

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра металлорежущих станков и инструментов

Составитель
В. А. Коротков

ПРОДУКЦИЯ ВЕДУЩИХ СТАНКОСТРОИТЕЛЬНЫХ ФИРМ

Методические указания к лабораторным работам

Рекомендовано учебно-методической комиссией по направлению
подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств
в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2025

Рецензенты:

Рябов С. А. – кандидат технических наук, доцент кафедры металлорежущих станков и инструментов ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Коротков Виталий Александрович

Продукция ведущих станкостроительных фирм : методические указания к лабораторным работам для обучающихся по направлению подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств всех форм / Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, Кафедра металлорежущих станков и инструментов ; составитель: В. А. Коротков. – Кемерово : КузГТУ, 2025. – 1 файл (4519 КБ). – Текст : электронный.

Приведен теоретический и практический материал, необходимый для успешного изучения дисциплины.

Назначение издания – помощь обучающимся в получении знаний в области материаловедения.

© Кузбасский государственный
технический университет
имени Т. Ф. Горбачева, 2025
© Коротков В. А., составление,
2025

СОДЕРЖАНИЕ

<u>Лабораторная работа №1 «Типовые механизмы металлорежущих станков»</u>	4
<u>Лабораторная работа №2 «Выбор станков для различной серийности производства»</u>	35
<u>Лабораторная работа №3 «Определение жесткости станков»</u>	67
<u>Лабораторная работа №4 «Исследование тепловых деформаций станков»</u>	74
<u>Лабораторная работа №5 «Системы счисления и кодирования информации для систем управления станков с ЧПУ»</u>	80
<u>Лабораторная работа №6 «Выбор конструкции привода главного движения станков с ЧПУ»</u>	106
<u>Лабораторная работа №7 «Режущий инструмент для токарных станков с ЧПУ»</u>	128
<u>Список литературы</u>	139

Лабораторная работа №1

Типовые механизмы металлорежущих станков

1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Цель работы: научиться читать кинематические схемы металлорежущих станков.

Содержание: ознакомление с основными условными обозначениями для кинематических схем металлорежущих станков, изучение конструкций, принципов действия типовых механизмов металлорежущих станков и особенностей их применения в металлорежущих станках.

2. ПОРЯДОК РАБОТЫ

1. Ознакомиться с основными условными обозначениями для кинематических схем.

2. Изучить принципы работы типовых приводов и механизмов металлорежущих станков:

- для регулирования бесступенчатого изменения скорости вращения;
- для регулирования ступенчатого изменения скорости вращения;
- для реверсирования движения;
- для прямолинейного поступательного движения;
- для получения прерывистых движений;
- для предохранения привода станка от перегрузок;
- планетарных механизмов.

3. ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ

В металлорежущих станках движения формообразования, установочные, делительные и вспомогательные движения осуществляются посредством соответствующих механизмов.

Совокупность механизмов, передающих движение от задающего устройства к исполнительному называется кинематической цепью металлорежущего станка.

Условное изображение кинематической цепи металлорежущего станка на плоскости называется кинематической цепью металлорежущего станка.

На рис. 1 приведены наиболее употребительные в станкостроении условные обозначения кинематических схем:

- 1 – общее обозначение двигателя без уточнения типа;
- 2 – общее обозначение электродвигателя;
- 3 – электродвигатель на лапах;
- 4 – электродвигатель фланцевый;
- 5 – электродвигатель встроенный;
- 6 – вал, ось, стержень, шатун и т. п.;
- 7 – конец шпинделя для центровых работ;
- 8 – конец шпинделя для патронных работ;
- 9 – конец шпинделя для работ с цанговым патроном;
- 10 – конец шпинделя для сверлильных работ;
- 11 – конец шпинделя для расточных работ с планшайбой;
- 12 – конец шпинделя для фрезерных работ;
- 13 – конец шпинделя для кругло, плоско и резьбошлифовальных работ;
- 14 – ходовой винт для передачи движения;
- 15 – неразъемная маточная гайка скольжения;
- 16 – неразъемная маточная гайка с шариками;
- 17 – разъемная маточная гайка скольжения;
- 18 – радиальный подшипник без уточнения типа;
- 19 – радиально-упорный односторонний подшипник без уточнения типа;
- 20 – радиально-упорный двусторонний подшипник без уточнения типа;
- 21 – упорный односторонний подшипник без уточнения типа;
- 22 – упорный двусторонний подшипник без уточнения типа;
- 23 – радиальный подшипник скольжения;
- 24 – радиальный самоустанавливающийся подшипник скольжения;
- 25 – радиально-упорный односторонний подшипник скольжения;

- 26 – радиально-упорный двусторонний подшипник скольжения;
- 27 и 28 – упорные односторонние подшипники скольжения;
- 29 и 30 – упорные двусторонние подшипники скольжения;
- 31 – радиальный подшипник качения (общее обозначение);
- 32 – радиальный роликовый подшипник;
- 33 – радиальный самоустанавливающийся подшипник качения;
- 34 и 35 – радиально-упорные односторонние подшипники качения;
- 36 и 31 – радиально-упорные двусторонние подшипники качения;
- 38 – радиально-упорный роликовый односторонний подшипник;
- 39 и 40 – упорные односторонние подшипники качения;
- 41 – упорный двусторонний подшипник качения;
- 42 – свободное для вращения соединение детали с валом;
- 43 – подвижное вдоль оси соединение детали с валом;
- 44 – соединение детали с валом посредством вытяжной шпонки;
- 45 – глухое, неподвижное соединение детали с валом;
- 46 – глухое жесткое соединение двух соосных валов;
- 47 – глухое соединение валов с предохранением от перегрузки;
- 48 – эластичное соединение двух соосных валов;
- 49 – шарнирное соединение валов;
- 50 – телескопическое соединение валов;
- 51 – соединение двух валов посредством плавающей муфты;
- 52 – соединение двух валов посредством зубчатой муфты;
- 53 – соединение двух валов предохранительной муфтой;
- 54 – кулачковая односторонняя муфта сцепления;
- 55 – кулачковая двусторонняя муфта сцепления;
- 56 – фрикционная муфта сцепления (без уточнения вида и типа);
- 88, *a* – шарнирное соединение одноколейного вала с шатуном;
- 88, *б* – шарнирное соединение многоколенного вала с шатуном;
- 88, *в* – коленвал с жестким противовесом;
- 88, *г* – коленвал с маятниковым противовесом;
- 57 – фрикционная односторонняя муфта (общее обозначение);

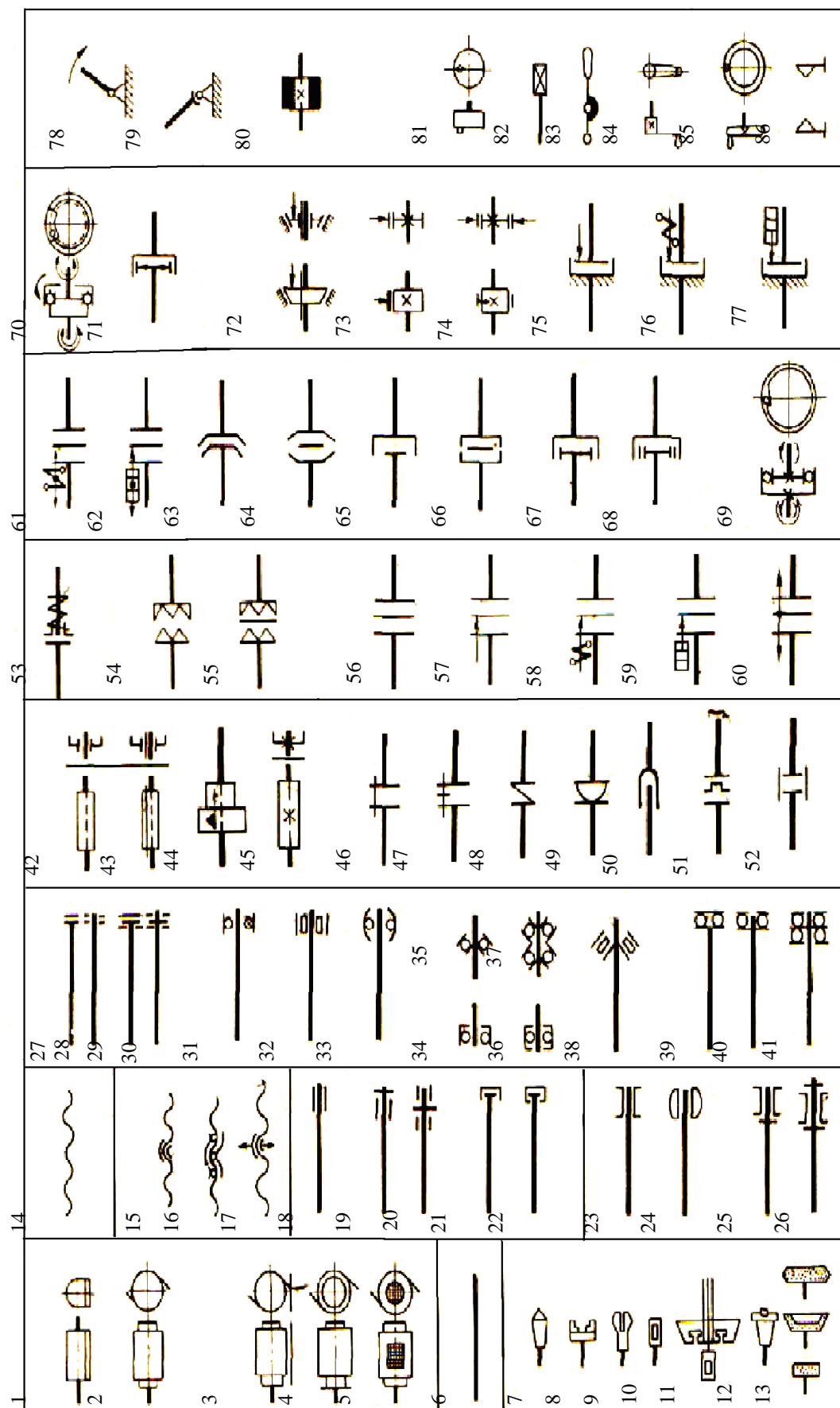


Рис. 1. Условные обозначения на кинематических схемах

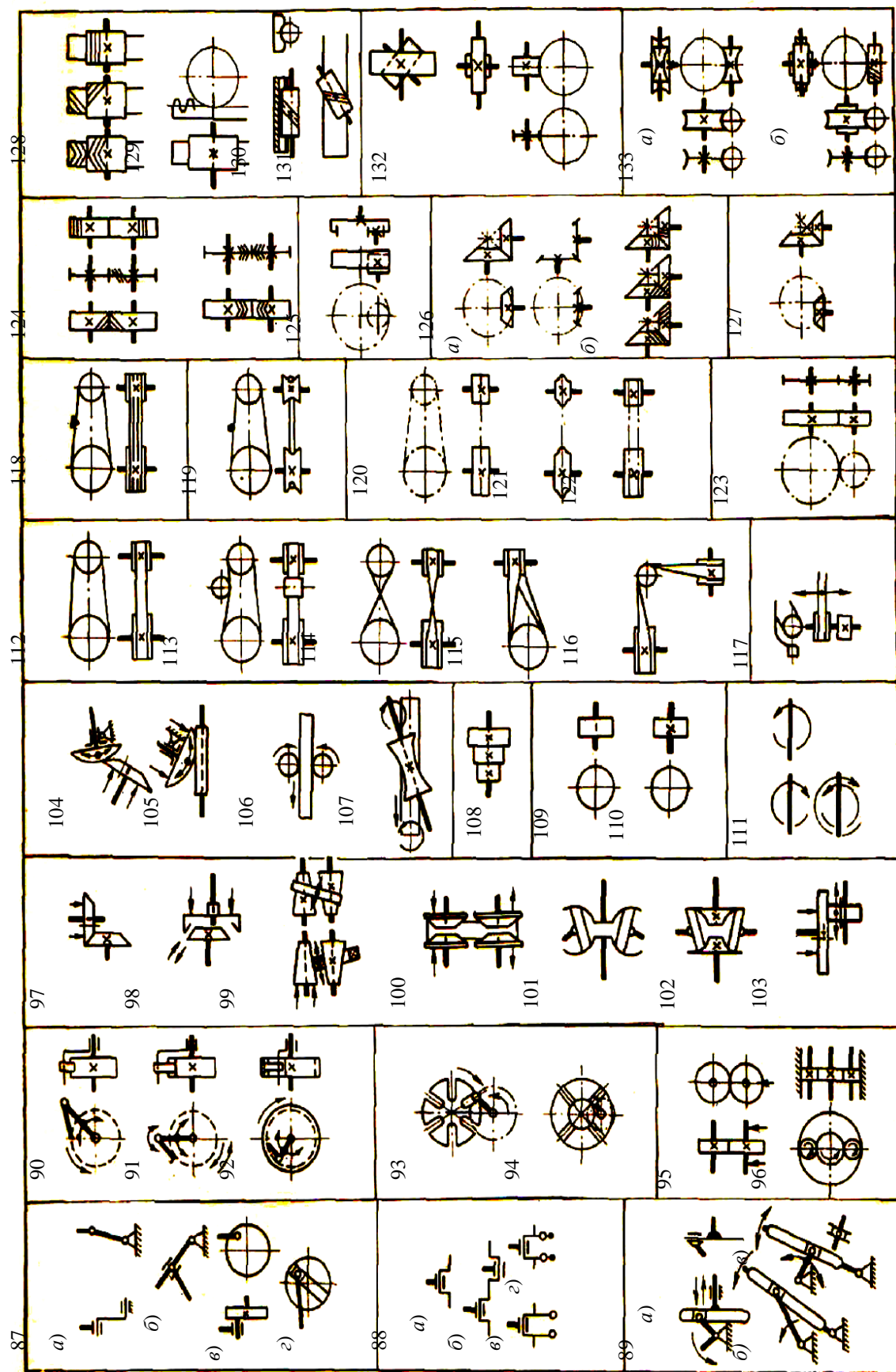


Рис. 1. Продолжение

- 58 – фрикционная односторонняя электромагнитная муфта;
- 59 – фрикционная односторонняя гидравлическая или пневматическая муфта (общее обозначение);
- 60 – фрикционная двусторонняя муфта (общее обозначение);
- 61 – фрикционная двусторонняя электромагнитная муфта;
- 62 – фрикционная двусторонняя гидравлическая или пневматическая муфта (общее обозначение);
- 63 – фрикционная конусная односторонняя муфта;
- 64 – фрикционная конусная двусторонняя муфта;
- 65 – фрикционная дисковая односторонняя муфта;
- 66 – фрикционная дисковая двусторонняя муфта;
- 67 – фрикционная муфта с колодками;
- 68 – фрикционная муфта с разжимным кольцом;
- 69 – самовыключающая односторонняя муфта обгона;
- 70 – самовыключающая двусторонняя муфта обгона;
- 71 – самовыключающая центробежная муфта;
- 72 – тормоз конусный;
- 73 – тормоз колодочный;
- 74 – тормоз ленточный;
- 75 – тормоз дисковый;
- 76 – тормоз дисковый электромагнитный;
- 77 – тормоз дисковый гидравлический или пневматический;
- 77 – тормоз дисковый гидравлический или пневматический;
- 78 – шарнирное соединение стержня с неподвижной опорой с движением только в плоскости чертежа;
- 79 – соединение стержня с опорой шаровым шарниром;
- 80 – маховик, жестко установленный на валу;
- 81 – эксцентрик, установленный на конце вала;
- 82 – конец вала под съемную рукоятку;
- 83 – рычаг переключения;
- 84 – рукоятка, закрепленная на конце вала;
- 85 – маховичок, закрепленный на конце вала;
- 86 – передвигаемые упоры;
- 87, а и 87, в – шарнирное соединение кривошипа постоянного радиуса с шатуном;
- 87, б и 81, г – шарнирное соединение кривошипа переменного радиуса с шатуном;

89, *а* – кривошипно-кулисный механизм с поступательно движущейся кулисой;

89, *б* – кривошипно-кулисный механизм с вращающейся кулисой;

89, *в* – кривошипно-кулисный механизм с качающейся кулисой;

90 – односторонний храповой зубчатый механизм с наружным зацеплением;

91 – двусторонний храповой зубчатый механизм с наружным зацеплением;

92 – односторонний храповой зубчатый механизм с внутренним зацеплением;

93 – мальтийский механизм с радиальным расположением пазов с наружным зацеплением;

94 – мальтийский механизм с радиальным расположением пазов с внутренним зацеплением;

95 – фрикционная передача с цилиндрическими роликами наружного зацепления (контакта);

96 – фрикционная передача с цилиндрическими роликами внутреннего зацепления (контакта);

97 – фрикционная передача с коническими роликами наружного зацепления;

98 – регулируемая фрикционная передача с коническими роликами внутреннего зацепления;

99 – регулируемая фрикционная передача с коническими шкивами и промежуточным кольцом;

100 – регулируемая фрикционная передача с подвижными коническими шкивами и клиновым ремнем;

101 – регулируемая фрикционная передача с тороидными шкивами и поворотными сферическими роликами;

102 – регулируемая фрикционная передача с полутороидными шкивами (типа Светозарова);

103 – регулируемая торцовая фрикционная передача;

104 – регулируемая фрикционная передача со сферическими и коническими роликами;

105 – регулируемая фрикционная передача со сферическими и цилиндрическими роликами;

106 – фрикционная передача с цилиндрическими роликами;

107 – фрикционная передача с гиперболоидными роликами;

- 108 – шкив ступенчатый, закрепленный на валу;
- 109 – шкив холостой на валу;
- 110 – шкив рабочий, закрепленный на валу;
- 111 – указатели вращения вала соответственно: по часовой стрелке, против часовой стрелки и в обе стороны;
- 112 – открытая передача плоским ремнем;
- 113 – открытая передача плоским ремнем с натяжным роликом;
- 114 – перекрестная передача плоским ремнем;
- 115 – полуперекрестная передача плоским ремнем;
- 116 – угловая передача плоским ремнем;
- 117 – отводка ремня плоскоременной передачи;
- 118 – передача клиновидными (текстурными) ремнями;
- 119 – передача круглым, ремнем или шнуром;
- 120 – общее обозначение цепной передачи без уточнения типа;
- 121 – роликовая цепная передача;
- 122 – бесшумная (зубчатая) цепная передача;
- 123 – цилиндрическая зубчатая передача с внешним зацеплением (общее обозначение);
- 124 – цилиндрическая зубчатая передача с внешним зацеплением между параллельными валами, соответственно с косыми, прямыми и шевронными зубьями;
- 125 – цилиндрическая зубчатая передача с внутренним зацеплением между параллельными валами (общее обозначение);
- 126, *а* – коническая зубчатая передача между пересекающимися валами (общее обозначение без уточнения типа);
- 126, *б* – коническая зубчатая передача соответственно с прямыми, спиральными и круговыми зубьями;
- 127 – коническая гипоидная зубчатая передача;
- 128 – зубчатая реечная передача, соответственно с шевронными, косыми и прямыми зубьями;
- 129 – общее обозначение зубчатой реечной передачи;
- 130 – реечная передача с червячной рейкой и червяком;
- 131 – реечная передача с зубчатой рейкой и червяком;
- 132 – винтовая зубчатая передача соответственно под прямым или острым углом;
- 133, *а* – червячная глобоидная передача;
- 133, *б* – червячная передача с цилиндрическим червяком.

4. ТИПОВЫЕ ПРИВОДЫ И МЕХАНИЗМЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

4.1. Приводы и механизмы для бесступенчатого изменения скорости вращения

Для достижения максимальной производительности станка и удобства его обслуживания в станкостроении находят применение различного вида приводы и механизмы для бесступенчатого изменения скорости (рис. 2). Последние бывают механического (вариаторы), электрического и гидравлического типов.

Вариатор с раздвижными конусами. Этот тип вариатора (поз. 1) выполняется с различным видом связи C . В качестве связи C применяются стандартные или специальные клиновые ремни. Плавное изменение скорости выходного шкива III в диапазоне 4–8 достигается путем одновременного раздвигания одной и сближения другой пары конусов. При этом изменяются диаметры рабочей части ведущих $III_{к1}$ и ведомых $III_{к2}$, конусов.

Сдвоенный торцовый вариатор. В приводах вспомогательных движений применяются одинарные или сдвоенные (поз. 2) торцовые вариаторы. Движение от вала I через диск D_1 , подвижной ролик P_k и диск D_2 передается валу III. Бесступенчатое изменение скорости вращения вала III в диапазоне 20–25 и выше достигается за счет перемещения ролика P_k вдоль вала II.

Тороидный вариатор. Этот вариатор (поз. 3) имеет следующий принцип работы. На валу свободно насажены тороидные шкивы – ведущий III_{T1} и ведомый III_{T2} , связанные между собой сферическими дисками D_c . Последние свободно вращаются на поворотных цапфах. При указанном на схеме положении сферических дисков вращение от ведущего тороидного шкива на ведомый передается с большего диаметра D_{max} меньшему диаметру D_{min} . При повороте цапф со сферическими дисками D_c в положение, указанное на схеме штрихами, вращение будет передаваться с меньшего диаметра ведущего шкива большему диаметру ведомого шкива. Бесступенчатое изменение скорости вращения шкива достигается поворотом цапф со сферическими дисками D_c .

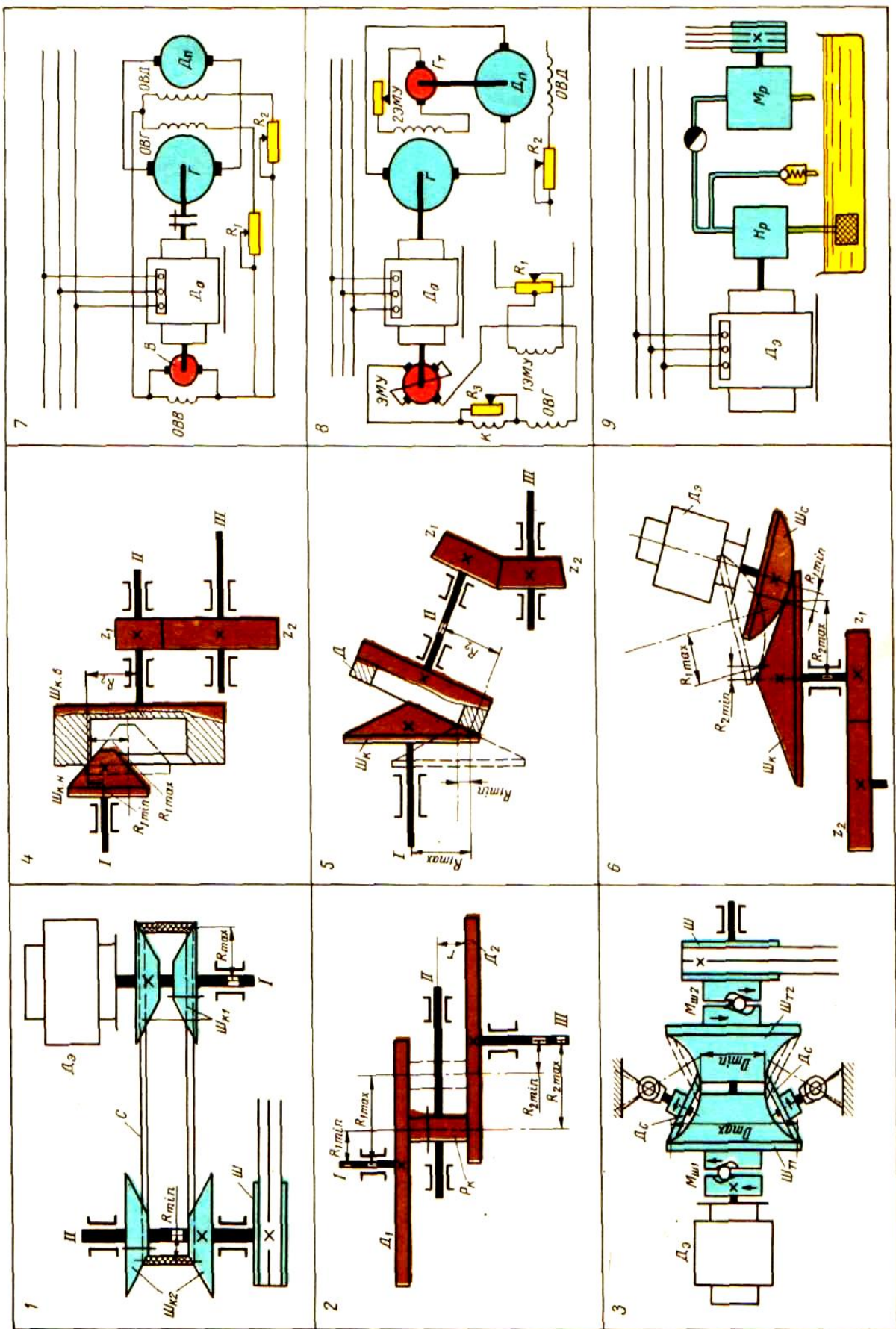


Рис. 2. Типовые приводы и механизмы для бесступенчатого изменения скоростей вращения

Вариатор с наружным и внутренним коническими шкивами. Движение от вала I (поз. 4) через наружный конический шкив $III_{к.н}$ и шкив III_k в внутренней конической поверхностью передается валу II и далее через передачу z_1-z_2 валу III. Вал I совместно со шкивом $III_{к.н}$ может перемещаться вдоль образующем своего конуса, благодаря чему рабочий радиус шкива III_k , меняется от R_{1min} до R_{2max} . При этом передаточное отношение вариатора изменяется в диапазоне 3–4.

Торцоконический вариатор. В этом вариаторе (поз. 5) вал I с коническим шкивом III_k находится в постоянном контакте с торцовой поверхностью диска D , который передает вращение валу II и через коническую передачу z_1-z_2 ведомому валу III. Для бесступенчатого изменения скорости вращения вала III предусмотрена возможность перемещения вала I с коническим шкивом III_k вдоль его образующей, что позволяет изменять рабочий радиус конического шкива от R_{1min} до R_{2max} .

Сфероконический вариатор. Отличительным признаком этого вариатора (поз. 6) является применение шкива III_c со сферической рабочей поверхностью, которая имеет контакт с конической поверхностью шкива III_k . При изменении угла наклона оси электродвигателя $D_э$ со сферическим шкивом III_c изменяются рабочие радиусы как сферического, так и конического шкивов, что обеспечивает более широкий диапазон изменения передаточного отношения вариатора в пределах 9–16.

Генератор-двигатель. Система генератор-двигатель (поз. 7) состоит из асинхронного электродвигателя D_a , генератора G , возбуждателя B и рабочего электродвигателя D_n постоянного тока. Возбудитель B представляет собой маломощный генератор с самовозбуждением, который предназначен для питания обмотки возбуждения ОВГ генератора G и обмотки возбуждения ОВД электродвигателя D_n . Диапазон изменения скорости равен 10–16.

Электромашинный усилитель. В станкостроении нашли также широкое применение системы электромашинного управления. За счет изменения сопротивления R_1 (поз. 8) в обмотке 1ЭМУ можно менять величину и направление тока. На обмотку 2ЭМУ подается питание с тахогенератора G_T , установленного на валу электродвигателя D_n . Таким образом, в цепи создается напряжение пропорциональное разности потоков в обмотках возбуждения 1ЭМУ и

2ЭМУ. Это напряжение подается на обмотку возбуждения ОВГ генератора. ЭМУ обеспечивает возможность бесступенчатого изменения скорости движения рабочих органов станков в широком диапазоне (400–1000).

Гидравлические приводы. Асинхронный электродвигатель переменного тока D , (поз. 9), соединен с гидравлическим насосом H_p . Последний подает масло в гидравлический двигатель M_p , соединенный с рабочими органами станка. Бесступенчатое изменение скорости осуществляется за счет изменения количества масла как подаваемого насосом, так и потребляемого гидравлическим двигателем на каждый его оборот.

4.2. Типовые механизмы для ступенчатого изменения скорости

В зависимости от назначения станка, требуемого диапазона регулирования, величины передаваемых нагрузок и других условий работы в приводах металлорежущих станков используются различные механизмы для ступенчатого изменения скорости (рис. 3).

Многоскоростные электродвигатели. В современных конструкциях металлорежущих станков довольно часто встречаются двух-, трех- и даже четырехскоростные асинхронные электродвигатели (поз. 1). Двухскоростные электродвигатели выпускают с числом оборотов 3000/1500 или 1500/750, трехскоростные – с числом оборотов 3000/1500/1000 и четырехскоростные – с числом оборотов 3000/1500/1000/750.

Ступенчатые шкивы (поз. 2). Изменение скорости с помощью ступенчатых шкивов достигается перестановкой ремня с одной ступени на другую. Для того чтобы ремень без специального натяжного устройства мог передавать крутящий момент на любой из имеющихся скоростей, сумму диаметров сопряженных шкивов делают постоянной на всех ступенях, т. е.

$$D_1 + D_5 = D_2 + D_6 = D_3 + D_7 = D_4 + D_8$$

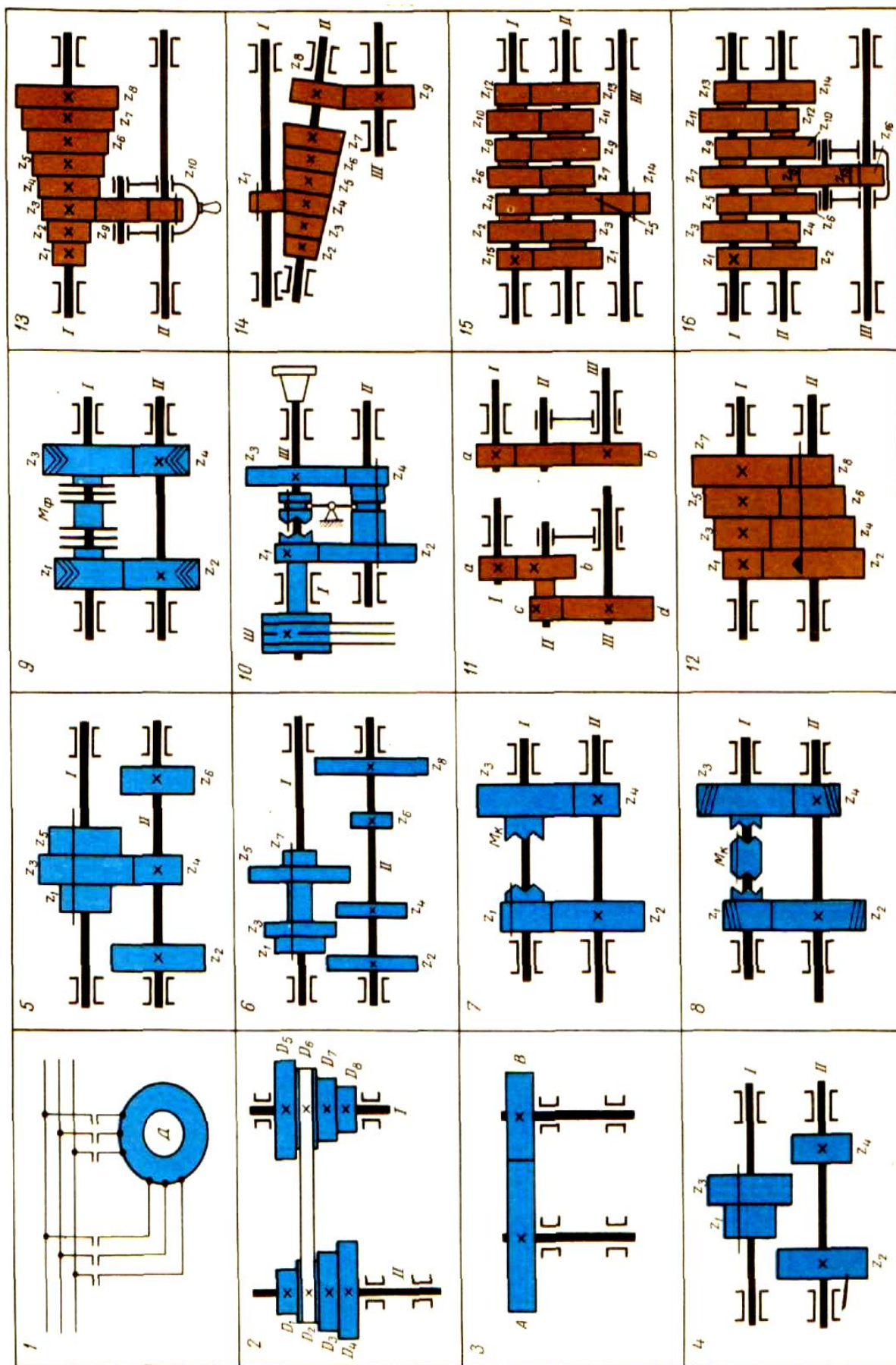


Рис. 3. Типовые механизмы для ступенчатого изменения скоростей вращения

Парносменные колеса. В станках для массового и крупносерийного производства, а также в специализированных стайках для изменения скорости движения используются парносменные колеса *A* и *B* (поз. 5). В зависимости от желаемого количества скоростей к станку прилагается комплект сменных колес, пользуясь которыми получают геометрический ряд чисел оборотов шпинделя. Количество возможных скоростей равно количеству сменных колес.

Шестеренные коробки скоростей. Коробки применяются как самостоятельные узлы в станках с разделенным приводом и как составная часть шпиндельной бабки или механизма подачи (встроенные коробки). Последние имеют большее применение в станках вследствие их компактности, меньшей стоимости и удобства передачи вращения рабочим органам станка.

Изменение скорости вращения ведомого вала шестеренных коробок достигается за счет включения в работу той или иной комбинации шестерен. В коробках скоростей применяются различные способы включения зубчатых колес в работу: передвиганием блоков шестерен вдоль оси валов (поз. 4, 5, 6, 14 и 15), кулачковыми муфтами M_k (поз. 7 и 8), фрикционными муфтами M_f (поз. 9), накидыванием шестерни (поз. 13 и 16) или выдвижной шпонкой (поз. 12). Каждый из указанных способов переключения скоростей коробок обладает своими достоинствами и недостатками.

Коробки скоростей с кулачковыми и фрикционными муфтами позволяют использовать зубчатые колеса с косыми и шевронными зубьями, обеспечивающими при прочих равных условиях большую прочность и долговечность, а также бесшумность в работе.

Однако пониженный КПД делает их менее пригодным для быстроходных приводов. Коробки скоростей с накидными шестернями, выдвижной шпонкой и множительного типа, в силу недостаточной их прочности и низкого КПД применяются исключительно в механизмах подачи и вспомогательных движений.

Для изменения скорости движения резания и подачи почти всегда используют не один тип коробки, а определенную комбинацию из типовых механизмов, являющуюся для данного привода станка наиболее оптимальной. Так, например, для специализированных и операционных станков используются парносменные колеса в сочетании с двух- или трехскоростной коробкой. Коробки подач токарно-винторезных станков обычно состоят из механизма с

конусом I шестерен и множительного механизма. В коробках скоростей приводов движения резания обычно встречаются комбинации из механизмов с подвижными блоками шестерен, кулачковыми и фрикционными муфтами, переборными устройствами и т. д.

Принцип работы каждого из механизмов шестеренных короб скоростей ясен из схемы.

Переборные устройства (поз. 10). В старых конструкциях станков ступенчатошквивные приводы обычно снабжались переборами, которые увеличивали количество скоростей и позволяли передавать шпинделю больший крутящий момент. В дальнейшем, в связи с применением шестеренных короб скоростей, переборные устройства прежней конструкции потеряли свое значение. Однако в настоящее время вследствие повышения быстроходности станков и использования, так называемых разделенных приводов (когда коробка скоростей монтируется отдельно от шпиндельного узла) переборные устройства вновь находят себе применение. Перебор позволяет вдвое увеличить количество скоростей шпинделя и понизить его число оборотов до 16 раз (см. станки моделей 1А616, 6П80Г, 6Н81 и др.).

Гитара сменных колес. В тех случаях, когда необходимо обеспечить изменение скорости в широком диапазоне с большим количеством скоростей и при точном передаточном отношении, используют гитару сменных колес (поз. 11). Особенно широкое применение этот механизм нашел в приводах делительных цепей и обкатки, реже он встречается в приводах подачи.

Передаточное отношение для каждой настройки привода определяется соотношением чисел зубьев сменных колес.

К станкам, имеющим гитару, прилагаются наборы сменных колес. Наборы бывают пятковые, четные и универсальные. В пятковом наборе числа зубьев сменных колес от 20 до 100 чередуются через 5, в четном наборе – через 4 зуба.

Универсальный набор, разработанный ЭНИМСом, используется для ответственных делительных цепей.

4.3. Типовые механизмы для реверсирования движения

Большинство рабочих органов станков в процессе их работы должны изменять направление своего движения. Для этой цели служат различные виды реверсивных механизмов (рис. 4).

Реверсирование электродвигателем. Если допускается реверсирование всей цепи привода, то изменение направления движения рабочего органа может быть осуществлено реверсированием вращения ротора электродвигателя. Для асинхронного электродвигателя трехфазного тока в этом случае достаточно поменять местами две фазы (поз. 1, *а*), а для реверсирования электродвигателя постоянного тока изменить полярность тока (поз. 1, *б*).

