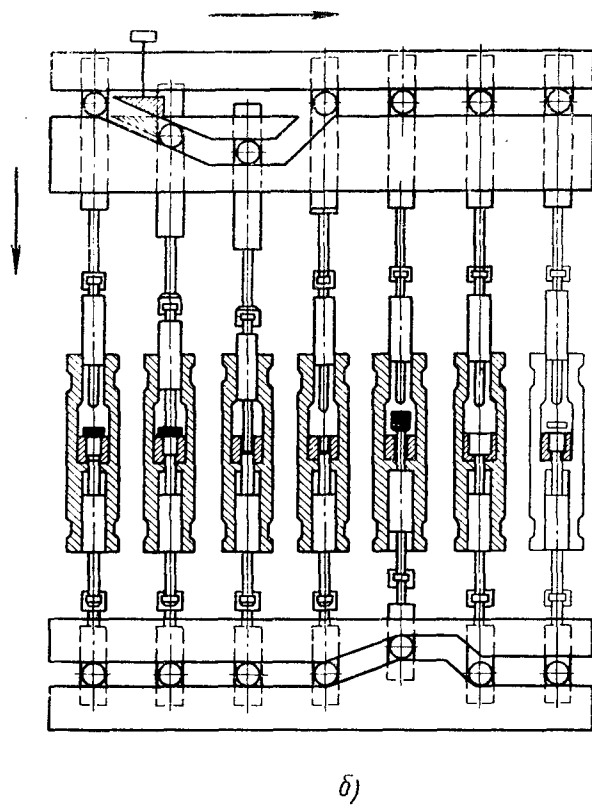
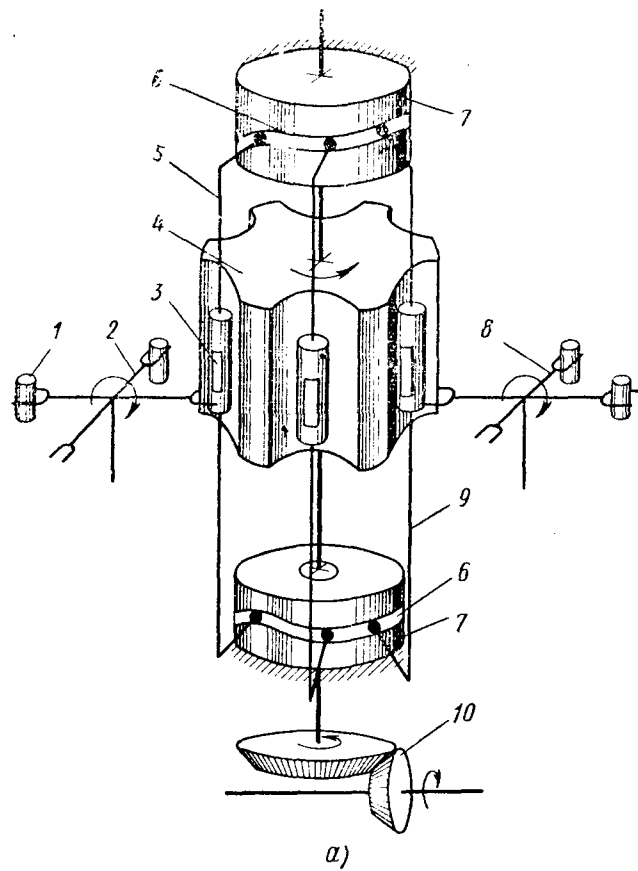


Рис. 7.5. Роторная линия для вытяжки колпачков:
 а — схема; б — развертка рабочего ротора

Основу линии составляют роторы—вращающиеся цилиндры. Рабочие роторы 1 и 2 включают блоки с приспособлениями и инструменты для осуществления процесса сборки, а также механизмы для сообщения инструменту и собираемым деталям основных движений. Подача собираемых деталей в рабочие роторы осуществляется транспортными роторами 3, 4, 5, 6, 7, 14. Транспортные роторы для комплектующих деталей получают последние из загрузочных устройств 8, 9, 10, 11, 12 и 13. Как рабочие, так и транспортные роторы находятся в непрерывном вращательном движении, поэтому их загрузка а также передача и сборка базовой детали с комплектующими производятся на ходу без остановки роторов. На каждом из рабочих роторов, как правило, выполняется какой-нибудь один переход операции сборки. Размер рабочего ротора по диаметру выбирается

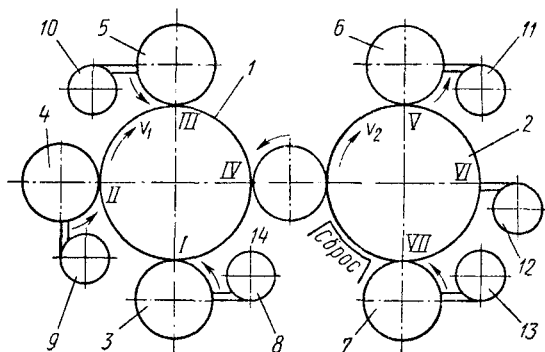


Рис. 7.6. Компоновка роторной линии для сборки

в зависимости от заданной скорости транспортирования собираемых деталей и от продолжительности собственно процесса сборки. Чем больше длительность процесса сборки, тем больше должен быть диаметр ротора, чтобы при заданной скорости вращения операция собственно сборки или какая-либо из операций обработки была закончена до попадания сборочной единицы или изделия в позицию разгрузки, осуществляемой транспортным ротором. Изменяя размеры ротора и число рабочих позиций, можно легко обеспечить любой заданный темп при разной длительности отдельных переходов, составляющих процесс сборки заданного изделия (сборочной единицы).

Таким образом, в роторных линиях скорость транспортирования и темп работы линии непосредственно не ограничиваются скоростями выполнения переходов сборки или какого-либо перехода обработки, входящего в операцию сборки, и роторная линия может обеспечить высокую производительность даже при небольших скоростях технологических движений.

Примеры автоматических линий. В производстве деталей из пластмасс наиболее эффективными оказались роторные линии, так как процесс прессования является сравнительно простым. Задачами автоматизации здесь являются: автоматическое управление работой пресса, регулирование температуры блока нагревателя, интенсификация прессования (сокращение выдержки материала под давлением) и автоматизация снятия облоя у деталей, получен-

ных после прессования. Первая задача решается применением командоаппаратов, работающих на электрогидравлическом и электропневматическом принципе действия; вторая — применением автоматических регуляторов температуры; третья — подбором соответствующих материалов, способа нагрева и оптимизацией процесса прессования; четвертая — применением механических головок, в которых прямолинейное принудительное движение

