

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 30.03.2023 17:34:42  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4e4851fda56d089

**МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)**

**Кафедра машиностроительных технологий и оборудования**

**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по учебной работе  
**О.Г. Локтионова**  
« 30 » 03 2021 г.



**РАСЧЕТ БЕССТУПЕНЧАТОГО ПРИВОДА ПОДАЧ  
МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ**

Методические указания по выполнению практической работы  
для студентов направления 15.03.05

Курск 2021

УДК 621.(076.1)

Составитель: Е.И.Яцун

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *А.Н.Гречухин*

**Расчет бесступенчатого привода подач многоцелевых станков:** методические указания по выполнению практической работы для студентов направления 15.03.05 / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Е.И.Яцун.

– Курск, 2021. – 21 с.– Библиогр.: с. 18.

Содержат сведения по кинематике бесступенчатых приводов подач, шариковинтовых передачах (ШВП), видах применяемых электродвигателей, муфтах в приводах подач станков с ЧПУ, датчиках обратной связи. Приведены: задание на выполнение кинематического расчета привода подач, методика расчета, справочные данные.

Методические рекомендации соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением по специальностям автоматизированного машиностроительного производства (УМО АМ).

Предназначены для студентов направления 15.03.05 дневной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл.печ. л. [кол-во стр. : 16 x 0,93] . Уч.-изд. л. [кол-во стр. : 19].

Тираж 100 экз. Заказ . Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	4
1 Кинематические схемы бесступенчатых приводов подач	5
2 Шариковая винтовая пара (ШВП)	6
2.1 Класс точности ШВП	7
2.2 Опоры ШВП	7
3 Виды применяемых электродвигателей	9
4 Муфты в приводах подач станков с ЧПУ	10
5 Датчики обратной связи	10
6 Задание. Выполнить кинематический расчет привода подач	12
6.1 Токарные обрабатывающие центры	12
6.2 Фрезерные центры	14
6.3 Сверлильно-расточные центры	16
Библиографический список	18
Приложение. Технические характеристики электродвигателей постоянного тока	19

## Введение

**Приводы подач станков** осуществляют перемещения рабочих органов станка, несущих режущий инструмент или обрабатываемую заготовку, в режиме установочных перемещений, когда работают поочередно отдельные приводы подач, либо в режиме контурной обработки, когда одновременно работают несколько приводов подач.

К современным **приводам подач станков с ЧПУ** предъявляются следующие требования:

- обеспечивать заданные скорости перемещения на рабочих и холостых ходах. Для рабочих ходов требуется бесступенчатое регулирование рабочих подач в заданном диапазоне. При этом скорость холостого хода может быть от 20 до 80 м/мин;
- обеспечивать необходимую тяговую силу в приводе для преодоления сил резания и перемещения рабочего органа станка при обработке заготовки;
- иметь высокую жесткость, что определяет точность перемещений рабочего органа и его динамическое качество;
- в механизмах привода подачи должны быть исключены зазоры и обеспечены минимальные силы трения;
- иметь высокую надежность работы, простоту изготовления и обслуживания.

В приводах подачи станков с ЧПУ используются электрический, электрогидравлический, гидравлический и пневматический следящие приводы. Но наиболее широкое распространение получил электрический следящий привод подачи, который обеспечивает удобство регулирования скорости в широком диапазоне с высокой точностью и быстродействием. В состав следящего электропривода конструктивно входят электродвигатель, силовой преобразователь (питающий электродвигатель), регуляторы, обеспечивающие требуемое качество регулирования, механические элементы привода, измерительные преобразователи систем обратной связи.

## 1 Кинематические схемы бесступенчатых приводов подачи

Расчет привода начинается с составления его кинематической схемы, представляющей условные изображения главных элементов привода и показывающей как движение и мощность от электродвигателя передаются к исполнительному звену – шпинделю, суппорту, столу.

Ниже показаны варианты кинематических схем приводов подачи (Рис. 1-3).

Схема с жесткой связью электродвигателя и ходового винта изображена на рис.1.

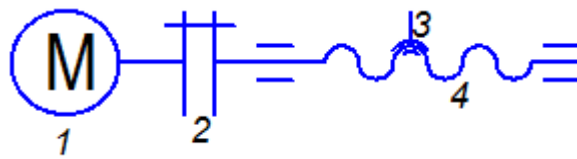


Рис.1 Схема привода:

1 - электродвигатель; 2 – муфта; 3, 4 – передача винт-гайка качения

Схема с одноступенчатым редуктором и выборкой зазора в зубчатом зацеплении рассмотрена на рис. 2.

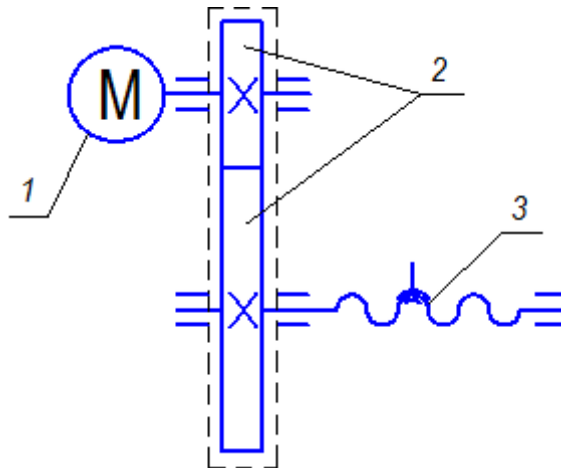


Рис.2 Схема привода с редуктором:

1 – электродвигатель; 2 – зубчатая передача; 3 – передача винт-гайка

Схема с применением беззазорной червячной и реечной передач изображена на рис. 3.

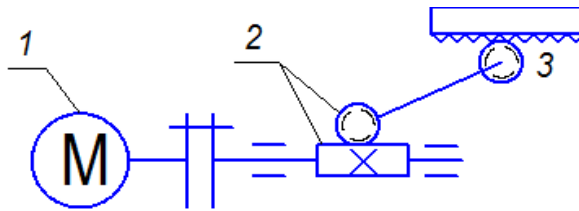


Рис. 3 Схема привода с червячной и реечной передачами:

1 – электродвигатель; 2 – червячная передача; 3 – реечная передача

Как видно из приведенных схем, станки с ЧПУ имеют короткие кинематические цепи бесступенчатых приводов подач, обеспечивающие более точную работу, чем при ступенчатом регулировании.

## 2 Шариковая винтовая пара (ШВП)

Важным узлом привода подач станков с ЧПУ является узел преобразования вида движения. В станках с ЧПУ наиболее распространена в этом качестве шариковая винтовая пара (ШВП), которая состоит из винта, гайки, комплекта шариков, канала для возврата шариков (Рис. 4).



Рис. 4 ШВП

Широкое применение передач винт-гайка качения в современных станках с ЧПУ обусловлено рядом их достоинств. Так, беззазорность исключает или значительно снижает ошибку при реверсе, высокая осевая жесткость снижает динамическую ошибку привода, высокая стабильность момента трения позволяет осуществлять точные перемещения с малой скоростью, высокий КПД снижает потребляемую мощность двигателя.

## *Посмотрите видео – шарико-винтовая передача*

<https://youtu.be/GxUPqpGx9cE>

Класс точности передачи винт-гайка качения определяет класс точности станка, поэтому к ней предъявляются повышенные требования.

### **2.1 Класс точности ШВП**

ШВП разделяют на две основные группы - ШВП транспортной группы и позиционной группы. Они имеют различное применение, а соответственно и различные предъявляемые к ним требования, в том числе классы точности.

В России классы точности ШВП регламентируются ОСТ 2 Р31-4-88, согласно которого для транспортных (Т) и позиционных (П) ШВП назначаются следующие классы:

Тип ШВП	Класс точности
Транспортные (Т)	T1 T3 T5 T7 T9 T10
Позиционные (П)	P1 P3 P5 P7

### **2.2 Опоры ШВП**

Особое внимание необходимо уделить опорам ШВП. Низкая надежность данных узлов может снизить достоинства даже самой жесткой и точной ШВП. По расположению опоры (Рис. 5) подразделяются на вертикальные (ВК и ВФ) и горизонтальные (FK и FF).

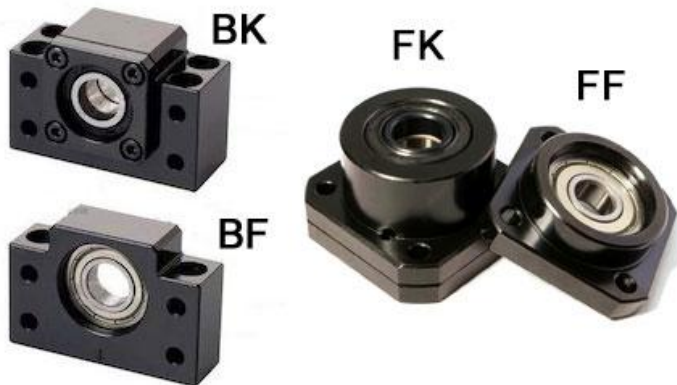


Рис. 5 Опоры ШВП

Главным их компонентом являются подшипники ШВП. В опорах ШВП используются радиально-упорные и радиальные подшипники (Рис. 6).

Радиально-упорные подшипники способны воспринимать как радиальную, так и осевую нагрузку. В зависимости от расположения шариков, а именно угла контакта, такой подшипник способен воспринимать больше осевой нагрузки за счет снижения способности восприятия радиальной нагрузки, и наоборот. Для ШВП, где преобладает больше осевая нагрузка, такие подшипники и подходят наибольшим образом.

Осевую нагрузку радиально-упорный подшипник воспринимает в одном направлении, поэтому его устанавливают напротив второго подшипника, который воспринимает осевую нагрузку в противоположном направлении. Эти подшипники обычно устанавливают вплотную друг к другу.