Реверс с двумя паразитными колесами. Этот реверс (поз. 2) представляет собой механизм, состоящий из четырех цилиндрических колес, смонтированных в подвижной рамке *Р*, которая может находиться в трех положениях. В первом положении (поз. 2, *а*) вращение от ведущего колеса z_1 к ведомому колесу z_4 передается через паразитные колеса z_2 и z_3 и поэтому колесо z_4 вращается в направлении, противоположном направлению вращения колеса z_1 . Во втором положении (поз. 2, *б*) ведущее колесо z_1 не зацепляется ни с одним из паразитных колес и поэтому ведомое колесо z_4 не вращается. В положении (поз. 2, *в*) паразитное колесо z_3 непосредственно входит в зацепление с ведущим колесом z_1 , а колесо z_2 вращается вхолостую, не принимая участия в передаче движения. В этом случае ведущее и ведомое колеса вращаются в одну и ту же сторону. Реверс с составным зубчатым колесом. В современных зуборезных станках для нарезания конических зубчатых колес с круговыми зубьями (модели 525, 528 и др.) реверсирование обкатной люльки обеспечивается механизмом, имеющим составное зубчатое колесо z_5 (поз. 3). При вращении шестерни z_1 в одном направлении движение посредством вала 1 и конической передачи z_2 – z_3 передается приводному колесу z_4 , которое также имеет постоянное направление вращения. При зацеплении колеса z_4 с сектором внутреннего зацепления составного колеса z_5 последнее получает вращение в одном направлении; далее при проходе колеса z_4 через зацепление с одним из соединяющих участков составного колеса происходит процесс реверсирования; при зацеплении колеса z_4 с сектором внешнего зацепления составного колеса последнее вращается в противоположную сторону. Для обеспечения возможности зацепления колеса z_4 со всеми участками составного зубчатого колеса z_5 , вал II с кареткой *К*, несущей на себе коническую передачу z_2 – z_3 и колесо z_4 , может перемещаться в радиальном направлении.

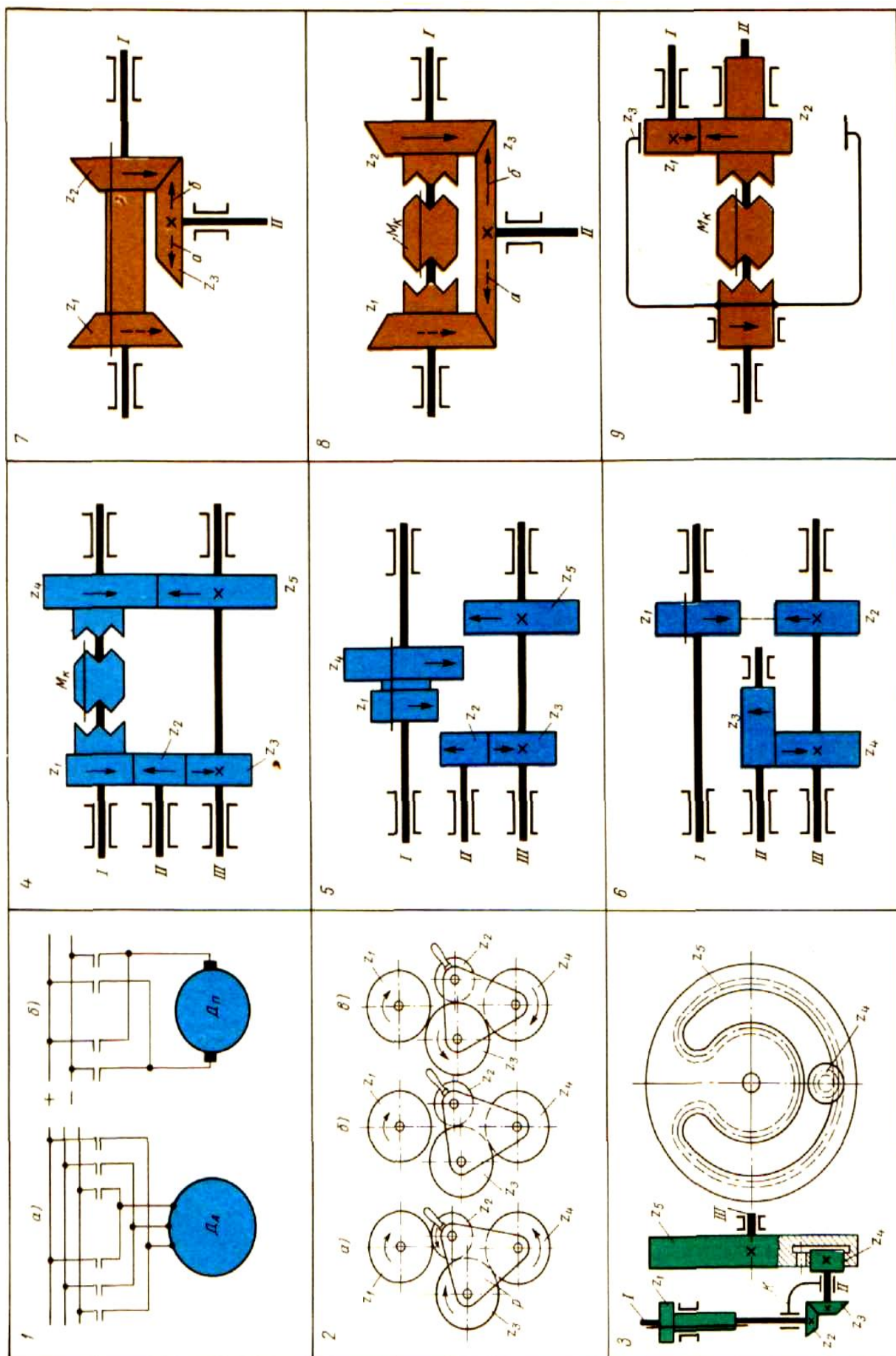


Рис. 4. Типовые механизмы для реверсирования движения

Реверс с одним паразитным колесом. Этот механизм конструктивно выполняется в различных вариантах (поз. 4, 5 и 6). Однако принцип его работы остается неизменным. В одном случае вращение от ведущего вала I к ведомому III передается зубчатыми колесами через паразитную шестерню и тогда направление вращения обоих валов совпадают, или вращение передается непосредственно – без участия паразитного колеса и тогда направление вращения ведущего и ведомого валов будет различным.

Реверс с одним паразитным колесом и двусторонней кулачковой муфтой (поз. 4) характерен тем, что все его цилиндрические зубчатые колеса могут быть выполнены как с прямыми, косыми, так и с шевронными зубьями. При включении кулачковой муфты M_k влево ведущий и ведомый валы имеют одинаковое направление вращения, при включении муфты M_k вправо – разные.

Реверс с одним паразитным колесом и двойным подвижным блоком шестерен (поз. 5) может быть выполнен только с цилиндрическими колесами, имеющими прямые зубья. Во всем остальном он не отличается от предыдущего механизма.

Реверс с одним широким паразитным колесом (поз. 6) отличается от предыдущих механизмов тем, что имеет четыре колеса вместо пяти и что колеса z_1 , z_2 и z_4 имеют равные числа зубьев, чем обуславливается одинаковая скорость вращения ведомого вала III как в одну, так и в другую сторону. В этом механизме все колеса также должны иметь прямые зубья.

Конические реверсы. Если в кинематической цепи привода от двигателя до рабочего органа имеются конические передачи под прямым углом, то бывает целесообразным применение конических реверсов.

У конического реверса с подвижным блоком конических колес (поз. 7) вал I имеет постоянное направление вращения. Когда блок конических колес, связанный с валом I направляющей шпонкой, находится (как показано на схеме) в левом крайнем положении, в зацеплении участвуют колеса z_2 – z_3 и вал II вращается по стрелке б. При перемещении блока конических колес вправо зацепляются колеса z_1 – z_3 и вал II начинает вращаться по стрелке а.

Конический реверс с двусторонней кулачковой муфтой M_k (поз. 8) работает по аналогичному принципу, только в этом меха-

низме изменение направления вращения вала II достигается переключением муфты M_k .

Реверс с колесом внутреннего зацепления. Принципиальным отличием этого механизма (поз. 9) является применение зубчатого колеса z , с внутренним зацеплением. Вал I с колесом z_1 вращается в одном постоянном направлении, приводя в движение колеса z_2 и z_3 , которые при этом вращаются в разных направлениях. Перемещением двусторонней кулачковой муфты M_k вправо или влево можно сообщить валу II вращение в ту или иную сторону.

4.4. Типовые механизмы прямолинейного поступательного движения

Для преобразования на последней ступени привода вращательного движения в поступательное в станкостроении используются различные типовые механизмы, показанные на рис. 5.

Винтовая передача. Наиболее распространенным механизмом для преобразования вращательного движения в поступательное являются винтовые передачи (поз. 1). При этом могут быть различные варианты преобразования движения:

1) винт вращается, а гайка совместно с рабочим органом P_o движется поступательно – поз. 1, *а* (перемещение продольных салазок суппорта токарного станка при нарезании резьбы);

2) винт вращается, а гайка совместно с рабочим органом P_o движется поступательно – поз. 1, *а* (перемещение продольных салазок суппорта токарного станка при нарезании резьбы);

3) винт неподвижный, гайка вращается и совместно с рабочим органом P_o совершает поступательное движение – поз. 1, *в* (стол продольно-фрезерного станка модели А662);

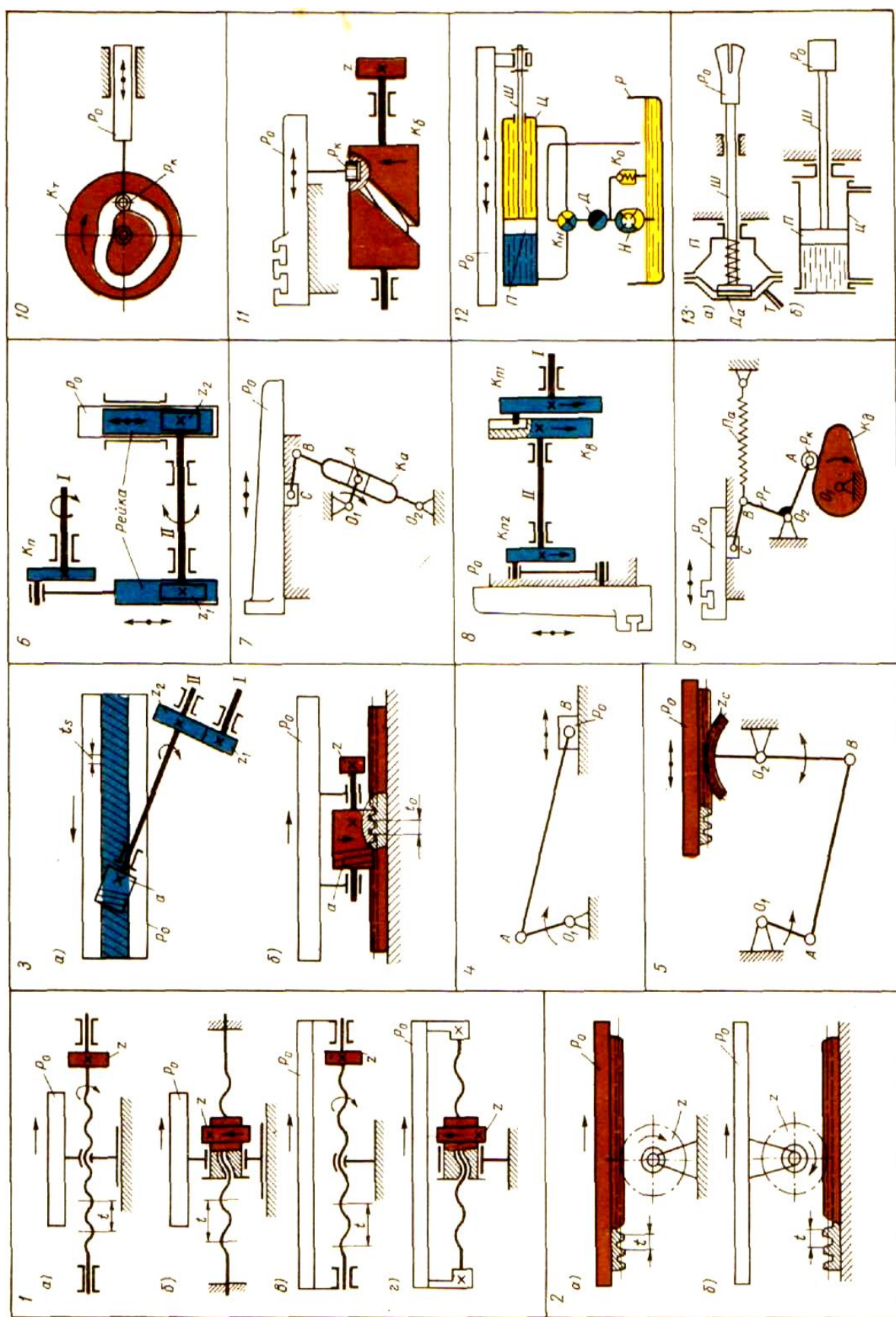


Рис. 5. Типовые механизмы для преобразования вращательного движения в прямолинейное поступательное движение

4) гайка неподвижная, винт вращается и одновременно совместно с рабочим органом P_o совершает поступательное движение – поз. 1, *в* (продольная подача стола в консольно-фрезерных станках);

5) гайка вращается, а винт совместно с рабочим органом P_o имеет поступательное движение – поз. 1, *г* (суппорт строгального станка).

Реечная передача. По варианту (поз. 2, *а*) реечная шестерня только вращается, а поступательное движение получает рейка совместно с рабочим органом P_o (подача шпинделя сверлильных станков). По варианту (поз. 2, *б*) рейка неподвижна, а реечная шестерня z вращается и двигается поступательно совместно с рабочим органом P_o (продольная подача суппорта токарного станка при обтачивании).

Червячно-реечная передача. Среднее положение между винтовой и реечной передачей занимает червячно-реечная передача (поз. 3). Она обладает большей жесткостью и достаточно высоким КПД, что обеспечивает ей широкое применение в приводах движения резания современных продольно-строгальных станков (поз. 3, *а*) и в приводе подачи тяжелых фрезерных и горизонтально-расточных станков (поз. 3, *б*).

Кривошипно-шатунный механизм. Этот механизм при равномерном вращении кривошипа O_1A (поз. 4) обеспечивает прямолинейное возвратно-поступательное движение ползуна B , но с переменной скоростью. Причем скорость ползуна при прямом и обратном ходе для каждого его положения будет одинаковой.

Кривошипно-реечный механизм. Этот механизм (поз. 5) состоит из четырехзвенника с кривошипом O_1A , сектора z_c и рейки, закрепленной на рабочем органе P_o . При непрерывном вращении кривошипа O_1A рабочий орган P_o будет совершать прямолинейное возвратно-поступательное движение.

Двойной кривошипно-реечный механизм. В зубодолбежном станке модели 514 для сообщения возвратно-поступательного движения штосселю с долбяком применен двойной кривошипно-реечный механизм (поз. 6). При вращении кривошипа K_n шатун-рейка приводит в возвратно-вращательное движение шестерню z_1 , вал II и шестерню z_2 . Последняя сообщает прямолинейное возвратно-поступательное движение рабочему органу P_o .

Кривошипно-кулисный механизм. При вращении кривошипа O_1A (поз. 7) кулиса K_a совершает возвратно-качательное движение и через шатун BC сообщает рабочему органу P_o прямолинейное возвратно-поступательное движение.

Кривошипно-кулисный механизм до последнего времени применялся в приводах движения резания поперечно-строгательных и долбежных станков.

Механизм с вращающейся кулисой. Палец кривошипа K_{n1} (поз. 8) входит в радиальный паз вращающейся кулисы K_{n2} закрепленной на валу II. Кривошип K_e посредством шатуна соединен с рабочим органом P_o . При равномерном вращении вала I вследствие смещения осей валов I и II вал II получает неравномерное вращение, что обеспечивает более равномерную скорость движения рабочего органа P_o на заданном участке его пути. Механизм с вращающейся кулисой находит применение в долбежных станках.

Кулачковые механизмы. Эти механизмы позволяют обеспечить любой закон изменения скорости рабочего органа, получать необходимое соотношение скорости рабочего и обратного ходов и в отличие от других механизмов могут одновременно выполнять функции командно-распределительного устройства. Благодаря этим преимуществам кулачковые механизмы с дисковыми (поз. 9), торцовыми (поз. 10) и цилиндрическими (поз. 11) кулачками нашли широкое применение в станках-автоматах и полуавтоматах для осуществления автоматического цикла работы.

Гидропривод. Для преобразования вращательного движения в прямолинейно-поступательное движение в современных станках особенно широко используется гидропривод (поз. 12). Принцип работы гидропривода заключается в следующем: масло из резервуара P подается насосом H под давлением через дроссель D к золотниковому крану K_H . В зависимости от положения крана масло подается по правому или левому маслопроводам в соответствующую полость цилиндра и заставляет перемещаться поршень $П$ со штоком $Ш$ и связанный с ними рабочий орган P_o .

Пневмопривод. В современных станках для сообщения рабочим органам поступательных перемещений находят также широкое применение пневмоприводы. Для коротких перемещений используются пневмокамеры (поз. 13, а), а для больших ходов – пневмоцилиндры (поз. 13, б).

4.5 Типовые механизмы для получения прерывистых движений

Для получения прерывистого движения в станкостроении используют различные типовые механизмы (рис. 6), каждый из которых имеет свою область применения.

Храповые механизмы. Эти механизмы позволяют весьма тонко и в широком диапазоне изменять величину периодических перемещений рабочих органов станков.

Механизм с наружным храповым колесом (поз. 1) находит применение в поперечно-строгальных станках. При равномерном вращении кривошипа K , связанный с ним шатуном $Ш_n$ рычаг P , получает непрерывное качательное движение относительно точки O_2 . С рычагом P , связана собачка C , упирающаяся в зубья колеса z . При качании рычага P в направлении стрелки a собачка, упираясь в один из зубьев колеса, увлекает его и поворачивает на некоторый угол. При качании коромысла по стрелке b собачка приподнимается, скользит по спинкам зубьев и колесо не поворачивается.

Механизм с внутренним храповым колесом (поз. 2) отличается от предыдущего только лишь тем, что храповое колесо z выполнено, внутренними зубьями, а вместо рычага внутри храпового колеса установлен диск D . При вращении кривошипа K диск D посредством шатуна $Ш$ получает возвратно-вращательное движение и через собачку C сообщает колесу z периодическое вращательное движение.

Механизм с торцевой храповой муфтой (поз. 3) нашел применение в приводе подач продольно-строгальных станков (см. станок модели 7231 А).

При непрерывном и равномерном вращении вала I с кривошипом K зубчатое колесо z_1 и вал II получают через шатун-рейку P_a возвратно-вращательное движение. На валу II на направляющей шпонке установлена храповая муфта M_x , которая пружиной $П_a$ поджимается к зубчатому колесу z_2 , имеющему храповые зубья на торце своей ступицы. При вращении вала II по стрелке b храповая муфта M_x преодолевая сопротивление пружины $П_a$, отходит влево и не передает вращение колесу z_2 . Во время вращении вала II по стрелке a храповая муфта M_x находится в зацеплении со ступицей колеса z_2 и передает ему вращение по стрелке b .

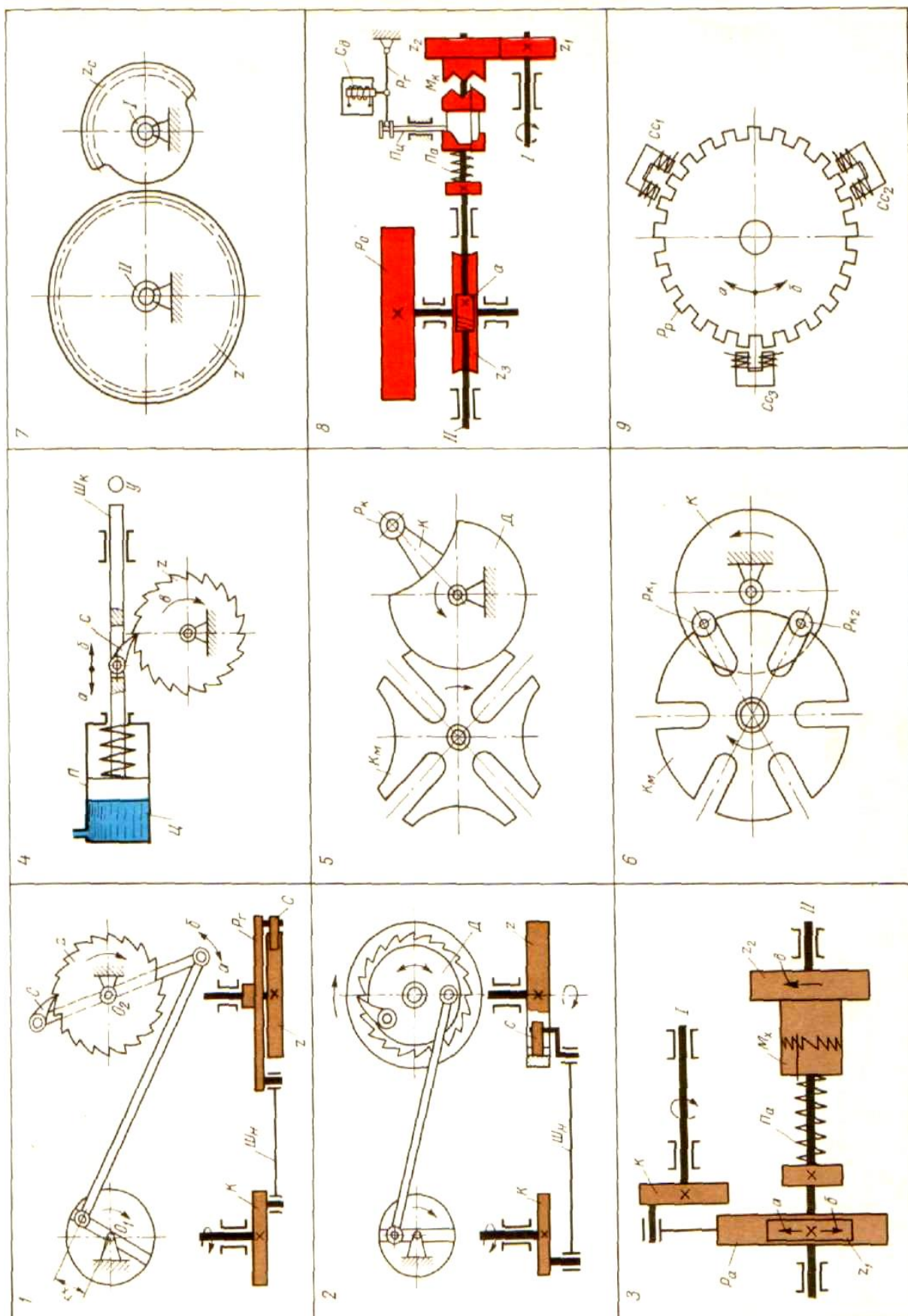


Рис. 6. Типовые механизмы для получения прерывистого движения

Храповой механизм с поршневым приводом (поз. 4) применен в приводе радиальных подач круглошлифовального станка модели 3151. В этом механизме собачка C , находящаяся в зацеплении с храповым колесом 2, установлена в пазу штока III_k . Последний связан с поршнем II . Когда в цилиндр $Ц$ подается сжатый воздух или жидкость, то поршень II со штоком III_k и собачкой C перемещается по стрелке b до упора $У$, поворачивая храповое колесо z на один или несколько зубьев по стрелке $в$. При обратном ходе штока с собачкой по стрелке a храповое колесо z вращения не получает.

Аналогичный храповой механизм, но только с приводом от соленоида, применен на внутришлифовальном станке модели 2A252.

Мальтийские механизмы. В станкостроении для поворота многопозиционных рабочих органов из одной позиции в другую чаще всего применяются мальтийские механизмы.

Четырех позиционный мальтийский механизм с одним кривошипом (поз. 5) используется для поворота шпиндельного блока в четырехшпиндельных токарных автоматах. При равномерном вращении кривошипа K закрепленный на нем ролик P_k , в определенный момент входит в один из четырех пазов мальтийского креста K_m и поворачивает его на 90° . Таким образом, за каждый полный оборот кривошипа K вал, на котором закреплен мальтийский крест, сделает только $1/4$ оборота. Диск D , жестко связанный с кривошипом K , служит для фиксации положения мальтийского креста в каждом из его четырех позиций.

Шестипозиционный мальтийский механизм с одним или двумя роликами (поз. 6) используется, например, для поворота револьверной головки одношпиндельного токарно-револьверного автомата модели 1A136.

Установка второго ролика на кривошипном диске K позволяет в случае необходимости увеличить угол поворота мальтийского креста в два раза.

Секторный механизм. Зубчатый сектор z_c (поз. 7), закрепленный на валу I , периодически поворачивается только в течение того времени, когда его зубья находятся в зацеплении с зубьями колеса z , установленного на валу II . В этом механизме не представляется возможным регулировать величину угла поворота колеса z , поэтому

он, как и мальтийские механизмы, используется в основном в многопозиционных устройствах.

Механизм с однооборотной муфтой. Рабочий орган P_o (поз. 8) в нужный момент получает периодический поворот на определенный угол от непрерывно вращающегося вала I через колеса z_1-z_2 , однооборотную муфту M_k и червячную передачу z_2-z_3 . Однооборотная муфта M_k срабатывает под действием соленоида C_o который через рычаг P_e поднимает палец $П_ц$.

Шаговый электродвигатель. Ротор P_p одного из шаговых электродвигателей (поз. 9) имеет ряд полюсов, а статор состоит из трех независимых секций C_{c1} , C_{c2} и C_{c3} , которые расположены так, что если одна из них совпадает с полюсами ротора P_p , то две другие секции оказываются смещенными относительно полюсов, причем в разные стороны.

При включении обмотки секции C_{c1} ротор повернется на некоторый угол по стрелке a , а при включении обмотки секций C_{c2} он повернется на тот же угол, но по стрелке b .

4.6. Прочие типовые механизмы металлорежущих станков

Предохранительные устройства. Во избежание поломок деталей станков в приводах последних устанавливаются всевозможные предохранительные устройства (рис. 7).

Механизм падающего червяка, (поз. 1) применяется для автоматического выключения подачи при перегрузках. Выключение осуществляется тогда, когда суппорт доходит до какого-нибудь препятствия, например, до неподвижного упора, установленного на станке, и дальше не может перемещаться.

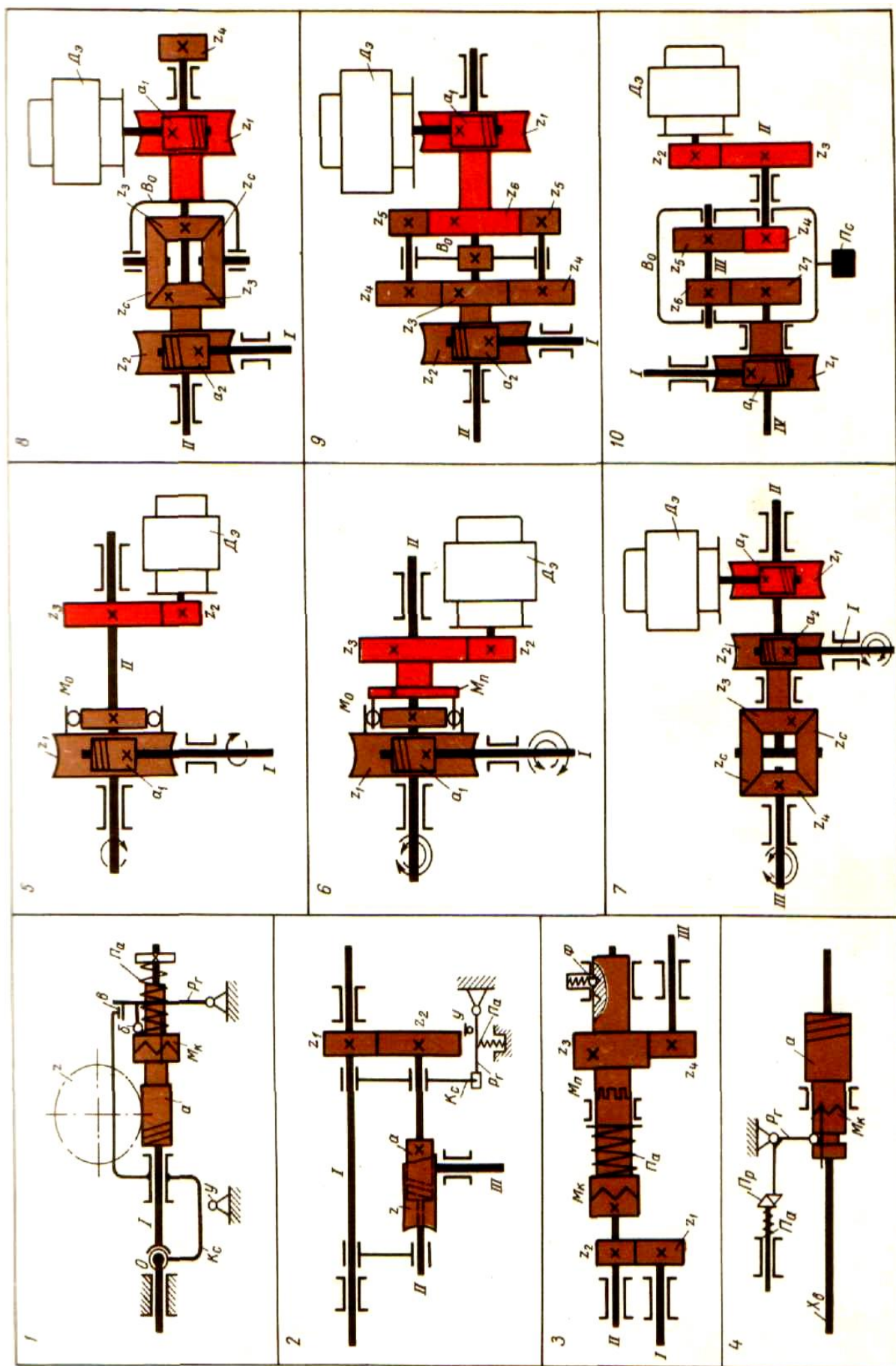


Рис. 7. Прочие механизмы станков

При этом приводной вал I продолжает передавать вращение червяку a через кулачковую муфту M_k . Последняя благодаря скошенным зубьям отходит назад, преодолевая сопротивление пружины Π_a , и нажимает через упор b на рычаг P_z , который при помощи выступа B поддерживает червяк a в зацеплении с червячным колесом z . В определенный момент, когда муфта M_k отодвинется назад и выступ B не будет поддерживать червяк a , последний под действием собственного веса упадет вниз и, поворачиваясь относительно оси O , выйдет из зацепления с червячным колесом z .

В другой конструкции падающего червяка (поз. 2) вращение от вала I через колеса z_1-z_2 , вал II и червячную передачу $a-z$ передается валу III и далее механизму подачи.

Когда упор $У$ нажмет на рычаг P_z , корпус K_c лишится опоры и упадет вниз вместе с валом II и червяком a , расцепив его с колесом z .

Самовыключающиеся кулачковые муфты служат тем же целям, что и падающие червяки. Рассмотрим работу муфты (поз. 3), установленную в цепи подач станка модели 262Г.

Движение от вала I валу III передается шестернями z_1-z_2 , валом II, кулачковыми муфтами M_k и M_n и зубчатыми колесами z_3-z_4 . Когда в цепи подач станка возникает перегрузка, правая часть кулачковой муфты M_k благодаря наличию скошенных зубьев перемещается вправо совместно с кулачковой муфтой M_k и зубчатым колесом z_3 .

В определенный момент фиксатор Φ зафиксирует ступицу с колесом z_3 в крайнем правом положении. Далее, когда вал II совместно с левой частью муфты M_k повернется на один зуб, правая ее часть под действием пружины Π_a переместится влево в свое первоначальное положение, расцепив при этом кулачки муфты M_k . Передача движения прекратится.

Несколько иначе работает самовыключающаяся кулачковая муфта (поз. 4), установленная на токарно-винторезном станке модели 1616. При соприкосновении суппорта с упором возрастает крутящий момент, передаваемый от ходового валика X_8 через посредство муфты M_a червяку a . Благодаря наличию скосов на кулачках муфты M_k осевое усилие, действующее на муфту, стремится переместить ее влево и разъединить с червяком a . Этому препятствует двуплечий рычаг P_z , один конец которого упирается в скос плунже-

ра P_p . При определенной, заранее отрегулированной нагрузке плунжер P_p , преодолевая сопротивление пружины P_a утапливается, рычаг P_z поворачивается и муфта M_k отходит влево, разрывая цепь механической подачи суппорта.

Обгонные муфты. Обычная односторонняя обгонная муфта (поз. 5) позволяет осуществлять рабочее и быстрое движение только в одном направлении. При рабочем движении вал I через червячную передачу a_1-z_1 и обгонную муфту M_o передает вращение валу II и далее рабочему органу станка. Для осуществления быстрых перемещений рабочего органа включается электродвигатель D_3 , который через зубчатую передачу z_2-z_3 сообщает быстрое вращение валу II. Наличие обгонной муфты M_u допускает быстрое вращение вала II при медленном вращении или полной остановке червячного колеса z_1 .

Двусторонние обгонные муфты (поз. 6) позволяют осуществлять быстрое вращение вала II в обоих направлениях. В этом случае электродвигатель D_3 быстрых перемещений связан зубчатыми колесами z_2-z_3 не с валом II, а с поводковой муфтой M_n , торцовые пальцы которой входят в соответствующие вырезы обгонной муфтой M_o .

В зависимости от конструкции двусторонней обгонной муфты рабочее движение вала II может быть сообщено только в одном или обоих направлениях.

Планетарные механизмы. В металлорежущих станках находят широкое применение различные типы планетарных механизмов.

В планетарном механизме (поз. 7) привода быстрых перемещений стола и бабки бесконсольного фрезерного станка модели 6A54 рабочие перемещения осуществляются от вала I через червячную передачу a_2-z_1 и коническую передачу $z_3-z_c-z_4$. Быстрые перемещения производятся электродвигателем D_3 через червячную передачу a_2-z_3 Т-образный вал II и планетарную коническую передачу $z_c-z_4-z_3$. Несколько иной вариант привода быстрых перемещений с аналогичным планетарным механизмом показан на поз. 8.

В продольно-фрезерных станках моделей А662 и 6652 в приводах подач и быстрых перемещений применен планетарный механизм с центральным водилом и цилиндрическими колесами (поз. 9). Рабочая подача сообщается от вала I через червячную передачу a_2-

z_2 и планетарную передачу $z_3 - z_4 - B_o$ и далее через вал II рабочему органу станка. Колесо z_6 в это время неподвижно.

При быстрых перемещениях вращение от электродвигателя D_9 передается валу II через червячную передачу $a_1 - z_1$ и планетарную передачу $z_6 - z_5 - B_o$.

Вариант планетарного механизма с цилиндрическими колесами, но с вращающимся корпусом показан на поз. 10.

5. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляется в соответствии с требованиями к текстовым документам (ГОСТ 2.105–95) и должен содержать:

- начерченную кинематическую схему токарно-винторезного станка (по указанию преподавателя);
- перечень механизмов, применяемых в приведенной кинематической схеме с описанием их назначения.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие механизмы применяются для регулирования скорости вращения валов?

2. Какие механизмы применяются для реверсирования движения? Их преимущества и недостатки.

3. Какие механизмы применяются для получения поступательного движения? Их преимущества и недостатки.

4. Какие механизмы применяются для осуществления периодических (прерывистых) движений? Их преимущества и недостатки.

5. Какие механизмы применяются для осуществления быстрых перемещений и предохранения привода станков от перегрузки?

Лабораторная работа №2

Выбор станков для различной серийности производства

Цель работы: изучение методик экономического обоснования применения металлорежущих станков универсальных, с числовым программным управлением, автоматов, многоцелевых и приобретение практических навыков выбора оборудования для реализации технологических процессов в условиях единичного, серийного и массового производства.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Вопросы выбора групп, типов и моделей оборудования рассматриваются на различных стадиях технологической подготовки производства. Предварительно группу оборудования выбирают при назначении способа обработки поверхности, обеспечивающего выполнение технических требований, предъявляемых к поверхностям. При составлении технологического маршрута обработки и при его технико-экономическом обосновании выбирают конкретную модель станка по следующим показателям:

- 1) вид обработки – токарная, фрезерная, сверлильная и т. д.;
- 2) технологические возможности станка (размеры обрабатываемых деталей, габаритные размеры рабочей зоны станка, габаритные размеры станка (высота от линии центров станка до станины, расстояние между центрами станка (станки токарной группы), размеры стола (станки фрезерной группы)) и т. п., мощность электродвигателей приводов главного движения и подач, диапазоны регулирования приводов главного движения и подач, частоты вращения шпинделя и величины подач;
- 3) возможность механизации и автоматизации операций;
- 4) цена станка.

На основании проведенного анализа при соответствии технологической операции технологическим возможностям оборудования выбирают оборудование, применяемое на предприятии (либо по

каталогу оборудования при проектировании новых участков механической обработки).

2. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ЕДИНИЧНОГО И МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

При единичном и мелкосерийном производстве на одном станке выполняют несколько различных операций, поэтому выбранный станок должен удовлетворять технологическим требованиям всех намеченных обработок.