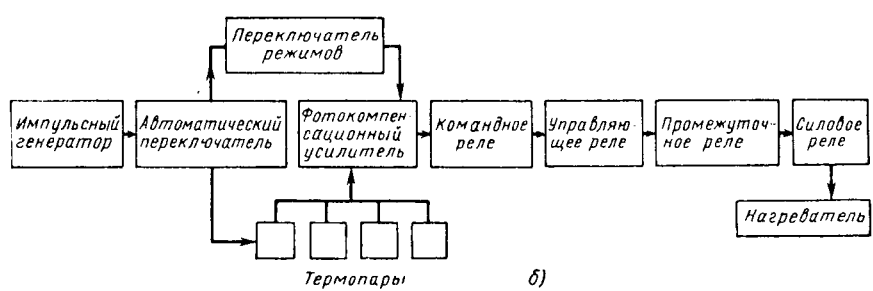
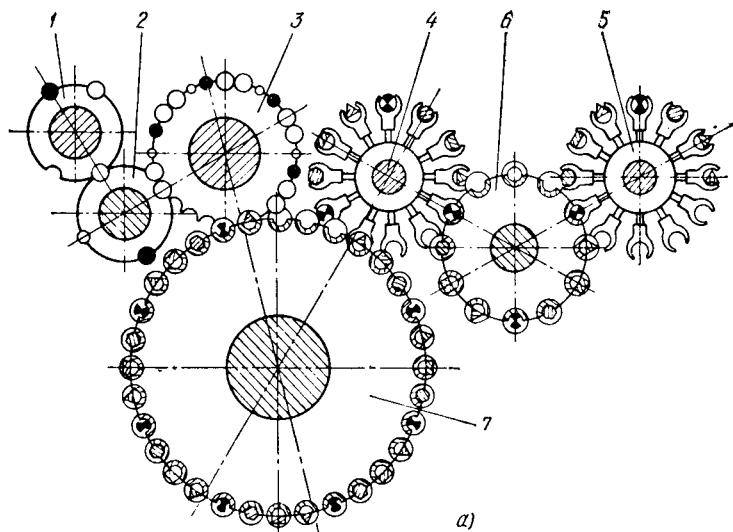


Рис. 7.7. Автоматическая роторная линия для прессования деталей:
а — схема роторной линии; б — блок-схема регулятора температуры

заготовок с помощью, например, шнекового транспортера относительно вращающегося режущего инструмента позволяет срезать облой. Все эти устройства входят составными частями в автоматическую линию.

На рис. 7.7, а приведена схема такой линии. Принцип работы ее заключается в следующем. Ротор дозатора 1, вращаясь, через лоток передает пластмассу в виде порошка в матрицу ротора 2, где происходит его таблетирование. Из ротора 2 таблетка поступает в ротор 3, где подогревается токами высокой частоты, а затем с по-

мощью переталкивателя загружается в пресс-форму ротора 7, где расположена позиция прессования. После прессования детали снимаются одна за другой клещами транспортного ротора 4 и передаются в ротор 6 на механическую обработку, откуда после снятия облоя поступают в ротор 5, а из него в бункер готовой продукции.

На такой роторной линии может одновременно изготавливаться несколько различных по конфигурации деталей. В этом случае для каждой детали в блоке прессования предусматривается своя матрица. Многономенклатурные роторные линии могут работать с большой эффективностью в серийном производстве.

Температурный режим прессования (т. е. автоматическое регулирование температуры блока нагрева пресс-формы), во многом определяющий качество прессования терморезистивных пластмасс, обеспечивается соответствующим регулятором температуры, блок-схема которого показана на рис. 7.7, б. Этот регулятор позволяет регулировать температуру в 50 точках (на 25 пресс-формах, так как обычно каждая пресс-форма имеет два электрических нагревателя: верхней и нижней частей формы). Пределы регулируемой температуры от 120 до 220° С, точность ее поддержания $\pm 5^\circ$ С. Задание требуемой температуры на регуляторе осуществляется переключателем режимов. Соответствующее заданной температуре напряжение поступает в фотокомпенсационный усилитель, где сравнивается с напряжением термопары (термо-э. д. с.), характеризующей фактическую температуру в блоке пресс-формы. В случае отклонения термо-э. д. с. от заданного (опорного значения) подается команда на включение или отключение нагревателя.

В качестве примера автоматической линии для *механической обработки* можно рассмотреть линию для изготовления корпусов наручных часов, которая впервые была введена в действие на 2-м Московском часовом заводе. Автоматическая линия выполнена в виде единого агрегата, вытянутого в линию с односторонним расположением рабочих позиций, между которыми размещены транспортные устройства — автоматические руки.

На линии выполняются все механические операции по изготовлению корпуса, кроме декоративной отделки. Особенностью обработки корпуса является его сравнительно сложная форма, малая жесткость заготовки, высокие требования, предъявляемые к шероховатости поверхности и точности изготовления детали.

Линия работает следующим образом. Штампованные заготовки комплектами вводятся вручную в загрузочный магазин, остальные операции в ней полностью автоматизированы. Заготовки, поступающие из магазина, последовательно проходят все операции механической обработки и при своем движении от позиции к позиции поворачиваются автоматической рукой в двух направлениях для обработки.

Вся линия разделена на два самостоятельных участка, связанных между собой магазином-накопителем, позволяющим второму участку работать независимо от первого (в случае его останова).

На первом участке производится токарная обработка, включающая шесть операций: протачивание торца со стороны циферблата; протачивание внутреннего отверстия и отверстия под циферблат; развертывание центрального отверстия; окончательная обработка нижней и верхней стороны корпуса и лапок; растачивание центрального отверстия под механизм и снятие заусенцев. На втором— все сверлильные операции и удаление заусенцев, включающие четыре операции: сверление четырех отверстий диаметром 1,2 мм в четырех лапах; сверление отверстия диаметром 1,8 мм под заводной ключ; притупление острых кромок у отверстия в лапах и удаление заусенцев. Характерной особенностью второго участка является наличие у рабочих головок патронов, неподвижно фиксирующих деталь во время сверления, и наличие на суппортах сверлильных головок с индивидуальным приводом. В линии предусмотрена автоматическая укладка готовых деталей в тару.

Точность и стабильность обработки корпуса на линии достигается высокой жесткостью каждой позиции, исключением влияния на точность транспортировки (работа по упорам, самоустановка детали на торцовые базы), формой базовых поверхностей, периодически очищаемых от стружки воздухом; максимальная производительность — применением твердосплавного инструмента, уменьшением времени транспортировки за счет совмещения движений, независимостью точности настройки рабочих и транспортных движений, конструкцией резцедержателей, позволяющих быструю замену инструмента (при этом наладка его осуществляется вне линии); надежность — применением простого и надежного механического кулачкового привода от распределительного вала, введением системы блокировок, защитой механизмов от стружки и автоматическое удаление ее из зоны обработки.

С точки зрения автоматизации наибольший интерес представляют устройства, автоматизирующие загрузочные, транспортные операции и управление работой линии. Автоматизация загрузки заготовок осуществляется загрузочным магазином, установленным на левой (приводной) тумбе и выполненным в виде горизонтального, восьмигнездного барабана (рис. 7.8, а), в каждом гнезде которого может разместиться до 38 заготовок, ориентированных по отверстию и пазу под ремешок. Транспортирование заготовок от позиции к позиции осуществляется автоматической рукой (рис. 7.8, б). Автоматическая рука выполнена в виде рычага с хватным устройством, обеспечивающим точную фиксацию и ориентировку детали при переносе. Точность конечных положений хватного устройства обеспечивается соответствующими упорами. Деталь выводится из магазина или патрона осевым движением руки, а перемещается ее поворотом.