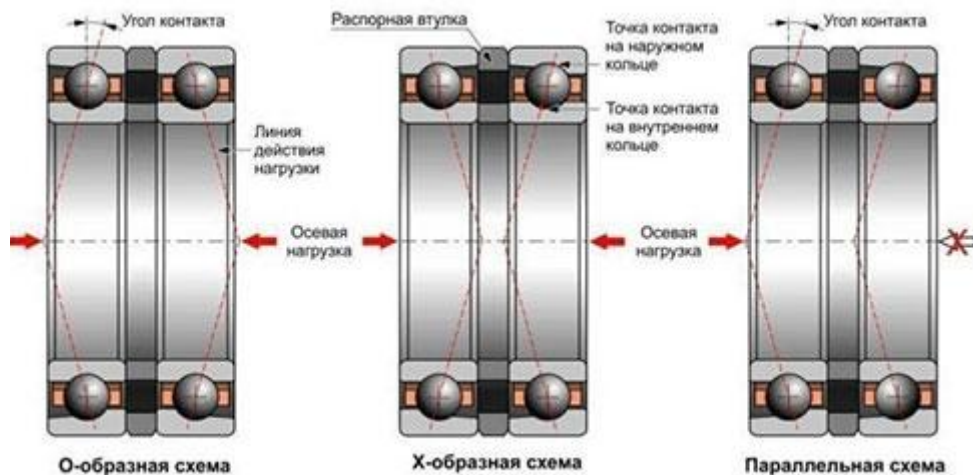


Рис. 6 Установка подшипников в опоры ШВП

Опора типа ВК устанавливается вблизи двигателя (Рис. 7), и она жестко фиксирует один конец винта ШВП, в ней применяются радиально-упорные подшипники, и такую опору называют фиксированной. Опора типа ВР имеет радиальный подшипник, воспринимающий только радиальные нагрузки. Он может перемещаться вдоль оси в седле корпуса опоры и такую опору называют плавающей или свободной. Перемещение подшипника предусмотрено ввиду изменения длины винта ШВП во время его работы. Под воздействием осевой нагрузки и нагревания винта ШВП происходит тепловое



расширение металла. Ввиду этого подшипник может перемещаться вдоль оси винта в корпусе опоры, для чего и предусмотрена подобная возможность.

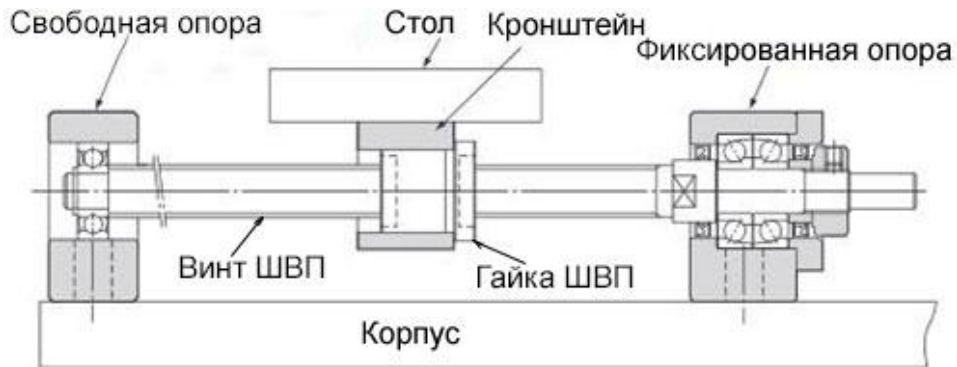
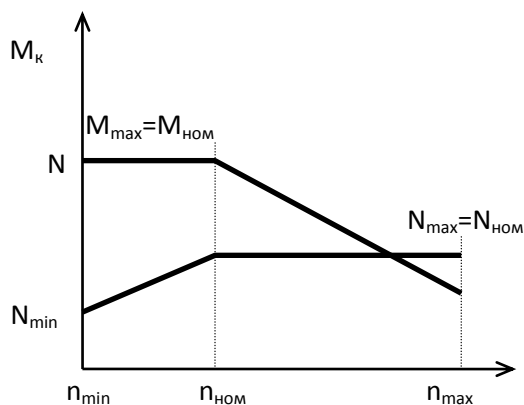


Рис. 7 Схема установки опор ходового винта

Разновидностью передачи винт-гайка являются **РВП — роликовая винтовая передача**. Она обладает большей грузоподъемностью и жесткостью, чем ШВП. РВП высокоточные и применяются в прецизионных станках класса С. Конструкции сложнее в изготовлении, чем ШВП и, соответственно, более дорогие.

### 3 Виды применяемых электродвигателей

Особенностью приводов подач металлорежущих станков, повышающей качество, точность и производительность обработки, является **независимость частоты вращения от вращающего момента и момента сопротивления**. Регулирование скорости подачи осуществляется при постоянном максимально допустимом моменте  $M$ .



Зоны работы регулируемого электродвигателя

Поэтому в основу выбора электродвигателя положена не мощность, а момент сил сопротивления в механизме подачи. Величину этого момента определяют по составляющим сил резания с учетом момента трения.

К приводу подач предъявляются также требования по возможности создания больших ускорений, значительного диапазона регулирования частоты вращения при высокой равномерности, особенно при малых частотах. Вышеперечисленным требованиям удовлетворяют специальные двигатели постоянного тока – высокомоментные серии ПБВ, с возбуждением от постоянных магнитов или серии 2П, ПБС с электромагнитным возбуждением. В малых станках применяются малоинерционные двигатели серии ПТГ, а также шаговые электродвигатели ЩД.

#### **4 Муфты в приводах подач станков с ЧПУ**

Следующими элементами кинематических цепей приводов подач, оказывающим влияние на точность их работы, являются муфты. В станках с ЧПУ применяются следующие типы муфт.

1. Муфты с коническими кольцами. Достоинством, которых является возможность выборки зазоров. Недостаток – необходимость точного предварительного центрирования валов.
2. Сильфонные муфты. Изготавливают из гофрированных металлических оболочек.
3. Дисковые муфты.

#### **5 Датчики обратной связи**

Для обеспечения необходимой точности обработки деталей на станках с ЧПУ необходимо задать программой траектории движения инструмента и контролировать ее в течение всей обработки. Для этого в конструкциях станков предусмотрены устройства обратной связи, контролирующие выполнение рабочими органами заданной траектории движения.

Требования по точности, предъявляемые к ДОС, в среднем на порядок выше точности приводов, на которых они установлены.

Разрешающая способность датчиков для станков классов точности:

Н и П – 1 мкм; А – 0,2 мкм;

В – 0,5 мкм; С – 0,1 мкм.

К ДОС относится датчик скорости (тахогенератор), представляющий собой небольшой генератор постоянного тока, величина которого зависит от частоты вращения вала тахогенератора.

Датчик обратной связи, наличие которого характеризует замкнутость системы, можно устанавливать в различных местах кинематической цепи привода. На рис. 8 рассмотрены три варианта установки ДОС.

Наиболее простое конструктивное решение, когда ДОС и тахогенератор установлены на роторе двигателя привода подачи и их сигналы прямо пропорциональны углу поворота ротора (Рис. 8, а).

Все три варианта установки ДОС не равноценны с точки зрения достижения точности. В варианте, приведенном на рис. 8, а, ошибки перемещения рабочего органа включают в себя погрешности кинематической цепи от двигателя до рабочего органа.

В варианте, приведенном на рис. 8, б, при определении точности перемещения рабочего органа исключено влияние тахогенератора, погрешности редуктора, а также погрешности от скручивания винта. Наиболее точным является вариант, приведенный на рис. 8, в, когда ДОС установлен непосредственно на рабочем органе.

|

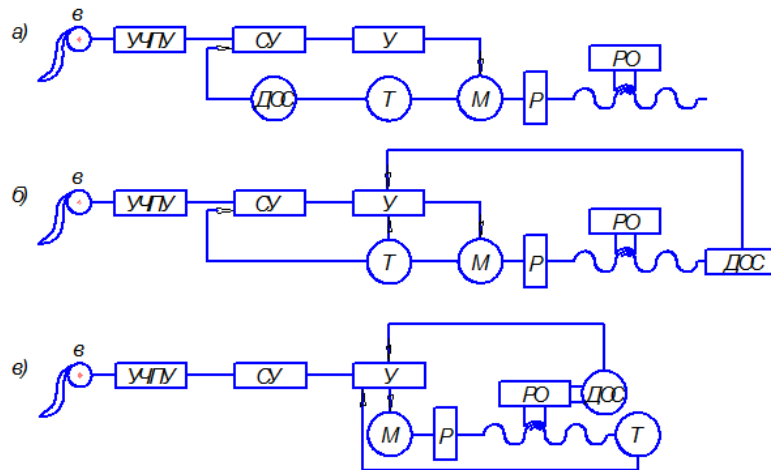


Рис. 8-8 Блок схемы приводов подач станков с ЧПУ:

а) с одним потоком информации; б) с двумя потоками информации;

в) с тремя потоками информации

В – устройство ввода; УЧПУ – устройство ЧПУ;

СУ – сравнивающее устройство; У – усилитель; РО – рабочий исполнительный орган; ДСС – датчик обратной связи; Т – тахогенератор; М – электродвигатель;

Р – редуктор; В – ходовой винт

## 6 Задание. Выполнить кинематический расчет привода подач

### 6.1 Токарные обрабатывающие центры

Исходные данные: диапазон продольных подач  $S_{\min} \dots S_{\max}$ , мм/об.

Предварительные варианты кинематической схемы привода представлены на рис.9, 10.

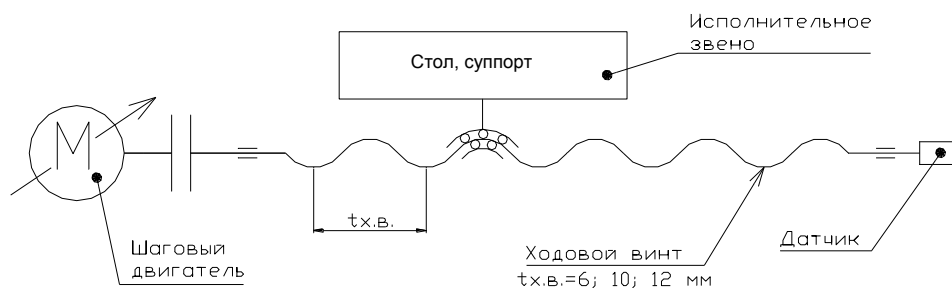


Рис. 9 Схема привода продольных подач

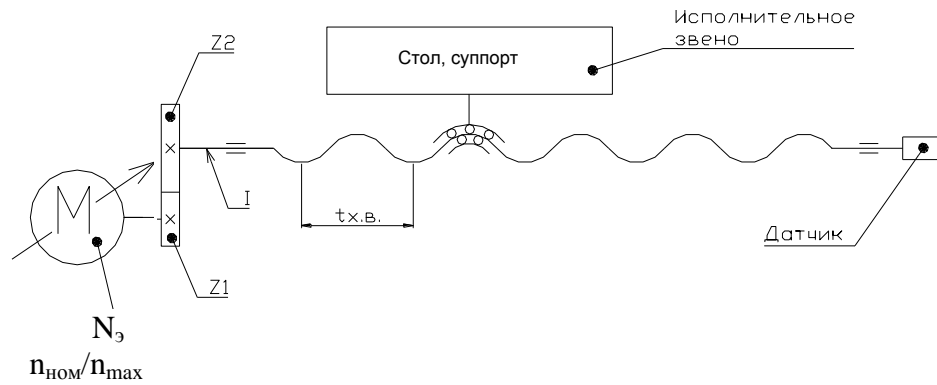


Рис. 10 Схема привода продольных подач с постоянной зубчатой передачей (редуктором)

3) Расчетные перемещения конечных звеньев:

$$S \rightarrow n_{\text{шпинделя}}$$

4) Уравнение кинематического баланса:

$$S_{\min} = \frac{n_{\text{э/дв min}} \cdot u_{\text{цепи}} \cdot t_{\text{х.в.}}}{n_{\min \text{ шп}}};$$

$$S_{\max} = \frac{n_{\max \text{ э/д}} \cdot u_{\text{цепи}} \cdot t_{\text{х.в.}}}{n_{\max \text{ шп}}}.$$

Определяем значения частот вращения вала двигателя при получении диапазона подач от  $S_{\min}$  до  $S_{\max}$ :

$$n_{\min} = \frac{S_{\min} \cdot n_{\min \text{ шп}}}{u_{\text{цепи}} \cdot t_{\text{х.в.}}} \geq [n]_{\min} = 0.2 \text{ мин}^{-1}$$

$$n_{\max \text{ эд}} = \frac{S_{\max} \cdot n_{\max}}{U_{\text{цепи}} \cdot t_{\text{х.в.}}}$$

1) Строим график чисел подач или в зависимости от принятого кинематического варианта привода подач (Рис. 11).