В таких условиях единичного, мелкосерийного и ремонтного производства необходимо применять оборудование универсальное с ручным управлением.

Однако при выборе оборудования для условий единичного и мелкосерийного производства необходимо знать, что точность и качество обработанной поверхности зависит от точности станков и от квалификации станочника. Нельзя, например, получить на токарном станке при обработке резцом валик с допуском 0,01 мм по диаметру. Такую работу может выполнить только токарь высокой квалификации. В то же время эту точность легко получить на круглошлифовальном станке. Поэтому при выборе универсального оборудования необходимо руководствоваться данными о достижимой точности оборудования. В табл. 1 приведены некоторые данные о величинах отклонений геометрической формы при обработке на металлорежущих станках.

Таблица 1

Отклонение геометрической формы при обработке
на универсальных металлорежущих станках

Станки	Отклонение формы	Значение отклонения при обработке		Примечание
		черновой	чистовой	
1	2	3	4	5
Токарные общего назначения	Овальность при высоте центров:			
	до 400	0,03	0,02	—
	> 800	0,06	0,04	—
	Конусообразность	0,08	0,05	на длине 300

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
Карусель- ные	Вогнутость при обра- ботке торцовой по- верхности	0,06	0,04	на диаметре 300
	Овальность при наибольшем диамет- ре обрабатываемой детали:			на диаметре:
	до 1600	0,04	0,025	400
	1600–2500	0,06	0,04	600
	2500–4000	0,08	0,05	1000
	4000–8000	0,08	0,06	1500
	8000–10000	0,10	0,07	2000
	свыше 10000	0,12	0,08	2000
	Конусообразность, бочкообразность и седлообразность при наибольшем диамет- ре обрабатываемой детали:			на длине:
	до 1600	0,08	0,05	800
	1600–3200	0,10	0,07	1200
	свыше 3200	0,12	0,08	1500
	Вогнутость при обра- ботке торцовой по- верхности и наибольшем диамет- ре обрабатываемого изделия			на диаметре:
	до 1600	0,12	0,08	1200
	1600–2500	0,15	0,09	1600
	2500–4000	0,18	0,12	3000
	4000–8000	0,23	0,15	5000
	8000–10000	0,27	0,18	7500
	свыше 10000	0,35	0,24	7500
Продольно- строгаль- ные	От плоскостности	0,05	0,03	на длине 1000

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
Продольно-строгальные	От параллельности верхней обработанной поверхности основанию при длине строгания:			
	до 1000	0,05	0,03	—
	› 2000	0,08	0,05	—
	› 3000	0,10	0,06	—
	› 4000	0,12	0,07	—
	› 6000	0,15	0,10	—
	› 8000	0,20	0,12	—
	От перпендикулярности обработанных верхней и боковой поверхностей при ширине строгания:			на длине:
	до 2000	0,05	0,03	300
	св. 2000	0,08	0,05	500
Фрезерные консольные	От плоскостности и параллельности верхней обработанной поверхности основанию	0,10	0,06	300
	От перпендикулярности боковых поверхностей основанию	0,05	0,04	150
	От взаимной перпендикулярности боковых (и торцевых) поверхностей	0,08	0,05	3000
Продольно-фрезерные	От плоскостности			
	От параллельности верхней обработанной поверхности основанию при длине обработки:			
	до 1000	0,05	0,03	—
	› 2000	0,08	0,05	—
	› 3000	0,10	0,06	—

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
Продольно-фрезерные	› 4000	0,12	0,07	—
	› 6000	0,15	0,10	—
	› 8000	0,19	0,13	—
	От параллельности боковых обработанных поверхностей	0,05	0,03	на длине 1000
	От перпендикулярности боковых обработанных поверхностей верхней обработанной поверхности	0,05	0,03	на длине 1000
Горизонтально-расточные	Овальность при диаметре расточного шпинделя:			
	от 50 до 90	0,06/0,08*	0,04/0,05*	—
	св. 90 › 160	0,08	0,05	—
	› 160	0,08/0,10*	0,05/0,06*	—
	Конусообразность при диаметре расточного шпинделя:			на длине:
	от 50 до 90	0,06	0,04	200
	св. 90 › 160	0,08	0,05	300
	› 160	0,10	0,06	400
	Вогнутость при обработке торцевой поверхности суппортом планшайбы и диаметре расточного шпинделя:			
	от 50 до 90	0,06	0,04	300
	св. 90	0,08	0,05	500
	От перпендикулярности оси отверстия торцевой поверхности	0,08	0,05	300

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
Горизонтально-расточные	От параллельности осей отверстий, расточенных при подаче передней стойки или расточного шпинделя	0,08	0,05	300
	От перпендикулярности оси отверстий плоскости, полученной фрезерованием при горизонтальной и вертикальной подачах	0,08	0,05	300
Круглошлифовальные	Овальность при обработке в центрах и обработке отверстий для наибольшего диаметра деталей:			
	до 200	0,010	0,006	—
	св. 200 до 400	0,012	0,008	—
	› 400 › 800	0,020	0,012	—
	Конусообразность при обработке в центрах при наибольшем диаметре детали:			на длине:
	до 200	0,02	0,011	до 500
	св. 200 до 400	0,03	0,02	1000
	› 400 › 800	0,04	0,025	на всей длине
Плоскошлифовальные с горизонтальным шпинделем и прямоугольным столом общего назначения	От параллельности шлифуемой и опорной плоскостей	0,03	0,02	на длине 1000

* В числителе – обработка расточным шпинделем, в знаменателе – суппортом планшайбы.

При выполнении задачи выбора оборудования для условий единичного и мелкосерийного производства необходимо рассмотреть возможности повышения производительности, расширения технологической возможности на основе анализа литературы и патентного поиска (перечень статей в журналах «Станки и инструменты» и «Вестник машиностроения» с 1972 по 1994 гг. находится в отделе стандартов КузГТУ и на кафедре МСиИ).

В случае невозможности реализации технологического процесса на существующем оборудовании разрабатывается техническое задание на проектирование нового оборудования. Техническое задание на проектирование разрабатывается согласно ГОСТ 15.001–73 и отраслевого стандарта ОСТ2 НО2-3–76 «Разработка и постановка продукции на производство». Техническая документация при составлении технического задания должна соответствовать ГОСТ 2.105–68.

В условиях мелкосерийного производства необходимо рассмотреть возможность применения станков с числовым программным управлением (ЧПУ), при этом должен быть проведен технико-экономический анализ, основы которого изложены в разделе 3.4.

3. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ РАЗЛИЧНОЙ СЕРИЙНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

3.1. Особенности применения станков с ЧПУ

Одной из основных задач повышения эффективности серийного производства является широкое применение металлорежущих станков с программным управлением (ПУ), позволяющее обеспечить стабильно высокое качество изделий без участия рабочих высокой квалификации. Однако, необходимо иметь в виду, что стоимость станков с числовым программным управлением (ЧПУ) значительно превышает стоимость заменяемого универсального оборудования, возникают также дополнительные затраты, связанные с подготовкой управляющих программ, обслуживанием и наладкой станка. Поэтому применению станков с ЧПУ должен предшествовать анализ номенклатуры заготовок, обрабатываемых на станках с ЧПУ, анализ границ эффективного использования станков с ЧПУ в зависимости от номенклатуры деталей и тщательный технико-экономический анализ.

Изучение номенклатуры деталей в машиностроении свидетельствует о ее постоянстве [6]. В общем случае можно выделить детали типа тел вращения, призматические, фигурные и профильные. Детали правильной формы составляют до 92 % общего объема деталей в производстве.

Каждая деталь характеризуется набором данных (материал, геометрия), определяющих технические требования, и набором организационно-экономических требований (годовой выпуск в штуках, число деталей в партии, допустимые затраты на изготовление). Номенклатура деталей, обработка которых предполагается эффективной на оборудовании с ЧПУ определяется на основе изучения технической документации на эти детали, ограничений, зависящих от конкретного производства, и характера постановки задач. Практика показывает, что значительный эффект достигается при обработке на станке с ЧПУ сложных деталей, с большим числом поверхностей, контуры которых содержат криволинейные участки и элементы прямых и плоскостей, непараллельных координатным осям станка. Поэтому следует считать, что на станках с ЧПУ целесообразно обрабатывать такие детали, на которые распространяются источники и факторы экономической эффективности, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Источники и факторы экономической эффективности
обработки деталей на станках с ЧПУ

Источник	Фактор	Показатель
1	2	3
Снятие разметки; сокращение слесарной доработки и доводочных работ; много-станочное обслуживание	Сокращение штучно-калькуляционного времени	Повышение производительности труда и снижение себестоимости продукции
Уменьшение длин траектории рабочих помещений инструмента; оптимизация режимов резания; уменьшение длин траектории холостых перемещений инструмента; концентрация операций	Сокращение машинного времени	То же

Продолжение табл. 2

1	2	3
Сокращение затрат времени на контрольные операции	Сокращение вспомогательного времени	»
Повышение точности обработки и качества поверхности на криволинейных участках	Уменьшение трудоемкости сборочных работ и пригоночных операций при сборке	»
	Увеличение ресурса изделия; повышение надежности изделия; повышение экономичности изделия	Повышение качества продукции
Уменьшение требуемого количества оборудования за счет повышения производительности труда	Уменьшение ресурсов на ремонт и обслуживание; сокращение требуемых производственных площадей; уменьшение расходов на электроэнергию	Снижение себестоимости продукции
Снижение разряда работ	Уменьшение расходов на зарплату производственным рабочим	То же

3.2. Выбор оборудования с ЧПУ для обработки деталей различных групп

Маршрутная технология определяет прежде всего принципиальную схему ТП (технологического процесса). На этом этапе выявляют типы станков с ЧПУ, которые требуются для обработки данной детали. Далее на стадии разработки маршрутного ТП рассматривают детализацию оборудования в целях выбора для каждой операции конкретной модели станка. Эффективность обработки деталей определяют совокупностью следующих исходных показателей: производительности станка; технологической себестоимости обработки; эксплуатационной и технологической надежности оборудования; достигаемого качества обработки деталей (точность

размеров, точность взаимного расположения поверхностей и шероховатость последних); затрат на подготовку производства.

Детальный расчет этих показателей требует полной разработки технологических процессов (структуры операции, траектории движения режущих инструментов, режимов обработки, элементов нормы времени), что нецелесообразно и в ряде случаев невозможно выполнить при выборе оборудования в процессе разработки маршрутного ТП.

При автоматизированном проектировании ТП оборудование выбирают на основе информационных моделей, построенных на базе функций приоритетов. Это позволяет для каждой конкретной детали судить о показателях качества оборудования (различных станков): производительности, себестоимости, точности, затратах на подготовку производства. Однако и в этом случае выбор наилучшей модели станка зависит от конкретных условий производства. Поэтому только технолог-проектировщик может дать качественную оценку предпочтительных показателей.

Существует определенная зависимость между стоимостью станка C и его технологическими возможностями. Например, наиболее дорогая модель токарного станка, которой заканчивается классификационный ряд (рис. 1), имеет магазин инструментов с АСИ, что дает возможность обрабатывать сложные детали. На практике после ранжирования станков данного типа по стоимости и технологическим возможностям выделяют класс деталей, которые целесообразно обрабатывать на этих станках.

Детали классифицируют по совокупности признаков, отражающих будущий экономический эффект. Наименьший список таких признаков: объем партии P не должен превышать нормативное значение P_H ; число операций Q , концентрируемых на станке, не должно превышать нормативное Q_H ; габаритные размеры деталей L не должны превышать предельные значения для станков L_H .

В алгоритме, представленном на рис. 2, детали располагаются в ряд по их технологическим характеристикам, которые аналогичны признакам станков, но отличаются формулировками, и одновременно ранжируются по сложности обработки. Последнее дает возможность приближенно рассчитать трудоемкость изготовления деталей T_i (что необходимо, например, при определении числа станков) по графику прямолинейности зависимости. Такой график можно по-

строить, если расчетным путем пронормировать только первую (T_1) и последнюю (T_n) детали.

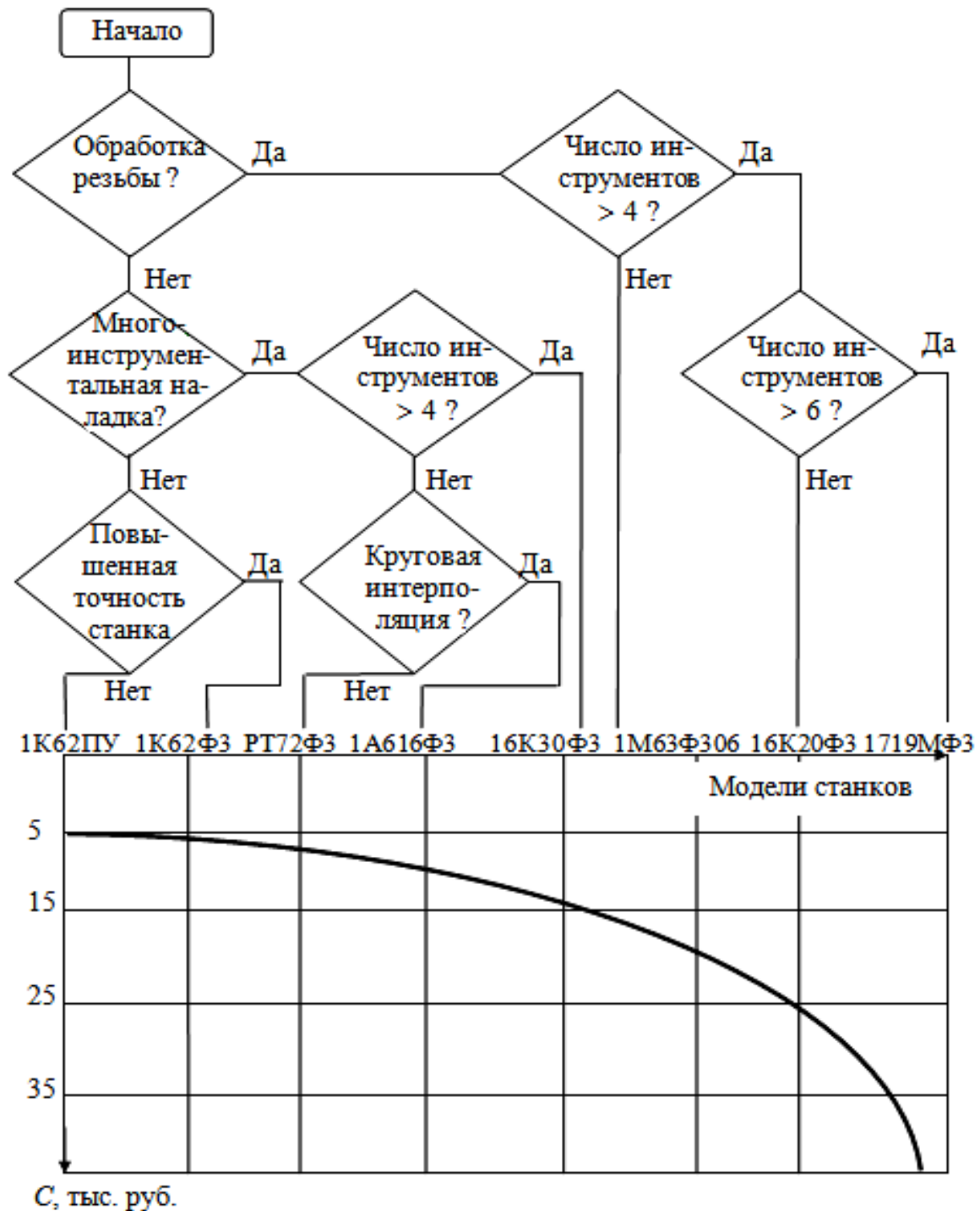


Рис. 1. Алгоритм построения классификационного ряда токарных станков с ЧПУ по технологическим возможностям и стоимости станка C

Линейный характер зависимости позволяет достаточно просто определить трудоемкость изготовления любой детали ряда.

Погрешность такого расчета составляет 25–30 %, что допустимо для предварительной стадии работ.

Оборудование для деталей типа тел вращения. К деталям типа тел вращения относятся пальцы, диски, зубчатые колеса, фланцы, стаканы, сепараторы, втулки, валы, шпиндели. При подборе номенклатуры деталей для обработки их на станках с ЧПУ детали этого класса разбивают на две подгруппы:

1) детали, подлежащие обработке на патронных токарных станках (зубчатые колеса, фланцы, кольца, сепараторы, втулки и т. д.);

2) детали, подлежащие обработке на центровых токарных станках (ступенчатые валы, шпиндели, ходовые винты и т. д.).

При подборе *деталей первой подгруппы* необходимо учитывать, что для их обработки могут потребоваться несколько групп станков; это создает благоприятные условия для образования замкнутых участков из станков с ЧПУ. Детали этой подгруппы имеют много переходов и сложную конфигурацию, поэтому станки должны быть оснащены большим количеством инструментов. Если требуется дополнительная обработка деталей (сверление, фрезерование, шлифование), то применяют станки с ЧПУ других групп или токарные многоцелевые станки.

Что касается *деталей второй подгруппы*, то их черновую обработку целесообразно производить на одноинструментальных токарных станках с ЧПУ. Для получистовой, а в некоторых случаях и чистовой обработки ступенчатых валов и шпинделей рекомендуются многоинструментальные токарные станки с ЧПУ.

Доработка деталей типа валов или шпинделей (сверление неосных отверстий, фрезерование шпоночных пазов и т. п.) чаще всего выполняется на универсальном оборудовании. Однако в последнее время наметилась тенденция выполнять операции сверления и фрезерования подобных деталей совместно с токарной обработкой. Для этих целей используют токарные многоцелевые станки.

Оборудование для деталей, требующих операций фрезерования. Сначала следует определить тип станка, обеспечивающего обработку с одновременным управлением перемещением инструмента по определенному числу координат. Для этого надо сгруппи-

ровать детали данного производства, требующие фрезерной обработки, по числу требуемых координат и габаритным размерам. Это позволит установить тип станка по габаритным размерам его стола или размерам зоны обработки.

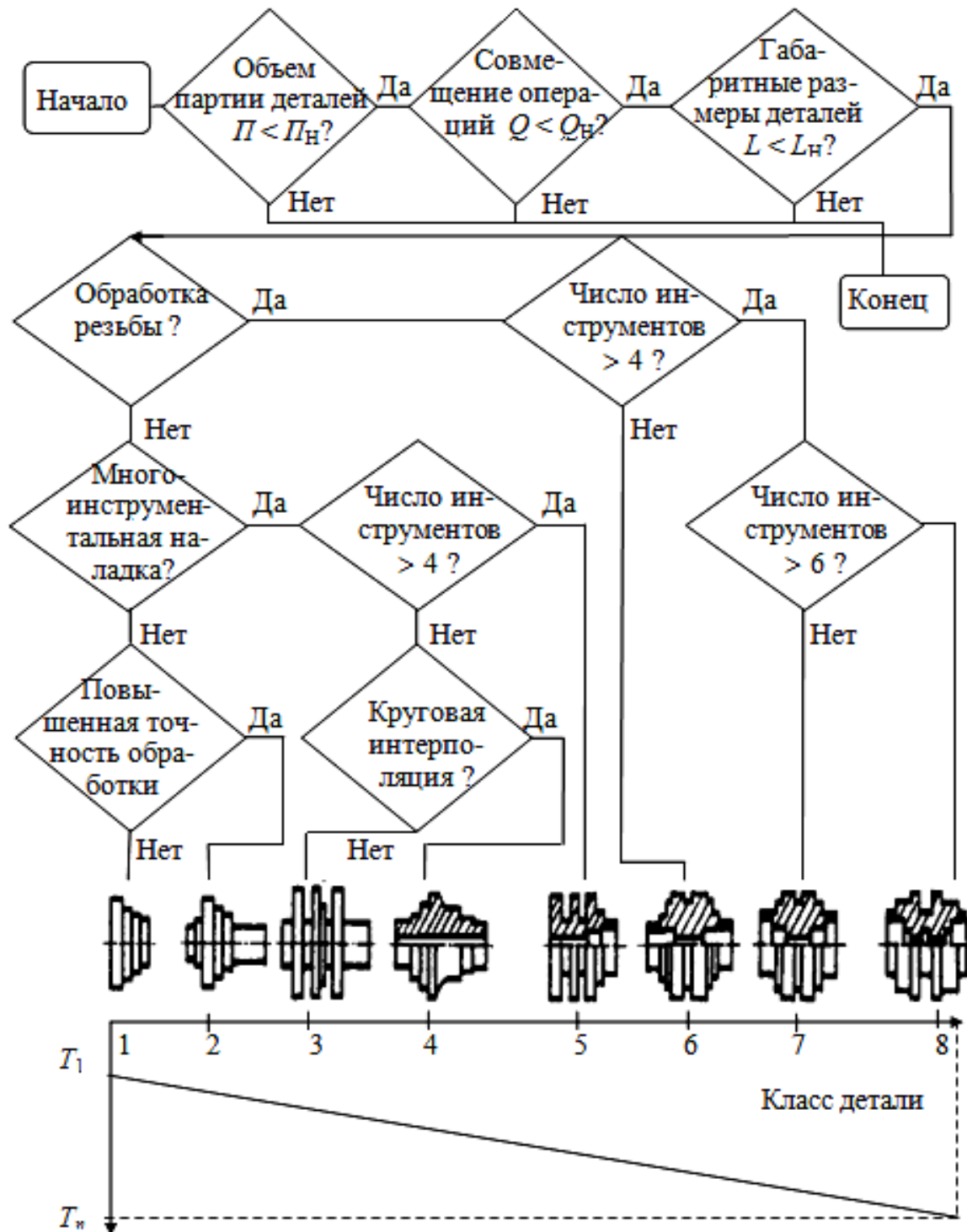


Рис. 2. Алгоритм построения классификационного ряда деталей по технологическим возможностям станков и трудоемкости изготовления

Плоскостные детали (планки, косынки, крышки, плиты, плоские кулачки и др.), имеющие пазы, окна, скосы, уступы, кривые поверхности, для которых может быть использован один инструмент, целесообразно обрабатывать на одноинструментальных фрезерных станках, а если на деталях одновременно имеются крепежные ступенчатые отверстия разного диаметра и разной глубины, то их целесообразно обрабатывать на многоинструментальных фрезерных станках. На этих станках можно также выполнять черновую, получистовую и чистовую расточку отверстий по 7–8-му качеству.

Оборудование для деталей среднего литья. Детали среднего литья (рычаги, вилки, кронштейны, средние корпусные детали) следует обрабатывать с максимальной концентрацией операций на станке. Первую операцию рекомендуется выполнять так, чтобы базовая плоскость и базовые отверстия обрабатывались с одного установа.

Обработку деталей, имеющих отверстия в пяти плоскостях, целесообразно разделить на две операции: 1) подготовку базы на вертикально-расточных или фрезерных станках; 2) обработку отверстий (в том числе крепежных) и плоскостей с четырех сторон на многоцелевых станках.

Оборудование для корпусных и базовых деталей. При выборе оборудования здесь различают две группы деталей.

1. Корпуса коробчатой формы, характеризующиеся прямоугольными очертаниями, примерно равными габаритными размерами, наличием внутренних перегородок, значительным числом точных отверстий с параллельными и перпендикулярными осями. Для деталей данной группы может требоваться обработка по пяти-шести плоскостям. Для этого рекомендуется использовать станки с ЧПУ следующих типов: для черновой обработки – горизонтальные станки с ручной сменой инструмента; для получистовых операций (подготовки базовой плоскости и двух базовых отверстий, сверления всех крепежных отверстий) – вертикально-фрезерные с револьверной головкой; для чистовых операций (обработки трех плоскостей) – многоцелевые станки.

2. Корпуса, салазки и каретки – детали, у которых два габаритных размера (длина и ширина) значительно превышают третий (высоту) и в которых необходимо обрабатывать различные поверхности, направляющие, Т-образные пазы, отверстия 7–8-го качества.

Черновую, получистовую и частично чистовую обработку этих деталей рекомендуется выполнять на продольно-фрезерных станках с ЧПУ.

Перечисленные требования и рекомендации по выбору оборудования не являются окончательными и абсолютными. На практике часто решающее значение имеют реальные условия производства.

Кроме указанных рекомендаций можно использовать данные НИИПТМаша по номенклатуре и границам рациональной обработки деталей на станках с ЧПУ, приведенные в табл. 3.

Таблица 3

Номенклатура и границы рациональной обработки деталей на станках с ЧПУ (применительно к металлургическому машиностроению) по данным НИИПТМаша

Наименование станков	Наименование деталей	Минимальный выпуск деталей
1	2	3
Токарно-центровые. Высота центров до 300 мм, межцентровое расстояние до 1400 мм	Ступенчатые валики с цилиндрическими шейками, число ступеней 4 и более	Минимальная партия 8–10 деталей с ежемесячной повторяемостью
	Ступенчатые валики с коническими шейками, число ступеней 4 и более	Минимальная партия 5–7 деталей с повторяемостью не менее 6 раз в год
	Глобоидные червяки, валики сложной конфигурации	Минимальная партия 3–5 деталей с повторяемостью не менее 4 раз в год
Токарно-патронные. Диаметр обработки 630 мм, длина обработки до 200 мм	Внутренние и наружные поверхности крышек колец, фланцев несложной конфигурации (с числом выточек, проточек 4 и больше)	Минимальная партия 12–15 деталей с повторяемостью не реже 8 раз в год
	Внутренние и наружные конусные поверхности крышек, фланцев, колец, втулок несложной конфигурации	Минимальная партия 8–10 деталей с повторяемостью не реже 6 раз в год

Продолжение табл. 3

1	2	3
	Внутренние и наружные сферические поверхности крышек, колец, фланцев, обойм зубчатых втулок	Минимальная партия 3–5 деталей с повторяемостью не реже 6 раз в год
Карусельные. Диаметр планшайбы до 3200 мм	Внутренние и наружные поверхности обечаек, ступиц, шкивов несложной конфигурации	Минимальная партия 8–10 деталей с ежемесячной повторяемостью
	Внутренние и наружные сферические поверхности червячных колес	Минимальная партия 2–3 детали с повторяемостью не реже 3–4 раз в год
Карусельные. Диаметр планшайбы до 3200 мм	Внутренние и наружные конусные поверхности фланцев, обечаек, конусов и чаш засыпных аппаратов	Минимальная партия 3–5 деталей с повторяемостью не реже 4 раз в год
Вертикально-сверлильные с револьверными головками. Размер стола 400×630 мм	Фланцы, диски, кольца, корпуса гидроаппаратуры. Диаметры обрабатываемых отверстий по 5–7-му классам точности с допуском на межцентровое расстояние $\pm 0,2$ мм	Минимальная партия 20–25 деталей с ежемесячной повторяемостью
	Фланцы, крышки, звенья, рычаги. Диаметры обрабатываемых отверстий по 2–4-му классам точности с допуском на межцентровое расстояние $\pm 0,02$ мм и больше	Минимальная партия 10–15 деталей с повторяемостью не менее 4–6 раз в год
	Корпуса и крышки редукторов, подушки прокатных станов, фланцы, кольца крышки. Диаметры обрабатываемых отверстий по 4–5-му классам точности	Минимальная партия 10–15 деталей с повторяемостью не менее 3–4 раз в год
Портально-сверлильно-фрезерно-расточные с инструментальным магазином	с допуском на межцентровое расстояние $\pm 0,5$ мм	

Продолжение табл. 3

1	2	3
	Фланцы, корпуса задвижек крышки, корпуса и крышки редукторов. Диаметры обрабатываемых отверстий по 2–3-му классам точности с допуском на межцентровое расстояние $\pm 0,02$ мм и больше	Минимальная партия 5–8 деталей с повторяемостью не менее 2–3 раз в год
Горизонтально-расточные	Корпуса редукторов, станины прокатных станов, станины кузнечно-прессовых машин, корпусные детали кранового оборудования	Минимальная партия 2–3 детали и больше с периодичностью повторения не менее 2–3 раз в год
Продольно-фрезерные и вертикально-фрезерные	Плоские детали сложной конфигурации: кулачковые муфты, рычаги	Минимальная партия 3–5 деталей и больше с периодичностью повторения не менее 6 раз в год
	Детали сложной конфигурации: вилки, детали пресс-форм, детали штампов	Минимальная партия 2–3 детали и больше с периодичностью повторения не менее 2–3 раз в год
Горизонтально сверлильно-фрезерно-расточные станки с инструментальным магазином	Буксы, подушки прокатных станов, корпуса редукторов, клапанные коробки гидроаппаратуры	Минимальная партия 5–8 деталей с ежемесячной повторяемостью

3.3. Особенности обработки деталей на многоцелевых станках

В производстве часто встречаются сложные корпусные детали, требующие обработки с шести сторон. Если детали имеют наклонные плоскости, то число сторон увеличивается до 10 и более. На каждой из сторон имеются выступы, карманы, пазы, направляющие, ребра и другие конструктивные элементы, т. е. каждая сторона корпуса – поверхность, имеющая несколько уровней по глубине, каждый уровень имеет сложный контур. На каждой стороне расположено определенное число основных и крепежных отверстий: гладких, ступенчатых, конических и резьбовых, разных размеров, глубины и точности. Часто требуется обработка внутренней полости

корпусной детали, в которой имеются перемычки, стенки, ребра жесткости, карманы. В обычных условиях это требует разработки сложной технологии, предусматривающей значительное число фрезерных, сверлильных и расточных операций. При этом тяжелый и громоздкий корпус необходимо транспортировать от одного станка к другому, многократно устанавливать его на станке, выверять и закреплять, проектировать средства механизации для подъемно-транспортных работ. При такой работе машинное время обычно не превышает 30 % штучного времени, а остальную его часть занимают тяжелые вспомогательные операции и переходы.

Многоцелевые станки (МС) позволяют совместить операции фрезерования прямолинейных и криволинейных поверхностей, центрования, сверления, рассверливания, зенкерования, развертывания, цекования, растачивания, раскатывания и накатывания отверстий, нарезания резьбы (метчиками, плашками, резцовыми головками, резцами), круговое фрезерование наружных и внутренних цилиндрических, конических и фасонных поверхностей и круговых пазов концевыми и дисковыми фрезерами.

Для достижения высокой эффективности МС всю обработку заготовок стремятся выполнять на одном станке за один-два установка. Но приходится считаться с опасностью искажения формы обработанных деталей вследствие перераспределения остаточных напряжений, имеющих в исходной заготовке. В этих случаях технологический процесс разделяют на операции черновой (обдирочной) и последующей обработки. Черновую обработку выполняют на мощных, особо жестких станках (с ЧПУ или универсальных), и детали направляют на термообработку для снятия внутренних напряжений. Дальнейшую механическую обработку выполняют на многооперационном станке.

Плоскости фрезеруют торцовыми и концевыми фрезами с твердосплавными многогранными неперетачиваемыми пластинами (МНП). Обычно это делают в два перехода. Первый – черновое фрезерование при больших припусках целесообразно выполнять торцовыми фрезами, последовательными проходами вдоль обрабатываемой поверхности. Ширину поверхности, обрабатываемой за один рабочий ход инструмента, а следовательно, и диаметр фрезы выбирают такими, чтобы отжим инструмента не сказывался на точности чистового перехода. Поэтому при неравномерном большом припус-

ке диаметр фрезы приходится уменьшать. Для чистового перехода стремятся использовать фрезу, диаметр которой позволяет захватить всю ширину обработки.

Для получения особо мелкой шероховатости поверхности при малых припусках применяют торцовые фрезы с пластинами из эльбора и минералокерамики.

Концевыми фрезами открытые плоскости обрабатывают реже, главным образом тогда, когда эту же фрезу используют для фрезерования других поверхностей (уступов, пазов), чтобы уменьшить номенклатуру применяемых инструментов.

Пазы, окна и уступы обычно обрабатывают концевыми фрезами, оснащенными твердосплавными пластинами.

Для повышения точности обработки по ширине паза и сокращения номенклатуры инструментов диаметр фрезы принимают несколько меньшим паза. Обработку выполняют последовательно: сначала фрезеруют среднюю часть паза, затем обе стороны, используя возможность получения высокой точности паза по ширине за счет введения коррекции на радиус фрезы. В конце цикла коррекцию отменяют.

Для повышения стойкости, улучшения условий отвода стружки при обработке глухих пазов применяют концевые фрезы с увеличенным углом наклона спирали и полированными канавками. Для облегчения врезания с осевой подачей применяют фрезу с особой заточкой торцовых зубьев. Повышенной жесткостью обладает конструкция фрезы с усиленной сердцевинной конической формы и переменной глубиной канавок. При увеличенных вылетах фрезы, обусловливаемых конфигурацией заготовки, используют фрезы с усиленным конусом. Уменьшение вибрации достигается у фрез с тремя и четырьмя зубьями благодаря различному расстоянию между ними (разношаговые фрезы).

Круговое фрезерование – новая операция, которая стала возможной с появлением фрезерных и многоцелевых станков с ЧПУ. Отверстия в корпусных деталях всегда обрабатывались растачиванием. На станке с ЧПУ они могут быть обработаны фрезерованием. Для этого фрезе сообщают круговую подачу. Если обозначить время фрезерования $t_{\text{ф}}$, а время растачивания $t_{\text{р}}$, то производительность кругового фрезерования будет выше производительности растачи-

вания, если выполняется соотношение $t_{\phi}/t_p < 1$. Величины t_{ϕ} и t_p могут быть рассчитаны по известным формулам.

Как показывает анализ данных по построению ТП на фрезерные операции, в современных условиях круговому фрезерованию отдается предпочтение во всех случаях, когда этот процесс возможен к применению. Ограничениями являются лишь глубина отверстия (она ограничена длиной обычных концевых фрез и составляет 60–80 мм), его диаметр и точность обработки. Следует отметить, что особенно успешно используется круговое фрезерование для предварительной обработки отверстий в литых заготовках (для снятия чернового припуска).

Обработка отверстий – самый распространенный вид технологических переходов на МС. Среди них сверление и нарезание резьбы в крепежных отверстиях под болты, винты и шпильки; сверление, зенкерование, развертывание, растачивание точных посадочных отверстий – гладких, и ступенчатых; обработка отверстий в литых деталях.

Соосные отверстия в противоположащих стенках корпусных деталей обрабатывают на МС консольно закрепленными инструментами, последовательно, с поворотом заготовки вместе со столом станка на 180° . Достижимая соосность зависит от точности делительного стола. Погрешность деления не должна превышать половины поля допуска на отклонение взаимного расположения отверстий по чертежу детали. Для увеличения жесткости шпиндельного узла отверстия стремятся растачивать с постоянным вылетом шпинделя, за счет перемещения стола или стойки станка. Дело в том, что жесткость выдвижной пиноли в десятки раз меньше жесткости шпиндельной бабки. Поэтому на МС с выдвижной пинолью шпинделя приходится снижать параметры режимов резания, чтобы получить высокую точность обработки. Только при изготовлении особо точных корпусных деталей окончательную обработку наиболее важных отверстий завершают отдельной операцией, на прецизионных расточных станках.

При обработке отверстий *осевым инструментом*, если требования к точности невысоки, операции выполняют в следующей последовательности: сначала обрабатывают все отверстия одним инструментом, затем следующим (при условии, что смена инструмента на данном станке требует больше времени, чем позиционирова-

ние стола). Если требования к точности диаметров и формы отверстий высокие, их стремятся обрабатывать полностью по отдельности, со сменой инструментов у каждого отверстия и с перемещением шпинделя только по оси z . В противном случае погрешность обработки будет увеличиваться за счет погрешности позиционирования.

Для сокращения времени сверления *спиральными сверлами* и повышения стойкости инструментов используют быстрое автоматическое изменение режима резания. После ускоренного подвода сверла к заготовке включают рабочую подачу, а когда большая часть отверстия будет просверлена, подачу уменьшают во избежание поломки инструмента из-за скачкообразного изменения нагрузки при выходе сверла из отверстия. Если имеется литейная корка на входе в отверстие или выходе из него, на этих участках предусматривают в программе уменьшение частоты вращения шпинделя.

В связи с тем, что на МС при сверлении, как правило, не используют кондуктор, широко применяют засверливание отверстий короткими жесткими сверлами – своеобразную разметку расположения будущих отверстий. При работе по литейной корке это позволяет решить и другие задачи: облегчить врезание и повысить стойкость сверл небольшого диаметра и вместе с тем снять фаску на входе в отверстие, если она предусмотрена чертежом. Засверливание целесообразно применять для обработки отверстий диаметром до 8–15 мм в деталях из черных металлов.

Для обработки *отверстий в корпусных заготовках* весьма эффективным оказалось применение инструментов, предназначавшихся раньше только для сверления глубоких отверстий, например двухкромочных сверл с механическим креплением трехгранных твердосплавных пластин. Использование таких сверл наряду с делением припуска по ширине среза и внутренним подводом СОЖ позволяет в три-пять раз повысить эффективность резания по сравнению с обычными спиральными сверлами.

Большие возможности повышения производительности при обработке отверстий заключаются в использовании *комбинированных инструментов* разных типов. Например, если отверстие в исходной заготовке отсутствует, можно использовать инструмент, сочетающий сверло и зенкер. Применяют и трехступенчатые инструменты, в которых передняя часть (первая ступень) изготовлена из

инструментальной стали, а вторая и третья части, работающие с более высокими скоростями резания, оснащены твердосплавными пластинами. Такой инструмент работает по ранее просверленному отверстию. В зависимости от формы, размеров и расположения твердосплавных пластин вторая и третья ступени могут иметь различное назначение.