Магазин-накопитель (в середине линии) отличается от загрузочного тем, что автоматический поворот его производится не только при опорожнении разгружаемого гнезда, но и при накоплении загружаемого. При любом сочетании цикловых положений ра-

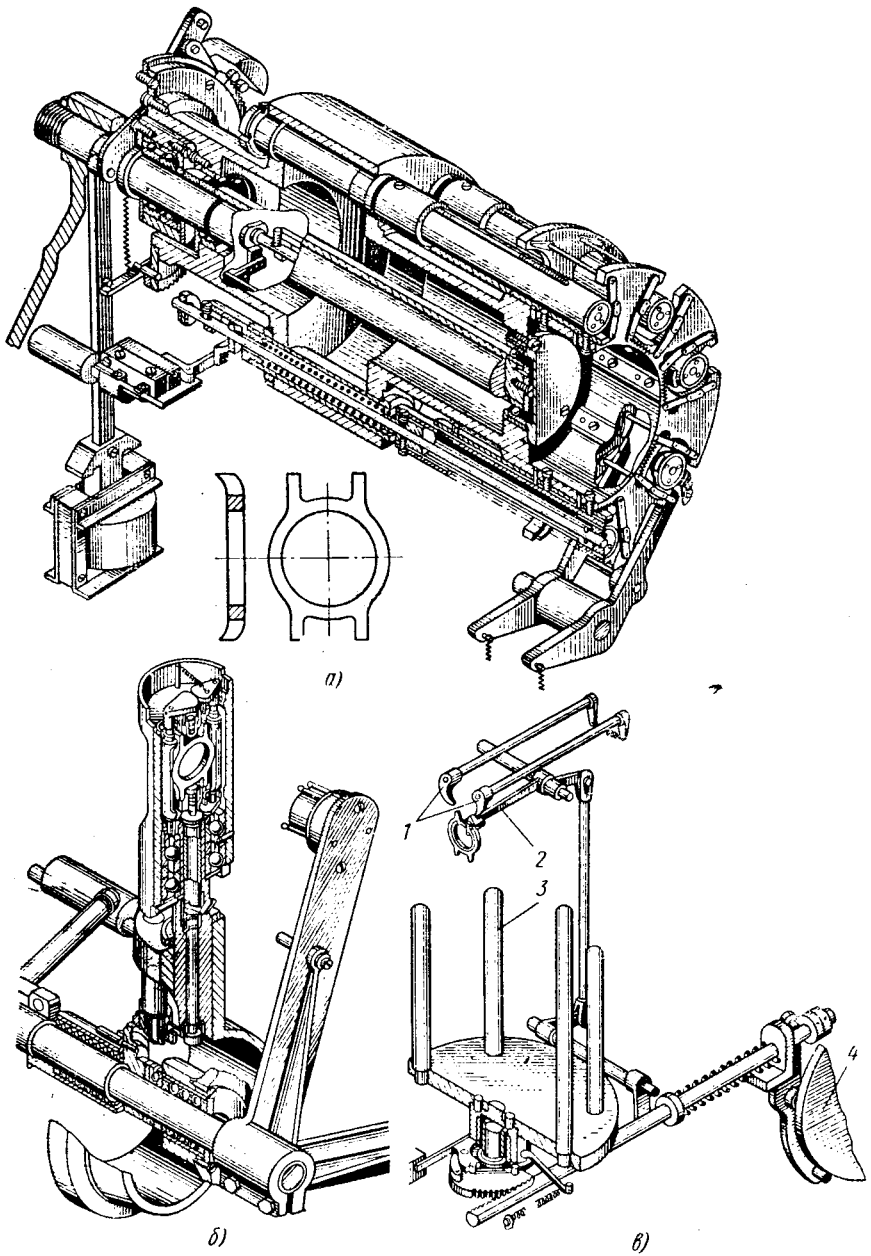


Рис. 7.8. Механизмы автоматической линии для обработки корпуса наручных часов:

а — загрузочный барабан; б — автоматическая рука; в — автоматический укладчик готовых деталей

боты обоих участков магазин автоматически поворачивается, обеспечивая прием обработанных на первом участке деталей и выдачу заготовок второму участку.

В линии имеется механизм, контролирующий поломку сверл по наличию отверстия в детали, который установлен на последней автоматической руке. В конце линии установлен автоматический укладчик (рис. 7.8, в), который нанизывает готовые детали на поочередно подводимые пальцы 3 с помощью крючков 1 укладочного рычага 2. Все движения укладчика осуществляются от кулачка 4.

Управление работой всей линии, блокировка и контроль ее работы производятся общим электрическим пультом, в схеме которого использована контактная релейная аппаратура и микровыключатели. Кроме общего пульта управления, имеются пульты управления первым, вторым участками и средней секцией. Обесточивание средней секции автоматически отключает всю линию. Учитывая недостаточную надежность контактной аппаратуры, особенно при частых включениях, управление отдельными движениями производится механически от кулачкового распределительного вала. Контроль правильности работы целевых механизмов осуществляется микропереключателями (включение и выключение двигателей токарных шпинделей, их фиксация, включение механизмов транспорта и др.).

Автоматические линии для гальванических процессов. Наибольшую эффективность в гальванических цехах дают многопрограммные автооператорные линии с программным управлением, которые предназначены для мелкосерийного производства с частой сменой видов и толщин покрытий. Такие линии применяются не только для гальванических покрытий, но и для фосфатирования, оксидирования и электрополирования. Их транспортные устройства выполнены в виде автооператоров, которые индивидуально перемещаются по заданной программе, перемещая группы деталей в вертикальном и горизонтальном направлениях. Направляющие для движения автооператоров могут быть расположены сбоку или сверху ванн. Изделия в таких линиях могут перемещаться как в прямом, так и в обратном направлениях. Ванны расположены не обязательно в порядке технологического процесса, в противоположность линиям с жесткой межагрегатной связью (с общим подъемом и транспортировкой). В автооператорных линиях транспортно-подъемные устройства не связаны жестко с подвесками, барабанами или корзинами с деталями. После выдержки деталей в ванне более 2 мин их вынимают, причем при движении автооператоров возможен обгон одних корзин другими.

Для приборостроительных гальванических линий характерно, что автооператоры в них обычно выполняются в виде консольных конструкций с боковым приводом. Количество автооператоров зависит от продолжительности рабочего такта, последовательности и длительности рабочих операций. Чем короче длительность рабо-

чего такта, тем больше требуется автооператоров. При существующих скоростях движения автооператоров считается оптимальным вариант, когда один автооператор обслуживает семь-восемь ванн.

Для автооператорных линий с программным управлением (не жестким циклом) характерно: а) отсутствие принудительной связи всех транспортных устройств горизонтального и вертикального перемещения; б) изменение времени пребывания изделий в отдельных ваннах обеспечивается не скоростью движения транспортного устройства или рабочей длиной ванны, а временем выдержки; в) в течение рабочего процесса транспортные устройства оставляют изделия в ваннах на время обработки.

Транспортные устройства выполняют свои функции согласно программе, составленной на основании диаграммы «время—путь». Маршрут движения автооператоров зависит от последовательности обработки деталей в ваннах и расположения ванн. Выдержка деталей также задается программой. Для управления работой таких линий применяют программные устройства с записью программы на перфокарте, перфоленте, с коммутацией на штекерных табло или командно-контактных устройствах с вращающимся барабаном (КЭП 12У или МНП). Наиболее распространенными из отечественных автооператорных линий в приборостроении являются линии АГ-16 и АГ-18.