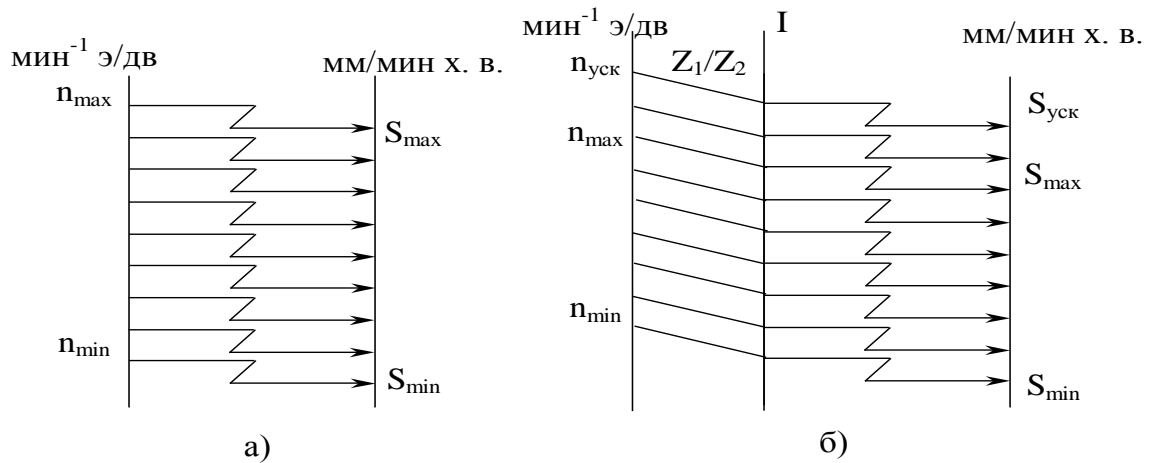


Рис.11 Варианты графика чисел продольных подач:

*a* – для рис.9; *б* – для рис. 10

б) Выбираем тип двигателя (см. приложение 1).

Для выбора двигателя необходимо рассчитать крутящий момент по мощности привода подач  $N_s$ . Ориентировочно принимают  $N_s = (0,25 \dots 0,35)N_v$ . Здесь  $N_v$  – мощность привода главного движения.

$$M_{k_i} = 9740 \cdot \frac{N_{\text{эд}}}{n_{p_i}} \quad (\text{Н} \cdot \text{м}),$$

где  $n_{p_i}$  – расчетная частота вращения вала двигателя по расчету и на ГЧВ -  $n_{\min}$ ,  $n_{\max}$ .

## 6.2 Фрезерные центры

Исходные данные: диапазон продольных подач стола  $S_{\min} \dots S_{\max}$ , мм/мин.; ускоренная подача стола  $S_{\text{уск}}$ , мм/мин.

Составляем кинематическую схему привода подач стола без применения постоянной передачи и строим график (Рис. 12):

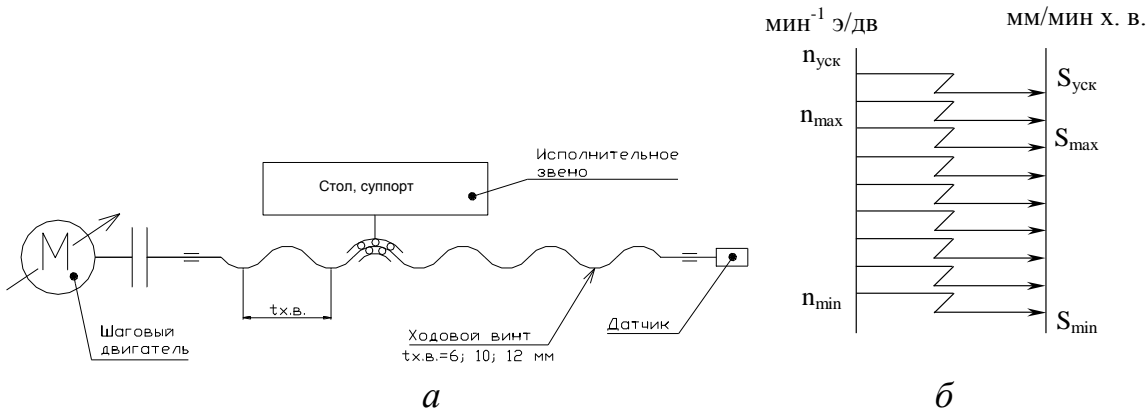


Рис. 12 Кинематическая схема привода подач стола

без применения постоянной передачи (а) и график чисел подач(б)

Составляем кинематическую схему привода подач стола с постоянной передачей и строим график (Рис. 13):

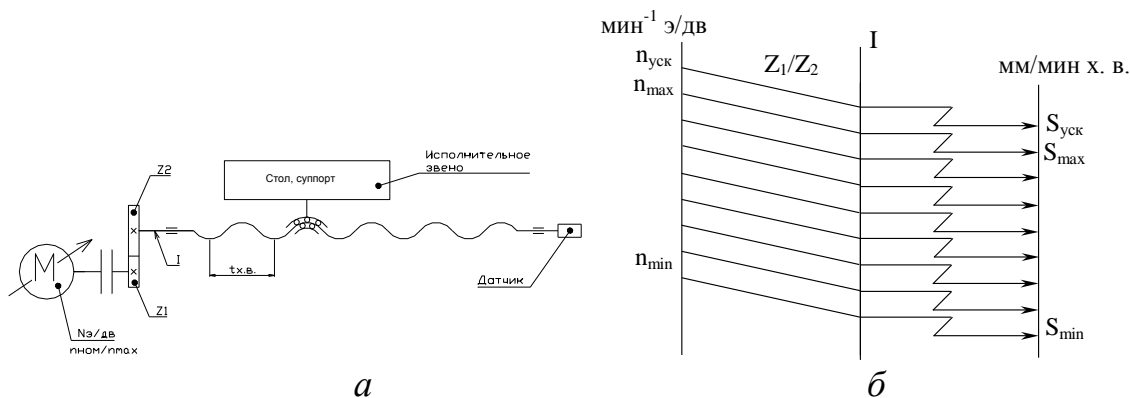


Рис. 13 Кинематическая схема привода подач стола с постоянной передачей (а) и график чисел подач(б)

Определяем расчётные перемещения конечных звеньев:

$$S \rightarrow n_{\text{э/дв}}$$

Составляем уравнение кинематического баланса:

$$S_{\min} = n_{\text{э/дв}\min} \cdot U_{\text{цепи}} \cdot t_{\text{x.b.}} \left[ \frac{\text{мм}}{\text{мин}} \right]$$

$$S_{\max} = n_{\text{э/дв}\max} \cdot U_{\text{цепи}} \cdot t_{\text{x.b.}} \left[ \frac{\text{мм}}{\text{мин}} \right]$$

Определяем значения частот вращения вала двигателя при получении диапазона подач от  $S_{\min}$  до  $S_{\max}$ :

$$n_{\min} = \frac{S_{\min}}{U_{\text{цепи}} \cdot t_{\text{x.b.}}}$$

$$n_{\max} = \frac{S_{\max}}{U_{\text{цепи}} \cdot t_{\text{x.b.}}}$$

Если в цепи не используется постоянная передача (см. рис. 12), то

$$U_{\text{цепи}} = 1; \text{ если используется (см. рис. 13), то } U_{\text{цепи}} = \frac{Z_1}{Z_2} \text{ и}$$

$$n_{\min} = \frac{S_{\min}}{\frac{z_1}{z_2} \cdot t_{\text{x.b.}}} \quad n_{\max} = \frac{S_{\max}}{\frac{z_1}{z_2} \cdot t_{\text{x.b.}}}$$

Назначаем  $t_{\text{x.b.}} = 10$  мм; подбираем передаточное отношение  $z_1/z_2$  так, чтобы  $n_{\min} \geq [n]_{\min} = 0,2 \text{ мин}^{-1}$ .

Для ускоренной подачи рассчитываем частоту вращения вала двигателя:

$$n_{\text{уск}} = \frac{S_{\text{уск}}}{U_{\text{цепи}} \cdot t_{\text{x.b.}}}$$

4) Уточняем график чисел подач и проставляем найденные значения.

5) Выбираем тип двигателя (см. приложение 1).

Для выбора двигателя необходимо рассчитать крутящий момент по мощности привода подач  $N_s$ . Ориентировочно принимают  $N_s = (0,35 \dots 0,45) N_v$ . Здесь  $N_v$  – мощность привода главного движения.

$$M_{k_i} = 9740 \cdot \frac{N_{\text{эд}}}{n_{p_i}} \text{ (Н} \cdot \text{м)},$$

где  $n_{p_i}$  – расчетная частота вращения вала двигателя по расчету и на ГЧВ -  $n_{\min}, n_{\max}$ .

### **6.3 Сверлильно-расточные центры. Обработка отверстий (сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание, растачивание)**

Исходные данные: осевая подача  $S_{\min} \dots S_{\max}$ , мм/об.