Большое число обрабатываемых поверхностей, наличие черновых, получистовых и чистовых проходов при обработке каждой поверхности, значительное число инструментов в магазине усложняют выбор плана операций обработки детали на многоцелевом МС. Возникает задача выбора такого варианта, который будет наиболее эффективен. Возможностей при выборе плана операций достаточно много. Можно, например, сначала деталь полностью обработать с одной стороны, затем развернуть ее; можно сначала обработать деталь со всех сторон начерно, затем приступить к чистовой обработке, можно сначала обработать все плоскости, затем приступить к обработке отверстий. Для деталей с соосными отверстиями целесообразна последовательная обработка с двух противоположных сторон и т. д.

Конкретное решение задачи должно учитывать значительное число разнообразных факторов. Есть несколько общих принципов, которыми следует руководствоваться при этом: чем выше точность элемента конструкции, тем позже следует предусматривать его обработку; сначала следует планировать черновую обработку, затем чистовую; чем меньше время срабатывания исполнительного органа (смена инструмента, поворот стола и др.), тем чаще этот орган должен функционировать. Наибольшая точность обработки достигается при обработке детали с одного установа. Для деталей с большими припусками должны быть предусмотрены разгрузочные операции, часть которых целесообразно выполнять на универсальном или специализированном оборудовании. При выборе плана операций обработки деталей на многоцелевых станках прежде всего целесообразно использовать типовые схемы обработки, рекомендуемые соответствующими нормативными документами. Обычно эти документы предлагают последовательность переходов операций в зависимости от типа детали и заготовки, от вида обрабатываемых поверхностей и их точности и т. д. [6, 7, 9]

3.4. Определение экономической эффективности применения металлорежущих станков в условиях в различной серийности производства

Экономический эффект от применения оборудования зависит от сложности обрабатываемых деталей и серийности их выпуска, технологических возможностей, стоимости и коэффициента загрузки оборудования, коэффициента личностного обслуживания и др. [2, 8].

Настоящие рекомендации имеют целью оказать практическую помощь в экономическом обосновании применения металлорежущих станков с программным управлением для условий различной серийности обработки от единичного до крупносерийного и массового выпуска и соответствующего вида оборудования в широком диапазоне между универсальным оборудованием с ручным управлением, с одной стороны, и автоматизированным оборудованием, с другой стороны.

В зависимости от степени детализации принятых решений при экономическом обосновании выбора оборудования рекомендуется проводить анализ в следующей последовательности.

На первом этапе проводится качественный анализ, на котором определяют область рационального применения станков с ручным управлением, ЧПУ, автоматов, полуавтоматов, многоцелевых станков и др. для конкретных операций технологического процесса в зависимости от годовой программы выпуска, количества запусков партии в производство и от конструкции размеров детали.

Анализ проводится по укрупненным нормативам эффективности применения станков с ЧПУ при обработке деталей, характерных для станкостроения в условиях различной серийности производства [1].

На втором этапе проводится анализ конкретных условий обработки деталей с учетом их сложности и серийности выпуска, что позволит выбрать оборудование (или уточнить выбор оборудования, проведенный на первом этапе) с наиболее рациональной системой управления, а также *укрупненно определить экономическую эффективность от перевода обработки деталей с одного вида оборудования на другой.*

Этот анализ рекомендуется проводить по методике: «Экономическое обоснование области применения металлорежущих станков с программным управлением» [2].

В данном случае приведен расчет границ области эффективно-го применения станков с ЧПУ практически для всех видов оборудования. Результаты расчетов приведены в виде таблиц и графиков, даны необходимые исходные данные по наиболее распространенным моделям металлорежущих станков, приведены характерные примеры определения рациональных областей и эффективности применения станков с ЧПУ.

На третьем этапе проводится подробный технико-экономический расчет от создания и внедрения металлорежущих станков с ЧПУ. Расчет производится согласно инструкции по определению экономической эффективности металлорежущих станков с ЧПУ, разработанной НПО «ЭНИМС» и НПО «Оргстанкинпром» [3].

3.4.1. Определение области рационального применения металлорежущих станков по укрупненным нормативам эффективности применения станков с ЧПУ при обработке деталей, характерных для станкостроения в условиях различной серийности производства

Укрупненные нормативы эффективности применения станков с ЧПУ разработаны НПО «ЭНИМС» и НПО «Оргстанкинпром» для экономического обоснования целесообразности приобретения машиностроительными заводами станков с ЧПУ. Нормативы разработаны для 15 станков с ЧПУ наиболее распространенных на предприятиях машиностроения по 45 деталям, характерным для машиностроения и станкостроения.

По конструктивно-технологическим признакам подобраны группы деталей на каждую модель станка с ЧПУ (16Б16Ф3, 16К20Ф3, 16К30Ф3, 1Б732Ф3, РТ705Ф3, 1П717Ф3, 1П752МФ3, 1П756ДФ3, 2Р135Ф2, 6520Ф3, 6Р13Ф3, 6Р13РФ3, 2611Ф2, 2А622Ф2, НР500МФ4).

Для каждой детали разработаны технологические процессы с использованием станков с ЧПУ и оборудованием базовых вариантов и проведены все расчеты экономической эффективности и приведенных затрат.

Нормативы оформлены в виде нормативных карт, в каждой из которых приведены эскизы заготовки и обрабатываемой детали – в одной части, в другой части – график, на оси абсцисс которого отложено количество запусков партий деталей в год, а на оси ординат – годовой выпуск данных деталей. На графике по результатам расчетов линиями отделены области применения станков с ручным управлением, ЧПУ, автоматов, полуавтоматов и т. д.

Последовательность работы с нормативами:

1. В нормативах находят карту, в которой эскиз заготовки и обрабатываемой детали по конструктивно-технологическим признакам имеют сходство с заготовкой и деталью, на которую разрабатывается технологический процесс.

Например, на рис. 3 представлена карта нормативов при изготовлении вала-шестерни.

В первой части карты (рис. 3) даны эскизы заготовки и детали после первой операции технологического процесса. Во второй части карты приведен график, позволяющий выбрать вид оборудования исходя из экономической эффективности его применения. В табл. 4 приведены значения PP'_{\min} и P'_{\max} , являющимися границами, характеризующие области применения станков различных по степени автоматизации по количеству обрабатываемых деталей (Z) с учетом количества запусков в год (S_n) и рекомендуемые модели оборудования (табл. 5). На рис. 4 второй части карты нормативов приведены рекомендуемые области применения оборудования.

Таблица 4

Границы эффективного применения
токарно-винторезного станка с ЧПУ

Значения P'_{\min} и P'_{\max} при $Z = 7$						
S_n	1	2	4	6	12	24
P'_{\min}	4	4	4	6	12	24
P'_{\max}	153	154	157	159	166	180

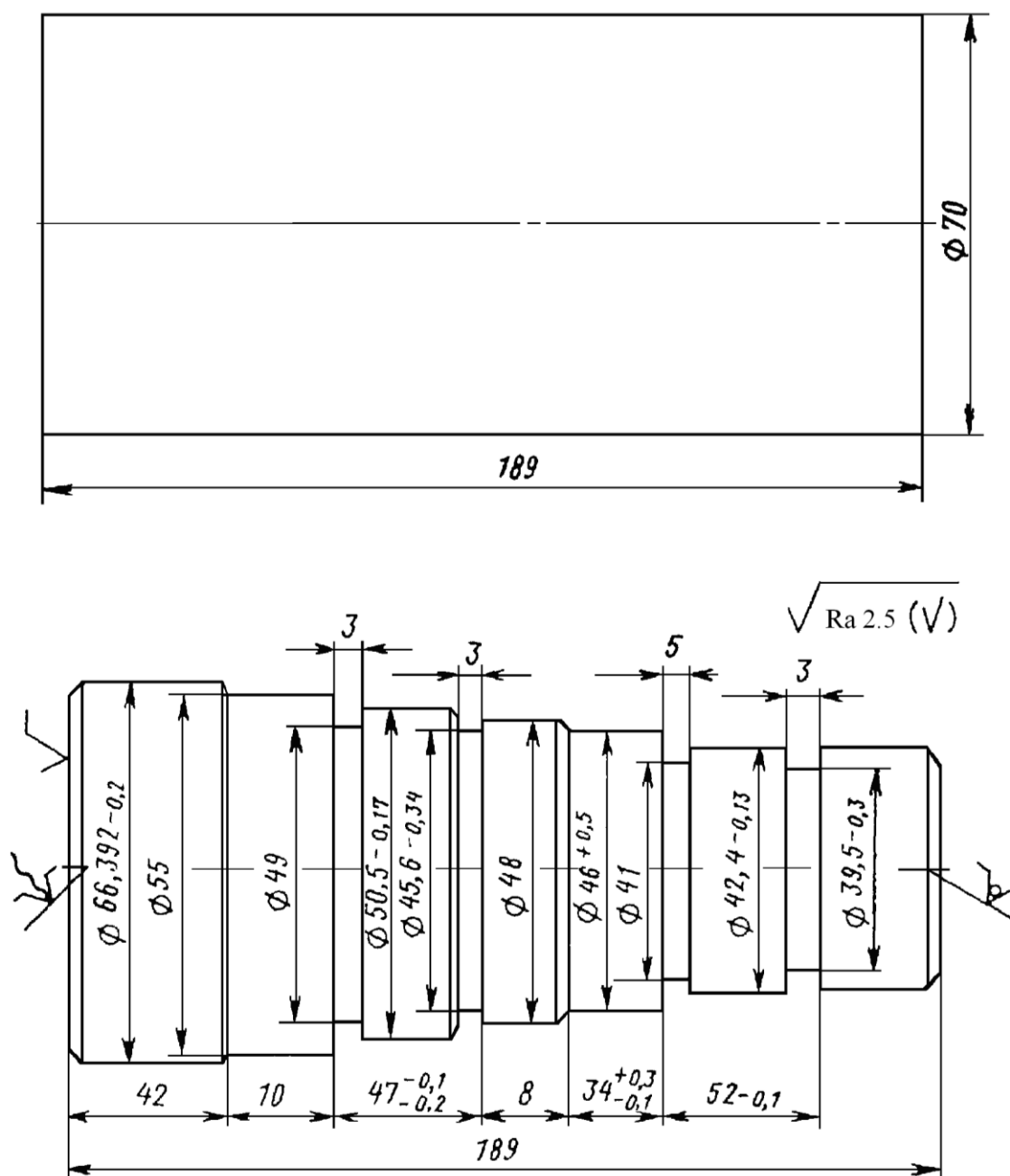


Рис. 3. Эскиз заготовки и детали после первой операции технологического процесса изготовления вала-шестерни

Таблица 5

Рекомендуемые модели оборудования

Модель станка	Количество операций	Время наладки, мин.	Штучное время, мин.	Коэффициент производительности	Цена станка, руб.
16K20Ф3	1	20	7,43	—	41860
16K20	2	41	25,5	3,43	4170
1713	1	49	4,6	0,62	8730

Необходимо иметь в виду, что области применения станка с ЧПУ в границах между линиями P'_{\min} и P'_{\max} относятся только к случаю сравнения с полуавтоматом высокооснащенным станком с ручным управлением. В конкретных условиях производства при отсутствии полуавтоматов область применения станка с ЧПУ в сравнении со станком с ручным управлением находится выше линии P'_{\min} и выше линии P'_{\max} .

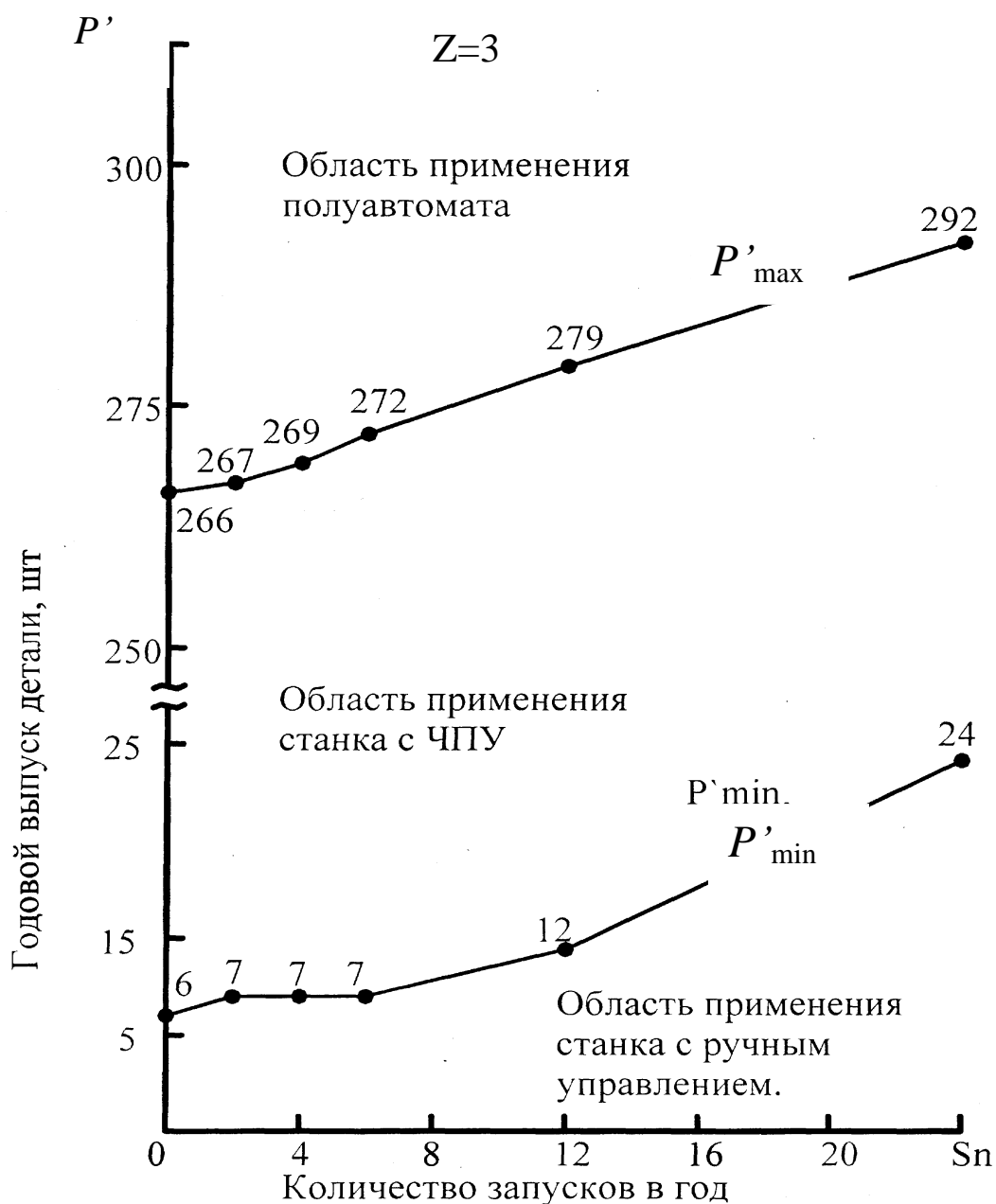


Рис. 4. Рекомендуемые области применения оборудования

При принятии окончательного решения о применении станков с ЧПУ следует также учитывать факторы производственной эффективности станков с ЧПУ:

- сокращение количества операций обработки деталей как важнейший фактор упрощения управления производством;
- возможность сокращения парка станков на заводе за счет применения станков с ЧПУ, чем обеспечивается улучшение показателей работы завода;
- социальный эффект и эффект от ускорения освоения проектных мощностей в машиностроении.

3.4.2. Экономическое обоснование области применения металлорежущих станков с программным управлением

Использование материалов данной разработки позволяет для конкретных условий обработки деталей с учетом их сложности и серийности их выпуска выбрать оборудование с наиболее рациональной системой управления, а также укрупненно определить экономическую эффективность от перевода обработки деталей с одного вида оборудования на другой.

Согласно разработанной технико-экономической модели даны графики для определения границ областей эффективного применения станков с программным управлением, позволяющие без трудоемких расчетов выбрать оборудование.

На рис. 5 показана в общем виде графическая интерпретация технико-экономической модели границ областей применения двух станков в зависимости от их относительной производительности y и числа наименований деталей Z , обрабатываемых на станках в течение года.

График 5, *а* дает возможность определить, при каких значениях относительной производительности y и характеристики серийности Z деталь целесообразно изготавливать на станке с ручным управлением (РУ) или с программным управлением (ПУ). Графики рис. 5, *б* дают возможность оценить значение годового экономического эффекта от внедрения станка с ПУ взамен станка с РУ в зависимости от достигнутой относительной производительности сопоставляемых станков y и характеристики серийности Z .

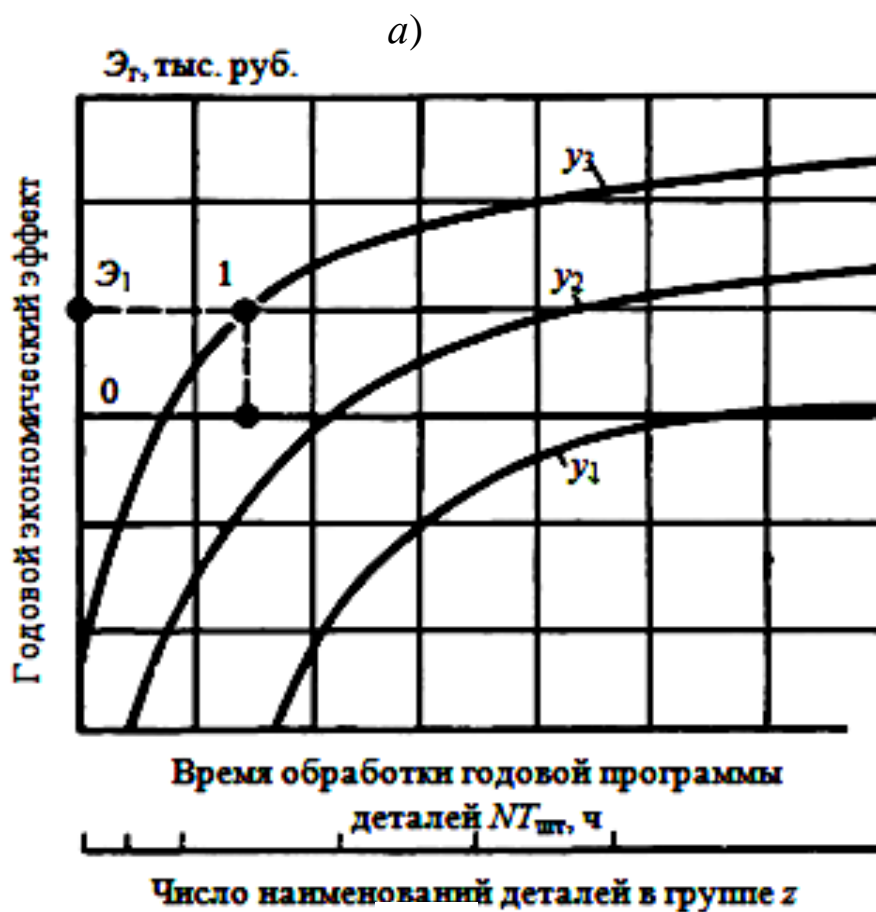
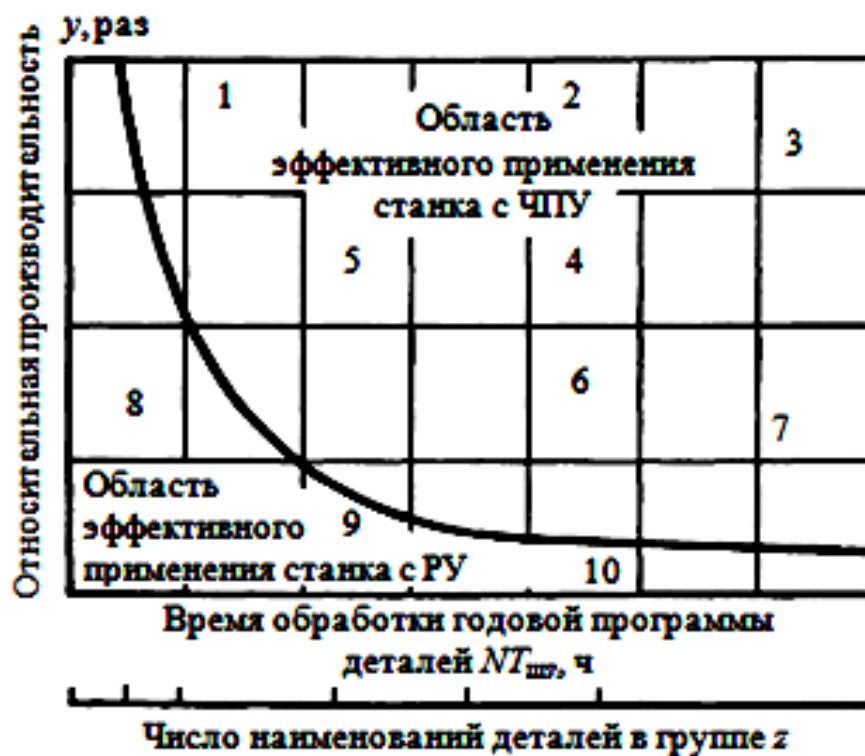


Рис. 5. Области эффективного применения станков с программным и ручным управлением

Точки 1–10 (рис. 5, а) характеризуют множество деталей конкретного заказчика, которые можно изготовить на сопоставляемых станках.

Детали 1–7 целесообразно изготавливать на станках с ПУ, так как перевод их на эти станки с оборудования с РУ дает эффект.

Детали 8–10 переводить на оборудование с ПУ нецелесообразно, так как перевод их связан с преувеличением затрат на обработку по сравнению с действующим технологическим процессом.

Последовательность работы по экономическому обоснованию области применения металлорежущих станков с ПУ:

1. Основываясь на перечне базового и заменяемого оборудования с ПУ, приведенном в приложении III книги [2], выбирают рисунок, характеризующий применение данного вида оборудования;

2. Основываясь на чертеж детали и характер операции технологического процесса, проводят нормирование операции при использовании оборудования с ПУ и с РУ;

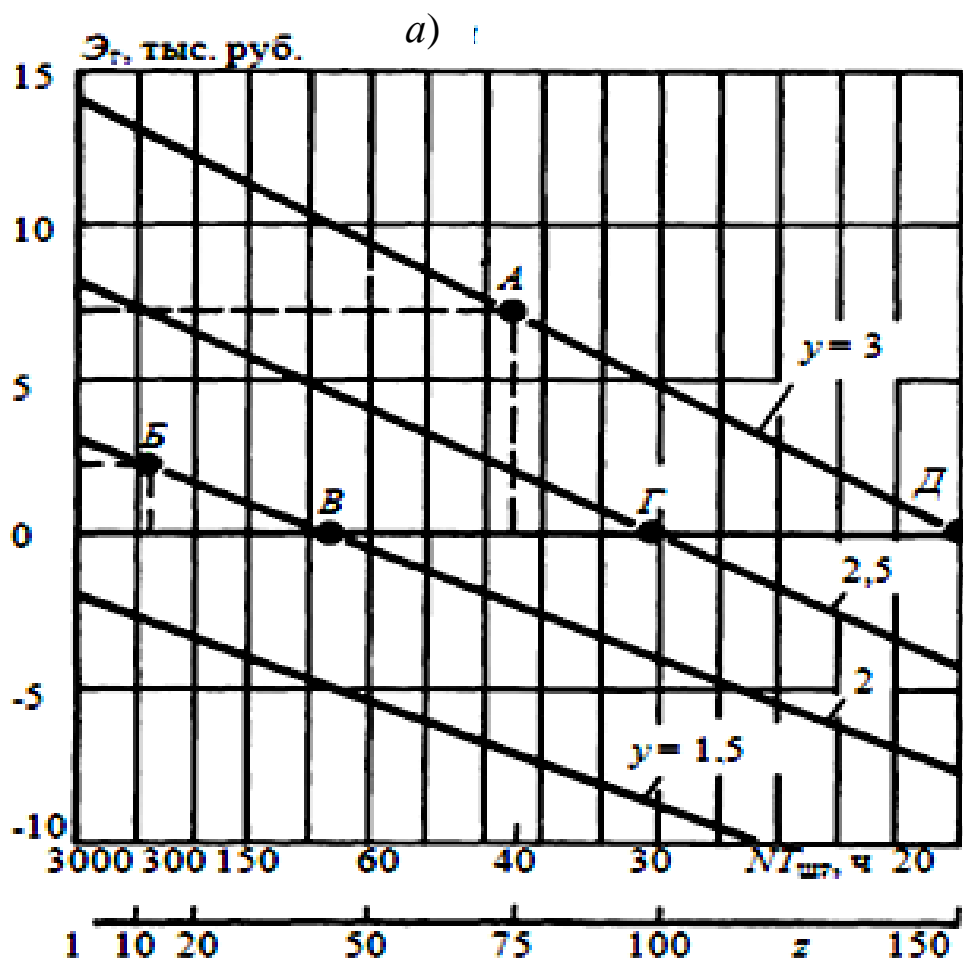
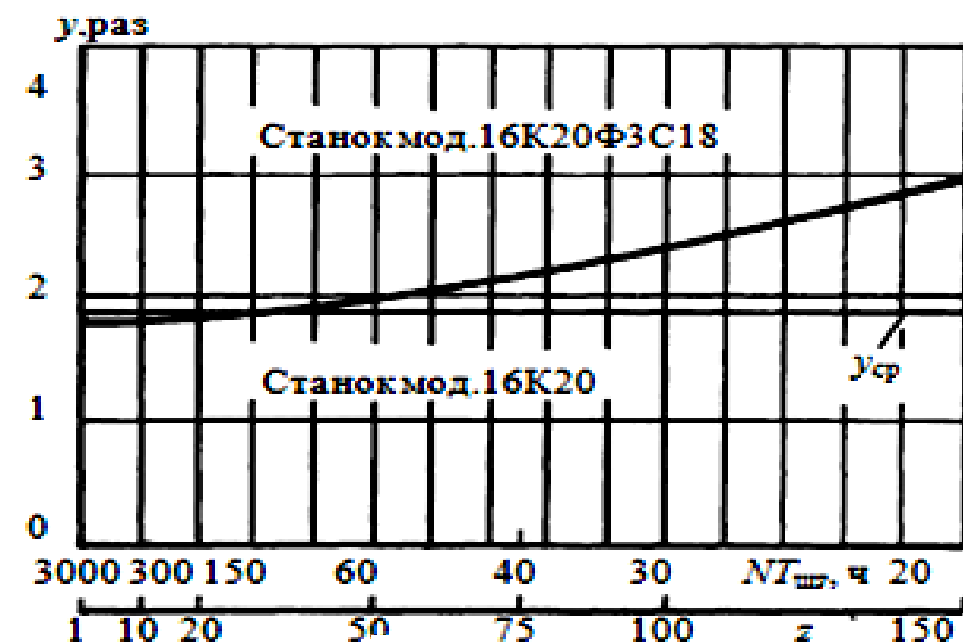
3. Определяют величину повышения производительности обработки на станке с ПУ. (По верхней части графика можно укрупнено определить величину повышения производительности сравниваемых станков в зависимости от времени обработки годовой программы $NT_{шт, ч.}$);

4. По нижней части графика в зависимости от времени обработки годовой программы и повышения производительности у определить величину предполагаемого эффекта в тысячах рублей. (В данной книге величина эффекта приведена в ценах 1987 года.)

Рассмотрим пример определения областей применения токарных патронно-центровых станков: с ЧПУ мод. 16K20Ф3С18 и с РУ мод. 16K20.

Находим соответствующий график сравниваемых моделей оборудования (рис. 6). Нормирование токарной операции для детали, представленной на рис. 7, дает следующий результат: трудоемкость обработки на станке 16K20 составляет 0,086 нормо-ч, а на станке 16K20Ф3С18 – 0,042 нормо-ч производительность повысилась в 2 раза. Экономический эффект от этого мероприятия можно определить по нижнему графику (рис. 6, б). Так, при $NT_{шт} = 3000 \times \times 0,086 = 258$ ч и $y = 2$, экономический эффект составит около

2 тыс. руб. (точка *Б* на рис. 6, *б*). N – средняя годовая программа деталей одного наименования, обрабатываемых на станке.



б)

Рис. 6. Области применения токарных патронно-центровых станков: с ЧПУ мод. 16K20Ф3С18 и с НЧ мод. 16K20; $y_{\text{ср}} = 1,9$

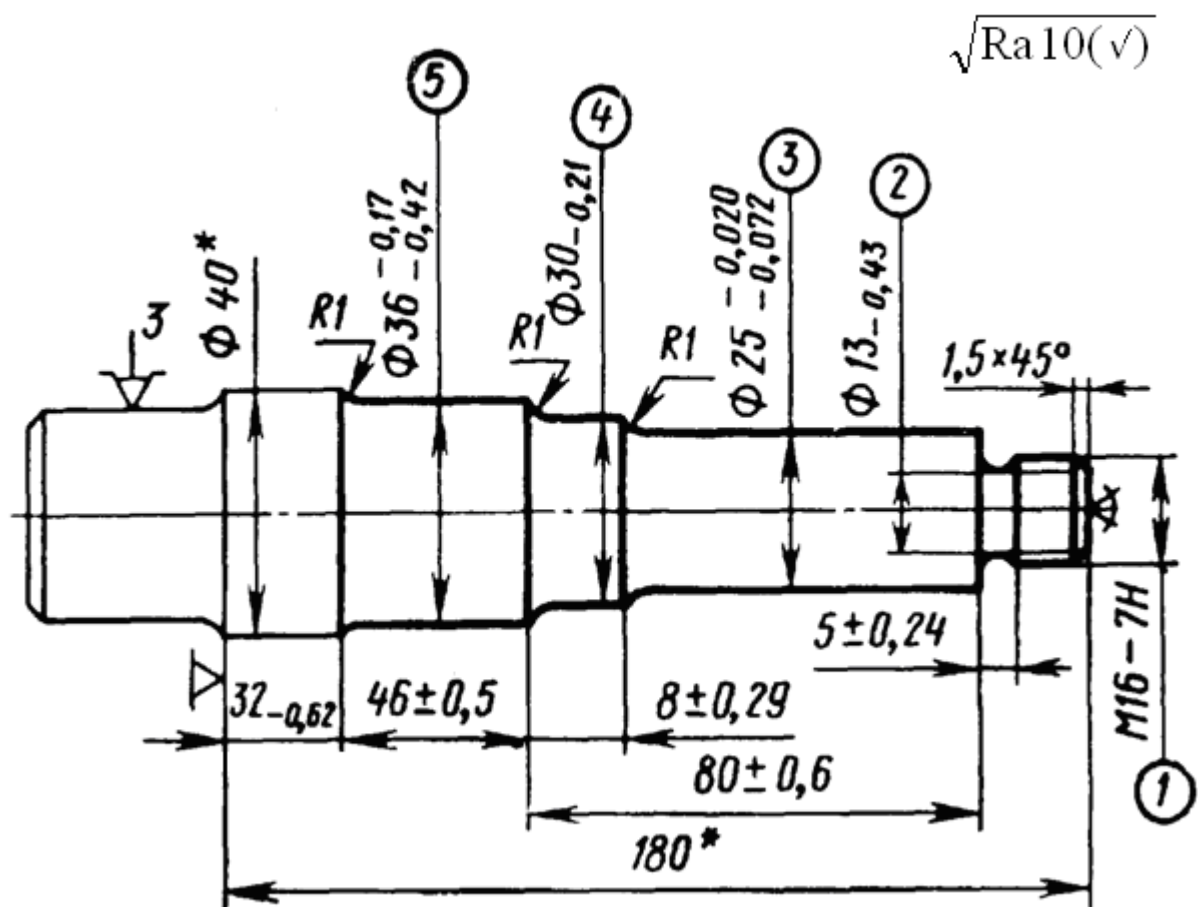


Рис. 7. Пример токарной обработки оси. Последовательность обработки: 1) последовательно обточить поверхности 5, 4, 3, 1; обточить фаску; 2) проточить канавку 2; 3) нарезать резьбу. * Размеры для справок

Анализ графика на рис. 6, а показывает, что линия границы областей применения патронно-центровых станков с ЧПУ мод. 16K20ФЗС18 и с РУ мод. 16K20 пересекает среднее значение относительной производительности этих станков при обработке деталей средней сложности при $z = 45$. При $z < 45$ целесообразно использовать станки мод. 16K20ФЗС18, при $z > 45$ – станки мод. 16K20. С ростом относительной производительности граница областей применения сдвигается в область средне- и мелкосерийного производства (точки В, Г, Д на рис. 6, б). Так, при $y = 2$ граница соответствует значению z , равному 43 наименованиям деталей, при $y = 2,5$ – $z = 100$ и при $y = 3$ – $z = 148$.

Лабораторная работа №3

Определение жесткости станков

1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Целью работы является ознакомление с методикой определения величин отжатый в технологических системах и элементах металлообрабатывающего оборудования при статическом нагружении на примере токарных станков.

В связи с этим в работе ставятся следующие задачи:

- изучение методов определения жесткости станков;
- экспериментальное определение жесткости токарного станка при статическом нагружении;
- определение жесткостей составляющих элементов технологических систем станков, составление балансов жесткости и перемещений;
- выявление наиболее податливых элементов технологической системы станка, влияющих на точность обработки;
- разработка рекомендаций по повышению жесткости станков.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Жесткость является одним из основных критериев работоспособности станка, так как определяет точность станка под нагрузкой. Чем меньше жесткость технологической системы, тем больше погрешности формы и размеров обработанной детали, т. е. ниже точность обработки.

Жесткостью станка называется его способность оказывать сопротивление силам, направленным на упругие перемещения элементов технологической системы. Жесткость станка определяется как собственными деформациями деталей, воспринимающих нагрузку, так и деформацией стыков. В соответствии с этим принято различать собственную жесткость деталей j и контактную жесткость j_k (нормальную и тангенциальную).

Собственная жесткость определяется через отношение нагружающей силы P к упругому перемещению y в направлении этой силы:

$$j = P/y, \text{ Н/мм.}$$

Нормальная контактная жесткость равна отношению нагрузки, действующей перпендикулярно поверхности стыка, к упругой деформации поверхностных слоев:

$$J_{\text{кн}} = P/y_{\text{н}}, \text{ Н/см}^3.$$

где P – нормальное давление, Н/см^2 ;

$y_{\text{н}}$ – величина деформации стыка.

Тангенциальную контактную жесткость $j_{\text{кт}}$ определяют как отношение тангенциального напряжения τ , Н/см^2 , к упругому тангенциальному смещению y_{τ} :

$$J_{\text{кт}} = \tau/y_{\tau}, \text{ Н/см}^3.$$

Собственная жесткость деталей зависит от модуля упругости, площади сечения или момента инерции, но не зависит от упругости материала.

Контактная жесткость зависит от шероховатости сопрягаемых поверхностей и качества их пригонки, точности геометрической формы деталей, смазки и характера нагрузки. Податливость – величина, обратная жесткости. Она характеризует деформацию (мм или мкм), вызванную нагрузкой в 1 Н.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ЖЕСТКОСТИ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

3.1. Методика определения статической жесткости токарных станков

При оценке жесткости токарных станков определяют величину суммарного смещения жесткой эталонной детали относительно первоначального положения вследствие перемещения элементов технологической системы станка, несущих инструмент и заготовку, под действием нагружающей силы.

Разработанные нормы жесткости ограничивают относительные упругие отжатая несущих узлов станка в том направлении, в котором они оказывают наибольшее влияние на точность обработки. Расположение узлов исследуемого станка, ориентация в пространстве статической силы, имитирующей силу резания, и выбор ее величины обуславливаются следующими соображениями: условия исследования должны, соответствовать условиям типичного для данного станка случая обработки; величины упругих перемещений всех элементов станка должны быть достаточно большими, позволяющими использовать для измерения измерительные приборы нормальной точности. Исходя из этих соображений, максимальную величину статической силы следует выбирать соответствующей максимальной величине силы резания.

Направление силы в пространстве в общем случае должно быть таким, чтобы углы наклона силы к осям координат примерно соответствовали углам, определяемым соотношениями между составляющими сил при резании. Допускается прикладывать статическую силу в направлении перемещений, оказывающих наибольшее влияние на погрешность обработки.

Определение жесткости при статическом нагружении проводится на неработающем станке с применением специальных нагрузочных устройств. Схема нагружения технологической системы токарного станка приведена на рис. 1.

Нагрузку и разгрузку технологической системы проводят последовательно через равные интервалы. По данным измерений строятся нагрузочно-разгрузочные характеристики, вид которых представлен на рис. 2, и составляется баланс перемещений в технологической системе, по которому определяют долю перемещений каждого элемента системы в общем значении упругих перемещений.