Автоматическая линия АГ-16 построена на агрегатном принципе. В линию входят шесть секций (основные, угловые с перемещением автооператора по внешней и внутренней сторонам и загрузочная секция), пятнадцать ванн (промывочные, для обезжиривания, для основных процессов, ванны для декапирования), сушильные агрегаты (шнековые для мелких деталей и камерные для деталей на подвесках), бортовые отсосы, автооператоры с двумя и тремя управляемыми движениями, барабан для обработки мелких деталей и программный командоаппарат. Линия АГ-16 может быть скомпонована в виде прямолинейной, кольцевой, овальной, угловой и П-образной форм.

Автооператоры консольного типа (рис. 7.9) перемещаются вдоль ванн и транспортируют подвески или барабаны по заданному маршруту. Они имеют два вида управления: кнопочное и автоматическое дистанционное от командоаппарата. Каждый автооператор приводится в движение индивидуальным приводом. Если продолжительность операции превышает 2 мин, то он оставляет подвеску в ванне и перемещается на исходную позицию, находясь в ожидании следующей команды.

Участок линии, где пути автооператоров перекрываются, называется опасной зоной. Блокирующее устройство обеспечивает их безаварийную работу: при входе в опасную зону одного автооператора второй останавливается на подходе к ней и ожидает, пока первый не покинет ее. Все ванны имеют одинаковые размеры и взаимозаменяемы.

Регулирование температуры электролитов ванн, стабилизация плотности тока и его реверс выполняются автоматически. Так, стабилизация плотности тока осуществляется с помощью электрододатчиков и регуляторов напряжения.

Автоматическая линия включается кнопкой на выносном пульте управления, на котором также размещено световое табло сигнализации и кнопки ручного управления автооператорами. Включение технологического процесса разрешается только после загорания

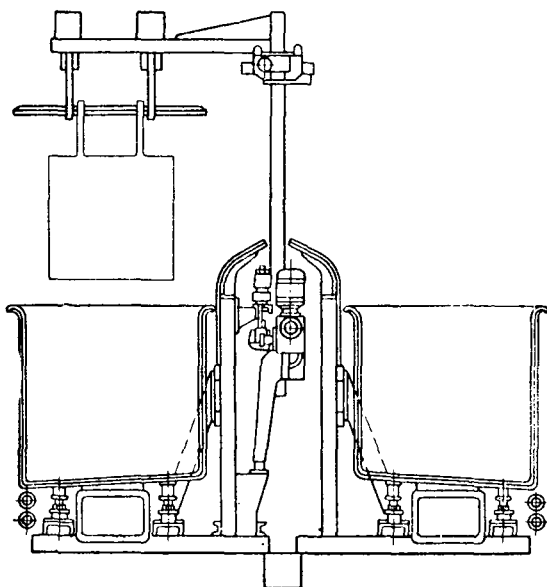


Рис. 7.9. Автооператор консольного типа

индикаторной лампочки на табло сигнализации, которая сигнализирует о прохождении деталями ванн промывки и обезжиривания. Маршрут транспортировки деталей и длительность обработки их в основных ваннах определяются программой (автоматически).

Технические данные линии АГ-16

Производительность линии при обработке деталей в м/ч:	
на подвесках	5
в барабанах	1
Грузоподъемность автооператора в кг	60
Скорость перемещения автооператора в м/мин:	
горизонтальная	12,5
вертикальная	6,25

Применение *роторных линий* для сборки более эффективно для относительно мелких изделий, состоящих из малого числа деталей, и особенно изделий, требующих при сборке использования не только собственно сборки, но и других видов обработки. Наиболь-

шая эффективность применения роторных линий достигается в условиях массового производства.

Для уменьшения размеров применяют многоярусные роторные сборочные станки. Принципиальная схема многоярусного роторного станка для сборки показана на рис. 7.10. Из встроенного бункера 1, который вращается вместе с роторами линий, заготовки попадают в лотки-магазины 2 и заполняют их, а затем поступают по одной в рабочую зону 3 (рабочую головку) первого операционного ротора 4, где осуществляется первая операция. После обработки инструментом 5 детали попадают в лотки 6, откуда поштучно подаются на вторую операцию в рабочий орган 8 ротора 7. Из лотков-магазинов 9 детали поступают на последующую операцию к рабочим головкам ротора 10 и т. д. Роторы 4, 7, 10 жестко соединены между собой и приводятся во вращение от вала ротора, который связан фланцем с ротором 4. Роторный вал, установленный на подшипниках, вращается от шестерни 11. Подшипники базируются на неподвижной трубке трубки 12, несущей на своей поверхности ряд кулачковых механизмов, обеспечивающих технологические движения рабочих органов.

В многоярусных линиях детали от ротора к ротору передаются под действием силы тяжести собранных деталей, благодаря чему не требуются транспортные роторы и сохраняется ориентация деталей. Каждая рабочая головка любого ротора имеет свой магазин в виде лотка, что обеспечивает надежность питания отдельных роторов и линии в целом. Конструктивно многоярусные роторные автоматические линии проще линий обычного типа, так как смонтированы на одном валу и не имеют транспортных роторов.

Многоярусные сборочные станки-автоматы имеют ограниченное применение и используются для сборки изделий, требующих числа переходов сборки не более 4—6. Наличие в автомате параллельных и последовательных переходов позволяет их отнести к типу станков параллельно-последовательного действия. Существуют и другие разновидности роторных станков для сборки, например специальные одноярусные сборочные станки.

При мелкосерийном производстве, недостаточном для окупаемости линии роторные линии (станки) можно оснащать различными

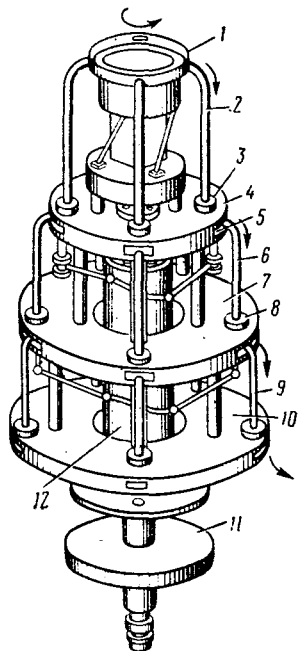


Рис. 7.10. Принципиальная схема многоярусного роторного станка для сборки

инструментами для одновременной обработки различных изделий. Схема такой многономенклатурной роторной линии показана на рис. 7.11. Круг работы роторных станков и линий ограничен. Наи-

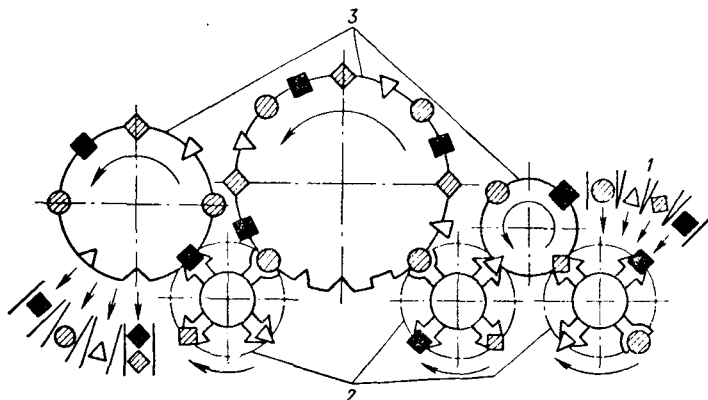


Рис. 7.11. Схема многономенклатурной роторной линии:
1 — накопители; 2 — транспортеры; 3 — рабочие роторы

более успешно на них осуществляют формоизменяющие штамповочные операции (вытяжка, отбортовка, рельефная штамповка и т. д.), сборочные и контрольные операции.