Предварительно строим кинематическую схему привода подач (Рис. 14):



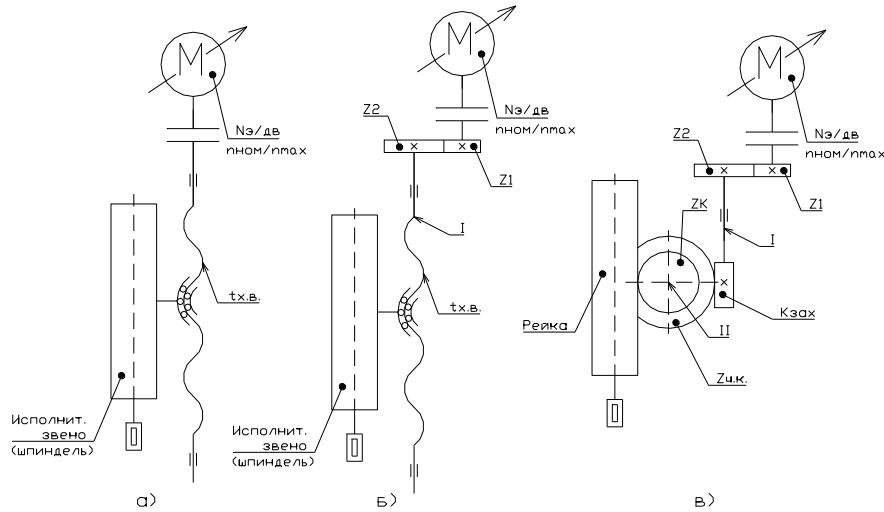


Рис. 14 Варианты привода осевой подачи:

- а – с передачей винт – гайка (ШВП);
- б – с постоянной зубчатой передачей и ШВП
- в - с зубчатой, червячной и реечной передачей

Графики чисел подач (Рис. 15)

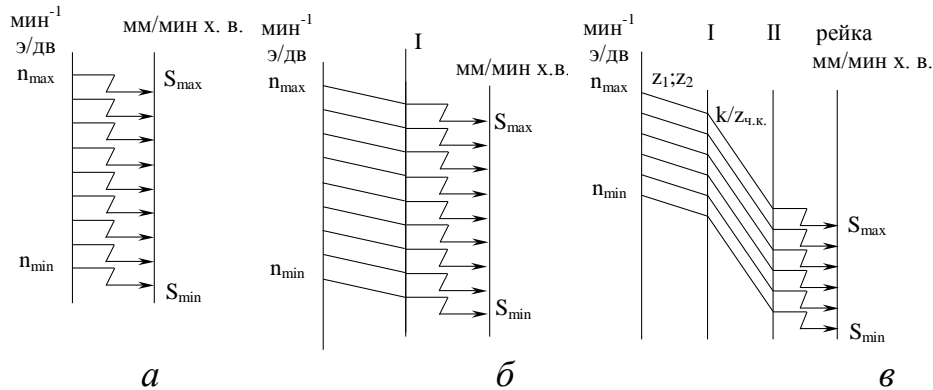


Рис. 15 Графики чисел подач:

- а – с передачей винт – гайка (ШВП);
- б – с постоянной зубчатой передачей и ШВП;
- в – с зубчатой, червячной и реечной передачей.

Для схемы, представленной на рис. 15, в проводим расчет следующим образом:

$$s_{\min} = \frac{n_{\text{э/дв}} \cdot U_{\text{цети}}}{n_{\text{ун}} \cdot \min} = \frac{n_{\text{э/дв}} \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{k}{z_{\text{ч.к}}} \cdot \pi \cdot m \cdot z}{n_{\text{ун}} \cdot \min}$$

$$s_{\max} = \frac{n_{\text{э/д}} \cdot U_{\text{цети}}}{n_{\text{шн}} \cdot \max}.$$

Откуда:

$$n_{\text{э/д}} \cdot \min = \frac{s_{\min} \cdot n_{\text{шн}} \cdot \min}{\frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{k}{z_{r.k}} \cdot \pi \cdot m \cdot z_k} \geq 0.2 \cdot \text{мин}^{-1}$$

$$n_{\text{э/д}} \cdot \max = \frac{s_{\max} \cdot n_{\text{шн}} \cdot \max}{\frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{k}{z_{r.k}} \cdot \pi \cdot m \cdot z_k}.$$

Назначаем передаточное отношение зубчатой цилиндрической прямозубой передачи  $U_1 = \frac{z_1}{z_2}$ , учитывая, что  $\frac{1}{4} \leq U_1 \leq 2$ ;

передаточное отношение червячной передачи  $U_2 = \frac{k}{z_{r.k}}$ , учитывая, что

$$\frac{1}{64} \leq U_2 \leq \frac{1}{20},$$

при числе заходов червяка  $k=1$ ;

модуль рейки  $m = 2 \dots 3$  мм;

число зубьев реечного колеса  $z_k = 10 \dots 16$ .

Выбираем тип двигателя (см. приложение 1).

Для выбора двигателя необходимо рассчитать крутящий момент по мощности привода  $N_s$ . Ориентировочно принимают  $N_s = (0,25 \dots 0,35) N_v$ . Здесь  $N_v$  – мощность привода главного движения.

$$M_{k_i} = 9740 \cdot \frac{N_{\text{эд}}}{n_{p_i}} \quad (\text{Н} \cdot \text{м}),$$

где  $n_{p_i}$  – расчетная частота вращения вала двигателя по расчету и на ГЧВ -  $n_{\min}$ ,  $n_{\max}$ .

### Библиографический список

1. Компоновка металлообрабатывающих станков и проектирование приводов: методическое пособие по выполнению курсового и дипломного проектов, практических и лабораторных заданий/Юго-Зап. гос.ун-т; сост.: Е.И.Яцун. Курск, 2013. 108 с.: ил.37, табл.13 , прилож 4. Библиогр. 17: с.90.
2. Технологическое оборудование машиностроительных производств [Текст]: учебное пособие / А. Г. Схиртладзе, Т. Н. Иванова, В. П. Борискин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Старый Оскол : ТНТ, 2009. - 708 с.
3. Станочное оборудование автоматизированного производства. Под ред. В.В. Бушуева. - М.: изд-во "Станкин", 1994.- 656с.
4. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем. Т 1, 2, 3. Под ред. А.С. Проникова.- М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1994.

**Приложение. Технические характеристики электродвигателей  
постоянного тока**

Технические характеристики электродвигателей постоянного тока серии ПБС,  
ПБСТ

Тип двигателя	$N_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$n_{\text{ном}}, \text{мин}^{-1}$	$n_{\text{мах}}, \text{мин}^{-1}$	$M_{\text{ном}}, \text{Н}\cdot\text{м}$
ПБС22, ПБСТ22	0,4	1000	2500	3,9
	0,6	1500	3750	3,9
	0,85	2200	4000	3,8
	1,0	3000	4000	3,24
ПБС23, ПБСТ23	0,55	1000	2500	5,37
	0,85	1500	3750	5,52
	1,15	2200	4000	5,10
	1,3	3000	4000	4,23
ПБС32, ПБСТ32	0,8	1000	2500	7,8
	1,2	1500	3750	7,8
	1,5	2200	4000	6,64
	1,75	3000	4000	5,5
	1,0	1000	3000	9,75
ПБС33, ПБСТ33	1,6	1500	3750	10,40
	2,1	2200	4000	9,30
	2,35	3000	4000	7,60
ПБС42, ПБСТ42	1,4	1000	3000	13,60
	2,1	1500	3750	13,60
	2,9	2200	4000	12,80
	3,4	3000	4000	11,0
ПБС43, ПБСТ43	1,9	1000	3000	18,50
	2,8	1500	3750	16,30
	3,8	2200	4000	16,80
	4,3	3000	4000	14,0
ПБС52, ПБСТ52	2,5	1000	3000	24,40
	4,1	1500	3600	26,60
	5,5	2200	3600	24,40
	6,5	3000	3600	21,20
ПБС53, ПБСТ53	3,3	1000	3000	32,20
	4,8	1500	3600	31,20
	6,3	2200	3600	28,0
	8,0	3000	3600	26,0
ПБС62, ПБСТ62	4,7	1000	3000	46,80
	7,2	1500	3600	46,30
	10,0	2200	3600	44,40
	11,3	3000	3600	36,60
ПБС63, ПБСТ63	5,4	1000	3000	52,70
	7,8	1500	3600	50,60
	11,0	2200	3600	48,70
	12,0	3000	3600	44,0

Технические характеристики малоинерционных электродвигателей,  
постоянного тока серии ПГТ

Тип двигателя	$N_{\text{ном}}$ , кВт	$M_{\text{ном}}$ , Н·м	$M_{\text{max}}$ , Н·м	$I_{\text{ном}}$ , А	$I_{\text{max}}$ , А	$e^*$ , рад/с <sup>2</sup>	$J$ , кг·м <sup>2</sup>	$U_{\text{ном}}$ , В
ПГТ-1	1	3,6	25,2	20,4	163	26300	0,00075	60
ПГТ-2	2	6,3	44	21,2	169	20970	0,00205	110
ПГТ-4	4	12,5	85	21,0	168	11971	0,00710	220
ПГТ-6	6	19,2	135	30,7	246	10000	0,01350	220
ПГТ-9	9	28,8	200	46,3	370	8120	0,02450	220

\*Угловое ускорение.

Примечание:  $n_{\text{ном}}=3000\text{мин}^{-1}$ ,  $n_{\text{max}}=5000\text{мин}^{-1}$ .

Технические характеристики высокомоментных электродвигателей серии ПВ

Тип двигателя	$N_{\text{ном}}$ , кВт	$M_{\text{ном}}$	$M_{\text{max}}$	$I$ ,А	$U$ ,В	$n_{\text{ном}}$	$n_{\text{max}}$	$J$ , кг·м <sup>2</sup>	Масса, кг	$l_{30}$ , мм
		Н·м				мин <sup>-1</sup>				
ПВВ100М	0,75	7,16	70	18,00	52,0	1000	2000	0,010	29	476
ПВВ100	1,10	10,50	100	24,00	56,0	1000	2000	0,013	35	536
ПВВ112	1,10	14,00	130	31,50	44,0	750	2000	0,035	45	515
ПВВ112М	1,10	17,50	170	29,00	47,0	600	2000	0,042	51	555
ПВВ112	1,10	21,00	210	28,00	50,0	500	2000	0,049	57	595
ПВВ132М	2,20	35,00	350	50,00	53,0	600	2000	0,188	88	652
ПВВ132	3,00	47,70	470	50,00	70,0	600	2000	0,238	105	722
ПВВ160М	4,00	76,40	490	78,50	66,0	500	1000	0,242	168	786
ПВВ160	5,50	105,00	510	90,00	78,5	500	1000	0,298	182	841
ПФВ160	7,50	143,20	490	182,00	58,0	500	1000	0,194	162	731
ПФВ160М	11,00	175,00	510	180,00	82,0	600	1000	0,242	176	786

\*Постоянная времени механического движения.