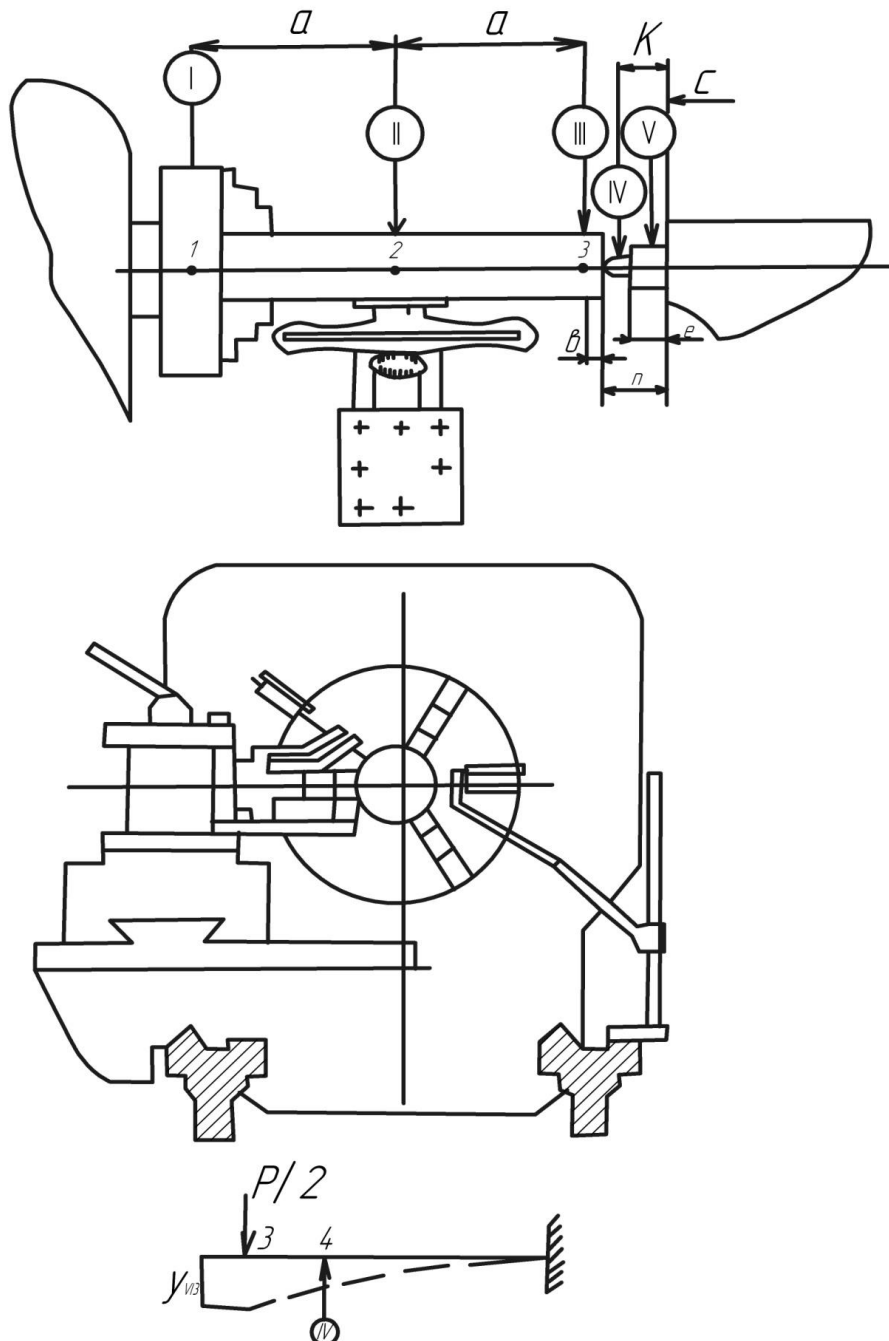
Жесткость технологической системы и ее элементов определяется:

$$j = P_y / y, \text{ Н/мм}$$

где y – упругие перемещения в технологической системе, вызываемые радиальной составляющей силы резания, определенные по усредненной нагрузочно-разгрузочной характеристике.

4. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ, МАТЕРИАЛЫ

Для выполнения лабораторной работы используется токарно-винторезный станок модели 16K20. Нагружение технологической системы станка и ее элементов производится посредством



$$y_{IV3} = \frac{2(n-e)y_{IV4}}{3 \cdot 0,66(k-e)}$$

Рис. 1. Схема нагружения технологической системы токарного станка

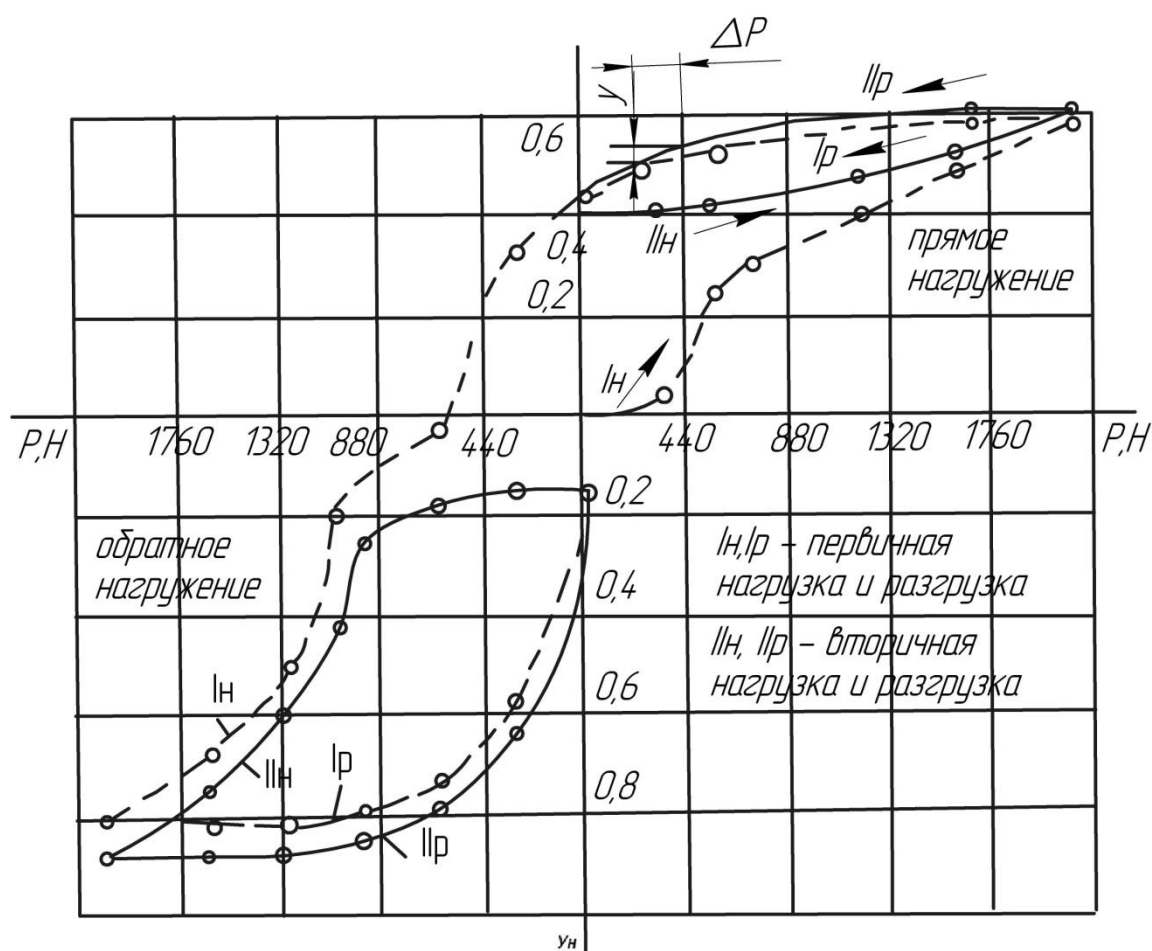


Рис. 2. Нагрузочно-разгрузочная характеристика технологической системы токарного станка

привода поперечного перемещения инструмента через эталонную жесткую деталь. Контроль прилагаемого усилия, имитирующего радиальную составляющую силы резания, проводится посредством динамометра. Перемещения детали и элементов технологической системы станка определяются по индикаторам часового типа с ценой делений 0,001–0,002 мм. Индикаторы устанавливаются в местах измерений при помощи стоек. Схема нагружения и измерения перемещений при исследовании жесткости токарных станков при статическом нагружении, при обработке детали в центрах приведена на рис. 1.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Перед проведением работы необходимо провести проверку затяжки болтов крепления задней бабки, зажать резцедержатель, закрепить эталонную жесткую деталь и зажать пиноль задней бабки.

2. Установить динамометр на подставку, закрепленную в резцедержателе станка в середине эталонной детали. Установить индикаторы. Схема нагружения технологической системы токарного станка и расстановки приборов для составления баланса упругих перемещений при обработке детали в центрах приведена на рис. 1.

3. При помощи маховика механизма поперечной подачи через эталонную деталь технологическую систему 2-3 раза нагружают силой, по величине близкой к максимальной, и без записи показаний разгружают.

4. Выставить показания всех приборов после разгрузки на нуль.

5. Провести нагружение технологической системы за счет поперечного перемещения динамометра. Пользуясь тарировочным графиком динамометра, в диапазоне нагрузок от 0 до 5000 Н снять показания индикатора. Снятие показаний в диапазоне нагрузок от 0 до 700–1000 Н проводят через каждые $50 \div 100$ Н, а в диапазоне нагрузок свыше 1000 Н – через каждые $250 \div 500$ Н. Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1.

P_y	Нагрузка							Разгрузка						
	y_{II}	y_I		y_{IV3}		$\Delta z^{отв}$		y_{II}	y_I		y_{IV3}		$\Delta z^{отв}$	
Н	МК М	МКМ	%	МК М	%	МКМ	%	МК М	МКМ	%	МКМ	%	МКМ	%

6. Разгрузить технологическую систему станка. Снять показания индикаторов при тех же значениях, что и при нагрузке. Результаты измерений занести в табл. 1.

7. По данным измерений для каждого контролируемого перемещения построить нагрузочно-разгрузочную характеристику.

8. Определить жесткость технологической системы по усредненной нагрузочно-разгрузочной характеристике и жесткости шпиндельного узла, заднего центра.

9. Пересчитать перемещения заднего центра, измеренные в точке 4, к точке 3 контакта центра с центровым отверстием эталонной детали. Используем правило Верещагина:

$$y_{Iy3} = \frac{2}{3} \frac{(n-l)}{0,66(K-l)} \times y_{Iy4}.$$

10. Составить баланс перемещений в технологической системе, определив долю каждого из регистрируемых перемещений в количественном и процентном отношении от суммарного перемещения.

При составлении баланса выделить следующие составляющие: перемещение заднего центра $V_{зц}$ в точке 3, перемещение детали за счет центрального отверстия $V_{отв}$ в точке 3. Перемещение шпиндельного узла.

6. ТРЕБОВАНИЕ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляется в соответствии с требованиями к текстовым документам и должен содержать нагрузочно-разгрузочную характеристику элементов технологической системы токарного станка, результаты определения жесткости технологической системы и составляющих ее элементов, таблицы с результатами замеров и балансами перемещений.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Методика определения жесткости станков при статическом нагружении.

2. Составляющие балансов перемещений в технологических системах токарного станка.

3. Наиболее податливые элементы технологических систем токарных станков и методы повышения жесткости этих станков.

Лабораторная работа №4

Исследование тепловых деформаций станков

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – ознакомиться с методикой исследования температурной деформации станков. В содержание работы входит определение температурного поля и тепловых деформаций фрезерного станка в зависимости от времени его работы.

2. ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Для проведения работы используется следующее оборудование:

- вертикально-фрезерный станок;
- термометры;
- измерительные головки с ценой деления 0,001 мм;
- магнитные штативы.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При работе металлорежущего станка его тепловой режим постоянно изменяется, в результате чего происходит неравномерный нагрев узлов и базовых деталей (колонны, станины, столы и другие корпусные детали), вызывающий изменение их геометрических форм и отклонение в пространстве (линейное и угловое). Это приводит к смещению инструмента относительно заготовки и, следовательно, к снижению точности обработки.

Источники тепла, вызывающие тепловые деформации в станках, можно разделить на три основные группы:

- внутренние (собственные) источники тепла в станках;
- процесс резания;
- окружающая среда.

Наибольшее влияние на тепловые деформации оказывают собственные источники тепла станка, выделяющие тепло за счет:

- превращения электрической энергии в тепло (электродвигатели, электросхемы, электроосвещение, электронные схемы и др.);

- превращения механической энергии в тепло (потери на трение в подшипниках шпинделя, в зубчатых и червячных передачах, в передаче винт-гайка, в фрикционных муфтах и тормозах, направляющих, в местах уплотнения валов и др.);

- потери энергии в гидроустройствах станка.

Тепло, выделяемое в процессе резания, приводит к нагреву и деформации инструмента и обрабатываемой заготовки. Часть тепла аккумулируется стружкой и смазочно-охлаждающей жидкостью и передается отдельным узлам станка (станине, столу, суппорту), что может приводить к их тепловым деформациям.

Источниками тепловыделения окружающей среды являются: системы отопления помещения, фундамент, солнечные лучи, теплый воздух от соседних станков или других устройств, осветительные приборы и др.

При исследовании тепловых деформаций в станках первой задачей является установление температурного поля станка, т. е. совокупности значений температуры в данный момент времени для всех точек исследуемого пространства станка.

При работе станка его температурное поле будет нестационарным, т. е. зависящим от времени работы станка. При стабилизации теплообмена (через 6...10 часов работы) температурное поле станка становится стационарным.

Аналитический расчет температурных полей и тепловых деформаций станка очень сложен, поэтому наиболее достоверные результаты получаются пока, в основном, экспериментальным путем.

Измерение температурного поля станка производится термодарами или термометрами, устанавливаемыми в измеряемых точках в отверстиях, заполненных маслом. Для записи температуры могут приниматься многоточечные самопишущие приборы, регистрирующие температуру в каждой точке.

Линейные и угловые смещения шпинделя и других деталей или узлов станка измеряются измерительными головками с ценой деления 0,001 мм (для неподвижных деталей) – индуктивными или пневматическими датчиками (для вращающихся деталей).

Из-за тепловых деформаций шпиндель вертикально-фрезерного станка может смещаться в вертикальной и в горизонтальной плоскостях, а также может менять свое угловое положение.

При проведении исследований принимается, что станок является термосимметричным относительно плоскости YOZ (рис. 1).

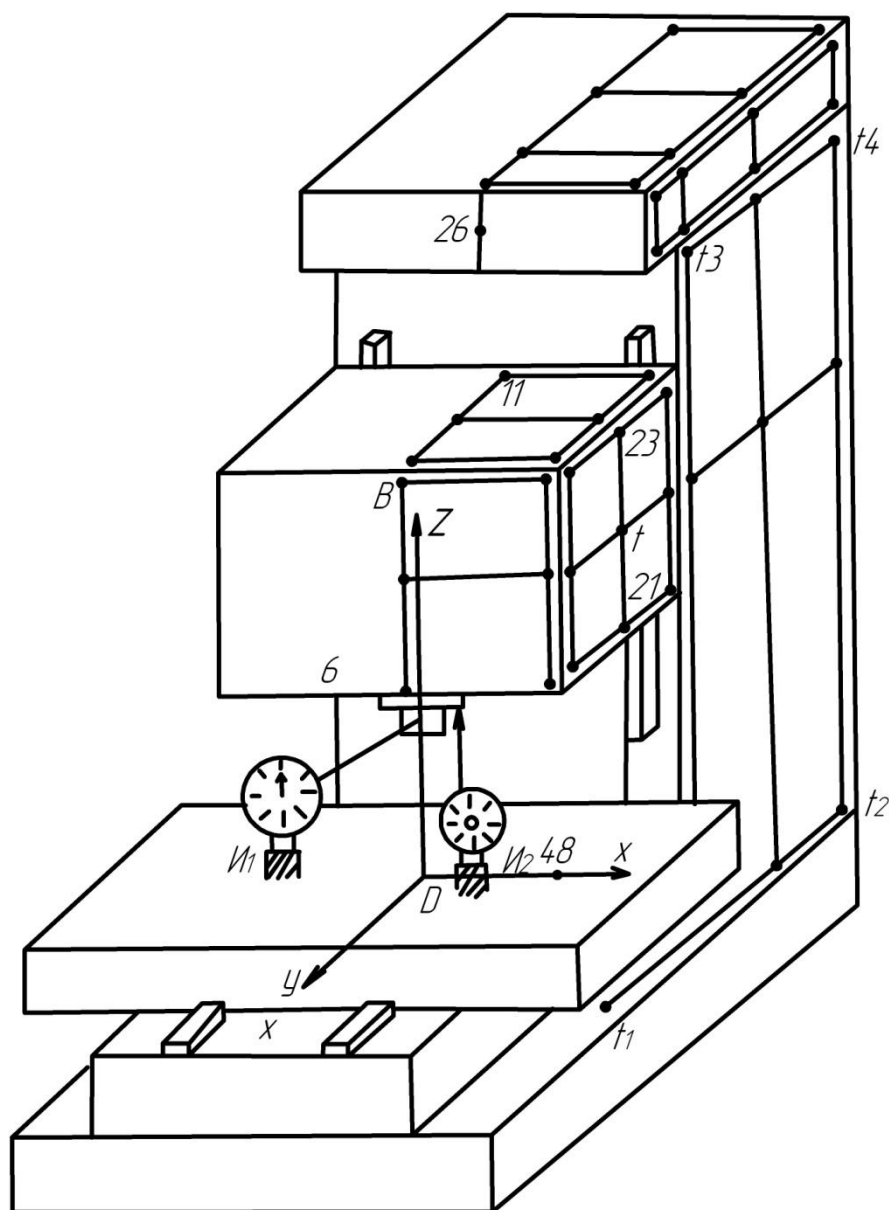


Рис. 1. Схема измерения температуры и деформаций

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Изучить общую конструкцию станка, выявить и зарисовать на схеме все источники тепловыделения при его работе.

4.2. Изучить и зарисовать на контуре станка местоположение всех собственных источников тепловыделения. Дать предварительную оценку их влияния на температурное поле и тепловые деформации станка.

4.3. Установить термометры в отверстия специальных болтов, заполненных маслом.

4.4. В соответствии со схемой (рис. 1) установить на столе станка магнитные штативы с измерительными головками для измерения отклонения шпинделя станка из-за тепловых деформаций по координатам Y и Z.

4.5. Настроить привод главного движения станка на частоту вращения шпинделя $n_{\text{шп}} = 2000$ об/мин (значения частоты вращения задаются преподавателем 1600, 1200, 1000, 800, 600, 400...об/мин) и провести при работе станка «вхолостую» замеры температуры в выбранных точках и величин тепловых деформаций шпинделя.

Замеры проводить через каждые 5 минут работы станка в течение 2 часов. Результаты измерений температуры занести в табл. 1, а тепловых деформаций в табл. 2.

Таблица 1

Результаты измерений температуры

T, °C	τ , мин						
	0	5	10	15	85	90
1							
2							
3							
...							
12							

Таблица 2

Результаты измерения тепловых деформаций

Δ , мкм	τ , мин						
	0	5	10	15	85	90
Координата Y							
Координата Z							

4.6. Отключить станок и в течение 2 часов провести измерения температур в выбранных точках и тепловых деформаций при остывании станка. Замеры проводить каждые 5 минут. Результаты замеров занести в таблицы 1 и 2.

4.7. На основании полученных экспериментальных данных построить графики зависимости температуры во всех измеряемых

точках и тепловых деформаций по координатам Y и Z в функции времени при нагревании и (или остывании) станка.

4.8. Дать оценку характера влияния тепловых деформаций узлов станка на точность обработки.

Примечание: в лабораторной работе может выполняться один из пунктов 4.5 или 4.6.

5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

5.1. Включать станок только в присутствии и по разрешению преподавателя или учебного мастера.

5.2. Немедленно ставить в известность преподавателя или учебного мастера при неисправности станка.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляется в соответствии с требованиями к текстовым документам и должен содержать:

- экспериментальные данные измерений температур и тепловых деформаций (табл. 1 и 2);
- графики зависимости температур во всех измеряемых точках и тепловых деформаций по координатам Y и Z в функции времени;
- контур станка с указанием источников тепловыделения при его работе;
- контур станка с указанием всех собственных источников тепловыделения.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На какие группы подразделяются источники тепла, вызывающие деформации станка? Дайте характеристику каждой группе.

2. Как и с какой целью исследуются температурные поля станков?

3. Дайте анализ полученных смещений оси шпинделя исследуемого станка из-за тепловых деформаций и характер влияния этого смещения на точность обработки.

Лабораторная работа №5

Системы счисления и кодирования информации для систем управления станков с ЧПУ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить вопросы теории кодирования информации при передаче, хранении и преобразовании информации в системах ЧПУ металлообрабатывающего оборудования.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Системы счисления Некоторые сведения из теории кодирования

Теория кодирования – раздел теории информации изучающей, способы отождествления сообщений с отображающими их сигналами. Кодирование применяют при передаче, хранении и преобразовании информации. Для кодирования сообщений используют набор символов. Множество символов называют алфавитом кода: $\{a_1, a_2, \dots, a_m\}$

Количество символов в алфавите обозначают буквой t и называют основанием кода. Десятичная система счисления является кодом с основанием $m = 10$ (т. е. количество значащих цифр равно десяти). При этом значащие цифры (их форма, вид) составляют алфавит: 0, 1, 2, 3, ..., 9. С помощью алфавита (значащих цифр) в системе счисления можно выразить (закодировать) любую числовую величину.

Код Морзе имеет основание $m = 2$; следовательно, его алфавит состоит из двух символов – точки и тире (. —). Выражение звуков языка тоже осуществляется определенным кодом. Так, для русского языка основание кода $m = 33$, а алфавит состоит из букв а, б, в, г, . . . , я.

Любую упорядоченную выборку символов из алфавита называют кодовым словом или кодовой комбинацией:

$$B = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}\}$$

Количество (число) символов в кодовой комбинации обозначают буквой n и называют длиной кодовой комбинации.

Кодом называют любое упорядоченное множество кодовых комбинаций:

$$\{B_1, B_2, \dots, B_n\}.$$

Количество (число) кодовых комбинаций в коде называют мощностью или объемом кода. Максимальная мощность кода $N = m^n$.

Представление информации кодом

Элементы, положения, события и т. д., для которых характерны два устойчивых и противоположных состояния, удобно описывать кодом с основанием $m = 2$. Например, контакты реле могут быть замкнуты или разомкнуты, триод открыт или закрыт, деталь на станке установлена или снята, привод включен или выключен, самолет обнаружен или не обнаружен и т. п. Если одному состоянию элемента (положения, события) приписать значение 1 (единица), а другому 0 (нуль), то алфавит кода будет содержать всего два символа (знака) – 0 и 1, а кодовая комбинация – набор символов из этого алфавита. Например, режим включения шести реле (P_i), определенный кодовой комбинацией 110111 (рис. 1, а), будет означать, что в заданный момент времени лишь контакты реле P_4 не будут замкнуты. Комбинации 110000, 010001 и 111111 означают, что сработали соответственно шестое и пятое, первое и пятое, все реле и т. д. Рассмотренную информацию можно записать на бумаге символами 1, 0 (рис. 1, б) или представить на бумажной ленте комбинацией отверстий (рис. 1, в), считая пробитое на ленте отверстие за 1, а отсутствие за 0. Расположение отверстий в строке на соответствующих дорожках определит состояние рассматриваемых элементов. При этом полагают, что первая дорожка (счет справа налево) определяет состояние первого реле, вторая – второго, третья – третьего и т. д.

В данном случае длина всех рассмотренных комбинаций (110111, 110000 и т. д.) равна шести ($n = 6$).

Количество единичных символов в комбинации называют ее весом и обозначают l . Комбинация 11001 имеет вес $l = 3$, комбинация 11111 – вес $l = 5$, комбинация 00010 – вес $l = 1$.

Кодовым расстоянием d между двумя комбинациями называют количество несовпадений их разрядов. Например, кодовое расстоя-

ние между комбинациями 10000 и 11000 будет $d = l$, между комбинациями 11100 и 00011 – $d = 5$. В первом случае все разряды одинаковы, кроме одного, во втором случае различны все пять разрядов.

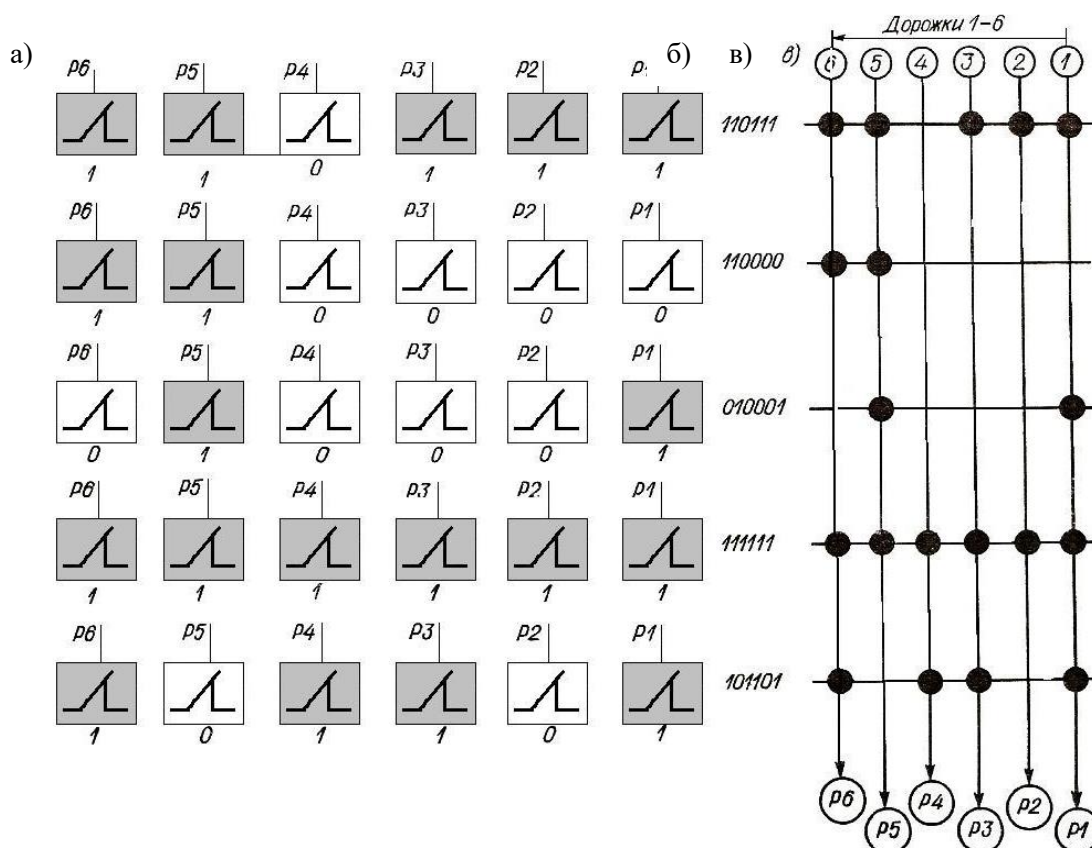


Рис. 1. Представление информации кодом с основанием $m = 2$;
а – состояния элемента реле; б – запись символами;
в – представление на перфоленте отверстиями

Классификация кодов

Имеется большое число признаков классификации кодов. Назовем основные из них.

1. По основанию: коды с основанием $m = 2$ называют двухпозиционными, с основанием $m > 2$ – многопозиционными.

2. По длине кодовых комбинаций: коды равномерные, если $n = \text{const}$, и неравномерные, если $n \neq \text{const}$.

3. По весу комбинаций: коды равновесные (или коды на одно сочетание если $l = \text{const}$, и неравновесные (или коды на сумму сочетаний), если $l \neq \text{const}$.

Равновесный код называют также кодом l из n . Число комбинаций кода равно числу сочетаний из n по l и обозначается символом $\binom{n}{l}$.

Из комбинаторики известно, что

$$\binom{n}{l} = \frac{n(n-1)(n-2)\dots(n-l+1)}{l!}$$

В технике широкое применение имеет код 2 из 5, число комбинаций этого кода

$$N = \binom{5}{2} = \frac{5 \cdot 4}{2} = 10.$$

Все комбинации кода имеют одинаковый вес $l = 2$.

Код на сумму сочетаний содержит комбинации различного веса. В общем случае вес n членной комбинации изменяется от 0 до n , сумма комбинаций равновесных кодов

(формула бинома Ньютона)

$$N = \binom{n}{0} + \binom{n}{1} + \dots + \binom{n}{n} = 2^n$$

Для $n = 5$ общее число комбинаций

$$N = 2^5 = \binom{5}{0} + \binom{5}{1} + \binom{5}{2} + \binom{5}{3} + \binom{5}{4} + \binom{5}{5} =$$

$$= 1 + 5 + 10 + 10 + 5 + 1 = 32$$

4. По способу упорядочения комбинаций. Число вариантов упорядочения равно числу перестановок из N , равному $N!$. Таким образом, имеется $10!$ кодов 2 из 5.

Пример одного из вариантов комбинаций:

$$\left. \begin{array}{l} 0) \quad 11000; 1) 10100; 2) 011000; \\ 3) 01010; 4) 00110; 5) 00101; \\ 6) 00011; 7) 10010; 8) 10001; \\ 9) 01001; \end{array} \right\} (1.1)$$

5. По четности или нечетности веса комбинаций. Если все комбинации кода имеют четный вес, то код называют четным, если

нечетный вес – нечетным.

Пример четного кода:

$$\left. \begin{array}{l} 0) \quad 0000; 1) 0011; 2) 0101; 3) 0110; \\ 4) 1001; 5) 1010; 6) 1100; 7) 1111; \end{array} \right\} (1.2)$$

6. По числу комбинаций заданной длины. Если код содержит все возможные комбинации заданной длины ($N = 2^n$), то его называют полным или кодом безызбыточности. Если код содержит только часть этих комбинаций, то его называют неполным или кодом с избыточностью. Избыточность необходима для придания коду каких-либо особых свойств, в частности помехозащищенности.

Код (1.2) будет неполным, поскольку при его формировании использовали только восемь комбинаций (четного веса) из возможных 16. Из оставшихся восьми нечетных комбинаций можно, в свою очередь, образовать также неполный нечетный код.

7. По кодовому расстоянию. Код с постоянным кодовым расстоянием ($d = \text{const}$) между смежными комбинациями называют переменным.

Код 2 из 5 [см. (1.1)] является двухпеременным. Кодовое расстояние между смежными комбинациями этого кода всюду равно двум. Те же десять комбинаций можно расположить по-другому и получить четырехпеременный код:

$$\left. \begin{array}{l} 0) 00011; 1) 11000; 2) 00110; \\ 3) 10001; 4) 01100; 5) 10010; \\ 6) 01001; 7) 10100; 8) 01010; \\ 9) 00101; \end{array} \right\} (1.3)$$

8. По арифметическим свойствам кода. С помощью различных кодов записывают числа. Код, обладающий арифметическими свойствами, называют арифметическим. Комбинации такого кода можно рассматривать как числа и производить с ними различные арифметические операции.

Если код не обладает арифметическими свойствами, его называют комбинаторным. Комбинаторные коды формируют по законам теории соединений (сочетаний, размещений, перестановок), изуча-

емой в разделе математики, называемом комбинаторикой. Из рассмотренных кодов к комбинаторным относят равновесные, четные, нечетные.

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ СИСТЕМ СЧИСЛЕНИЯ

Коды, используемые для представления чисел посредством числовых знаков (цифр), определяются как системы счисления. Наиболее употребимы позиционные системы, запись произвольного числа A в которых при основании m базируется на представлении этого числа в виде полинома:

$$A = a_n m^n + a_{n-1} m^{n-1} + \dots + a_{-1} m^{-1} + a_{-2} m^{-2} + \dots, \quad (1.4)$$

где a_i – коэффициент – один из символов (цифр) системы; m – основание системы; n – номер разряда.

При использовании системы счисления основание, как правило, не пишут, а число записывают путем перечисления всех коэффициентов (символов) полинома:

$$A = a_n a_{n-1} a_{n-2} \dots a_0 a_{-1} a_{-2} \dots$$

При этом запятая, отделяя целую часть числа от дробной, служит для фиксации значения каждой позиции (разряда) в последовательности цифр.

Десятичная система счисления

Это система – наиболее употребляемая. Основание системы – 10. В ней используют десять символов – десятичные цифры 0, 1, 2, 3, ... 9. В системе 10 единиц каждого разряда объединяют в одну единицу соседнего старшего разряда (выбор числа 10 в качестве основания общепринятой системы счисления исторически связан с числом пальцев на руках).

В десятичной системе последовательность цифр 3807,45 представляет собой сокращенную запись следующего полинома:

$$3 \cdot 10^3 + 8 \cdot 10^2 + 0 \cdot 10^1 + 7 \cdot 10^0 + 4 \cdot 10^{-1} + 5 \cdot 10^{-2}$$

Таблица 1.1

Характеристики систем счисления

Десятичное число	Изображение числа	Выражение числа полиномом вида (1.4)	Данные различных систем исчисления		
			наименование	основание, m	алфавит (цифры)
4	1111 _{/1}	1111	Унитарная	1	1
3704,6	3704,6 _{/10}	$3 \cdot 10^3 + 7 \cdot 10^2 + 0 \cdot 10^1 + 4 \cdot 10^0 + 6 \cdot 10^{-1}$	Десятичная	10	0,1,2,3,4
1988,75	3704,6 _{/8}	$3 \cdot 8^3 + 7 \cdot 8^2 + 0 \cdot 8^1 + 4 \cdot 8^0 + 6 \cdot 8^{-1}$	Восьмеричная	8	0,1,2,3,4,5,6,7
211,6	1320,3 _{/5}	$1 \cdot 5^3 + 3 \cdot 5^2 + 2 \cdot 5^1 + 0 \cdot 5^0 + 3 \cdot 5^{-1}$	Пятеричная	5	0,1,2,3,4
120,75	1320,3 _{/4}	$1 \cdot 4^3 + 3 \cdot 4^2 + 2 \cdot 4^1 + 0 \cdot 4^0 + 3 \cdot 4^{-1}$	Четверичная	4	0,1,2,3
58,66	2011,2 _{/3}	$2 \cdot 3^3 + 0 \cdot 3^2 + 1 \cdot 3^1 + 1 \cdot 3^0 + 2 \cdot 3^{-1}$	Троичная	3	0,1,2
11,5	1011,1 _{/2}	$1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^{-1}$	Двоичная		0,1
6777,5	1079,8 _{/16}	$1 \cdot 16^3 + 0 \cdot 16^2 + 7 \cdot 16^1 + 9 \cdot 16^0 + 8 \cdot 16^{-1}$	Шестнадцатеричная	16	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,0,1,2,3,4,5

В десятичной системе при обычной записи указывают только коэффициенты; при этом предполагают, что их значимость (вес) различна и определяется разрядом, занимаемым данным коэффициентом (цифрой). Система является емкой, но для реализации в устройствах вычислительной техники мало пригодна, так как выполнение элемента с десятью четко различимыми состояниями представляет собой сложную техническую задачу.

Унитарная (единая) система счисления

Такая система имеет один цифровой знак (символ) – 1. Любое и только целое число в этой системе выражается набором единиц, например число 4 десятичной системы представляется в виде 1111, число 12 – в виде 111111111111 и т. д. Система простая и легко реализуется (она используется, в частности, для записи заданного ко-

личества импульсов на магнитных лентах, барабанах), но является очень громоздкой. Чтобы записать, например, число десятичной системы $3586_{/10}$, нужно последовательно записать три тысячи пятьсот восемьдесят шесть единичных символов: 1111...111...1111...111...

Другие позиционные системы счисления

По принципу десятичной системы строят все другие позиционные системы счисления. В восьмеричной системе используют восемь цифр и полином строят на основании $m = 8$, в пятеричной $m = 5$, в четверичной $m = 4$ и т. д. (табл. 1.1). Если основание системы счисления больше десяти, то приходится конструировать новые цифры. Так, в вычислительной технике применяют шестнадцатеричную систему счисления с алфавитом

$\{0, 1, 2, \dots, 9, \overline{0}, \overline{1}, \overline{2}, \overline{3}, \overline{4}, \overline{5}\}$ или $\{0, 1, 2, \dots, 9, a, b, c, d, e, f\}$.

Наличие черты над цифрой свидетельствует о том, что численное значение символа равно численному значению данной цифры плюс десять. Так, десятичное число $175,5_{/10}$ в шестнадцатеричной системе запишется в виде

$$\overline{0} \cdot 16^1 + \overline{5} \cdot 16^0 + 8 \cdot 16^{-1} = \overline{05,8}_{/16}$$

Двоичная система счисления

В двоичной системе счисления с основанием $m = 2$ используют два символа – цифры 1 и 0. Произвольное число в двоичной системе записывается полиномом, коэффициенты которого a_i , могут иметь только одно из двух значений (0 или 1).

Например, десятичное число $69,5_{/10}$ в двоичной системе может быть представлено полиномом

$$\begin{aligned} 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^{-1} = \\ = 1 \cdot 64 + 0 \cdot 32 + 0 \cdot 16 + 0 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot \frac{1}{2} = 69,5_{/10} \end{aligned}$$

т. е. числом $1000101,1_{/2}$.

Система позволяет использовать приборы и устройства с двумя устойчивыми состояниями, обеспечивает простоту выполнения

арифметических операций и экономичность и поэтому широко используется в вычислительной технике и автоматике.