Рассмотренные роторные автоматические линии имеют жесткую связь и работают с заданным жестким ритмом. В настоящее время в промышленности получают применение роторные автоматические

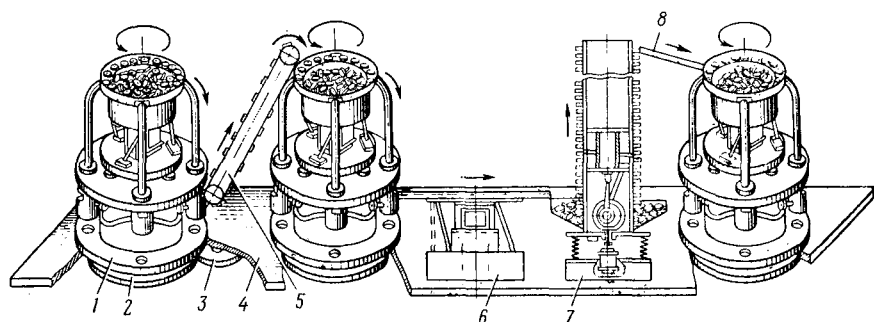


Рис. 7.12. Принципиальная схема роторной линии с гибкой связью

линии с гибкой связью. Одна из таких линий показана на рис. 7.12. Линия состоит из ряда рабочих роторов со встроенными, т. е. вращающимися вместе с рабочими роторами загрузочными устройствами. Рабочие роторы 1 приводятся в движение каждый от индивидуального привода через шестерню 3 редуктора и приводную шестерню 2 ротора. Роторы устанавливаются на общей плите 4. Полуфабрикаты передаются от операции к операции либо с помощью элеваторов 5, либо с помощью вибрототков 6, виброподъем-

ников 7 и склизов 8. После каждой операции полуфабрикат удаляется из рабочей зоны ротора и попадает в следующий бункер, где он теряет ориентировку. Перед следующей операцией в следующем роторе полуфабрикат повторно должен быть сориентирован.

Все рабочие роторы во время сборки не зависят один от другого. Каждый ротор и каждый рабочий орган ротора имеет свой запас заготовок, находящихся в чашах бункеров и в лотках рабочих органов.

§ 7.4. НАДЕЖНОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

Эффективность использования автоматической линии (многопозиционного станка) во многом определяется надежностью ее работы в эксплуатации. Под надежностью понимается способность автоматической линии в течение заданного промежутка времени сохранять свою работоспособность в процессе эксплуатации и выдерживать заданные параметры технологического процесса. Надежность связана со свойством безотказной работы оборудования (линии). В автоматической линии работает много разнообразных механизмов, в которых от различных причин возникают неполадки. Для устранения их приходится останавливать работу оборудования. Чем меньше остановов автоматической линии из-за неполадок, тем выше ее надежность. Ненадежная работа автоматической линии приводит к снижению производительности и увеличению количества обслуживающих ее наладчиков.

Надежность автоматических линий определяется многими факторами: конструктивными, технологическими, эксплуатационными и другими. Она зависит от стойкости режущего инструмента, от надежности механизмов станков, загрузочных устройств, транспортных средств, от надежности систем управления и их элементов и т. д. Надежность автоматической линии также обуславливается их ремонтпригодностью и долговечностью отдельных механизмов, сопряжений и отдельных деталей этих механизмов.

Ремонтпригодность (любое восстановление работы машины) определяется тем, насколько быстро устраняются причины отказов, а долговечность — длительностью службы линии (или отдельных ее механизмов), а также скоростью ее изнашивания.

Различают два вида надежности: надежность срабатывания и технологическую надежность. Надежность срабатывания связана с отказами в работе отдельных элементов (механизмов), а технологическая — с потерей этими (или другими) механизмами своих первоначальных, например, точностных параметров (износ инструмента, износ направляющих).

Отказы могут быть вызваны внешними причинами (отключение электроэнергии, падение давления воздуха в пневмосети, попадание стружки, затрудняющей перемещение заготовки в загрузочном устройстве) и внутренними причинами, связанными с неисправ-

ностью самого механизма (перегорела лампа усилителя, отказ которого вызывает полный отказ системы управления).

Отказы делят на внезапные и постоянные, окончательные и перемещающиеся, зависимые и независимые, конструкционные, технологические и эксплуатационные. Внезапные отказы проявляются сразу (из-за поломки зубьев в зубчатой передаче, перегорания предохранителя или лампы и др.), а постепенные — в процессе длительной эксплуатации (износ уплотнений, износ направляющих, фиксатора, засорение фильтра). В случае окончательных отказов механизм (или группа механизмов) далее работать не может, поэтому необходимо вмешательство человека (деталь наделась

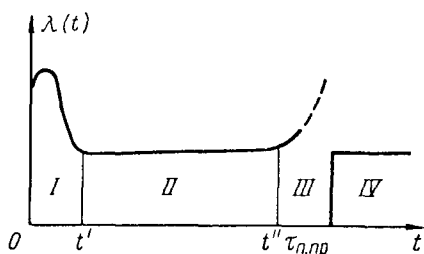


Рис. 7.13. Зависимость интенсивности отказов от времени

с перекосом на оправку в начальной стадии, автооператор не может ее протолкнуть дальше до положения самоцентрирования и не может сбросить). Перемещающиеся отказы устраняются сами без вмешательства человека. Пример — отдельные помехи в изображении по вине передающей станции или телеканала.

Отказы могут быть вызваны внешними причинами, тогда их называют независимыми (предыдущий пример), и внутренней неисправностью (внутренними причинами) — зависимые отказы. Конструктивные отказы связаны с недостаточной проработкой конструкции машин (отдельных механизмов), ошибочностью расчетов, неучетом некоторых влияющих факторов; технологические — с технологическим процессом изготовления машин, а эксплуатационные — с условиями их эксплуатации.

При работе автоматической линии (машины или механизма) всегда имеет место поток (интенсивность) отказов. Интенсивность отказов $\lambda(t)$ (отношение среднего числа отказов в единицу времени к среднему числу безотказно работающих элементов) является величиной переменной во времени в процессе эксплуатации (рис. 7.13).

Особенно велика интенсивность отказов в первый период I, период пуска и освоения, ввиду наличия неустранимых конструктивных и технологических дефектов, неприработанности контактных поверхностей в кинематических парах и других факторов. Второй период II отмечается стабильной эксплуатацией за счет устранения обнаруженных дефектов, освоения конструкции машин накопления опыта по эксплуатации этих машин у обслуживающего персонала, роста его квалификации. Одновременно с этим происходит изнашивание элементов системы (деталей), что вызывает разброс параметров работы механизмов и устройств, снижение точности и стабильности их работы. Сочетание этих факторов приводит к тому, что интенсивность появления отказов в этот период

находится приблизительно на одном уровне. Этот период является наиболее длительным и все характеристики надежности элементов (систем) рассматриваются применительно к нему. Третий период *III* характерен значительным возрастанием потока отказов ввиду изношенности механизмов и устройств, частых регулировок и подналадок, что особенно сказывается на точностных параметрах линии. Дальнейшая эксплуатация линий (машины) становится нерациональной из-за большой интенсивности отказов (штриховая кривая), и линию ремонтируют ($\tau_{п. пр}$). После ремонта интенсивность отказов, как правило, снижается до уровня отказов при стабильной эксплуатации. Четвертый период *IV* является новым периодом стабильной эксплуатации линии.