Технические характеристики высокомоментных электродвигателей серии ДПУ, ДК1 и 2ПВВ

Тип двигателя	$N_{\text{ном}}$ , кВт	$M_{\text{ном}}$	$M_{\text{max}}$	$n_{\text{ном}}$	$n_{\text{max}}$	$U$ ,В	$I$ ,А	$J$ , кг·м <sup>2</sup>	Масса, кг	$l_{30}$ , мм
		Н·м		мин <sup>-1</sup>						
ДПУ87-75-1-23	0,075	0,7	3,15	1000	2000	23	4,5	$0,21 \cdot 10^{-4}$	3,2	205
ДПУ127-220-1-30	0,0220	2,1	19,0	1000	2000	30	11	$2,8 \cdot 10^{-4}$	12	294
ДПУ127-450-2-57	0,450	4,3	38,70	1000	2000	57	11	$4,9 \cdot 10^{-4}$	16	359
ДК1-1,7-100АТ	0,180	1,7	11,80	1000	2000	36	8	$2,1 \cdot 10^{-4}$	15,4	205
ДК1-2,3-100АТ	0,240	2,3	14,10	1000	2000	48	7,5	$2,7 \cdot 10^{-4}$	18	328
Ж1-3,5-100АТ	0,370	3,5	24,50	1000	2000	60	7,5	$2,85 \cdot 10^{-4}$	20	361
ДК1-5,2-100АТ	0,550	5,2	38,20	1000	2000	110	6,5	$3,9 \cdot 10^{-4}$	25,8	427
2ПВВ100М	—	7,5	70	—	2500	—	20	0,0094	24,8	574
2ПВВ100	—	11,0	100	—	2000	—	25	0,0130	28,8	634
2ПВВ112	—	15,0	130	—	2000	—	28	0,0340	39,8	601
2ПВВ112М	—	18,5	170	—	2000	—	35	0,0420	45,8	641
2ПВВ112	—	22,0	210	—	2000	—	32	0,0560	51,8	681
2ПВВ132	—	37,0	350	—	2000	—	54	0,1740	73,3	707

\*Постоянная времени ЭВМГ.

Технические характеристики четырехфазных  
шаговых электродвигателей с активным ротором

Тип двигателя	$\alpha$ , шаг, °	$M_{\text{ном}}$ , Н·м	U, В	I, А	Приемистость $f_p$ , шаг/с		$J_{\text{ном}} \cdot 10^7$ , кг·м <sup>2</sup>	Статический момент, Н·м	
					номи- наль- ная	макси- маль- ная		макси- маль- ный	номи- нальный
ДШ-0,025А	22,5	0,0025	27	0,8	280	330	2,45	0,02	—
ДШ-0,04А	22,5	0,004	27	0,9	280	330	3,43	0,03	—
ДШ-0,04В	22,5	0,004	27	0,85	280	330	3,43	0,027	—
ДШ-0,1А	22,5	0,01	27	1,5	180	230	18,6	0,08	—
ДШ-0,1В	22,5	0,01	27	1,45	180	230	18,6	0,075	—
ДШ-0,25А	22,5	0,025	27	2,0	130	160	56,4	0,13	—
ДШ-0,4А	22,5	0,04	27	3,2	110	140	123	0,21	—
ДШ-1А	22,5	0,1	27	7,0	70	90	412	0,6	—
ДШ-4А	18	0,4	27	8,2	50	70	1370	1,6	—
ДШ-6А	18	0,6	27	10,0	30	50	3900	2,1	—
ШДА-1	22,5	0,004	28	0,35	30	—	30	0,01	—
ШДА-1А	22,5	0,004	14	0,65	50	—	30	0,015	—
ШДА-1ФК	22,5	0,003	28	0,4	50	—	10	0,012	0,002
ШДА-2А	22,5	0,011	14	1	50	—	30	0,026	—
ШДА-2АМ	22,5	0,01	14	1,1	50	—	30	0,025	—
ШДА-2ФК	22,5	0,006	27	0,5	125	—	10	0,02	0,004
ШДА-3	22,5	0,023	29	1,1	100	—	20	0,07	—
ШДА-3А	22,5	0,028	14	1,6	32	—	300	0,07	—
ШДА-3Ф	22,5	0,012	29	1,1	100	—	20	0,06	0,008
ШДА-3ФМ	22,5	0,02	27	1,3	100	—	10	0,06	0,012
ШДА-4А	22,5	0,06	14	2,8	50	—	35	0,16	—
ШДА-5А	22,5	0,1	14	3,9	50	—	65	0,28	—
ШДА-5Ф	22,5	0,09	27	2,5	20	—	65	0,25	0,01
ШДА-6	22,5	0,16	28	3	50	—	50	0,41	—
ШДА-6А	22,5	0,16	14	5,8	50	—	100	0,41	—
ШДА-7А	22,5	0,25	27	7	70	—	150	0,6	—
ШДМ-2Ф	22,5	0,007	—	0,5	100	220	3	0,032	0,003
ШДМ-7Ф	22,5	0,12	27	2,65	40	70	100	0,5	0,04
ШДМ-7ФА	22,5	0,06	—	2,65	70	115	100	0,4	—
ДШ34-0,0025-22,5	22,5	0,0025	—	0,3	300	450	0,4	0,012	—
ДШ40-0,006-22,5	22,5	0,006	—	2,5	430	650	1	0,028	8
ДШ40-0,01-22,5	22,5	0,01	—	2,5	430	650	1	0,028	—
ДШ48-0,025-22,5	22,5	0,025	27	3,7	340	500	4	0,075	—
ДШ80-0,16-22,5	22,5	0,16	—	6,4	230	630	100	0,4	—

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра машиностроительных технологий и оборудования

**ШПИНДЕЛЬНЫЕ УЗЛЫ СТАНКОВ. ОПОРЫ ШПИНДЕЛЕЙ**

методические указания для самостоятельной работы и практических занятий  
для студентов направления 15.03.05 Конструкторско-технологическое  
обеспечение машиностроительных производств

Курск 2017

УДК 621.(076.1)

Составитель: Е.И.Яцун

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *Малыхин В.В.*

**Шпиндельные узлы станков. Опоры шпинделей:** методические указания для самостоятельной работы и практических занятий/Юго-Зап. гос.ун-т; сост.: Е.И.Яцун, И.М.Смирнов. -Курск, 2017. 24 с.: ил.7, табл.5. Прилож. 2. Библиогр.3: с. 18.

Содержат сведения об основных требованиях к шпиндельным узлам металлообрабатывающих станков; об опорах шпинделя, выборе типа опор по скоростному фактору. Приведены схемы опор шпинделя и конструкции шпиндельных узлов. Даны варианты заданий для выбора конструкции шпиндельных узлов.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением по специальностям автоматизированного машиностроительного производства (УМО АМ).

Предназначены для студентов направления «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. Формат 60x84 1/16  
Усл.печ.л. \_\_\_\_.. Уч.-изд.л. \_\_\_\_.. Тираж 100 экз. Заказ \_\_\_\_.. Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040 г. Курск, ул.50 Лет Октября, 94.



**СОДЕРЖАНИЕ**

	<b>Стр.</b>
<b>СОДЕРЖАНИЕ</b>	<b>3</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>4</b>
<b>1 КОНСТРУКЦИЯ ШПИНДЕЛЯ</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Точность и быстроходность шпиндельных узлов</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Нагрузочная способность и статическая жесткость шпинделей</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Динамические характеристики шпиндельного узла</b>	<b>9</b>
<b>1.4 Методы смазывания</b>	<b>10</b>
<b>2 ВЫБОР ОПОР ШПИНДЕЛЕЙ</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Выбор типа опор в зависимости от основных параметров шпиндельного узла</b>	<b>12</b>
<b>Контрольные вопросы</b>	
<b>ЗАДАНИЕ</b>	<b>18</b>
<b>Библиографический список</b>	<b>18</b>
	<b>19</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ. Варианты заданий</b>	
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Технические требования</b>	<b>23</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Шпиндельные узлы** предназначены для осуществления точного вращения инструмента или обрабатываемой детали. Они входят в базовую группу узлов станка и в значительной мере определяют его жесткость и виброустойчивость.

К шпиндельным узлам станков предъявляют следующие основные требования:

точность вращения, определяемая радиальным, осевым и торцевым биением переднего конца шпинделя;

жесткость, характеризуемая величиной упругих деформаций шпинделя под действием сил, возникающих при обработке;

виброустойчивость – это требование предъявляется особенно к шпинделям скоростных станков при выполнении отделочных операций;

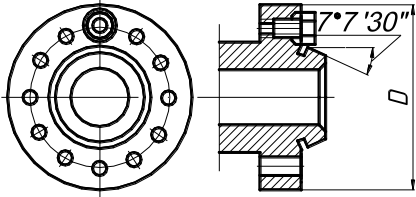
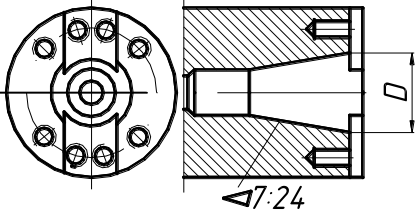
износостойкость трущихся опорных поверхностей при опорах скольжения и при продольном перемещении шпинделя (например, на сверлильных и расточных станках).

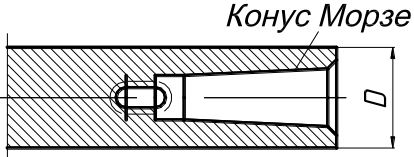
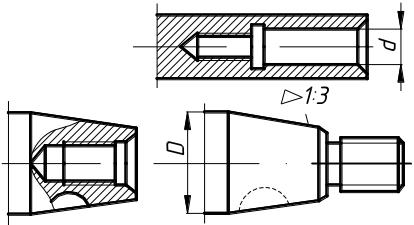
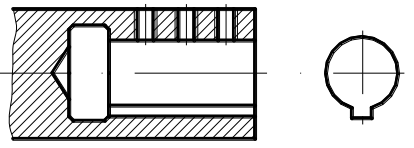
## 1 КОНСТРУКЦИЯ ШПИНДЕЛЯ

Шпиндели изготавливают в виде полых или цельных валов, и их конструктивное оформление зависит от способа крепления инструмента или обрабатываемой детали на его переднем конце. Передние концы шпинделей для большинства типов станков стандартизованы (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Основные типы концов шпинделей

Конструктивное исполнение	Область применения
	Токарные, токарно-револьверные, шлифовальные и др. станки
	Фрезерные

	Сверлильные и расточные
	Шлифовальные
	Агрегатные

Центрирование обеспечивается конусным сопряжением типа конуса Морзе при сравнительно редкой ручной смене инструмента, конусами 7/24 при автоматической смене инструмента в станках с программным управлением и конусами 1/3 в шлифовальных станках для центрирования абразивного инструмента.

В качестве материала для шпинделей станков в зависимости от конструкции шпиндельного узла и точности станков применяют стали 50, 40X, 20X 12ХН3А, 38ХМЮП и др., подвергаемые соответствующей термической обработке (цементации, азотированию, закалке, отпуску).

### 1.1.1 Материал шпинделей

В качестве материалов шпинделей станков нормальной точности применяют конструкционные стали 45, 50, 40X с поверхностной закалкой (обычно закалка с нагревом ТВЧ) до твердости HRC<sub>3</sub> 48-56. Шпиндели сложной формы изготавливают из сталей 50X, 40ХГР и применяют объемную закалку до HRC<sub>3</sub> 56-60. Для прецизионных станков в условиях жидкостной смазки применяют низкоуглеродные стали 20X, 18ХГГ, 12ХН3А с цементацией и закалкой до твердости HRC<sub>3</sub> 56-60. Для слабонагруженных шпинделей высокоточных станков для уменьшения внутренних деформаций применяют азотируемые стали 38Х2МЮА, 38ХВФЮА с закалкой до твердости HRC<sub>3</sub> 63-68.