При необходимости в двоичной системе можно представить число, записанное в любой другой системе.

Перевод чисел из одной системы счисления в другую

Наиболее прост перевод чисел в двоичную систему и обратно из восьмеричной системы, что находит применение в устройствах вычислительной техники. Чтобы восьмеричное число перевести в двоичное, надо каждую восьмеричную цифру заменить эквивалентным ей трехразрядным двоичным числом – триадой: число перевести в двоичное, надо каждую восьмеричную цифру заменить эквивалентным ей трехразрядным двоичным числом – триадой:

Восьмеричная цифра	.	.	0	1	2	3
Двоичное число	.	..	000	001	010	011
Восьмеричная цифра	.	.	4	5	6	7
Двоичное число	.	..	100	101	110	111

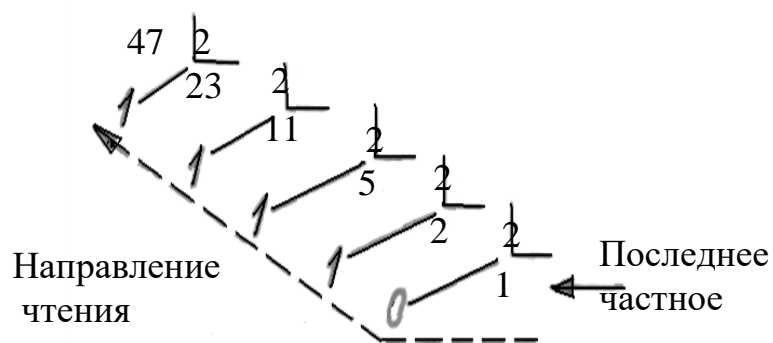
Соответственно для перевода из двоичной системы в восьмеричную число нужно разделить на триады влево и вправо от запятой и заменить триады восьмеричными цифрами. Если самая левая или самая правая триада окажется неполной, к ней надо приписать нули.

Пример 1. Восьмеричное число $34,5_{/8}$ перевести в двоичное. Восьмеричные цифры 3, 4, 5 в двоичной системе соответственно запишутся в виде 011, 100, 101, тогда все число будет $11100,101_{/2}$. Нуль впереди можно опустить.

Пример 2. Двоичное число $11010111,110101/2$ перевести в восьмеричное: $\frac{011}{3} \frac{010}{2} \frac{111}{7} \frac{110}{6} \frac{101}{5} = 327,65_{/8}$

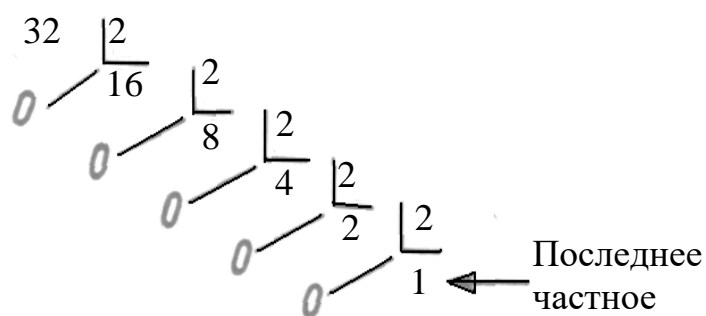
Целые числа, записанные в одной системе счисления, в новую систему счисления переводятся последовательным делением числа и получаемых частных на основании той системы, в которую оно переводится, до тех пор, пока не получится частное меньше основания системы. Результатом будут остатки от деления, прочитанные в порядке, обратном их получению, и последнее частное.

Пример 1. Перевести число $47_{/10}$ в двоичное:



Таким образом, $47_{/10} = 101111_{/2}$.

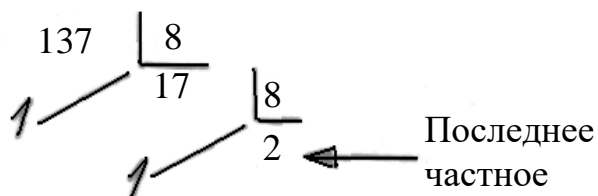
Пример 2. Перевести число $32_{/10}$ в двоичное:



т. е. $32_{/10} = 100000_{/2}$.

Пример 3. Перевести число $137_{/10}$ в восьмеричное:

т. е. $137_{/10} = 211_{/8}$.



Пример 4. Перевести целое десятичное число 123 в двоичное и восьмеричное:

$$\begin{array}{r}
 123 \\
 122 \quad | \quad 2 \\
 \hline 1 \quad | \quad 61 \\
 \hline 1 \quad | \quad 60 \\
 \hline 1 \quad | \quad 30 \\
 \hline 1 \quad | \quad 30 \\
 \hline 1 \quad | \quad 15 \\
 \hline 1 \quad | \quad 14 \\
 \hline 1 \quad | \quad 7 \\
 \hline 1 \quad | \quad 6 \\
 \hline 1 \quad | \quad 3 \\
 \hline 1 \quad | \quad 2 \\
 \hline 1 \quad | \quad 1 \\
 \hline
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 123 \\
 120 \quad | \quad 8 \\
 \hline 3 \quad | \quad 15 \\
 \hline 7 \quad | \quad 8 \\
 \hline 1 \quad | \quad 1 \\
 \hline
 \end{array}$$

т. е. $123_{10}=1111011_2$; $123_{10}=173_8$.

Пример 5. Перевести целое десятичное число 691 в шестнадцатеричное:

$$\begin{array}{r}
 691 \\
 686 \quad | \quad 16 \\
 \hline 3 \quad | \quad 43 \\
 \hline 11 \quad | \quad 32 \\
 \hline 2 \quad | \quad 2 \\
 \hline
 \end{array}$$

4. ДВОИЧНО-КОДИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ

Некоторое неудобство двоичной системы счисления заключается в громоздкости записи чисел. Количество цифр двоичного изображения числа примерно в 13,3 раза больше количества цифр в десятичном изображении того же числа. Поэтому в технике наиболее часто используют смешанные системы счисления, в частности двоично-восьмеричную, двоично-шестнадцатеричную и двоично-десятичную. В этих системах объединяются достоинства двух систем: емкость восьмеричной, шестнадцатеричной или десятичной систем) и двоичное изображение цифр двоичной системы.

В двоично-десятичной системе каждая цифра десятичного числа (0, 1, 2,, 9) записывается двоичным кодом. Для этого достаточно четырех двоичных разрядов – тетрады (рис. 2). Если в системе используется нормальное значение (вес) каждого разряда двоичной системы, то значимость разрядов в тетраде (начиная со старшего левого) составит $2^3-2^2-2^1-2^0$, или 8421.

В соответствии с этим десятичные цифры будут иметь двоичный код:

1–0001; 2–0010; ...; 9–1001 (табл. 1.2).

Для записи любого десятичного числа (более 9) на каждый разряд числа выделяется тетрада.

Так, для записи десятичных чисел от 0 до 999 необходимы три двоичные тетрады. Первая (справа) определяет десятичный разряд 10^0 , вторая – 10^1 , третья (слева) – 10^2 . При этом десятичное число, например 942, будет иметь вид 1001 0100 0010 (рис. 2, в).

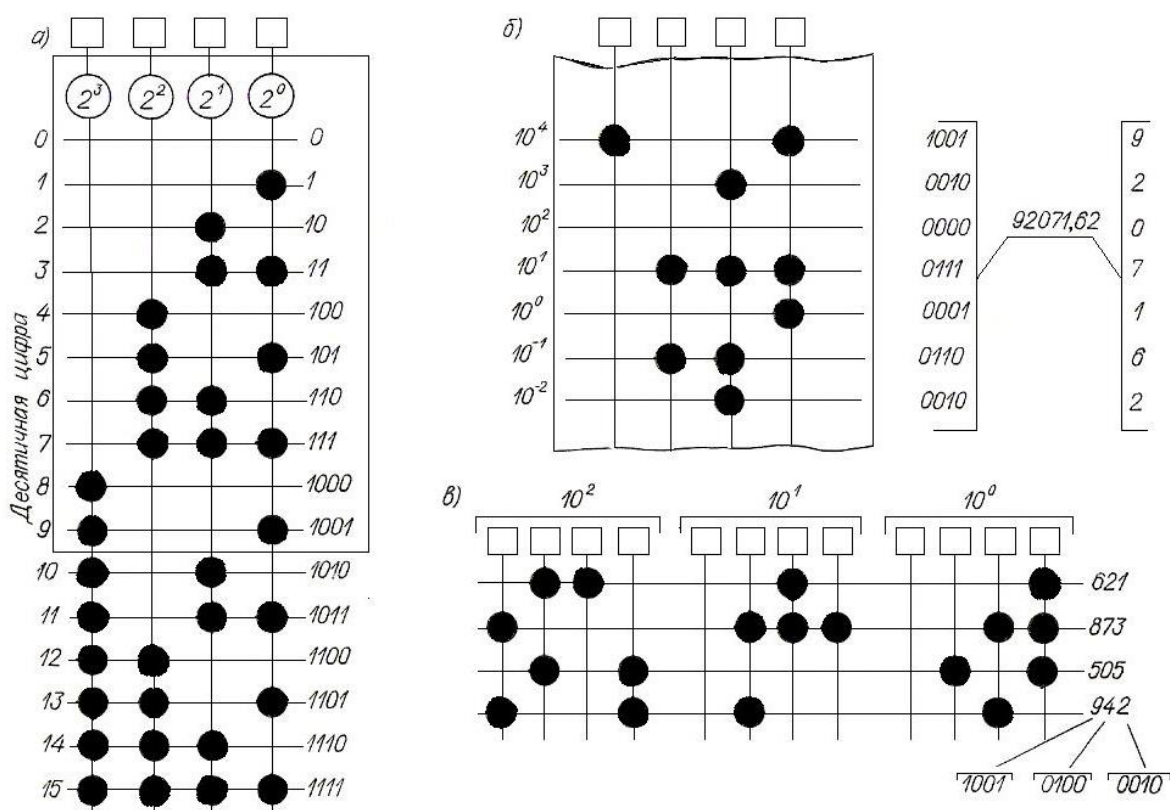


Рис. 2 Двоично-кодированные системы счисления
в представлении на перфоленте: а – код 8421;
б, в – представление десятичных чисел в коде 8421

Таким образом, двоично-десятичный код является десятичным по существу и двоичным по форме представления цифр. В практике наиболее часто десятичные цифры в двоично-десятичном коде записывают на перфоленте строчками, определив для каждой из строчек определенный десятичный разряд (рис. 2, б).

Двоично-десятичную систему с указанным выше весом разрядов называют двоично-десятичным взвешенным кодом 8421. Код этот очень удобен, но имеет недостаток: с его помощью могут быть

образованы не только цифры от 0 до 9, но и числа от 10 до 15, которые не всегда используются, и их приходится исключать.

Таблица 1.2

Изображение десятичных чисел в системах счисления
с различным основанием

Десятичное число	Система с основанием				Двоично- десятичная Система (код 8421)
	2	3	8	16	
0	0	0	0	0	0000
1	1	1	1	1	0001
2	10	2	2	2	0010
3	11	10	3	3	0011
4	100	11	4	4	0100
5	101	12	5	5	0101
6	110	20	6	6	0110
7	111	21	7	7	0111
8	1000	22	10	8	1000
9	1001	100	11	9	1001
10	1010	101	12	0	0001 0000
11	1011	102	13	1	0001 0001
12	1100	110	14	2	0001 0010
13	1101	111	15	3	0001 0011
14	1110	112	16	4	0001 0100
15	1111	120	17	5	0001 0101
16	10000	121	20	10	0001 0110
17	10001	122	21	11	0001 0111
18	10010	200	22	12	0001 1000
19	10011	201	23	13	0001 1001
20	10100	202	24	14	0010 0000

Разработано значительное число кодов с другими наборами весов по разрядам: 2421; 5211; 7421 и т. д. Имеются также коды, у которых некоторые разряды имеют отрицательное значение веса: (6) (4) (−2) (−1); (7) (2) (−4) (−1) и др.

Для изображения десятичных цифр в двоично-кодированных системах счисления используют и комбинаторные коды: такие как 2 из 5, 3 из 5, однопеременный код Грея, двоично-десятичный однопеременный код и др. Особенно большую роль в автоматике играют

однопеременные коды, у которых кодовое расстояние d между смежными комбинациями всюду равно 1.

5. ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

При использовании двоичной системы счисления с помощью логических элементов достаточно просто реализуются функции алгебры логики, на основе которой строится большинство вычислительных машин и устройств автоматики. Физическая природа логических элементов может быть различной. Используют элементы релейные, диодные, пневматические, на интегральных схемах и др.

Зависимость между переменными величинами называется функциональной и обозначается $y = f(x)$ для одной переменной и $y = f(x_1, x_2)$ для двух переменных. Величина x называется аргументом (независимой переменной); y – зависимая переменная, т. е. функция, ее значение определяется значением аргумента.

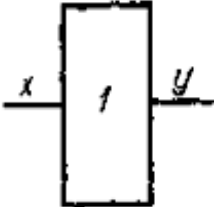

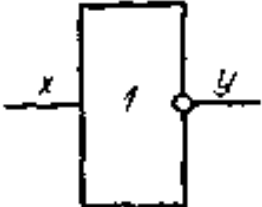
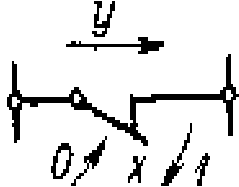
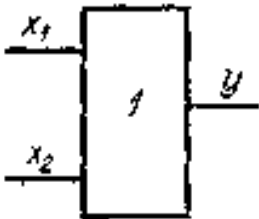
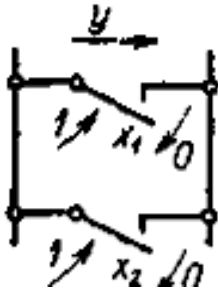
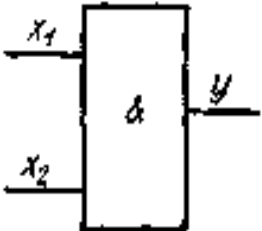
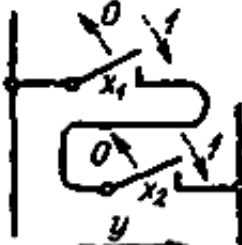
Функция повторения реализуется логическим элементом – повторителем. Входная величина x – состояние контактов реле: 1 – контакты замкнуты; 0 – контакты разомкнуты. Выходная величина y – проводимость электрической цепи: 1 – цепь замкнута; 0 – цепь разомкнута. При замкнутых контактах, т. е. при наличии сигнала на входе ($x = 1$), проводимость цепи существует ($y = 1$), при разомкнутых контактах ($x = 0$) проводимость равна нулю ($y = 0$). Выходная величина, повторяет значение входной (табл. 1.3, п. 1).

Функция отрицания реализуется логическим элементом инвертором (табл. 1.3, п. 2), или элементом НЕ. Нормально замкнутые (нет сигнала) контакты x ($x = 0$) обеспечивают проводимость цепи ($y = 1$); сигнал x ($x = 1$), приводящий к размыканию контактов, не обеспечивает проводимости цепи ($y = 0$).

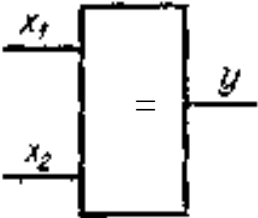
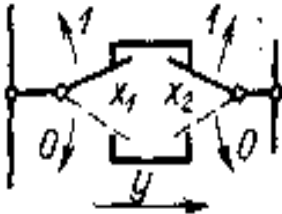
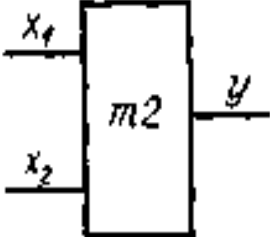
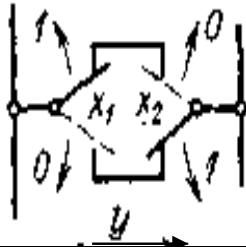
При двух переменных (x_1, x_2) на входе в логический элемент возможны четыре различные комбинации: 00, 01, 10, 11, каждой из которых может соответствовать значение y (выход), равное или 1, или 0. Релейным эквивалентом функции $y = f(x_1, x_2)$ (проводимости цепи) будет состояние контактов x_1 и x_2 (независимые переменные).

Таблица 1.3

Логические элементы и их релейные эквиваленты

№ п/п	Логический элемент	Релейный эквивалент	Кодовое обозначение сигналов
1	Повторитель 	Повторение 	$x...0\ 1$ $y...0\ 1$
2	Инвертор 	НЕ (отрицание) 	$x...0\ 1$ $y...1\ 0$
3	Дизъюнктор 	ИЛИ (логическое сложение) 	$x_1...0\ 0\ 1\ 1$ $x_2...0\ 1\ 0\ 1$ $y...0\ 1\ 1\ 1$
4	Конъюнктор 	И (логическое умножение) 	$x_1...0\ 0\ 1\ 1$ $x_2...0\ 1\ 0\ 1$ $y...0\ 0\ 0\ 1$

Продолжение табл. 1.3

№ п/п	Логический элемент	Релейный эквивалент	Кодовое обозначение сигналов
5	Равнозначность 	Эквивалентность 	$x_1 \dots 0 \ 0 \ 1 \ 1$ $x_2 \dots 0 \ 1 \ 0 \ 1$ $y \dots 1 \ 0 \ 0 \ 1$
6	Неравнозначность 	Сложение по модулю $m2$ 	$x_1 \dots 0 \ 0 \ 1 \ 1$ $x_2 \dots 0 \ 1 \ 0 \ 1$ $y \dots 0 \ 1 \ 1 \ 0$

Функция логического сложения (функция ИЛИ, функция дизъюнкции) реализуется логическим элементом дизъюнктором. Сигнал на выходе элемента в зависимости от комбинации сигналов x_1 и x_2 на входе описывается следующим образом ($x_1 + x_2 = y$): $0 + 0 = 0$; $0 + 1 = 1$; $1 + 0 = 1$; $1 + 1 = 1$, т. е. нулевое значение функция y принимает лишь в том случае, если $x_1 = 0$ и $x_2 = 0$. Релейным эквивалентом функции сложения будут два нормально разомкнутых контакта x_1 и x_2 , соединенных, параллельно (табл. 1.3, п. 3) и обеспечивающих проводимость цепи ($y = 1$ при проводимости цепи).

Функция логического умножения (функция И, функция конъюнкции) реализуется логическим элементом конъюнктором. Функция описывается следующим образом ($x_1 \cdot x_2 = y$): $0 \cdot 0 = 0$; $0 \cdot 1 = 0$; $1 \cdot 0 = 0$; $1 \cdot 1 = 1$, т. е. значение выходной величины y равно 1 только в случае, если на входе имеются два сигнала одновременно ($x_1 = 1$ и $x_2 = 1$). Релейным эквивалентом функции являются два нормально разомкнутых контакта, соединенных последовательно (табл. 1.3, п. 4).

Функция равнозначности описывается таким образом:

($x_1 = x_2 = y$): $0 = 0 = 1$; $0 = 1 = 0$; $1 = 0 = 1$; $1 = 1 = 1$.

Значение функции равно 1, если $x_1 = x_2$. Релейным эквивалентом логического элемента (называется эквивалентностью) являются два переключающихся контакта, включенных последовательно (табл. 1.3, п. 5).

Функция неравнозначности противоположна функции равнозначности и часто называется функцией сложения по модулю 2 (табл. 1.3, п. 6): $x_1 \oplus x_2 = y$ $0 \oplus 0 = 0$; $0 \oplus 1 = 1$; $1 \oplus 1 = 0$.

6. ОСОБЫЕ СВОЙСТВА КОДОВ

Возникновение различных систем счисления (кодов) связано со стремлением придать коду какие-либо дополнительные свойства: обеспечить большую равномерность ввода информации в управляющие устройства станком, упростить преобразование чисел из одной системы счисления в другую (из одного кода в другой), упростить вычислительные операции, придать коду свойства обнаружения или исправления ошибок и др.

Принцип самодополнения

Двоично-десятичные коды 2421, 4221 и 8421 с избытком 3 (табл. 1.4) называются самодополняющимися. В этих кодах двоичное обозначение десятичной цифры А может быть получено из кодового обозначения цифры, равной $9 - A$ (девять минус А) путем простой инверсии знаков, т. е. заменой всех нулей единицами и наоборот. Так, в коде 2421, например, цифра 7 – 1101 – получается инверсией цифры 2 – 0010, цифра 4 – 0100 – инверсией цифры 5 – 1011 и т. д.

Пример:

1101 – 7	0100 – 4	0001 – 1	0011 – 3
<u>0010 – 2</u>	<u>1011 – 5</u>	<u>1110 – 8</u>	<u>1100 – 6</u>
1111 – 9	1111 – 9	1111 – 9	1111 – 9

Этим же свойством обладает код 8421 с избытком 3 ($8421 + 3$), в котором каждая десятичная цифра представляется суммой десятичного числа n_i , и числа 3, выраженного в двоичном коде. Например, изображение цифры 5 в коде $8421 + 3 - 1000$ соответствует изображению цифры 8 ($5 + 3$) в коде 8421 и т. д.

Таблица 1.4

Изображение десятичных цифр двоично-десятичных кодах

№ ₁₀	8421	8424 + 3	2421	4221	5211	(6)(4)(-2)(-1)	8421+3 с проверочной позицией
0	0000	0011	0000	0000	0000	0000	10011
1	0001	0100	0001	0001	0001	0111	00100
2	0010	0101	0010	0010	0011	0110	10101
3	0011	0110	0011	0101	0110	0101	10110
4	0100	0111	0100	1000	0111	0100	00111
5	0101	1000	1011	0111	1000	1001	01000
6	0110	1001	1100	1010	1001	1000	11001
7	0111	1010	1101	1101	1011	1111	11010
8	1000	1011	1110	1110	1110	1110	01011
9	1001	1100	1111	1111	1111	1101	11100

Указанное свойство кодов позволяет достаточно просто строить реверсивные двоично-десятичные счетчики управляющих систем станков и вычислительных устройств и вводить информацию в дополнительном коде, т. е. вместо числа A записывать число $9 - A$. В ряде случаев это свойство может быть использовано для построения схем контроля.

Из приведенных самодополняющихся кодов код 2421 при прочих равных условиях имеет преимущество благодаря более простому преобразованию в двоичный код. В этом коде двоичные обозначения первых пяти цифр (от 0 до 4) совпадают с обозначениями этих цифр в нормальном двоичном коде 8421. Обозначения же цифр от 5 до 9 в коде 2421 соответствуют обозначению в коде 8421 той же цифры (числа), но с избытком 6. Например, цифра 5 в коде 2421 обозначена 1011. Такое же обозначение в коде 8421 имеет число 11, т. е. число, равное $5 + 6$. Цифра 7 в коде 2421 обозначается 1101. Это же обозначение в коде 8421 имеет число 13 ($7 + 6$) и т. д.

Помехозащищенность кодов

Особым свойством ряда кодов является помехозащищенность. Это позволяет уже на этапе кодирования информации предусмотреть возможность обнаружения или исправления разнообразных ошибок (или то и другое вместе): ошибки программиста, ошибки оператора, сбоев перфорирующих и считывающих устройств и т. д.

Коды, построенные в соответствии с принципами помехоустойчивого кодирования, называют помехоустойчивыми.

Кратностью ошибки называют число искаженных символов в комбинации. Различают коды, обнаруживающие ошибки, и коды, исправляющие ошибки. В зависимости от кратности ошибки в том и другом случае различают коды, обнаруживающие или исправляющие единичные ошибки, двойные ошибки и т. д.

Во всех случаях помехоустойчивость достигается ценой избыточности кода. Общая длина кодовой комбинации помехоустойчивого кода, равная n , представлена из двух частей. Одна часть содержит k комбинаций и служит для передачи необходимого сообщения. Такие комбинации называют информационными. Вторая часть содержит оставшиеся $n - k$ комбинаций и служит для обнаружения или исправления ошибок. Эти комбинации называют контрольными. Таким образом, для передачи сообщения используют 2^k комбинаций, которые называют разрешенными. Остальные $(2^n - 2^k)$ комбинации для передачи сообщения не используются и при нормальной работе устройства появляться не должны, их называют запрещенными.

При формировании кодов чаще всего деление всех кодовых комбинаций на информационные (разрешенные) и контрольные (запрещенные) осуществляется по четности или нечетности комбинаций из символов кода. При этом назначение комбинаций двух видов может быть различным, хотя чаще всего разрешенными принимаются четные комбинации, так как при этом более просты контрольные устройства, обнаруживающие ошибок. Например, если для кодирования информации принята четная группа комбинаций (группа А), то нечетная группа комбинаций (группа Б) будет контрольной запрещенной.

Четные комбинации (группа А): 0000; 0101; 0110; 1001; 1010; 1100; 1111.

Нечетные комбинации (группа Б): 0001; 0010; 0100; 0111; 1011; 1101; 1110.

Четные комбинации используют для передачи сообщений. Все нечетные комбинации являются запрещенными и при нормальной работе появляться не должны. Появление нечетной комбинации обнаруживает однократную ошибку (искажение одного разряда четной комбинации дает нечетную комбинацию). Это просто обнару-

живается системой контроля, построенной, например, на логических элементах с функцией сложения по модулю $m2$ (рис. 3).

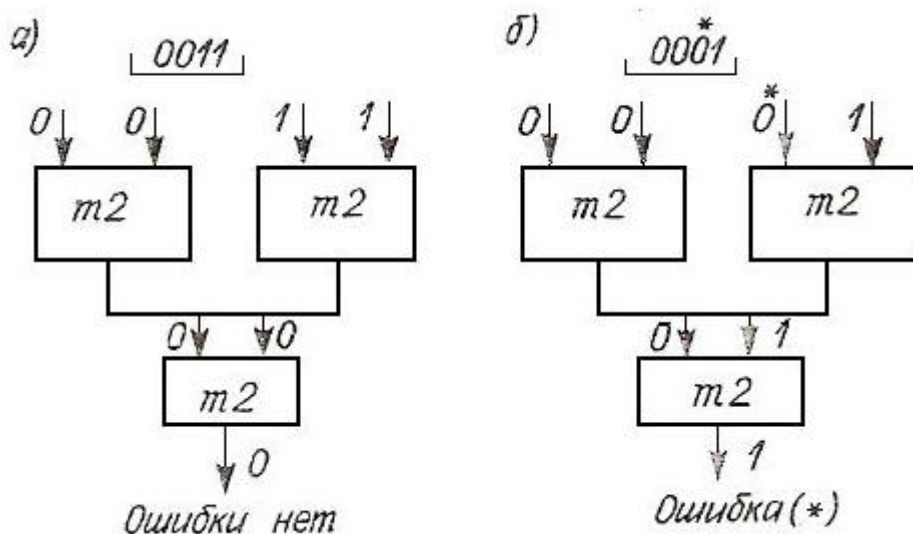


Рис. 3 Помехозащищенность кодов по чётности:
 а – передача разрешённой комбинации (чётная);
 б – неразрешенная комбинация (нечётная –
 ошибка в передаваемом сигнале)

С контролем по нечетности составлен код 8421+3 с проверочной позицией (см. табл. 1.4). Левая (пятая) дорожка кода, являясь контрольной, служит для дополнения знаком 1 кодовой комбинации в том случае, если число единичных символов (отверстий) основной тетрады – четное. Таким образом, в коде разрешенными комбинациями являются нечетные. Появление комбинации с четным количеством единичных символов, например 00101, 01111 и др., указывает на ошибку. Для сравнения укажем, что в незащищенном коде 8421 искажение одной позиции в какой-либо комбинации – например, вместо 0111 (десятичная цифра 7) передана информация 0110 (десятичная цифра 6) – приводит к переходу одной комбинации в другую и не позволяет достаточно просто обнаружить ошибку.

Метод контроля по четности или по нечетности комбинаций может осуществляться не только по каждой комбинации кода, но и по всему коду в целом. Таким свойством обладают некоторые равновесные комбинаторные коды, в частности 2 из 5 и 3 из 5. Десятичные цифры в этих кодах выражаются или двумя символами 1 (код 2 из 5) или тремя (код 3 из 5), которые своим положением на разных позициях определяют ту или иную цифру. Так, в коде 2 из 5

ноль кодируется 11000, единица – 00011, двойка – 00101 и т. д., то есть в каждой комбинации, определяющей десятичную цифру, обязательно находится два символа 1. Поэтому, если используется этот код, при появлении сигналов 01101, 01000 и других с количеством единиц менее или более двух сразу фиксируется ошибка.

Однако код, как и многие другие имеющие помехозащищенность по поперечной четности, не позволяет найти ошибку, если смещены единицы в пределах одной кодовой комбинации (например, вместо 01001 передана комбинация 00101), т. е. совершена двойная ошибка (0 вместо 1 на четвертой дорожке и 1 вместо 0 на третьей). Для определения двойных ошибок существуют соответствующие коды и методы контроля.

Большой класс корректирующих кодов составляют систематические коды, у которых значение контрольных разрядов получается в результате проведения операций над информационными разрядами. Так, в коде AEG для металлорежущих станков для передачи информации используют кодовые комбинации с длиной $l = 8$. На дорожках 1 – 4 (рис. 4, а) перфоленты записываются цифры в двоично-десятичном коде 8421, дорожки 5 и 6 служат для индексации чисел или букв, а дорожки 7 и 8 являются контрольными. На дорожке 7 указывается (пробивается) символ 1, если число единиц на дорожках 1 – 3, 5 четное. Аналогично пробивкой на дорожке 8 символа 1 дополняется до нечетного значения число единиц, записанных на дорожках 1, 2, 4, 6. Такой контроль по нечетности одновременно по двум группам одной кодовой комбинации дает возможность обнаруживать 100 % одиночных ошибок и до 70 % всех возможных двойных.

Например, при записи на дорожках 6 – 1 (рис. 4, а) кодовой комбинации 011110 на дорожках 7 и 8 будет соответственно 0 и 1. Кодовые комбинации по группам дорожек будут нечетные: дорожки 7, 5, 3, 2, 1 – 01110; дорожки 8, 6, 4, 2, 1 – 10110.

Таким образом, для информации данной строки разрешенным сигналом 0 на дорожке 7 и сигналом 1 на дорожке 8, что и служит основой контроля передаваемой закодированной информации, построенной, например, на равнозначности (см. логические элементы в табл. 1.3, п. 5).

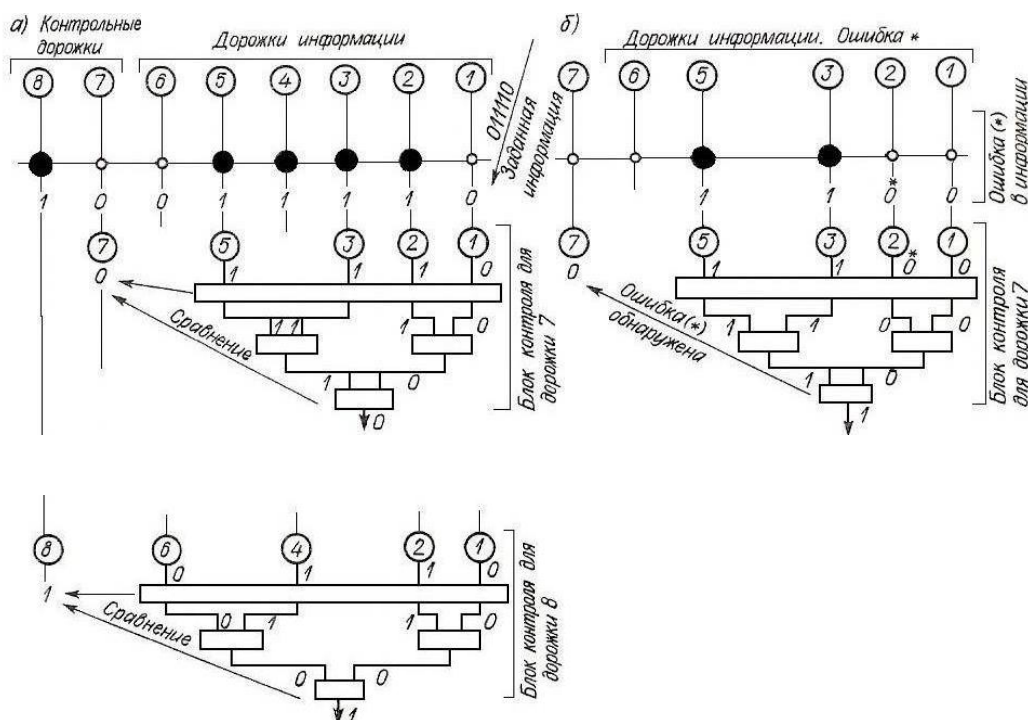


Рис. 4. Помехозащищенность кодов по нечетности (код АЕГ): а – передача разрешенной комбинации и ее контроль; б – ошибка в передаче

При появлении ошибки (например, на дорожке 2 вместо 1 будет прочитан 0 – рис 4, б) сигнал контроля не будет соответствовать записанному на контрольной дорожке. В данном случае на выходе контрольного блока будет 1, а на дорожке 7 будет 0. Это и укажет на наличие ошибки.

Надежная помехозащищенность осуществляется а семиразрядном коде, именуемом кодом 7, 3. В нем для передачи информации из семи разрядов (условно обозначим их $a_1 - a_7$) используются четыре разряда: $a_4 - a_7$. Три разряда – $a_1 - a_3$ – являются контрольными, их значения вычисляются по формулам:

$$a_1 = a_7 \oplus a_5 \oplus a_4;$$

$$a_2 = a_7 \oplus a_6 \oplus a_4;$$

$$a_3 = a_7 \oplus a_6 \oplus a_5;$$

При записи информации вычисленные значения $a_1 - a_3$ наносят на соответствующие контрольные дорожки. Например, задаваемой

информации 1010 (дорожки 4 – 7 на рис. 5) соответствуют знаки 010 на контрольных дорожках 1 – 3. Эти знаки получены расчетом.

В системе управления при считывании передаваемой информации для обнаружения возможной ошибки используется блок контроля. С помощью его логических элементов (сложение по модулю m) решаются уравнения обозревателя:

$$\Delta_1 = a_7 \oplus a_5 + a_4 + a_1;$$

$$\Delta_2 = a_7 \oplus a_6 + a_4 \oplus a_2;$$

$$\Delta_3 = a_7 \oplus a_6 \oplus a_5 \oplus a_3;$$

Если при решении уравнений величины $\Delta_1 - \Delta_3$ равны нулю, то ошибка отсутствует, в противном случае число на дорожках 1 – 3 укажет номер разряда, в котором допущена ошибка, и это даст возможность ее исправить. Как видно из уравнений обозревателя, при значениях

$$\Delta_1 = 1 \Delta_2 = 1 \text{ ошибка – в разряде } a_4,$$

$$\text{при } \Delta_1 = 1 \Delta_3 = 1 - \text{ в разряде } a_5,$$

$$\text{при } \Delta_2 = 1 \Delta_3 = 1 - \text{ в разряде } a_6,$$

$$\text{при } \Delta_1 = 1 \Delta_2 = 1 \Delta_3 = 1 - \text{ ошибка в разряде } a_7.$$

Рассмотренные коды, осуществляющие контроль по поперечной четности, достаточно надежны. Но используют и другие виды контроля кодируемой информации: по продольной четности, по модулю, контроль кадра на кратность 3, 9 или 10 и т. д.

Контроль по модулю основан на проверке кратности суммы чисел, записанных на нескольких строках в пределах некоторого заверченного объема комбинаций (например, в объеме кадра программы), некоторому числу m (модулю). В общем случае

$$\sum_1^l x_i = g(\text{mod } m)$$

где x_i – числовое значение кодовой комбинации, записанной в i -й строке; l – число строк в контролируемом объеме записанной информации; g – остаток от деления суммы $\sum_1^l x_i$ на m .

Для того чтобы при любых значениях суммы по модулю $C(m)$ сумма числовых значений, записанных в контролируемом блоке строк, была кратна величине m , она дополняется некоторым числом

Δ , которое определяется при расчете информационных данных и записывается в том же коде на контрольной строке в пределах блока контролируемых строк: $\Delta + m = g$.