Анализ кривой интенсивности отказов позволяет наиболее полно оценить надежность линии, ее отдельных элементов, в частности инструментальных наладок, что очень важно в условиях эксплуатации. Сроком службы линии целесообразно считать период от t' до t'' . Длительность периода стабильной эксплуатации линии определяет ее долговечность. Чем продолжительнее этот период, тем больше долговечность линии.

Восстановление работоспособности линии путем ремонта осуществляется многократно до полного ее износа (физического или морального), поэтому автоматическая линия представляет собой объект многократного действия. Длительность безотказной работы автоматической линии является величиной случайной, так как отказы работы отдельных ее механизмов носят случайный характер.

Численной характеристикой случайной величины, как известно, служит вероятность ее появления и плотность распределения вероятности, поэтому основными методами анализа и количественной оценки надежности линий являются статистические методы. На основании статистических данных (хронометрических), собранных во время эксплуатации, или специальных испытаний автоматической линии, строится полигон распределения, а также определяются коэффициент надежности, интенсивность отказов и другие показатели, по которым определяется теоретический закон распределения. Законы распределения времени безотказной работы автоматической линии могут носить экспоненциальный характер (при мгновенных отказах), нормальный и гамма-распределения (при накапливающимся повреждениях) и другие. Установленный теоретический закон затем сопоставляется с экспериментальными данными и оценивается точность предварительно подсчитанной надежности.

В теории надежности используется несколько показателей для оценки надежности автоматических линий: вероятность безотказной работы в течение заданного времени $p(t)$, интенсивность отказов $\lambda(t)$, коэффициент надежности k_n , среднее время безотказной работы $T_{ср}$; среднее время между двумя соседними отказами $t_{ср}$; частота отказов $a(t)$, средняя частота $\omega(t)$. Рассмотрим некоторые из них.

Важнейшим показателем безотказности является вероятность безотказной работы, вероятность того, что система или ее элемент сохраняют работоспособность в течение определенного времени. Функциональная зависимость вероятности безотказной работы (вероятности отсутствия отказов) от проработанного времени называется функцией надежности $p(t)$. Если обозначить через T время непрерывной безотказной работы автоматической линии (от начала работы до отказа), а через t — время, для которого требуется определить вероятность безотказной работы, то

$$p(t) = p(T \geq t).$$

Эта функция может принимать любые значения между нулем и единицей $1 \geq p(t) \geq 0$.

Так как любая система или элемент в момент включения предполагаются исправными, то при исчезающе малой длительности работы линии ее работоспособность будет сохранена $p(0) = 1$ при $t \rightarrow 0$. С другой стороны, нельзя предположить, что станок или линия после включения будут работать в течение бесконечно большого интервала времени без единого отказа. Следовательно, при $t \rightarrow \infty p(t) = 0$. Между крайними значениями функция надежности имеет монотонно убывающий характер. В общем случае надежность, т. е. вероятность безотказной работы линии,

$$p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt},$$

при $\lambda(t) = \text{const} = \lambda$

$$p(t) = e^{-\lambda t},$$

где λ — интенсивность отказов; e — основание натуральных логарифмов.

Полученный закон распределения является экспоненциальным (рис. 7.14). Например, средняя интенсивность отказов $\lambda = 1/500$ означает, что через каждые 500 циклов работы появляется отказ. Чем выше интенсивность отказов, тем менее вероятно, что автоматическая линия проработает без отказа, и наоборот.

Среднее время безотказной работы T_{cp} — как математическое ожидание случайной величины:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} dt;$$

при $\lambda = \text{const}$

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}.$$

Таким образом, среднее время безотказной работы линии есть величина, обратная интенсивности отказов. Интенсивность отказов линии $\lambda(t)$ легко может быть получена из экспериментальных данных, как сумма интенсивностей отказов всех составляющих ее элементов:

$$\lambda(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)$$

или через $T_{\text{ср}}$

$$\lambda = \frac{1}{T_{\text{ср}}}; \quad T_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{k},$$

где t_i — время безотказной работы i -го элемента; k — число элементов линии, над которыми проводилось испытание.

Коэффициент надежности k_n есть среднее количество рабочих циклов между двумя отказами:

$$k_n = \frac{T_{\text{ср}}}{T},$$

где T — длительность рабочего цикла.

Рассмотренные показатели безотказности $p(t)$; $\lambda(t)$; $T_{\text{ср}}$; k_n в равной степени позволяют оценить как надежность срабатывания, так и технологическую надежность. Например, величина $p(t)$ при определении надежности срабатывания означает вероятность того, что в линии за отрезок времени t не возникнет поломок, заклиниваний, сгораний и других неисправностей устройств.

В технологической надежности величина $p(t)$ будет означать вероятность того, что за промежуток времени t после размерной подналадки или замены инструмента не появится ни одной бракованной детали и не потребуются новой размерной подналадки или замены инструмента.

Для повышения надежности часто применяют резервирование по отдельным, наиболее ненадежным и ответственным элементам (например, дублирование элементов автоматики в системах управления, применение автоматических подналадчиков и др.). При резервировании имеет место параллельное соединение элементов. В этом случае отказ i -го элемента линии при наличии m параллельно соединенных элементов будет

$$p_i = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij}).$$

Другими численными характеристиками надежности автоматических линий являются показатели ремонтпригодности. Под ремонтпригодностью следует понимать длительность единичных простоев оборудования, связанную с обнаружением, устранением и предупреждением отказов, например, среднее время $\theta_{\text{ср}}$. Эти простои тоже носят случайный характер (рис. 7.15). Зная время

простая линии при одном отказе, можно определить среднюю длительность восстановления работоспособности при n отказах

$$\theta_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \theta_i,$$

где θ_i — длительность i -го простоя из-за отказа какого-либо элемента.

В практике эксплуатации автоматических линий для уменьшения $\theta_{\text{ср}}$ широко используются профилактические мероприятия: предварительный прогрев электронной аппаратуры, прогрев масла гидросистем при работе их на холостом ходу, работа на холостом ходу всех механизмов, профилактические осмотры состояния меха-

низмов и инструментов, их подналадка, очистка от стружки, принудительная смена инструмента. Эти мероприятия обычно выполняют в начале и в конце каждой смены, а также в нерабочее время.

В период плановых ремонтов ремонтпригодность линии может быть оценена средней длительностью ($\tau_{\text{п. пр}}$) их выполнения с учетом вида ремонта (малый, средний и капитальный).

Долговечность линии есть свойство ее сохранять работоспособность до предельного старения

(при выполнении необходимых ремонтных и профилактических мероприятий). Предельное старение линии может наступить как вследствие физического износа (потери точности, жесткости, стабильности перемещений, режущих свойств и т. д.), так и морального износа, когда дальнейшая эксплуатация машин становится экономически нецелесообразной даже при ее технической пригодности.