Для изготовления полых шпинделей большого диаметра иногда применяют серый чугун СЧ 20.

### 1.1 Точность и быстроходность шпиндельных узлов

В настоящее время скорость резания заготовок из стали и чугуна достигает 1600...2500 м/мин., алюминия - 3000...4000 м/мин., а пластиков - 3000... 10 000 м/мин. Скорость шлифования выросла до 100 м/с и более. Быстроходность оценивается по параметру  $n \cdot d$ , где  $d$  - диаметр под шейку переднего подшипника, мм, а  $n$  — частота вращения ( $\text{мин}^{-1}$ ). Для различных опор этот показатель имеет следующие значения, мм/мин/:

- $2,5 \cdot 10^6$  для шпинделей на подшипниках качения;
- $1,8 \cdot 10^6$  на гидростатических опорах (ограничен потерями мощности);
- $3 \cdot 10^6$  на аэростатических подшипниках (ограничен потерей устойчивости);
- $6 \cdot 10^6$  на электромагнитных опорах (ограничен механической прочностью материала шпинделя).

Точность и быстроходность шпиндельных узлов на разных опорах

Тип опор	Радиальное и осевое биение шпинделя, мкм	Отклонение от круглости обработанного изделия, мкм	Скоростной параметр $(dn)_{\max} \cdot 10^{-5}$ , мм · мин <sup>-1</sup>
Качения	1,00	1,0	0-10
Гидродинамические	0,50	0,5	1-10
Гидростатические	0,05	0,2	0-15
Аэростатические	0,10	0,5	5-40

*Точность* характеризуется радиальным, осевым и торцовым биением шпинделя и для средних станков составляет 5...8 мкм. Подшипники выбираются примерно в 3 раза точнее, чем допустимое биение. Наиболее точные станки имеют биение 0,1...0,02 мкм.

Учитывая эти параметры, а также то, что подшипники качения имеют меньшую стоимость при централизованном изготовлении и просты в эксплуатации, в настоящее время более 95% станков изготавливают со шпиндельными узлами на подшипниках качения.

В шпинделях станков для обеспечения высокой грузоподъемности, точности вращения, повышенной жесткости и минимальных выделений теплоты, как правило, применяют подшипники качения специальных конструкций. Для восприятия радиальных нагрузок широко используют двухрядные подшипники 3182100 с цилиндрическими роликами. Два ряда точных роликов, расположенных

в шахматном порядке, обеспечивают грузоподъемность и жесткость подшипника при высокой точности вращения.

Для шпинделей также практически применяют все основные типы подшипников качения: шариковые радиальные и радиально-упорные, роликовые с коническими и цилиндрическими роликами и др. В качестве характеристики работоспособности шпиндельных опор качения можно принять следующие показатели:

$$K_1 = \frac{N}{D}, \text{ Вт} \cdot \text{мм}^{-1}; K_2 = 10^{-5} D n_{\max}, \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1};$$

$$K_3 = \frac{N}{d_k}, \text{ Вт} \cdot \text{мм}^{-1}; K_4 = 10^{-5} d n_{\max}, \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1},$$

где  $N$  – мощность привода;  $n_{\max}$  – наибольшая частота вращения шпинделя;  $D$  – максимальный диаметр обрабатываемой детали;  $d_k$  – диаметр шпинделя в передней опоре.

Здесь показатели  $K_1$  и  $K_3$  характеризуют среднюю нагруженность шпиндельных узлов станка, а  $K_2$  и  $K_4$  – их быстроходность. Развитие конструкций шпиндельных узлов характеризуется возрастанием указанных показателей. Это связано с применением специальных типов подшипников качения, основные из которых показаны на рис. 1. Шарикоподшипник упорно-радиальный двухрядный с углом контакта  $60^\circ$  (рис. 1, а) предназначен для восприятия осевой нагрузки.

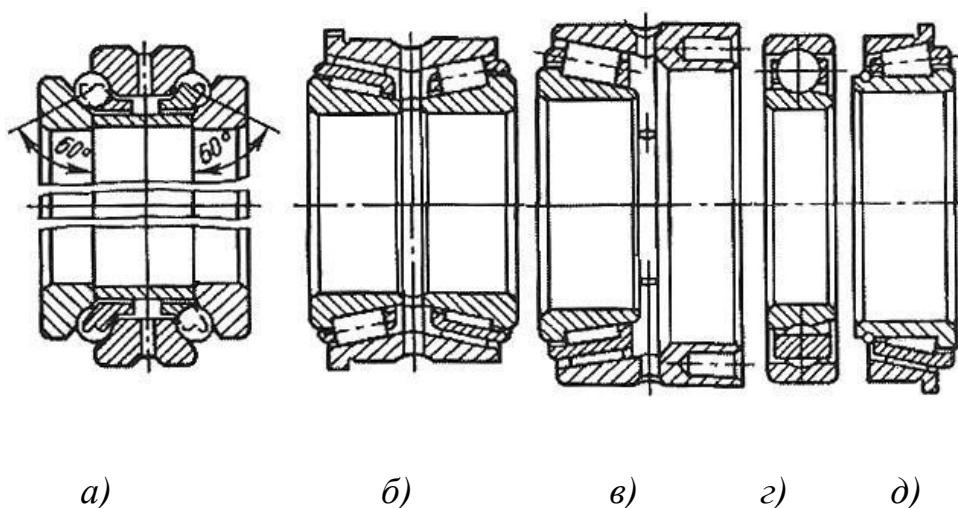


Рис. 1 Шарикоподшипники

## 1.2 Нагрузочная способность и статическая жесткость шпинделей

*Нагрузочная способность* определяет передаваемый крутящий момент или мощность привода  $P$ .

Для токарных и фрезерных станков  $P/d \approx 0,2...0,35$  кВт/мм, для электрошпинделей на опорах качения, гидростатических и аэростатических этот показатель составляет соответственно  $P/d = 0,75; 0,3...0,8; 0,4$ .

**Статическая жесткость.** Необходимо стремиться к максимально возможной жесткости исходя из особенностей конструкции. Баланс упругих перемещений конца шпинделя токарных станков на подшипниках качения составляет:

- деформация передней и задней опор соответственно 40...50 % и 2...3 %;
- деформация консольной части шпинделя 15...20 %;
- деформация межопорного участка 30...40 %.

На долю упругих перемещений устройств, крепления инструмента или детали приходится 30...50 % общей деформации. Например, на токарном станке со шпинделем диаметром  $d$  — 110 мм деформация распределялась следующим образом: 16 % шпиндель; 28 % опора; 36 % кулачковый патрон. Деформация шпиндельного узла многоцелевого станка с диаметром шпинделя 80 мм распределялась: 37 % шпинделя с опорами; 11 % оправки; 52 % конического соединения шпинделя с оправкой.

Статическая жесткость значительно зависит от диаметра  $d$  шпинделя (в четвертой степени), длины консоли конца шпинделя (в третьей степени) и мало зависит от расстояния между опорами, причем увеличение расстояния между опорами сверх оптимального значения лучше, чем его уменьшение. Назначение размеров шпинделя (диаметров, длины переднего конца) производится с учетом силовых и скоростных характеристик станка.

Статистические данные позволяют практически однозначно связать размеры переднего конца с основным размером станка. Принятые соотношения диаметра шпинделя и основного размера станка приведены ниже:

### *Токарные станки*

Наибольший диаметр обработки, мм .....	125	160	200	250	315	400
Максимальный диаметр шпинделя $D$ , мм (см. рис. 3.15) .....	92	108	133	165	210	280

### *Фрезерные станки*

Ширина стола, мм .....	100...125	160...200	250...320	400...500
Номер конуса под инструмент .....	30	40	40(50)	40,50
Диаметр шпинделя $d$ , мм (см. рис. 3.17) ...	69,832	88,882	(128,57)	152,4

Для шпиндельных узлов современных токарных, фрезерных, расточных и некоторых шлифовальных станков с ЧПУ отношение передаваемой мощности к радиальной жесткости:

$$\frac{N}{j} = 0,025 \dots 0,035, \text{ кВт} \cdot \text{мм/Н}$$

### 1.3 Динамические характеристики шпиндельного узла

*Динамические характеристики* шпиндельного узла включают частоту собственных колебаний, АФЧХ, динамическую жесткость, форму колебаний на собственной частоте[2-3].

Собственная частота шпинделя должна превышать максимальную частоту вращения не менее чем на 30 %. Большинство шпинделей работают в дорезонансной зоне. Собственную частоту увеличивают, изменяя  $d$ , консоль и расстояние между опорами.

Колебания шпинделя на холостых ходах являются следствием действия центробежных сил, возмущений от подшипников (форма рабочих поверхностей колец и шариков), а также привода (кинематических погрешностей колес, изменения натяжения в ветвях ременной передачи из-за ошибок шкивов и ремней и др.).

Меньший уровень вибрации наблюдается при использовании подшипников более тяжелых серий.

*Энергетические потери* характеризуются моментом трения и мощностью холостого хода и учитываются при выборе опор, при назначении мощности привода.

Следует иметь ввиду, что высокоскоростные шпиндели имеют весьма большие потери мощности на трение при большой частоте вращения. При разгоне с места потери на трение в 1,5-2 раза выше, чем при вращении.

Двухрядный роликоподшипник имеет примерно в 2 раза больше потерь, чем радиально-упорный шариковый.

Потери на трение гидростатических и гидродинамических опор при высоких скоростях (15...20 м/с) превышают потери опор качения.

*Нагрев опор* приводит к изменению натяга в подшипниках, к тепловому смещению конца шпинделя.

Средняя температура опор не должна превышать 50...60 °С. В зависимости от класса точности станка допускается следующая температура опор.

Допустимые значения температуры нагрева наружного кольца подшипника качения в °С

Класс точности станка	Н	П	В	А	С
Допустимая температура нагрева наружного кольца подшипника, °С	70	50	40	35	28

Нагрев опор сильно зависит от смазочного устройства.

#### 1.4 Методы смазывания

Методы смазывания во многом определяют надежность работы шпиндельного узла. Для подшипников качения применяют жидкий либо твердый смазочный материал.