При этом
$$\sum_{i=1}^l x_i + \Delta = [\Delta + g] (\text{mod } m). \quad (1.5)$$

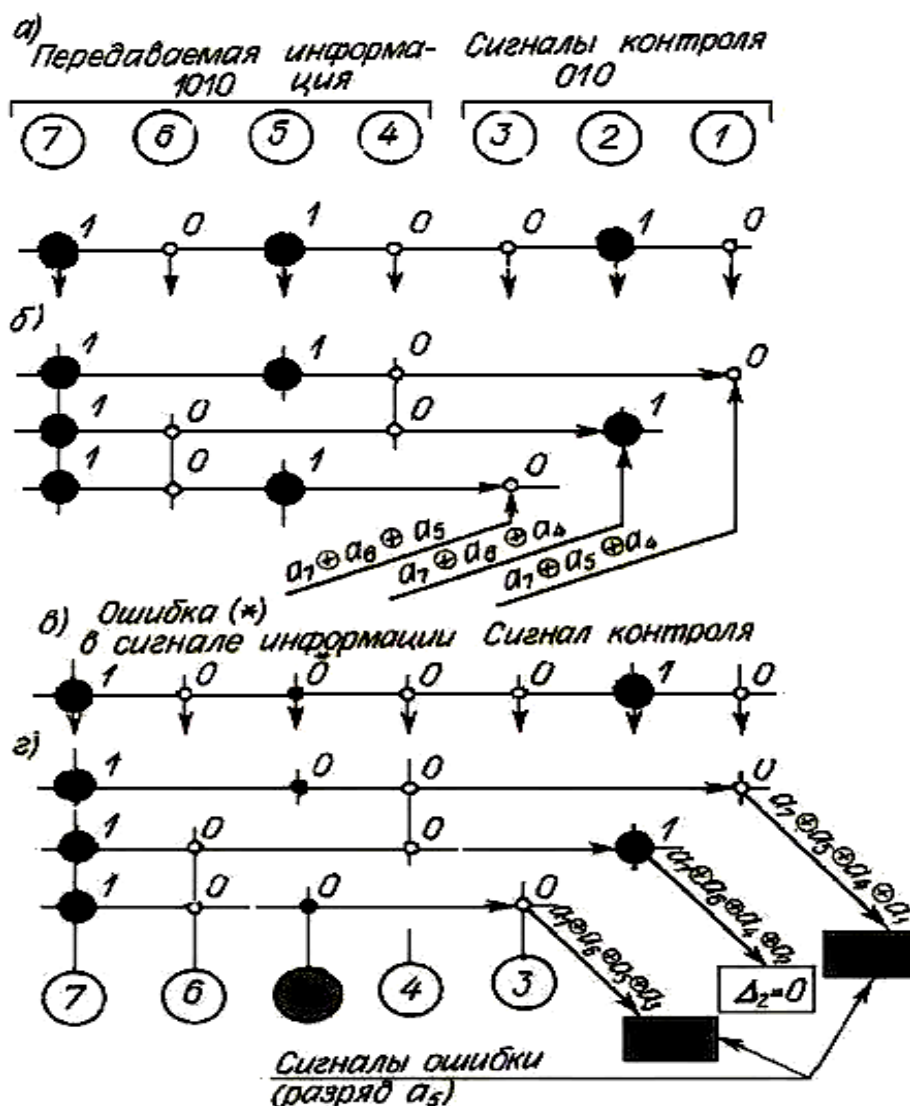


Рис. 5. Схема контроля информации в коде 7, 3:
а – передаваемая информация и сигналы контроля;
б – схема организации (расчета) контроля;
в – передача информации с ошибкой;
г – схема контроля информации

Если $\Delta + m = g$, то

$$\sum_1^l x_i + \Delta = 0(\text{mod } m).$$

Соотношение (1.5) является алгоритмом контроля записанной информации по модулю m .

Пример. Шесть последовательно записанных строк информации (рис. 6) контролируются по модулю, например по $m=10$. Для расчета контрольного числа последовательно суммируются числовые значения записанных на всех шести строках комбинаций (например, в коде 8421): 0110, 1001, 0001, 0010, 0111, 0010, т. е. определяется сумма написанных в коде десятичных цифр.

$$\text{Следовательно, } \sum_1^6 x_i = 6 + 9 + 1 + 2 + 7 + 2 = 27$$

Дополнением суммарного числа 27 до числа, кратного модулю 10, будет число 3, которое и является контрольным и записывается на седьмой строке данного контролируемого объема информации. Естественно, что информация, записанная на последующих шести строках, будет контролироваться по другому «контрольному числу, рассчитанному для этих последующих строк, и т. д. по всему общему объему информации, которая программируется.

В настоящем примере используется одна из возможных схем контроля, когда записанная информация с помощью читающего блока ФСУ последовательно (построчно) подается в специальный счетчик по модулю C (m). В счетчике информация суммируется. При получении количества сигналов, численно равного модулю, счетчик автоматически начинает отсчет с нуля. Если прочитанная информация не имеет ошибок или прочитана без ошибок, то, получив количество сигналов (сумму числовых значений строк + контрольное число), кратное модулю, счетчик будет в нулевом состоянии. Состояние счетчика обычно опрашивается сигналом от читающего устройства, который выдается после прочтения заданного для контроля количества строк. Если заданное количество строк равно семи (включая строку с контрольным числом), то проверка правильности информации будет выполняться после прочтения каждых семи строк в данном объеме всей информации. Если состояние счетчика отлично от нуля в момент контроля, то через индикатор ошибки (ИО) выдается сигнал о наличии ошибки.

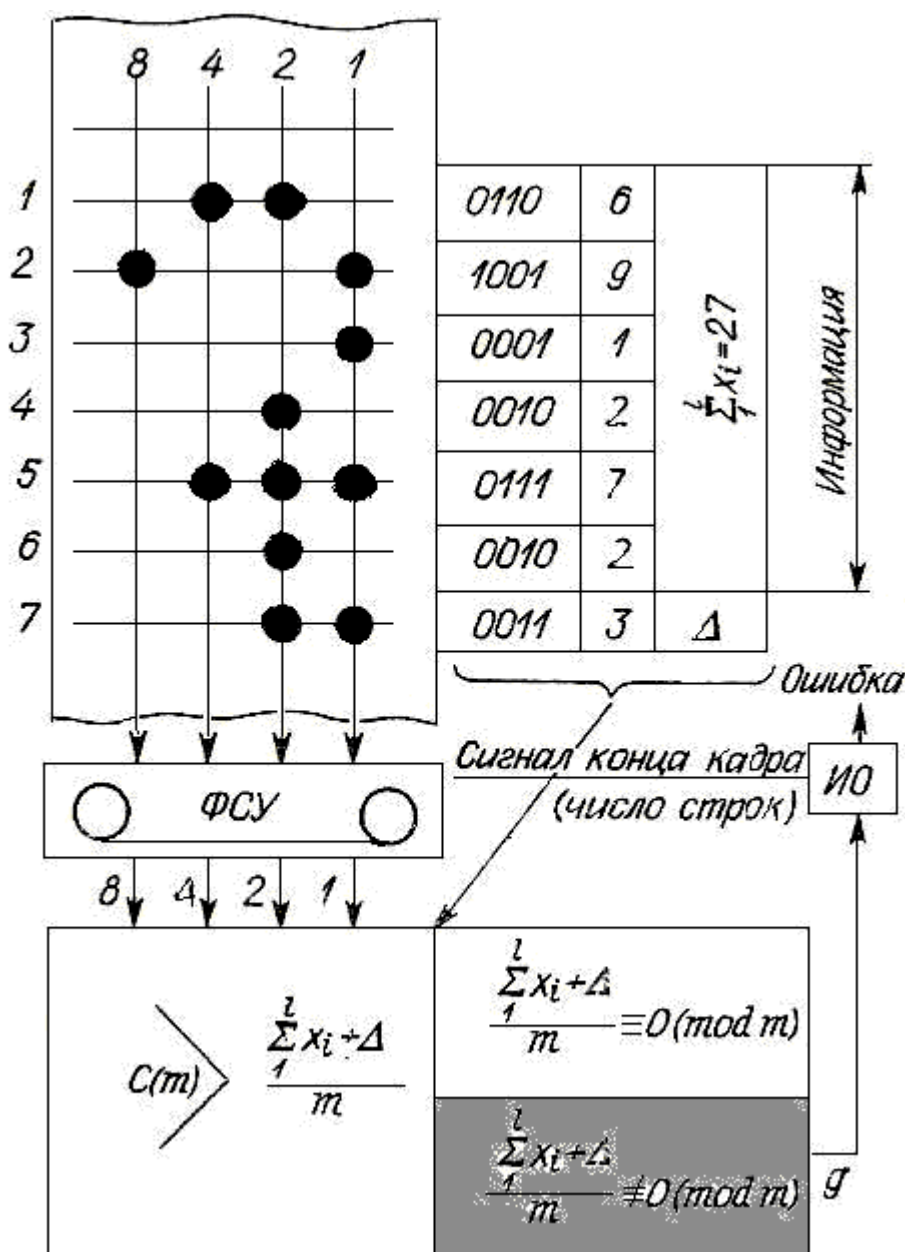


Рис. 6. Схема контроля по модулю m

Рассмотренный метод контроля достаточно надежен. Так, если контролю подлежит объем информации, записанной на 15 строках, то вероятность появления однократной ошибки составляет $0,9 \cdot 10^{-2}$, двукратной – $0,4 \cdot 10^{-4}$, трехкратной – $0,2 \cdot 10^{-6}$. Как показывает анализ, одиночная ошибка при использовании рассматриваемого метода не обнаруживается, если ее числовое значение равно или кратно модулю m . Двойные ошибки не обнаруживаются контролем, если сумма числовых значений одиночных ошибок равна или кратна модулю или равна нулю.

Лабораторная работа №6

Выбор конструкции привода главного движения станков с ЧПУ

1. ВВЕДЕНИЕ

Разработка конструкции главного привода станков с ЧПУ, отвечающего современным требованиям, связана с проведением большого объема кинематических, динамических и других расчетов, а в ряде случаев и экспериментальных исследований.

Многообразие конструкций привода станков с ЧПУ можно свести к нескольким укрупненным типовым схемам, что в свою очередь позволит получить для каждой из них применительно к заданному типоразмеру станка количественные оценки ряда рабочих характеристик привода в сравнительно узких интервалах значений.

2. ПОРЯДОК ВЫБОРА ПРИВОДА

2.1. По технологическому назначению и характеристике привода главного движения, приведенным в техническом задании на проектирование станка, выбирают типовую схему из табл. 1.

2.2. Для выбранной схемы привода исходя из заданных параметров привода главного движения (диаметр шпинделя, или ширина стола, наибольший диаметр фрезы, планшайбы, сверла, наибольший крутящий момент на шпинделе, диапазон регулирования с постоянной мощностью) принимают рекомендуемое число переключаемых ступеней скорости.

Примеры реализации типовых схем главного привода в нескольких десятках станков с ЧПУ наиболее распространенных моделей токарной, сверлильно-расточной и фрезерной групп приведены в приложениях 1-3.

Набор данных, представленных для станков каждой модели, содержит не только сведения динамических, силовых и энергетических характеристиках, но и дополнительную информацию о конструктивных параметрах, кинематической структуре, числе основных элементов и другую, позволяющую оценить в первом приближении металлоемкость, шумовые характеристики, стоимость и трудоемкость изготовления привода. Поэтому данные из приложения целесообразно привлекать для выбора типовой схемы привода на

стадии эскизного проектирования или модернизации выпускаемых станков и для выбора типа электропривода и системы пуска, торможения и реверса шпинделя. Сведения, приведенные в приложении, полезно также использовать для предварительной оценки рабочих характеристик привода при испытаниях и исследованиях станков тех же моделей.

3. ХАРАКТЕРИСТИКА ТИПОВЫХ СХЕМ

В табл. 1 приведено 10 типовых схем построения главного привода станков с ЧПУ (выпускаемых и проектируемых).

Схема 0, по которой двигатель широко регулируемого электропривода соединен напрямую или выполнен в едином конструктиве со шпинделем, реализована пока еще в узкоспециальных высокоскоростных станках, но имеет перспективу более широкого применения по мере совершенствования регулируемых приводов. В частности, главный привод, выполненный в виде специального электромеханического устройства «мотор-шпиндель», может найти применение в токарных, револьверных, фрезерных и многооперационных станках с ЧПУ небольших размеров [14].

Схемы 1-6 содержат регулируемый электропривод, что обуславливает упрощение механической части главного привода. Эти схемы закладывают в главный привод практически всех станков новых моделей токарной, сверлильно-расточной групп, а также большинства станков фрезерной группы [4, 9] и др.

Схемы 1-3 рекомендуется применять только в токарных станках, причем небольших и средних размеров, поскольку использование ременной передачи для вращения шпинделя накладывает ограничения по эффективному крутящему моменту.

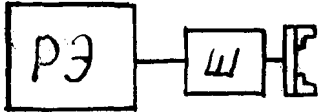
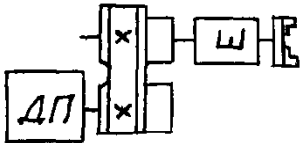
Схемы 4, 6 целесообразны для средних и крупных токарных станков и любых станков с ЧПУ сверлильно-расточной группы.

Для современных карусельных станков наилучший вариант главного привода – по схеме 5.

Схемы 7-8 включают в себя нерегулируемый одно- или двухступенчатый асинхронный электродвигатель и развитую механическую часть со ступенчатым переключением скоростей вращения. Эти схемы по ряду характеристик уступают схемам с регулируемым электродвигателем, но их еще применяют для токарных и фрезерных станков с ЧПУ, выпускаемых наибольшими сериями.

Таблица 1



Типовые схемы привода

№ схе- мы	Схема	Элементы схемы				Типы станков с ЧПУ	Модель станка предста- вителя
		электро- привод	узел с пере- ключаемы- ми переда- чами	соединение		конечное звено зажимные устройства	
1	2	3	4	5	6	7	8
0		РЭ - регу- лируемый, с двигате- лем посто- янного или переменно- го тока	—	Напрямую		Патрон, ин- струмен- тальный шпиндель	Токар- ные, фре- зерные
1		Регулируе- мый с дви- гателем по- стоянного тока	Двухсту- пенчатая переключа- емая ре- менная пе- редача	Ременная передача		Патрон	Токарные 1Б20ПФ3

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2		Регулируемый с двигателем постоянного тока	АР - редуктор с автоматическим переключением скоростей	Муфта	Ременная передача	Патрон	Токарные	250КПФЗ
3		Регулируемый с двигателем постоянного тока	АР - редуктор с автоматическим переключением	Ременная передача	Ременная передача	Патрон	Токарные	1720ПФЗ
4		ДП - регулируемый, с двигателем постоянного тока	ШБ - шпиндельная бабка с встроенной коробкой скоростей	Ременная передача		Патрон, планшайба, инструментальный шпиндель	Токарные, фрезерные, сверлильные, расточные	1725МФЗ 1П756ЛФЗ ЛФ260МФЗ 21105Н7Ф4

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
5		ДП - регулируемый, с двигателем постоянного тока	АП	Муфта	Планшайба, с передачами (непереключаемыми)	Карусельные	1А512МФ3 1А525МФ3
6		ДП - регулируемый, с двигателем постоянного тока	ШБ	Муфта	Шпиндель с устройством для зажима инструмента	Расточные, сверлильно-фрезерно-расточные, фрезерные	2623ПМФ4 650Ф2 ИР500МФ4 65К40ПМФ4 6Р11МФ3

Продолжение табл. 1

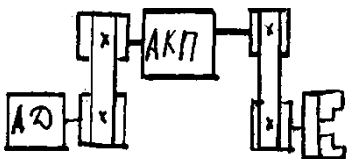
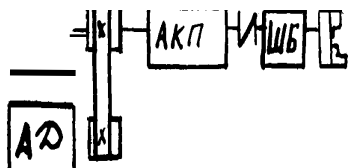
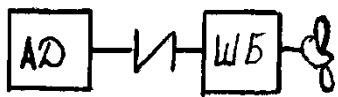
1	2	3	4	5	6	7	8	9
7		АД - нерегулируемый с асинхронным двигателем	АКП - автоматическая коробка передач (на муфтах и ШБ)	Ременная передача	Ременная передача	Патрон или шайба	Токарные станки	16Б16Т1 16К2011
8					Муфта			16К30Т1
9			ШБ	Муфта		Инструментальный шпиндель	Фрезерные	Р13Ф3 6Д12Ф3

Таблица 2

Типовые схемы и рекомендуемые характеристики

Типы за- данных станков с ЧПУ	Заданные параметры			№ вы- бранной типовой схемы (по табл. 1)	Рекомендуемое число переключаемых сту- пеней скорости в зависимости от $R_{\partial в.р}$, равно- го				
	Наибольший диаметр обра- батываемого изделия D_{\max} , мм	Наибольший крутящий мо- мент на шпин- делях $M_{шп. \max}$, Н · м	Диапазон $P_{ши}$ с постоянной мощностью $R_{шпр}$		1	1	2 ÷ 2,5	3 ÷ 4	5 ÷ 8
					АКП	ШБ, РП	АР, ШБ	АР, ШБ	АР, ШБ
Токарные	До 200	До 200	5 – 8	0	–	–	–	–	–
	200 - 400	200 - 800	8 - 16	1, 2, 3, 4	–	–	3	2	–
				7, 8	6, 12	2 – 4	–	–	–
			16 - 40	2, 3	–	–	–	3	2
				4	–	–	4	3	2
				7, 8	9 – 12	2 – 4	–	–	–
	320 - 1000	800 - 8000	18 - 16	4	–	–	3	2	–
				7, 8	9 – 12	2 – 4	–	–	–
			16 - 40	4, 6	–	–	4	3	2
			16 - 40	7, 8	9 – 12	2 – 4	–	–	–
Токарно- карусель- ные	1000 - 4000	>10000	16 - 40	5	–	–	4	3	–

Продолжение табл. 2

Типы заданных станков с ЧПУ	Заданные параметры				№ выбранной типовой схемы (по т.1)	Рекомендуемое число переключаемых ступеней скоростей в зависимости от $R_{дв.р}$, равного		
	Диаметр шпинделя, или ширина стола, мм	Наиб. диам. фрезы, планшайбы, сверла, мм	Наиб. крут. момент на шпинделе, Н·м $M_{шп. max}$	Диапазон $P_{шп}$ с постоянной мощностью $R_{шп.р}$		$2 \div 2,5$	$3 \div 4$	$5 \div 8$
Координатно-сверлильный	1000	св. 50	800	16–40	6	3–4	2–3	2
Горизонтально-расточной	Ø 90–110	200–250	1000–2000			3	2–3	2
	Ø 120–200	250–400 пл. 700–1000	2000–10000			3–4	3	—
	Ø 320–220	600–800 пл. 1500	15000–60000			3–4	3	—
Сверлильно-фрезер.-раст.	250–630	100–200	150–600	8–16	4	3	2	—
Сверлильно-фрез.	400–1600	125–315	150–2500	16–40	6	3	2–3	2

1. Основные параметры станков с ЧПУ

Модель	Наиболь- ший из- делия, $D_{обр}$ мм	Наи- большее сечение резца $h \times b$, мм	Диаметр патрона, планшайбы, мм	Мощ- ность двигате- ля P_n , кВт	$n_{дв.мах}$, $n_{дв.н}$ $n_{дв.мин}$, об/мин	Диапа- зоны $R_{дв.р}$ $R_{дв.о}$	$n_{ин.мах}$, $n_{ин.р}$, $n_{ин.мин}$, об/мин	Диапа- зоны $R_{ин.р}$ $R_{ин.о}$	$M_{ин.мах}$, Н · м
Параметры токарных, токарно-винторезных, токарно-карусельных станков, токарно-револьверных и токарных многорезных полуавтоматов									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
250ИГПФЗ	250	20×20	160	7	4000 2340 690	1,8 5,8	4000 500 160	8 25	300
1П420ПФ30	200-250	25×20	200	30	2500 1000 63	2,5 40	2500 600 25	4,2 100	500
							3150 600 25	6,3 126	700
16Б16Т1	320	25×25	200	4,2/7,1	750/1500	-	2000 80 40	25 40	500
1720ПФ30	400	25×25	250	15	2800 1000 89	2,8 31,5	3150 280 25	11,2 126	500

Продолжение прил. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16K20T1-02	400	25×25	250	11	3500 1000 240	3,5 14,6	2240 94 22,4	23,0 100	950
16K20T1	400	25×25	250	11	1460	-	2000 71 12,5	28 160	1300
1725МФ3	250	32×25	315	30	3300 1500 130	2,2 25	2000 280 25	7,1 80	900
1725РФ3	400	32×25	315	30	2500 1000 200	2,5 12,5	2500 125 25	20 100	2000
1П756ДФ3	500	32×25	400	22	3500 1500 220	2,3 16	1600 50 8	32 200	3150
16K30T1	630	32×25	400	22	1470	-	1250 40 6,3	31 198	3400
1740РФ3	630	32×25	500	37	2500 800 160	3,1 15,6	2000 80 16	25 125	4000
1A512МФ3	1250	50	пл. 1120	55	1800 600 42	3 42,8	335 14,3 1,0	23,4 335	28000

Продолжение прил. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1A516MΦ3	1600	50	пл. 1400	55	1800 600 42	3 42,8	278 11,8 0,8	23,5 347	35000
1A525MΦ3	2500	50	пл. 2500	55	1800 600 33	3 54,5	127 5,45 0,3	23,3 423	80000
1A540MΦ4	4000	63	пл. 4000	128	2461 690 123	3,5 20	52 2,9 0,52	17,9 100	240000
1K540MΦ4	4000	63	пл. 4000	128	2461 690 123	3,5 20	52 2,9 0,26	17,9; 200	240000

Продолжение прил. 1

Модель	Рабочая поверхность стола, мм	Диаметр вы-движно-го шпин-деля, мм	Наиболь-ший диа-метр фре-зы, план-шайбы, мм	Мощ-ность двигате-ля P_n , кВт	$n_{\text{дв. max}}, n_{\text{дв. н}}, n_{\text{дв. min}}$ об/мин	Диапазо-ны $R_{\text{дв. p}}, R_{\text{дв. o}}$	$n_{\text{шп. max}}, n_{\text{шп. p}}, n_{\text{шп. min}}$ об/мин	Диапа-зоны $R_{\text{шп. p}}, R_{\text{шп. o}}$	$M_{\text{шп. max}}$ Н м
Параметры сверлильно-фрезерных, координатно-сверлильных, горизонтально-расточных, сверлильно-фрезерно-расточных станков									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
255МФ2	1000×2000	-	св. 50	6	4000 1000 315	4 12,7	2000 63 20	31,7 100	710
2623ПФМ4	1120×1250	110	250	15	2350 750 47,5	3,1 49,5	1250 80 5	15,6 250	1800
2636ГФ2	1600×1800	125	250 пл. 700	19	1900 750 118	2,5 16,1	1000 40 6,3 пл. 200; 25	25 158,6. пл. 8; 50	4000 пл. 6500
2650Ф2	4200×5600	160	400 пл. 1000	30	1900 750 94	2,5 20,2	800 32 4 пл. 160; 2,5	25 200 пл. 64	9000 пл. 13000

Продолжение прил. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2Г660Ф2	5000×8100	220	800 (полый шп.) 400 (выдв. шп.)	55	2500 1000 53	2,5 47,2	500 20 1,0	25 500	23000 (полый. шп.) 10000 (выдв. шп.)
2Б675Ф2	5000×8100	220	800 (полый шп.) 400 (выдв. шп.)	55	2500 1000 49	2,5 51	500 20 1,0	25 500	21000 (полый. шп.) 15000 (выдв. шп.)
2А680Ф2	5000×8100	320	600 пл. 1500	100	2250 1000 110	2,2 20,4	250 9,4 1,0 пл. 71	26,6 250 пл. 7,6; 71	24000 пл. 60000
21104Н7Ф4	400×630	-	125	5,5 (8,5)	4000 1500 160	2,6 25,0	3000 280 30	10,7 100	165 (265)
21105Н7Ф4	500×800	-	160	13	3000 1000 120	3,0; 25,0	2500 200 25	12,5 100	500
2202ВМФ4	250×320	-	120	10,5	3000 3000 300	10	3150 500 50	6,0 63	180

Продолжение прил. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2204ВМФ4	400×500	-	160	6,3	3150 1000 235	3,1 13,4	2000 125 32	15,0 62,5	400
ИР500МФ4	500×500	-	125	14	3210 1000 109	3,2 29,4	3000 183 21,2	16,4 141,5	650-700
65К40ПМФ4	400×1000	-	200	12	4000 1000 160	4,0 25,0	2000 125 20	16 100	870
2206ВМФ4	630×800	-	200	11	3475 1500 272	2,3 12,8	2500 250 50	10 50	370
ИР800МФ4	800×800	-	160	14	3210 1000 109	3,2 29,4	3000 183 21,2	16,4 141,5	700
22912Н7Ф4	1250×1250	-	250	15	2700 400 67	6,8 40,3	3150 80 12,5	39,4 252	1700-1800
ИР1600МФ4	1600	-	315	28	3400 800 39,5	4,2 86	2000 100 5	20 400	2450

Приложение 2

<i>Модель</i>	Рабочая поверхность, ширина стола, мм	Наибольший диаметр фрезы, мм	Мощность двигателя $P_{\text{н}}$, кВт	$n_{\text{дв. max}}, n_{\text{дв. н}}$ $n_{\text{дв. min}}$ об/мин	Диапазоны $R_{\text{дв. p}}, R_{\text{дв. o}}$	$n_{\text{шп. max}}, n_{\text{шп. p}}, n_{\text{шп. min}}$ об/мин	Диапазоны $R_{\text{шп. p}}, R_{\text{шп. o}}$	$M_{\text{шп. max}}$, Н м
Параметры вертикально-фрезерных станков консольных и с крестовым столом, продольных фрезерно-расточных станков.								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ЛФ260МФ3	250×630	100	8	3000 3000 250	1,0 12,0	1600 200 31,5	8 50,8	180
6Р11МФ3–1	250×1000	100	8	2500 2500 540	1,0 4,6	2500 315 63	7,9 39,7	200
6Д12Ф3	320×1250	125	5,5	1445	—	2000 80 20	25 100	530
6Д12МФ3	320×1250	125	8	3000 1000 600	3 5	3150 125 31,5	25,2 100	470
6Р13Ф3	400×1600	125	7,5	1460	—	2000 100 40	20 50	628

Продолжение прил. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
66K06MΦ4	630	250	15	3500 1160 35	3 100	2000 63 10	31,7 200	1950
65A60MΦ4	630	315	20	2500 1000 80	2,5 31,2	2000 65 5	30,7 400	2550
6M610MΦ4	1000	320	30	2320 1500 300	1,5 1,7	1250 50 10	25 125	5000
6620MΦ4	2000×4000	320	30	2320 1500 300	1,5 7,7	1250 50 10	25 125	5000
66K45MΦ4	4500	400	121	2000 680 50	2,9 40	500 554 4	9,1 125	17160

3. Конструктивные параметры привода главного движения станков с ЧПУ

Модель	Тип электропривода и двигателя	Момент инерции $J_{\partial\theta}$, кг · м ²	№ типовой схемы (см. т.1)	Механ. ступени рег.		Момент инерции, привед. к валу ДВ. $J_{мех.пр}$	Кратность j $J_{мех.пр} + J_{\partial\theta}$	Структурная формула $S_{ин}$	Число элементов		
				№ диапазона N_j	$n_{\partial\theta, max}$, $n_{ин, max}$ N_j				валов осей	зубьев колес	шкивов
Токарные, токарно-винторезные, токарно-карусельные станки, токарно-револьверные и токарные многолезцовые полуавтоматы											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
250ИТПФЗ	2ПН-132МГУ4	0,037	2	I II	1,0 4,3	0,12 0,006	4,2 1,2	$S_{\partial\theta}^{x(l+fxl)}$	3 /2/	4	2
1П420ПФ30	2ПН-225 Г	0,6	1	I II	1,0 1,8	0,68 0,30	2,1 1,5	$S_{\partial\theta}^{x^2}$	1	-	4
			2	I II	0,8 2,0	2,16 0,84	4,6 2,4	$S_{\partial\theta}^{xlx^2}$	3	4	2
16Б16Т1	4А132М8/4У3	0,058	7	$n_{ин}=2000 \times$ 1000 500	0,73 1,46 2,9	0,39 0,15 0,10	7,7 3,6 2,7	$S_{\partial\theta}^{x^2x^3x^3x(l+lxl)}$	6 /5/	16	4
1720ПФЭО	2ПФШ-160 Г	0,23	3	I II	0,88 3,8	1,14 0,64	6,0 3,8	$S_{\partial\theta}^{x(lxl+lx^2)}$	3	4	4

Продолжение прил. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
16K20T1-02	MP132 MA /HPБ/	0,157	4	I II III	1,56 4,0 11,0	0,26 0,16 0,15	2,7 2,0 1,9	$S_{\partial\theta}^{xlx(1+lxlxl)}$	5	12	2
16K20T1	4A132M4Y 3M301	0,04	8	I II	0,73 1,8	1,83 1,32	46,7 33,0	$S_{\partial\theta}^{x3x3x(2+lxlxlxl)}$	8 /7/	22	4
1725MФЗ	2ПФ-200 У4	0,3	4	I II	1,6 5,2	0,97 0,54	4,2 2,8	$S_{\partial\theta}^{x(l+1)}$	3	6	2
1725 PФЗ	2ПФШ- 200МГА /HPБ/	0,5	4	I II III IV	1,0 2,0 2,5 7,9	2,7 1,0 0,62 0,50	6,4 3,0 2,2 2,0	$S_{\partial\theta}^{x2x2}$	3	8	2
1A512MФЗ	V 3,5 Ce355-S1 /CPP/	5,1	5	I II III	5,4 15,0 41,8	38,2 5,0 0,6	8,5 2,0 1,1	$S_{\partial\theta}^{x2x2xlxlxl}$	5	11	-
1A516MФЗ	V 3,5 Ce355-S1 /CPP/	5,1	5	I II III	6,5 18,2 51,4	46,8 5,9 0,7	10,2 2,2 1,1	$S_{\partial\theta}^{x2x2xlxlxl}$	6	13	-
1A525MФЗ	V 3,5 Ce355-S1 /CPP/	5,1	5	I II III	14,2 39,6 110,8	57,5 7,4 0,9	12,2 2,4 1,2	$S_{\partial\theta}^{x2x2xlxlxl}$	6	13	-

Продолжение прил. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1A540MФ4	IGG5/284 – 0WE40- 6ПV2 /ФРГ/	5,1	5	I II	47,3 236,6	60,4 2,5	12,8 1,5	$S_{\partial\theta}^{x1x1x1x2xx1x1}$	7	15	-
1K540MФ4	IGG5/284 – 0WE40- 6ПV2 /ФРГ/	5,1	5	I II	47,3 236,6	60,4 2,5	12,8 1,5	$S_{\partial\theta}^{x1x1x1x2xx1x1}$	7	15	-
Сверлильно-фрезерные, координатно-сверлильные, горизонтально-расточные, сверлильно-фрезерно-расточные станки											
255MФ2	2ПФ- 160МГ	0,083	6	I II	2,0 16,0	0,085 0,08	1,97 1,95	$S_{\partial\theta}^{x1x1x2}$	4	9	-
2623ПМФ4	2ПФ-200 IY4	0,3	6	I II	1,3 9,4	0,45 0,03	2,5 1,1	$S_{\partial\theta}^{x1x2}$	3	6	-
2636ГФ2	П82	0,8	6	I II III пл. I II	1,9 6,0 19,0 пл. 9,5 30,0	0,86 0,13 0,02 пл. 0,3 0,04	2,07 1,16 1,02 пл. 1,4 1,05	$S_{\partial\theta}^{x1x2x2}$	4	12	-

Продолжение прил. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2650Φ2	2ПК-250ЛГ	1,23	6	I	2,4	1,5	2,2	$S_{\partial\theta}^{xlx2x3}$	4	16	—
				II	7,6	0,4	1,3				
				III	24,0	0,03	1,2				
				пл. I	пл. 12,0	пл. 1,2	пл. 1,2				
				II	38,0	0,13	1,1				
2Г660Φ2	П101-01	2,53	6	I	5,0	2,2	1,9	$S_{\partial\theta}^{xlxlx2x2}$	5	13	—
				II	13,0	0,4	1,1				
				III	20,0	0,5	1,2				
				IV	52,0	0,1	1,1				
2Б675Φ2	П101-01	2,58	6	I	5,0	3,4	2,3	$S_{\partial\theta}^{xlxlxl(lxlx2xl+lxlxlx2xl)}$	10 /7/	18	—
				II	10,5	1,0	1,4				
				III	23,0	0,6	1,2				
				IV	49,0	0,5	1,2				
2А680Φ2	П101	5,05	6	I	8,8	2,5	1,5	$S_{\partial\theta}^{xlx(l+2xlx2xl)}$	6	20	—
				II	31,7	0,8	1,2				
				III	110,3	0,4	1,1				
				пл. I	пл. 31,2	пл. 1,7	пл. 1,3				
				II	108,7	1,2	1,2				
21104Н7Φ4	2ПФ- 132ГУ4	0,046	6	I	1,3	0,01	1,3	$S_{\partial\theta}^{xlxlx2}$	4	7	—
				II	5,3	0,003	1,06				

Продолжение прил. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
21105Н7Ф4	ВКХ70/ 400- 1500G4УА1 32МУ/ФРГ	0,084	4	I II	1,2 6,3	0,078 0,070	1,9 1,6	$S_{\partial\theta}^{x1+1x1}$	4 /3/	4	2
2202ВМФ4	“Кедр”2ПК- 132М	0,037	4	I II	0,95 6,0	0,07 0,05	2,9 2,4	$S_{\partial\theta}^{x1x2}$	4	8	2
220ВМФ4	“Кедр”2ПК- 160 У4	0,104	4	I II	1,57 7,8	0,053 0,024	1,5 1,2	$S_{\partial\theta}^{x1x2}$	4	6	2
ИР500МФ4	2ПФ- 180/У4	0,229	6	I II	1,1 5,2	0,07 0,003	2,3 1,0	$S_{\partial\theta}^{x1x2}$	3	5	—
65К4ПМФ4	2ПФШ- 160МГ	0,20	6	I II	2,0 8,0	0,08 0,04	1,4 1,2	$S_{\partial\theta}^{x1x(1x1+1x1x1)}$	6 /3/	11	—
2206ВМФ4	“Кедр”2ПН- 160 МГ	0,104	4	I II	1,39 5,5	0,11 0,069	2,5 1,9	$S_{\partial\theta}^{x1x2}$	4	6	2
ИР800МФ4	2ПФ-180У4	0,223	6	I II	1,1 5,2	0,087 0,004	1,4 1,0	$S_{\partial\theta}^{x1x2}$	3	5	—
22912Н7Ф4	2ПФШ- 200ГУ4	0,62	6	I II	0,9 5,4	2,6 0,1	5,2 1,2	$S_{\partial\theta}^{x1x2}$	3	6	—
ИР1600МФ4	180 /ФРГ/			I II	1,7 7,9	2,12 0,13	6,2 1,3	$S_{\partial\theta}^{x1x2}$	4 /3/	7	—

Продолжение прил. 3

Вертикально-фрезерные станки консольные и с крестовым столом, продольные фрезерно-расточные станки											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ЛФ260МФ3	ПБСТ-53	0,13	4	I II	1,9 7,5	0,05 0,03	1,4 1,2	$S_{\partial\theta}^{x(l+lxl)}$	3	7	2
6P11МФ3-1	ПБСТ-53	0,13	6	I II III	1,0 3,2 8,5	0,007 0,009 0,006	1,05 1,07 1,04	$S_{\partial\theta}^{x(lx1+lx2xl)}$	4 /3/	8	—
6Д12Ф3	4А112М4У 3	0,07	9	I 2000 1600 1000 II III	0,72 — — 2,29 14,4	0,37 0,2 0,1 0,07 0,03	6,28 3,85 2,42 2,0 1,4	$S_{\partial\theta}^{xlx3x3x(l+lx1)x2}$	8 /7/	24	—
6Д12МФ3	2ПФ-160 Г	0,10	6	I II III	0,95 3,0 18,7	0,22 0,14 0,02	3,2 2,4 1,2	$S_{\partial\theta}^{xlx/lx1x+lx2}$	7 /6/	12	—
6P13Ф3-37	4А132 4У3	0,11	9	I 2000 1600 1000 II	0,73 — — 5,8	0,44 0,34 0,13 0,02	5,0 4,1 2,2 1,2	$S_{\partial\theta}^{xlx3x3x2xxlx1xl}$	8	24	—
66КО6МФ4	ФАНУК-15	0,235	6	I II III	1,75 5,5 19,5	0,21 0,025 0,007	1,9 1,1 1,0	$S_{\partial\theta}^{xlx/lx1x+lx2}$	6 /5/	12	—

Продолжение прил. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
65A60MΦ4	2ПФ-200LY4	0,30	6	I II III IV	1,25 3,12 6,25 14,7	0,64 0,12 0,07 0,08	3,1 1,4 1,2 1,1	$S_{\partial\theta}^{x/x2x2}$	5 /4/	9	—
6M610MΦ4	2ПФ-200ЛГ	0,30	6	I II III IV	1,85 4,7 11,8 30,8	0,35 0,05 0,03 0,015	2,16 1,17 1,09 1,05	$S_{\partial\theta}^{x/x2x(l+lxl)}$	5	13	—
6620MΦ4	2ПФ-200ЛГ	0,30	6	I II III IV	1,85 4,7 11,8 30,8	0,35 0,05 0,03 0,015	2,16 1,17 1,09 1,05	$S_{\partial\theta}^{x/x2x(l+lxl)}$	5	13	—
66K45MΦ4	1 5.284- 0 E49-6H 1	5,1	6	I II	5,0 15,6	2,8 0,68	1,5 1,1	$S_{\partial\theta}^{x/lx/x2x/l}$	9 /5/	9	—

Лабораторная работа №7

Режущий инструмент для токарных станков с ЧПУ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель данной работы – ознакомление с конструкцией резцов со сменными многогранными пластинами, применяемыми на токарных станках с ЧПУ.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Режущий инструмент для токарных станков с ЧПУ включает несколько типов резцов см. рис. 1.