Одним из показателей долговечности линии может служить ее технический ресурс R , равный суммарной наработке за весь срок службы от ввода линии в эксплуатацию до разрушения или иного предельного состояния, определяемого физическим или моральным износом. Ресурс может быть выражен в единицах времени либо количеством деталей, выпущенных за весь срок службы:

$$R = \beta N \eta,$$

где β — коэффициент, учитывающий долю фонда времени работы машины от общего календарного времени; N — календарный срок службы машины; η — коэффициент использования.

Обобщенные показатели надежности учитывают безотказность работы машины и ее ремонтоспособность через частоту отказов и

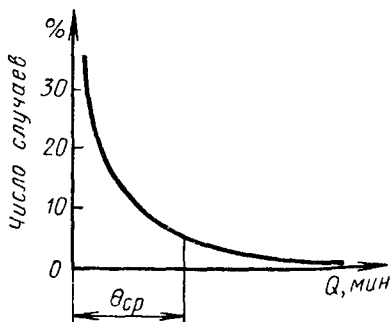


Рис. 7.15. Определение среднего времени единичного простоя

время их устранения. Такими показателями являются суммарные внецикловые потери за цикл

$$\sum t_{\text{в}} = \frac{\sum \theta_{\tau}}{z},$$

где $\sum \theta_{\tau}$ — суммарное время простоев за определенный период наблюдения при n периодах бесперебойной работы $\sum \theta_{\tau} = \theta_{\text{ср}} n$; z — количество деталей, изготовленных за этот же период, $z = nk_{\text{в}}$,
или

$$\sum t_{\text{в}} = \frac{\theta_{\text{ср}} T}{T_{\text{ср}}} = \theta_{\text{ср}} T \lambda.$$

Таким образом, внецикловые потери $\sum t_{\text{в}}$ являются не только показателем производительности, но и обобщенным показателем надежности, так как учитывают суммарное влияние безотказности и ремонтпригодности (интенсивность отказов λ и среднее время устранения отказа $\theta_{\text{ср}}$).

Расчет количественных показателей надежности действующих автоматов и автоматических линий производится в несколько этапов. На первом этапе по данным хронометража работы оборудования получают последовательность периодов бесперебойной работы, выраженную в циклах.

Например, — 20—122—234—13—18—15—28—30—30—29 и т. д.

Это означает, что после 20 циклов автооператор вышел из строя. Его отремонтировали, после чего он отработал еще 122 цикла и опять отказ и т. д. (данные по работе автооператора одного из автоматов) [24]. Всего было зафиксировано 96 случаев отказов и 96 интервалов бесперебойной работы (рис. 7.16).

Затем осуществляется обработка полученных результатов, их группировка по интервалам. Максимальный период их бесперебойной работы $t_{\text{max}} = 3090$ циклов. Выбирается база в 3600 циклов, которая делится на 20 интервалов:

Номер интервала . . .	1	2	3	4	...	19	20
Границы интервала . . .	0	180	360	540	...	3240	3420
	180	360	540	720	...	3420	3600
Число случаев, попавших в данный интервал	47	6	11	9	...	—	—

Таким образом, в 47 случаях из 96 автооператор проработал от 0 до 180 циклов, а в 6 случаях — от 180 до 360 и т. д.

На следующем этапе строят диаграммы периодов бесперебойной работы. Затем определяют коэффициент надежности

$$k_{\text{н}} = \frac{\sum_1^{20} n_i t_i}{\sum_1^n n_i} = \frac{\sum_1^{20} n_i t_i}{N},$$

где n_i — число случаев, попавших в i -й интервал; t_i — середина i -го интервала; $\sum_1^n n_i = N$ — общее число замеренных случаев; n — количество интервалов, $n_1 = 47$, $n_2 = 6$, $n_3 = 11$, $n_4 = 9$ и т. д.; $t_1 = 90$, $t_2 = 270$, $t_3 = 450$, $t_4 = 630$ и т. д.

Таким образом, получилось, что автооператор имеет наладку в среднем через 486 циклов.

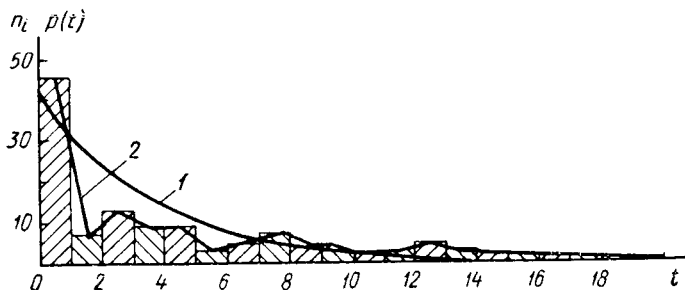


Рис. 7.16. Теоретическая 1 и экспериментальная 2 кривые надежности

После этого строят и рассчитывают по результатам эксперимента статистическую функцию надежности $p(t)$, которая в отличие от аналитической представляет собой ломаную кривую

$$p(t_i) = \frac{N - \sum_1^i n_i}{N},$$

для $t = 0-180-360-540-720 \dots$ и т. д.

$p(0) = 1,0$ — вероятность того, что автооператор проработает не менее 0 циклов;

$p(180) = \frac{96 - 47}{96} = 0,51$ — вероятность того, что автооператор проработает не менее 180 циклов;

$p(360) = \frac{96 - (47 + 6)}{96} \approx 0,45$ — вероятность того, что автооператор проработает не менее 360 циклов.

Достоверность полученных k_n и $p(t)$ будет тем выше, чем больше сделано наблюдений, поэтому на заключительном этапе производится оценка достоверности полученных значений путем измерения в каждом интервале разности между статистической вероятностной функцией и теоретическим ее значением. Разность высот анализируют, используя критерии согласия (Колмогорова, Пирсова).

Производительность автоматических линий с последовательным расположением оборудования и жесткой связью между ними (т. е. без магазинов-накопителей) определяется аналогично производительности многопозиционных станков с последовательным агрега-

тированием (см. гл. 1). Однако ненадежная работа отдельных агрегатов снижает производительность линии, поэтому на практике, стремясь уменьшить величину потерь второго и третьего вида, делят линию на участки с введением между ними магазинов-накопителей.

Если принять, что емкость магазинов-накопителей [24] достаточна для полной компенсации простоев соседних участков, то производительность участка линии определится так:

$$Q_{\text{уч}} = \frac{qk}{qkt_x + qkt_{\text{уч}} + 1},$$

где $t_{\text{уч}} = (\sum C_i \frac{1}{q} + t_e) \frac{q}{n} + t_m$; n — число участков, на которые разделена линия; t_m — потери магазина-накопителя на границе участка; $t_{\text{уч}}$ — общие потери участка; $\frac{q}{n}$ — число станков, заблокированных в участке; k — технологическая производительность; t_x — время холостых ходов; t_e — потери времени на ремонт станков.