Таблица 2.2

Примерные границы применимости различных методов смазывания по параметру  $(dn)_{\max}$

Смазывание	$(dn)_{\max} \cdot 10^{-5} \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$
Погружением	5,5-8*
Разбрызгиванием	2,2-3,2
Циркуляционное	4,2-6
Капельное	2,8-4
Масляным туманом	5,5-8
Под давлением	7,5-10
* – меньшие значения для тяжелых серий подшипников, большие – для особо легких	

Уплотнения шпиндельных узлов служат для защиты подшипников шпинделя от проникновения в них грязи, пыли и охлаждаемой жидкости, а также препятствуют вытеканию смазочного материала из подшипника. В шпиндельных узлах чаще всего применяют различные бесконтактные лабиринтные уплотнения для уменьшения тепловыделений в узле и исключения изнашивания уплотнений. Для надежной работы необходимо, чтобы радиальные зазоры в них были не более 0,2-0,3 мм. В шпиндельных узлах, работающих в тяжелых (по загрязнению) условиях, лабиринт заполняют твердым смазочным



материалом, а при жидком смазочном материале иногда применяют продувку воздуха через уплотнение. В уплотнениях размещают полости и каналы для отвода смазочного материала от подшипников. Основные типы уплотнений приведены на рис. 2.

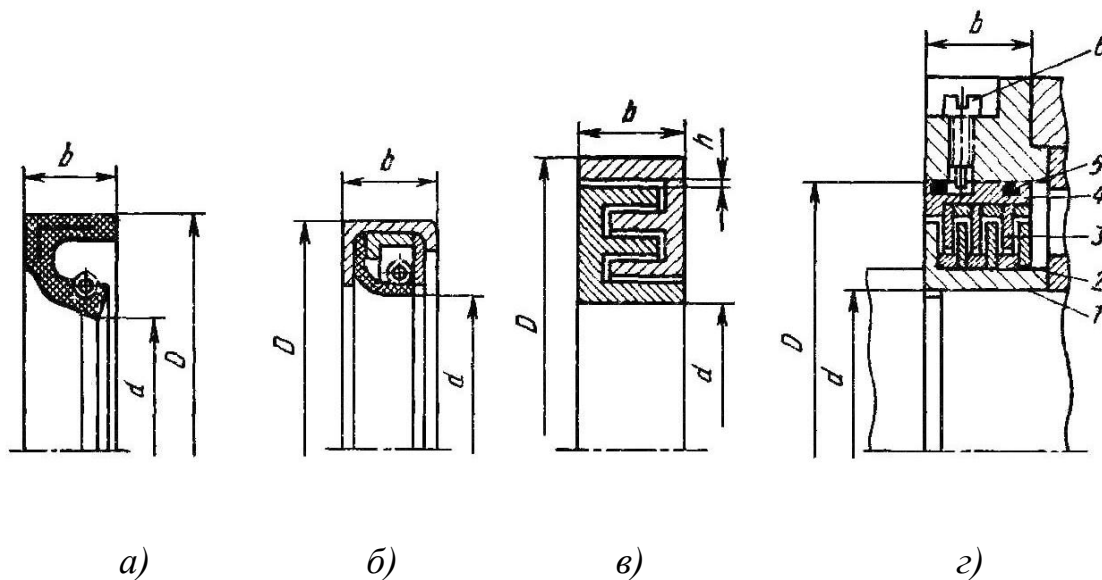


Рис. 2. Основные типы уплотнений шпиндельных узлов:

*a*– контактное манжетное резиновое армированное уплотнение с пружиной;

*б*– контактное манжетное кожаное уплотнение с пружиной;

*в*– бесконтактное лабиринтное уплотнение;

*г*– лабиринтное дисковое уплотнение;

$D, d, b$ – основные конструктивные размеры;

$h = 0,4 \div 0,6$  мм – лабиринтный зазор;

*1*– вращающийся стакан; *2*– кольца; *3* – диски; *4*– невращающийся стакан; *5*– резиновое кольцо; *6*– фиксирующий винт

## 2 ВЫБОР ОПОР ШПИНДЕЛЕЙ

По виду опор различают шпиндельные узлы на подшипниках качения (более 90%), гидростатических, гидродинамических, аэростатических и электромагнитных опорах[1].

Наиболее универсальными являются подшипники качения, однако точность их ограничена, как правило, 2 мкм, в то время как бесконтактные опоры по этому показателю существенно лучше.

По совокупности признаков наилучшими являются опоры качения, которые применяют в большинстве случаев.

Только при особых требованиях (точности, демпфировании, быстроходности) переходят к опорам других типов.

*Срок службы* шпиндельного узла ограничивается, как правило, износом опор качения и составляет 10 000...30 000 ч.

### 2.1 Выбор типа опор в зависимости от основных параметров шпиндельного узла

Выбор типа опор в зависимости от основных параметров шпиндельного узла приведен в табл. 2.1

Таблица 2.1

Тип подшипников опор	Мощность холостого хода, N, кВт	Радиальное и осевое биения шпинделя $\Delta$ мкм	Шероховатость обработанной поверхности, $Ra$ , мкм	Отклонение от круглости обработанной поверхности, $\Delta r$ , мкм	Скоростной параметр, $dn$ , мм·мин <sup>-1</sup>
Подшипники качения	24/15 0,7 кВт	1	0,32	1	$0,1 \cdot 10^6$
Гидродинамические подшипники	24/15 3,5 кВт	0,5	0,16	0,5	$0,1 \cdot 10^6 - 1 \cdot 10^6$
Гидростатические подшипники	ЭГС 24/25 4,5 кВт	0,05	0,08	0,2	$0 - 1,5 \cdot 10^6$
Подшипники с воздушной смазкой	24/25 1,9 кВт	0,05	0,04	0,5	$0 - 3 \cdot 10^6$
Магнитные подшипники	–	0,1-0,5	Шероховатость – 0,08 Волнистость – 0,3-0,5	1,5-3	$0 - 4 \cdot 10^6$

Согласно опыту промышленности и данным табл. 2.1 для высокоточных шпиндельных узлов (круглость обработанных образцов  $r \leq 1,0$  мкм), следует выбирать гидростатические подшипники при переменной частоте вращения шпинделя.


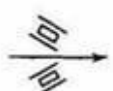






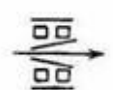
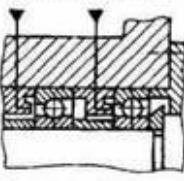


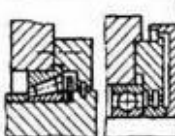


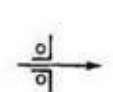



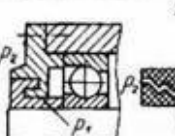
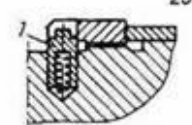





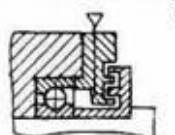


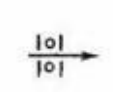


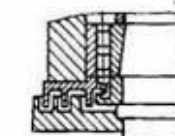
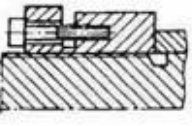
Для шпиндельных узлов, где требуется точность обработки в пределах  $\Delta \leq 0,5 r$  2 мкм, но при этом необходима большая долговечность узла при постоянной высокой частоте вращения, следует применять гидродинамические подшипники. Для особо высокоскоростных и точных шпиндельных узлов целесообразно выбирать в качестве опор подшипники скольжения с воздушной смазкой.

Магнитные опоры в настоящее время начинают только разрабатывать для высокоскоростных электрошпинделей. Есть примеры их применения на отдельных станках для скоростного фрезерования.

В большинстве остальных случаев (отклонение от круглости обработанных деталей  $r \approx 1$  мкм) следует применять для опор шпинделей подшипники качения, при этом суммарные приведенные затраты наименьшие.

Таблица 2.2

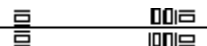
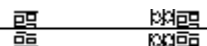
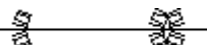
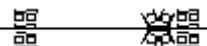
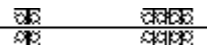
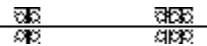
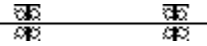
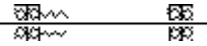
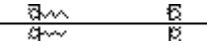
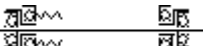
## Разновидности опор шпинделей

По подшипникам			По виду смазывания	По типу опор	$nd$ , мм/мин	По типу уплотнений	По способу фиксации деталей
Схема	Обозначение	$C^*$					
		1	Проточная 6 	 	$< 2,5 \times 10^5$		
		0,95	Впрыскиванием 7 	 	$< 3 \times 10^5$ $< 5 \times 10^5$		
		0,2	Масляный туман 8 	 	$< 6 \times 10^5$ $< 6,5 \times 10^5$		
		0,7	Пластичная 9 	 	$< 7 \times 10^5$ $< 8 \times 10^5$		
		1			$< 10 \times 10^5$		

В таблице 2.3 представлены рекомендуемые компоновочные схемы шпиндельных узлов, расположенных по мере возрастания параметра  $d n$ .

Таблица 2.3

## Рекомендуемые компоновочные схемы шпиндельных узлов

Увеличение быстроходности  Уменьшение быстроходности и виброустойчиво- сти	I. Низкоскоростные		
	1		$d n < 140000 \div 100000 \cdot \text{мм} \cdot \text{мин}^{-1}$
	2		$d n < 180000 \div 150000 \cdot \text{мм} \cdot \text{мин}^{-1}$
	3		$d n < 250000 \div 160000 \cdot \text{мм} \cdot \text{мин}^{-1}$
	II. Среднескоростные		
	4		$d n < 350000 \div 250000 \cdot \text{мин} \cdot \text{мм}^{-1}$
	5		$d n < 450000 \div 300000 \cdot \text{мм} \cdot \text{мин}^{-1}$
	6		$d n < 500000 \div 400000 \cdot \text{мм} \cdot \text{мин}^{-1}$
	III. Высокоскоростные		
	7		$d n < 600000 \div 500000 \cdot \text{мм} \cdot \text{мин}^{-1}$
8		$d n < 800000 \div 600000 \cdot \text{мм} \cdot \text{мин}^{-1}$	
9		$d n < 1000000 \div 700000 \cdot \text{мм} \cdot \text{мин}^{-1}$	
10		$d n < 1500000 \div 1000000 \cdot \text{мм} \cdot \text{мин}^{-1}$	

Все компоновочные схемы разбиты на три группы.

Низкоскоростные обладают наибольшей радиальной и осевой жесткостью. Их рекомендуется применять в тяжело нагруженных фрезерных, токарных, сверлильных станках. Схема 1 выполнена на игольчатых подшипниках, имеет наибольшую радиальную и осевую жесткости, но при этом она самая низкоскоростная.

Для шпиндельных узлов, выполненных на радиально-упорных шарикоподшипниках из керамических материалов и системой принудительного охлаждения корпуса и шпинделя, параметр  $d n$  повышается до 30%-40%.

Более точное значение параметра  $d n$  зависит от выбранного типа системы смазки, класса точности подшипников, радиального зазора-натяга роликоподшипников, предварительного натяга шарикоподшипников, количества подшипников в опоре, серии подшипников и их предельной частоты вращения, указанной в справочнике.

На рис. 3 показана конструкция шпиндельного узла, соответствующая компоновке 2 (см. табл. 2.2).

На рис.4 показана конструкция шпиндельного узла, соответствующая компоновке 2 (см.табл. 2.2 ).