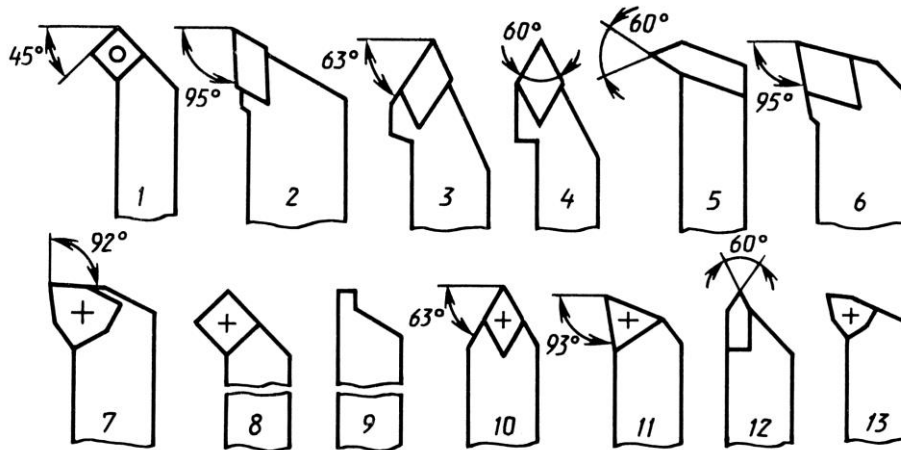


Рис. 1. Номенклатура резцов для комплектации: 1, 2, 6 и 8 – проходные с главным углом в плане $\varphi = 45^\circ$, $\varphi = 95^\circ$; 7 – подрезные; 3, 10 – для контурного точения с $\varphi = 93^\circ$; 4 и 9 – для наружных канавок; 5 и 12 – резьбовые для наружной и внутренней резьбы; 11 и 13 – расточные проходные и контурные

Все резцы оснащаются сменным твердосплавными пластинами, в том числе с износостойким покрытием. Марка твердого сплава режущей пластины и вид покрытия определяется заказчиком в соответствии с технологическими задачами.

Например, резцы проходные с $\varphi = 45^\circ$ (поз. 1) для патронной обработки деталей типа фланцев обеспечивают наружную обточку, проточку торцов, проточку выточек, снятие фасок. Резцы проходные с $\varphi = 95^\circ$ (поз. 2) с ромбической пластиной с углом при вер-

шине 80° позволяют производить предварительную обточку деталей по цилиндру, протачивать обратный конус с углом спада до 30° , обрабатывать радиусные поверхности, галтели и протачивать торцы движением от центра детали к наружному диаметру. Данными резцами можно протачивать канавки для выхода шлифовального круга.

Для крепления указанных резцов на станках с ЧПУ токарной группы с автоматической сменой инструмента, осуществляемой за счёт поворота револьверной головки применяется вспомогательный инструмент с цилиндрическим хвостовиком и лыской, на которой имеются рифления (рис. 2).

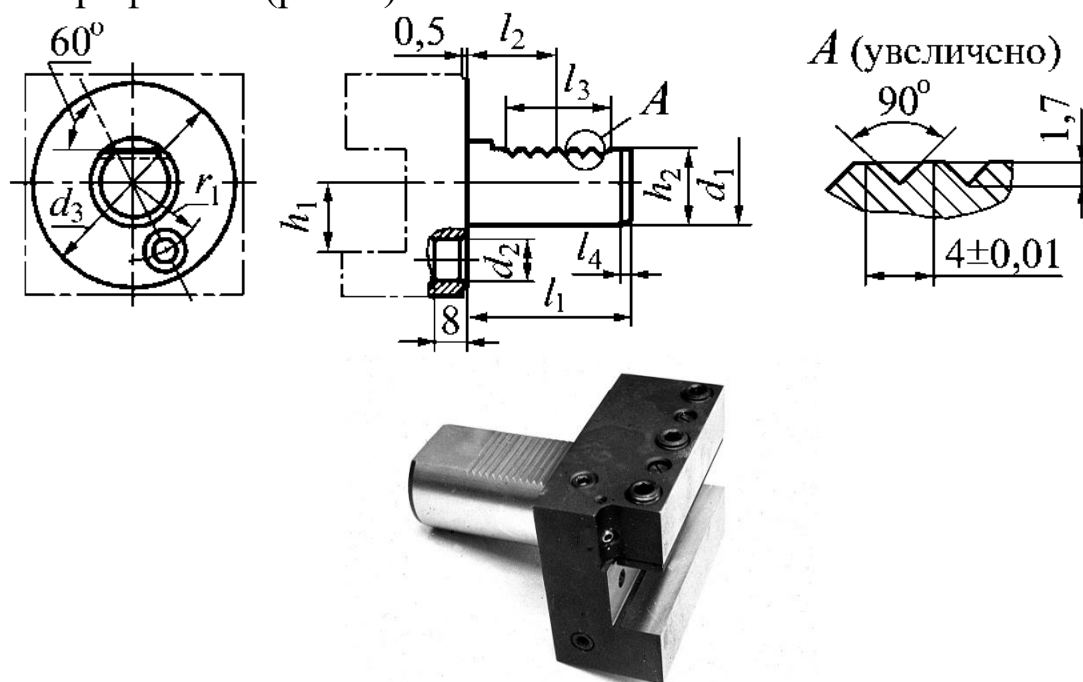


Рис. 2. Основные размеры, мм, цилиндрических хвостовиков по ГОСТ 24900–81 и стандарту DIN 69880 для станков токарной группы

Базирование резцедержателя производится по цилиндру хвостовика, обеспечивающему точную угловую установку, и торцу. Крепление блока в револьверной головке производится с помощью клина, который имеет рифления, смещенные относительно рифлений хвостовика. Общий вид типового резцедержателя показан на рис. 2.

Система вспомогательного инструмента для токарных станков с ЧПУ с револьверными головками показана на рис. 3. В системе резцедержатели 1–9 позволяют закреплять резцы сечением от 16×16 до 40×40 мм.

Для обработки наружных поверхностей используются резцедержатели 1, 2, 4, 7-9. Резцедержатели 3 и 5 могут быть использованы для креплений инструмента для обработки внутренних поверхностей. Все резцедержатели обеспечивают подвод СОЖ от револьверной головки к вершине резца. Переходная втулка 10 позволяет крепить режущий инструмент с цилиндрическими хвостовиками диаметром 16–40 мм. Для крепления инструмента с конусами Морзе предназначены жесткие 12 или плавающие 13 переходные втулки. Нарезание резьбы производится с использованием унифицированной конструкции патрона для метчиков.

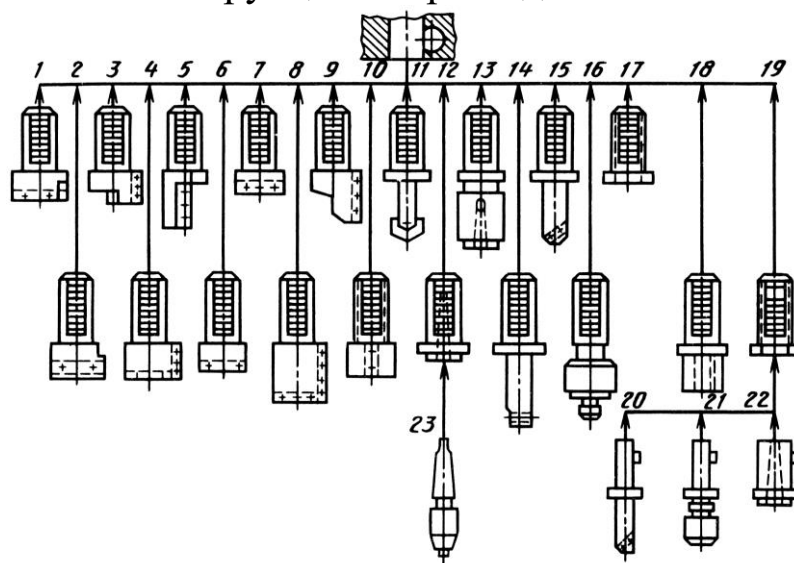


Рис. 3. Система вспомогательного инструмента для токарных станков с ЧПУ:

1 – резцедержатель с перпендикулярным открытым пазом; 2 – резцедержатель с перпендикулярным закрытым пазом; 3 – резцедержатель с параллельным открытым пазом; 4 – резцедержатель с перпендикулярным и параллельным открытыми пазами; 5 – резцедержатель с осевым открытым пазом; 6 – резцедержатель с перпендикулярным открытым пазом для отрезных резцов; 7 – резцедержатель несимметричный с перпендикулярным открытым пазом; 8 – резцедержатель удлиненный с перпендикулярным открытым пазом; 9 – резцедержатель удлиненный с параллельным открытым пазом; 10 – втулка переходная; 11 – сверло перовое; 12 – втулка переходная с конусом Морзе; 13, 22 – втулка переходная (плавающая) с конусом Морзе; 14 – борштанга расточная с перпендикулярным пазом; 15 – борштанга расточная с наклонным пазом; 16 – патрон для метчиков; 17 – втулка переходная разжимная; 18 – втулка переходная со шпоночным пазом; 19 – втулка переходная укороченная со шпоночным пазом; 20 – расточная оправки с регулированием по двум осям; 21 – регулируемый резьбонарезной патрон; 22 – втулка регулируемая с внутренним конусом Морзе; 23 – патрон трехкулачковый

2.1. Конструкция сборных токарных резцов

Сборный токарный резец (рис. 4) состоит из державки и сменной многогранной пластины, прикрепляемой к державке разными способами. Использование СМП сокращает трудоёмкость изготовления инструмента и повышает его качество.

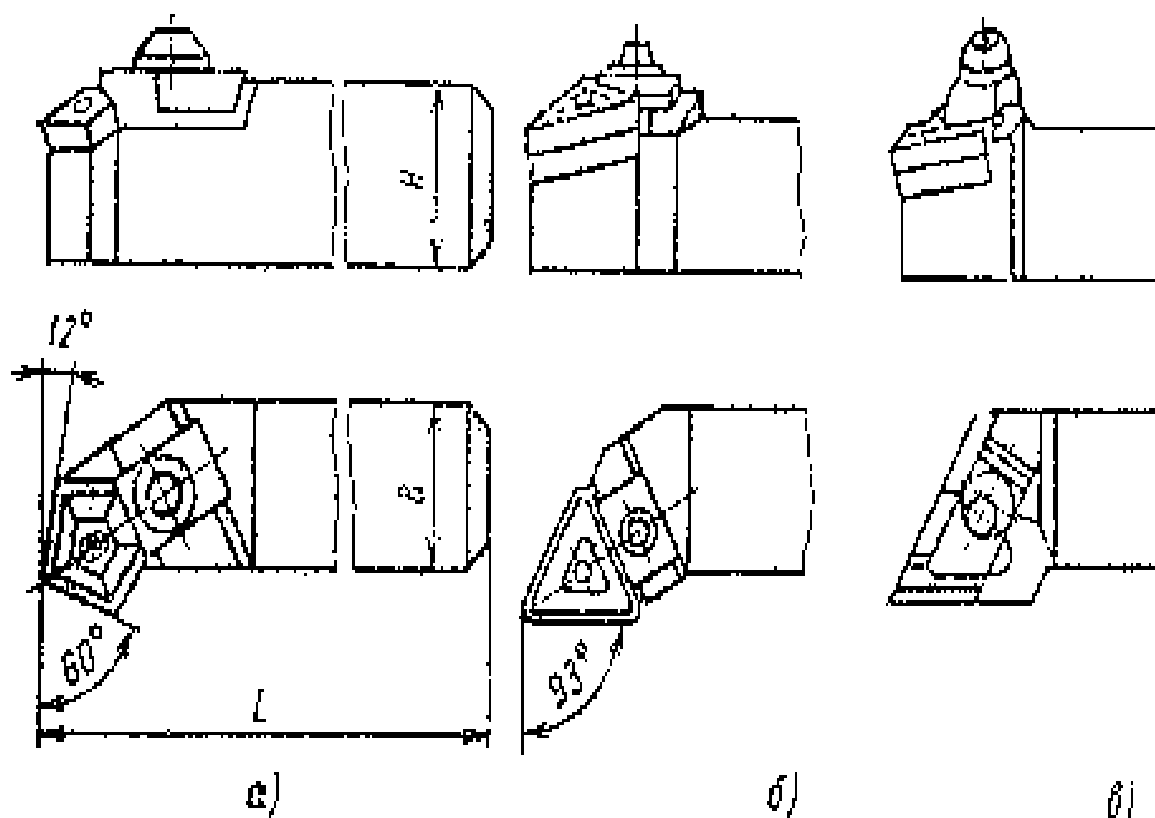


Рис. 4. Резцы со сменными многогранными пластинами:
а – пятигранный; б – трёхгранный; в – параллелограмм

2.1.2. Сменные многогранные пластины для сборных токарных резцов

Согласно ГОСТ 19042–80 многогранные пластины разделяют на режущие, опорные и стружколомы. Первые используют для изготовления рабочей части инструмента; вторые являются опорой режущих пластин, обеспечивая точное базирование и большой срок службы державки; стружколомы используют для дробления стружки. Режущие пластины СМП различают по конструкции, размерам и точности изготовления. По первому признаку различают тип пластины, форму, вид режущей кромки. Основные виды пластин пока-

заны на рис. 5. Они различаются по четырём конструктивным признакам:

по числу рабочих граней – односторонние (R, M) и двусторонние (N, A, F, G);

по форме передней грани – с плоской гранью (N, A) и со стружколомающими канавками (R, M, F, G);

в зависимости от наличия отверстия – без отверстия (N, R, F) и с отверстием (A, M, G).

В зависимости от величины заднего угла – с $\alpha = 0$ и $\alpha > 0$.

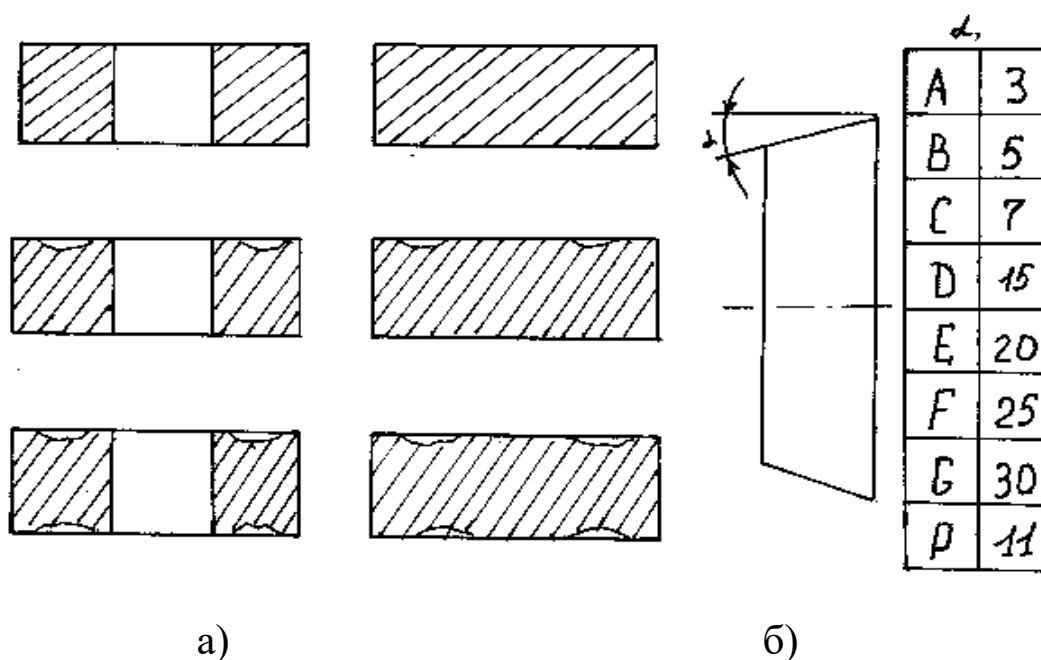


Рис. 5. Сменные многогранные пластины:
а – тип пластины; б – значение заднего угла

По форме (рис. 6) пластины разделяют на равносторонние и равноугольные – Н, О, Р, R, S, Т; равносторонние и неравноугольные (ромб, неправильный шестигранник) – С, D, Е, М, V, W. Неравносторонние и равноугольные – L; неравносторонние и неравноугольные – А, В, К, F.

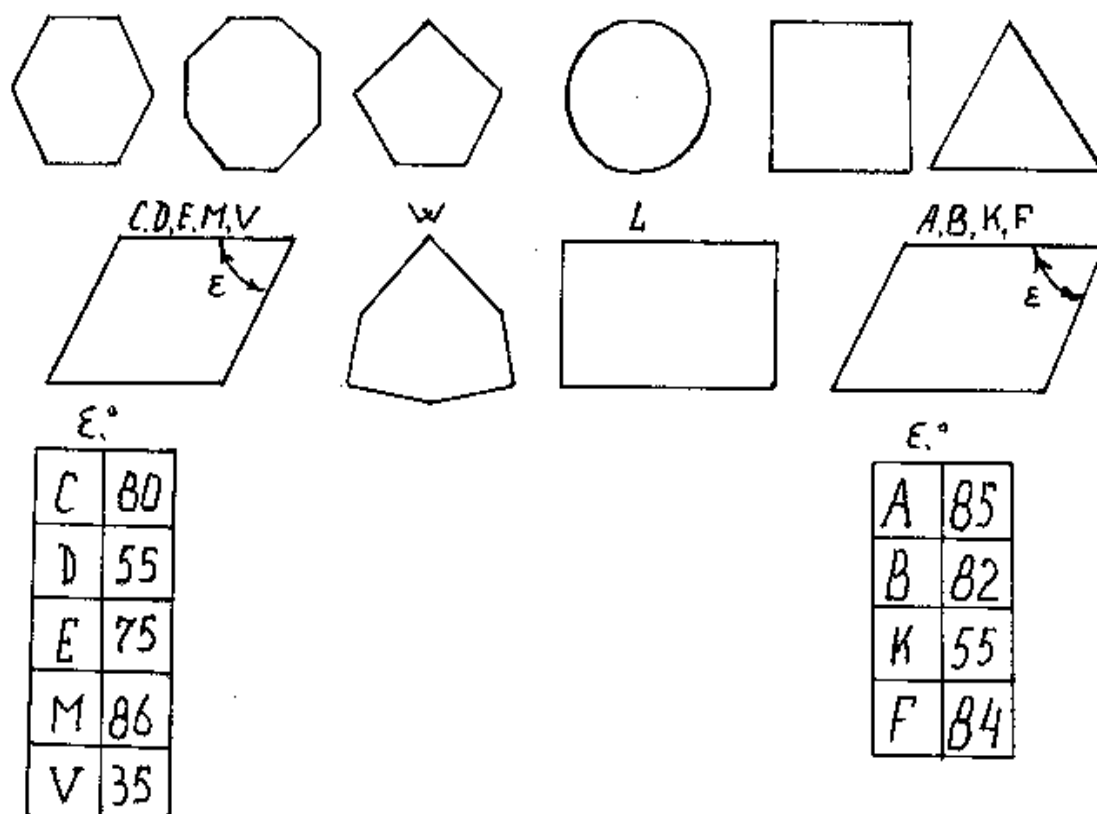


Рис. 6. Форма сменных многогранных пластин

По виду режущей кромки пластины делят на острые – F ($r_n \leq 0,002$); скруглённые – E; с фаской – T; с фаской и скруглением – S.

Установлены пять классов точности изготовления пластин: C, E, G, M, U.

Допуски по классу точности приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Выбор формы пластин

Вид обработки	Пластина				
	T	W	C	S	B
Чистовая	4	2	4	3	5
Получистовая	4	3	5	4	4
Черновая	2	3	4	5	2
Точение по корке	2	3	4	5	1
Прерывистая	2	2	4	5	1

Таблица 2

Классы допусков пластин

Класс	Отклонения размеров, мм		
	<i>M</i>	<i>S</i>	<i>D</i>
C	±0,013	±0,025	±0,25
E			
G	±0,025	±0,130	
M	±0,08...0,18		±0,050...0,130 ±0,080...0,250
U	±0,13...0,38		

Размеры, определяющие точность пластин, показаны на рис. 7.

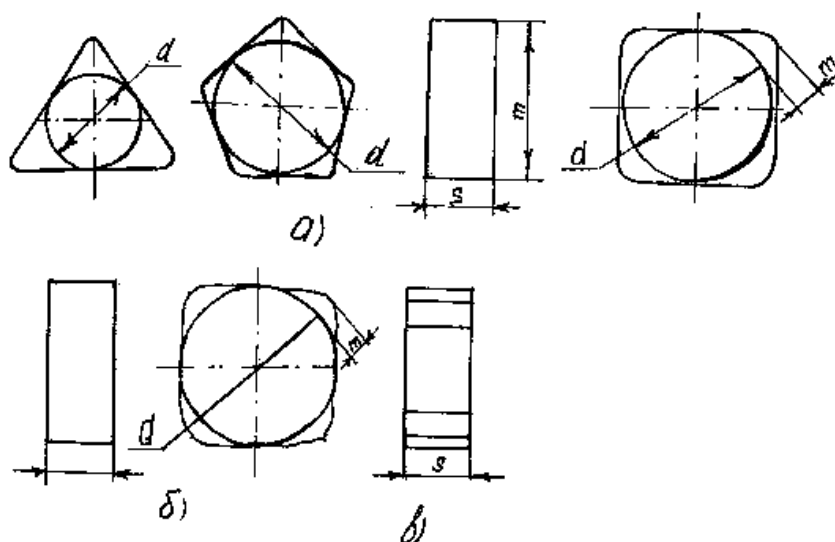


Рис. 7. Размеры, определяющие точность пластин: а – с нечётным числом граней; б – с чётным числом граней; в – с фаской

Для обозначения СМП применяют 13 – разрядный индекс, причём 10 разрядов являются обязательными (рис. 5). Первые четыре разряда означают: 1 – форму; 2 – задний угол; 3 – точность изготовления; 4 – тип.

Далее через тире следует шесть цифровых разрядов: длина режущей кромки (5,6); толщина пластин (7,8); радиус при вершине (9,10). На рис. 8 дана иллюстрация обозначения пластины.

Пример обозначения треугольной пластины с нулевым задним углом, класса М, с отверстием, односторонними стружколомаю-

щими канавками, размерами: $l = 16,5$; $s = 4,76$; $r = 0,8$, имеющей режущую кромку с фаской: TNMM – 160408TR.

Сменные многогранные пластины изготавливаются из твёрдых сплавов, сверхтвёрдых материалов (СТМ) и минералокерамических сплавов. Для обработки железоуглеродистых сталей и сплавов используют пластины вольфрамокобальтовой (ВК), вольфрамотитанокобальтовой (ВТК) и вольфрамотитанотанталокобальтовой (ВТТК) групп.

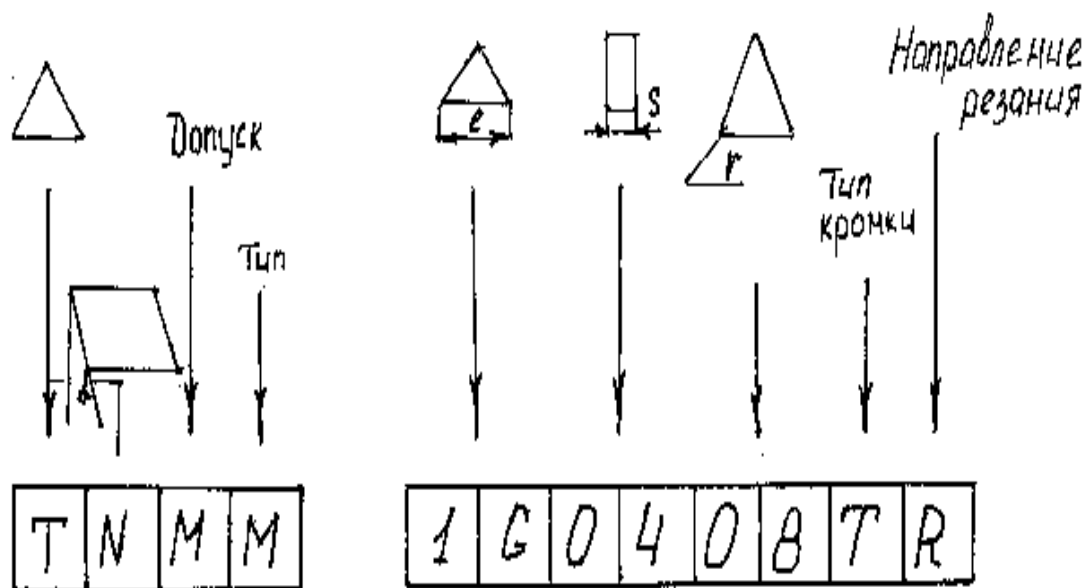


Рис. 8. Обозначение пластины

Резцы, оснащённые пластинами из СТМ (на основе алмаза и кубического нитрида бора), используют на операциях получистового и чистового точения закалённых сплавов и твёрдых сплавов взамен операции шлифования. Гамма выпускаемых промышленностью СТМ на основе кубического нитрида бора объединяется под общим названием «композиты». Применение резцов с СМП из композитов обеспечивает 7-й квалитет точности, шероховатость $R_a = 0,16 \dots 1,25$ мкм. Основная область применения минералокерамических сплавов – получистовое и чистовое точение закалённых сталей и отбеленных чугунов, а также конструкционных легированных и быстрорежущих сталей со скоростями резания 200...250 м/мин для стали и 150..250 м/мин для чугуна. Промышленность выпускает пластины из оксидной керамики (ЦМ332, ВШ); оксидно-карбидной (ВЗ ВСК-60, ВОК-63, ВОК-70, ВОК-71);

оксидно-нитридной (кортинит-20, силенил-Р). Использование минералокерамики ограничивается пониженной прочностью на изгиб (550...750 МПа) по сравнению с твёрдыми сплавами (750..1500 МПа), поэтому наиболее эффективно применение минералокерамики для обработки сталей с твёрдостью $HRC_3 = 30...65$ с небольшими припусками (до 3 мм) при отсутствии корок, окалины, раковин.

2.2. Конструкции узлов крепления резцов с СМП.

Разнообразие конструкций крепления (рис. 9) можно свести к трём основным схемам крепления: прижим сверху; через отверстие и клином.

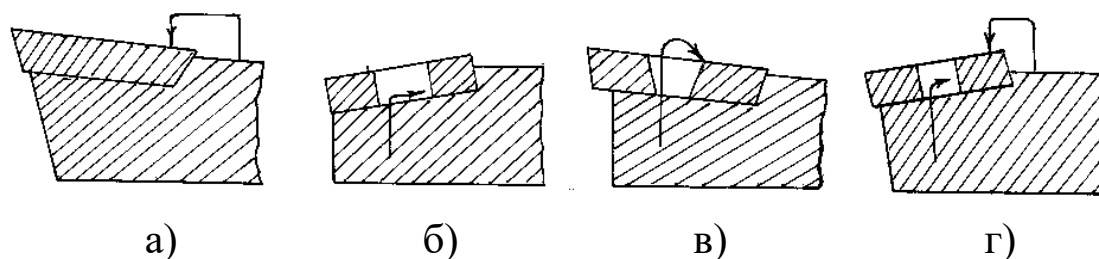


Рис. 9. Схемы механического крепления режущих пластин:
а – прижимом; б – штифтом; в – винтом; г – штифтом и прижимом

Используется два способа установки и закрепления двузначным числом, в котором первая цифра – способ установки, а вторая способ крепления, получаем шесть способов установки и крепления пластин: 11; 12; 13; 21; 22; 23. На рис. 10 приведены схемы базирования и крепления пластин.

Система допусков на СМП (ГОСТ 19086–80) разработана для базирования пластин по боковым поверхностям (способ 22).

Способ 13 не обеспечивает точности выше 15 качества при повороте пластин, поэтому рекомендован для черновой обработки, для чистовой – способ 22.

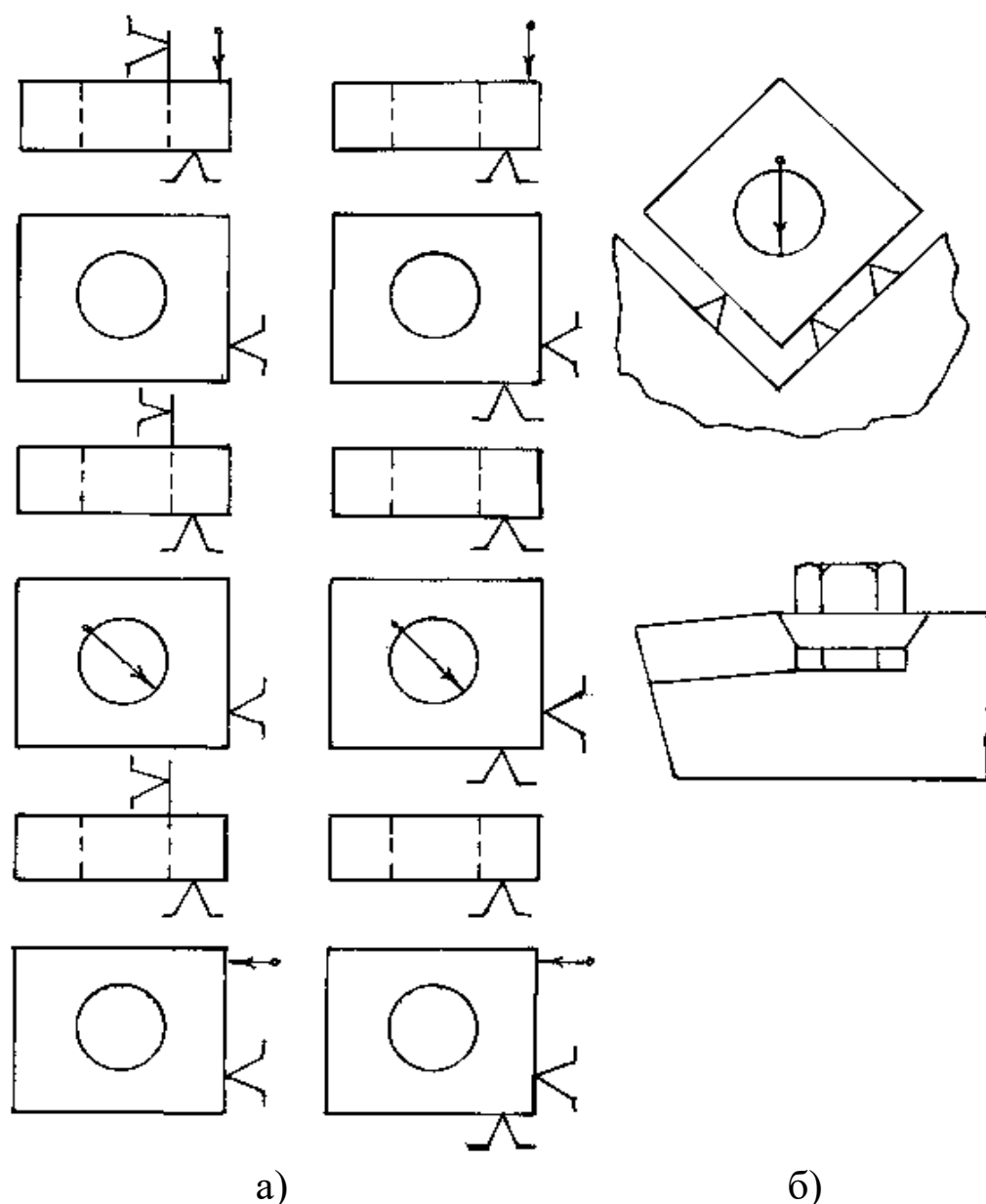


Рис. 10. Способы установки и зажима пластин:
а – классификация способов; б – способ 22

Режущую пластину нижней поверхностью устанавливают на опорные пластины, размеры которых регламентирует ГОСТ 19073–80 и ГОСТ 19083–80. Опорные пластины повышают точность установки режущей пластины и предохраняют гнездо державки от повреждения и разрушения. Опорные пластины крепят к державке путём припаивания, приклеивания и механическим способом.

Наиболее распространёнными являются способы 13, 22, менее распространены 11, 22; редко применяются – 12, 23 (рис. 11).

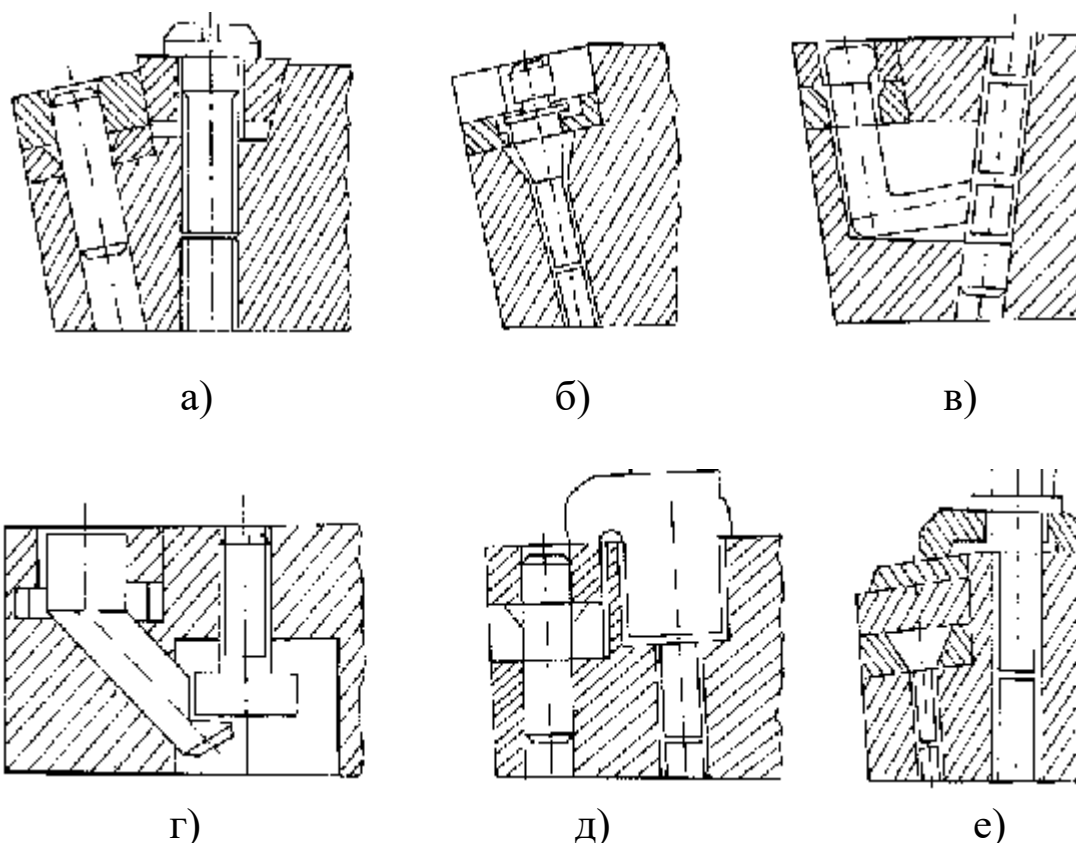


Рис. 12. Варианты установки и зажима пластины:
а – способ 13; б, в, г – способ 22; д – способ 11; е – способ 21

При выборе способа установки и применения пластин учитывают вид обработки. При черновой обработке необходимо обеспечить надёжность крепления, точность установки не играет решающей роли (рекомендуются способы а, е рис.12).

При чистовой обработке силы резания небольшие важное значение имеет точность установки пластины (рекомендуются способы б, в, г, рис. 12).

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить задание у преподавателя.
2. Определить тип резца.
3. Определить способ крепления режущей пластины
4. Определить вариант установки пластины.
5. Определить тип пластины.
6. Измерить геометрические параметры резца (γ ; α ; α_1 ; λ ; φ ; φ_1).

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать характеристику, эскиз резца, схему механического крепления пластины, эскиз многогранной сменной пластины, результаты измерения геометрических параметров.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите типы резцов для станков с ЧПУ.
2. Какие поверхности позволяют обрабатывать резцы проходные с $\varphi = 95^\circ$ (поз. 2) с ромбической пластиной с углом при вершине 80° ?
3. Какие втулки предназначены для крепления инструмента с конусами Морзе?
4. Из каких элементов состоит сборный токарный резец?
5. Перечислите способы крепления пластин к державке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература:

1. Металлорежущие станки [Текст] : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению «Конструкт.-технолог. обеспечение машиностроит. производств» / В. Д. Ефремов [и др.] ; под ред. П. И. Ящерицына. – Старый Оскол : ТНТ, 2012. – 696 с.
2. Схиртладзе, А. Г. Проектирование металлообрабатывающих инструментов. – Санкт-Петербург : Лань, 2015. – 256 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/64341>. – Загл. с экрана.

Дополнительная литература:

1. Тарабарин, О. И. Проектирование технологической оснастки в машиностроении [Текст] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» / О. И. Тарабарин, А. П. Абызов, В. Б. Ступко. – Санкт-Петербург : Лань, 2013. – 304 с. – Доступна электронная версия: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=5859
2. Формообразующие инструменты машиностроительных производств. Инструменты общего назначения [Текст] : учебник для студентов вузов / В. А. Гречишников [и др.]. – Старый Оскол : Тонкие наукоемкие технологии, 2005. – 432 с.