Но такое допущение не всегда справедливо, так как на практике магазины-накопители никогда полностью не компенсируют потерь из-за ограниченной емкости, поэтому в каждом участке наряду с собственными потерями, вызванными недостаточной долговечностью и надежностью в работе механизмов и инструмента, появляются дополнительные потери. Таким образом, производительность автоматической линии может быть определена через производительность участка ее с учетом собственных и дополнительных потерь:

$$Q_{\text{а. л}} = \frac{qk}{qkt_x + qkt_{\text{уч}}\omega + 1},$$

где ω — коэффициент внецикловых потерь, учитывающий влияние соседних станков и участков, может быть определен через число участков n и коэффициент межучасткового наложения Δ :

$$\omega = 1 + \Delta (n - 1),$$

причем коэффициент Δ одинаков для всех участков линии, а величина дополнительных потерь неодинакова и зависит от места расположения участка. Подставляя выражение для ω в формулу для $Q_{\text{а. л}}$, получим обобщенную формулу производительности:

$$Q = \frac{qk}{qkt_x + kt_{\text{уч}} \frac{q}{n} [1 + \Delta (n - 1)] + 1}.$$

Эта формула справедлива для всех возможных вариантов компоновок машин с последовательным агрегатированием.

Из формулы обобщенной производительности можно, как частный случай ($n = 1$), получить выражение производительности автоматической линии без заделов-накопителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрющенко В. А., Ломов В. С. Электронные и полупроводниковые устройства следящего привода. М., «Машиностроение», 1967, 464 с.
2. Бессекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. М., «Наука», 1966, 992 с.
3. Богуславский Б. Л. Автоматы и комплексная автоматизация. М., «Машиностроение», 1964, 536 с.
4. Бобров В. П. Проектирование загрузочно-транспортных устройств к станкам и автоматическим линиям. М., «Машиностроение», 1964, 292 с.
5. Гринштейн Л. Л. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. М., «Высшая школа», 1968, 175 с.
6. Глазов Г. А. Комплексная механизация механических цехов в мелкосерийном производстве. М., «Машиностроение», 1972, 256 с.
7. Киселев В. М. Фазовые системы числового программного управления станками. М., «Машиностроение», 1966, 376 с.
8. Козел М. М. Основы автоматизации производства. М., «Высшая школа», 1966, 210 с.
9. Колосов С. П., Калмыков Г. В., Нефедова В. П. Элементы автоматики. М., «Машиностроение», 1970, 392 с.
10. Лебедовский М. С., Федотов А. И. Автоматизация сборочных работ. Лениздат, 1970, 448 с.
11. Малов А. Н. Механизация и автоматизация сборочных работ в приборостроении. М., «Машиностроение», 1964, 352 с.
12. Малов А. Н. Загрузочные устройства для металлорежущих станков. М., «Машиностроение», 1972, 480 с.
13. Мелкозеров Н. С. Приводы в системах автоматического управления. М.—Л., «Энергия», 1966, 384 с.
14. Митрофанов С. П. Научные основы организации группового производства. М.—Л., Машгиз, 1963, 308 с.
15. Муценек К. Я. Автоматизация сборочных процессов. Л., «Машиностроение», 1969, 108 с.
16. Норицын И. А., Власов В. И. Автоматизация и механизация технологических процессовковки и штамповки. М., «Машиностроение», 1967, 388 с.
17. Плоткин Е. М., Левин Ю. Ш. Комплексная механизация на предприятиях радиопромышленности и приборостроения. М., «Машиностроение», 1968, 288 с.
18. Рабинович А. Н. Автоматизация механо-сборочного производства. Киев, «Высшая школа», 1969, 535 с.
19. Ратмиров В. А., Чурин И. Н., Шмуцер С. Л. Повышение точности и производительности станков с программным управлением. М., «Машиностроение», 1970, 344 с.
20. Соколов Н. Г., Елисеев В. А. Расчеты по автоматизированному электроприводу металлорежущих станков. М., «Высшая школа», 1970, 293 с.
21. Техническая кибернетика. Под ред. В. В. Солодовникова. Кн. 1. М., «Машиностроение», 1967, 768 с.
22. Ткалин И. М. Поточное производство электрических приборов. М., «Энергия», 1965, 344 с.
23. Тмарченко В. С. Основы конструирования сборочных машин электровакуумного производства. М., «Энергия», 1967, 136 с.
24. Шаумян Г. А., Кузнецов М. М., Волчкович Л. И. Автоматизация производственных процессов. М., «Высшая школа», 1967, 471 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Основные положения автоматизации производства	5
§ 1.1. Основные понятия и определения	5
§ 1.2. Уровень механизации и автоматизации производства	6
§ 1.3. Классификация автоматического оборудования и технологических процессов	9
§ 1.4. Основные предпосылки автоматизации в приборостроении	14
§ 1.5. Основные положения теории производительности	16
§ 1.6. Технологический процесс автоматизированного производства	25
Глава 2. Системы управления	29
§ 2.1. Общие положения	29
§ 2.2. Системы управления общим циклом работы оборудования	32
§ 2.3. Системы управления отдельными циклами. Системы с упорами, кулачками и копирами	33
§ 2.4. Системы программного управления	51
§ 2.5. Классификация СПУ	57
Позиционные СПУ	57
Функциональные СПУ	65
§ 2.6. Программирование	90
§ 2.7. Технологическое оборудование с программным управлением и тенденции развития СПУ	101
Глава 3. Элементы теории систем автоматического регулирования	118
§ 3.1. Общие положения	118
§ 3.2. Динамика САР	123
§ 3.3. Стабилизация и синтез линеаризованных САР	135
§ 3.4. Экспериментальное определение динамических свойств САР	143
§ 3.5. Применение теории автоматического регулирования для обеспечения точности и производительности	151
Глава 4. Устройства и аппаратура автоматического управления	162
§ 4.1. Датчики	162
§ 4.2. Измерительные схемы	177
§ 4.3. Реле и усилители	184
§ 4.4. Приводы	208
Глава 5. Автоматизация загрузки	226
§ 5.1. Назначение и виды загрузочных устройств	226
§ 5.2. Магазины	228
§ 5.3. Бункерные загрузочные устройства	236

Глава 6. Автоматизация сборки в приборостроении	292
§ 6.1. Общие сведения	292
§ 6.2. Методы сборки	296
§ 6.3. Условия, необходимые для автоматизации процесса сборки .	302
§ 6.4. Рекомендации по выбору технологического процесса автоматической сборки	304
§ 6.5. Основные точностные требования, предъявляемые к сборочным станкам	306
§ 6.6. Станки для автоматической сборки	322
Глава 7. Поточные и автоматические линии	332
§ 7.1. Связь между автоматизацией производственных процессов и формами их организации	332
§ 7.2. Поточное производство	332
§ 7.3. Автоматические линии в приборостроении	341
§ 7.4. Надежность и производительность автоматических линий . .	357
Список литературы	366

Алексей Николаевич МАЛОВ, Юрий Викторович ИВАНОВ

ОСНОВЫ АВТОМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Редактор издательства Н. П. Гурвич
Технический редактор А. Ф. Уварова. Корректор З. В. Снимщикова
Переплет художника В. М. Аладьева

Сдано в набор 9/X 1973 г. Подписано к печати 1/IV 1974 г. Т-06338
Формат 60×90^{1/16} Бумага № 3 Усл. печ. л. 23 Уч.-изд. л. 24,1
Тираж 37 000 экз. Заказ 591. Цена 1 р. 05 к.

Издательство «Машиностроение», 107885, Москва, Б-78, 1-й Басманный пер., 3

Ленинградская типография № 6 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
193144, Ленинград, С-144, ул. Моисеенко, 10

10.05/6

44 222

14

28244



НАЦИОНАЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА СССР