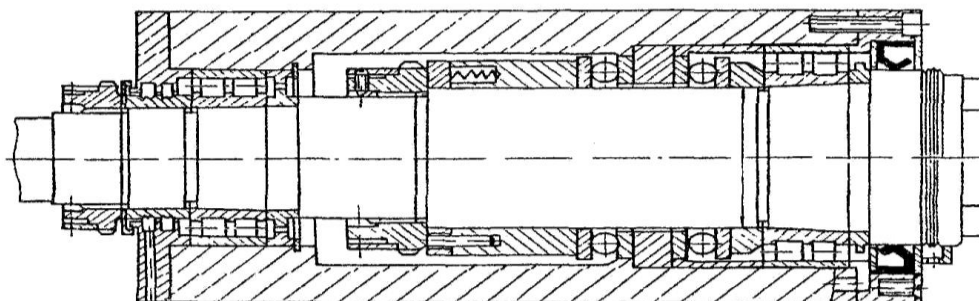


Рис. 3. Конструкция низкоскоростного шпиндельного узла

Конструкция шпиндельного узла, выполненная по компоновке 3, представлена на рис. 4.

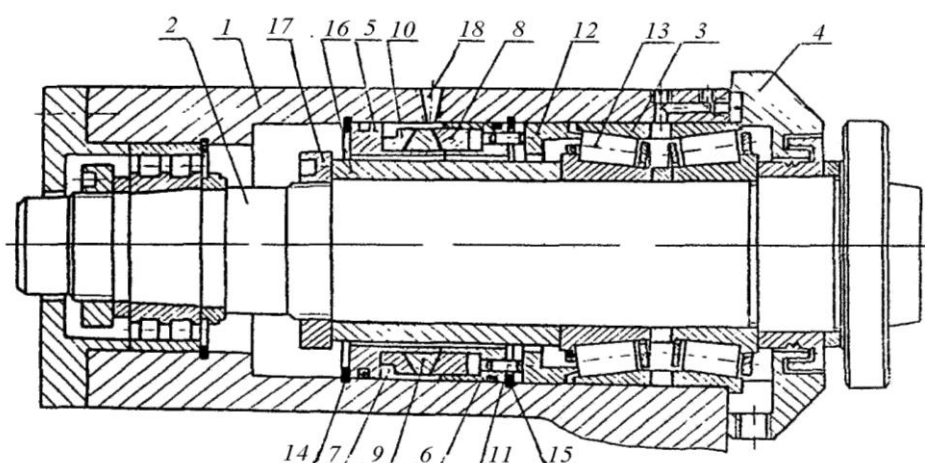


Рис. 4 Конструкция шпиндельного узла на роликовом подшипнике

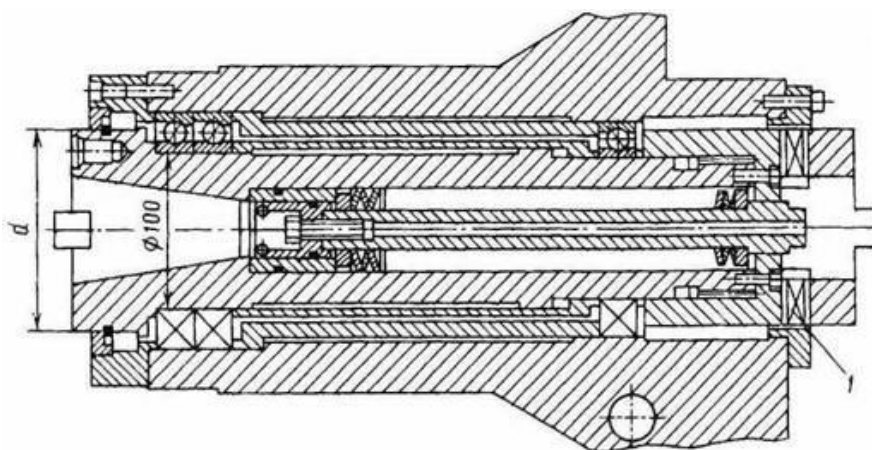


Рис. 5 Шпиндельный узел сверлильно-фрезерно-расточного станка

В шпиндельном узле многоцелевого сверлильно-фрезерно-расточного станка опорами шпинделя служат радиально-упорные подшипники (рис. 5). Передача момента осуществляется муфтой 1.

Особенностью шпиндельного узла со встроенной двухступенчатой коробкой скоростей является охлаждение подшипников маслом, подаваемым в винтовые проточки 1 (рис. 6). Здесь важно выбрать размеры сечения  $t$  бобышки и расход масла. Следует иметь в виду, что «рубашечное» охлаждение подшипников приводит к неравномерному нагреву колец подшипника (на  $7... 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), что вызывает увеличение натяга в 2 - 2,5 раза. Толщина стенки  $t$  в случае «рубашечного» охлаждения выбирается  $23...55\text{ мм}$ . Чрезмерный расход охлаждающей жидкости малоэффективен. Например, при увеличении расхода со 10 до 60 л/мин температура снижается всего на 20 %.

Другой особенностью этого шпиндельного узла является принудительный обдув конуса воздухом, подводимым в отверстие 2 гидроцилиндра, а также оригинальная конструкция механизма переключения скоростей за счет осевого перемещения оси 3.

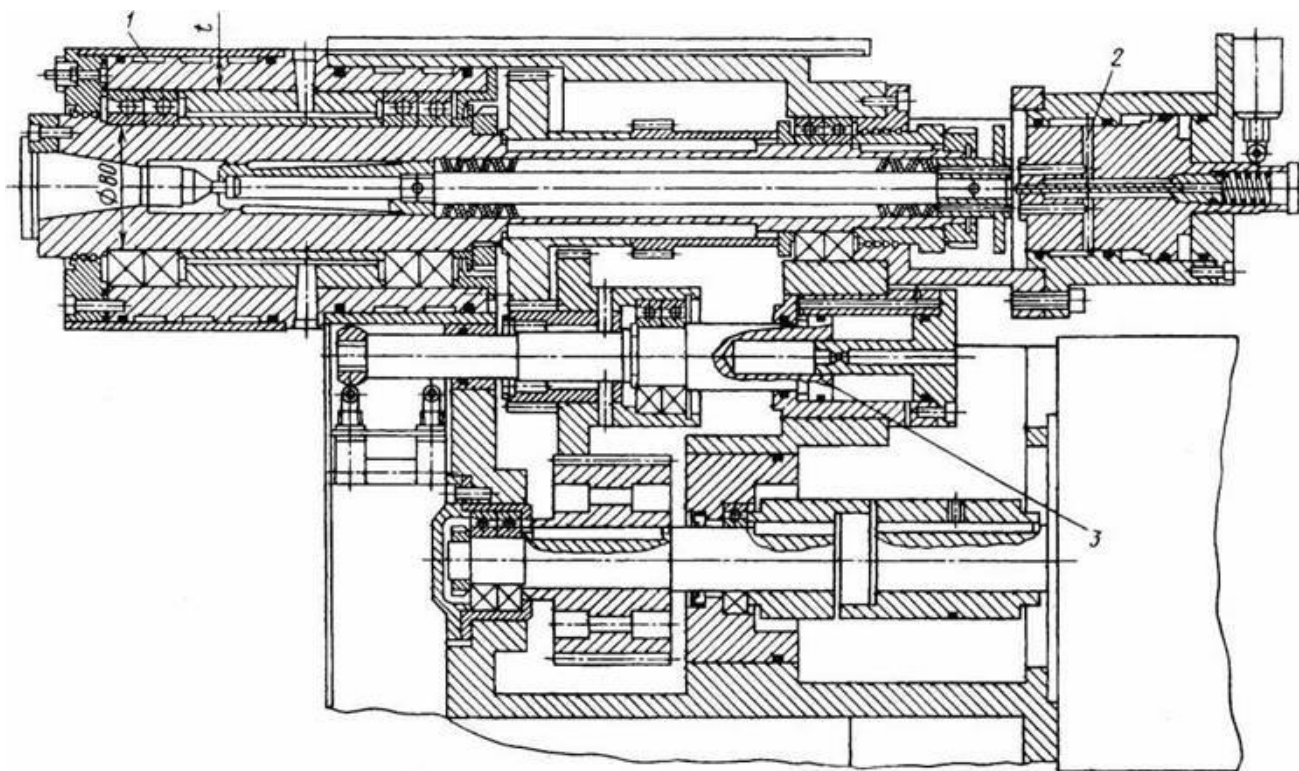
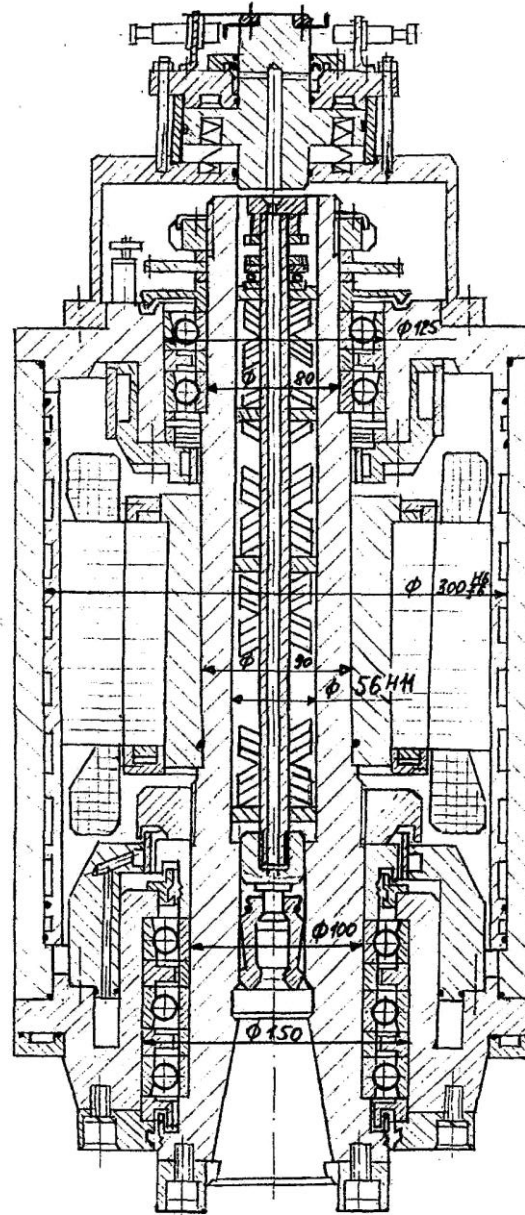


Рис. 6 Шпиндельный узел со встроенной двухступенчатой коробкой скоростей

На рис.7 показана фрезерная головка вертикально-фрезерного станка с ЧПУ с регулируемым электроприводом (мотор-шпиндель), предназначенная для скоростного фрезерования мощностью 30 кВт,  $n = 10000\text{ мин}^{-1}$ .





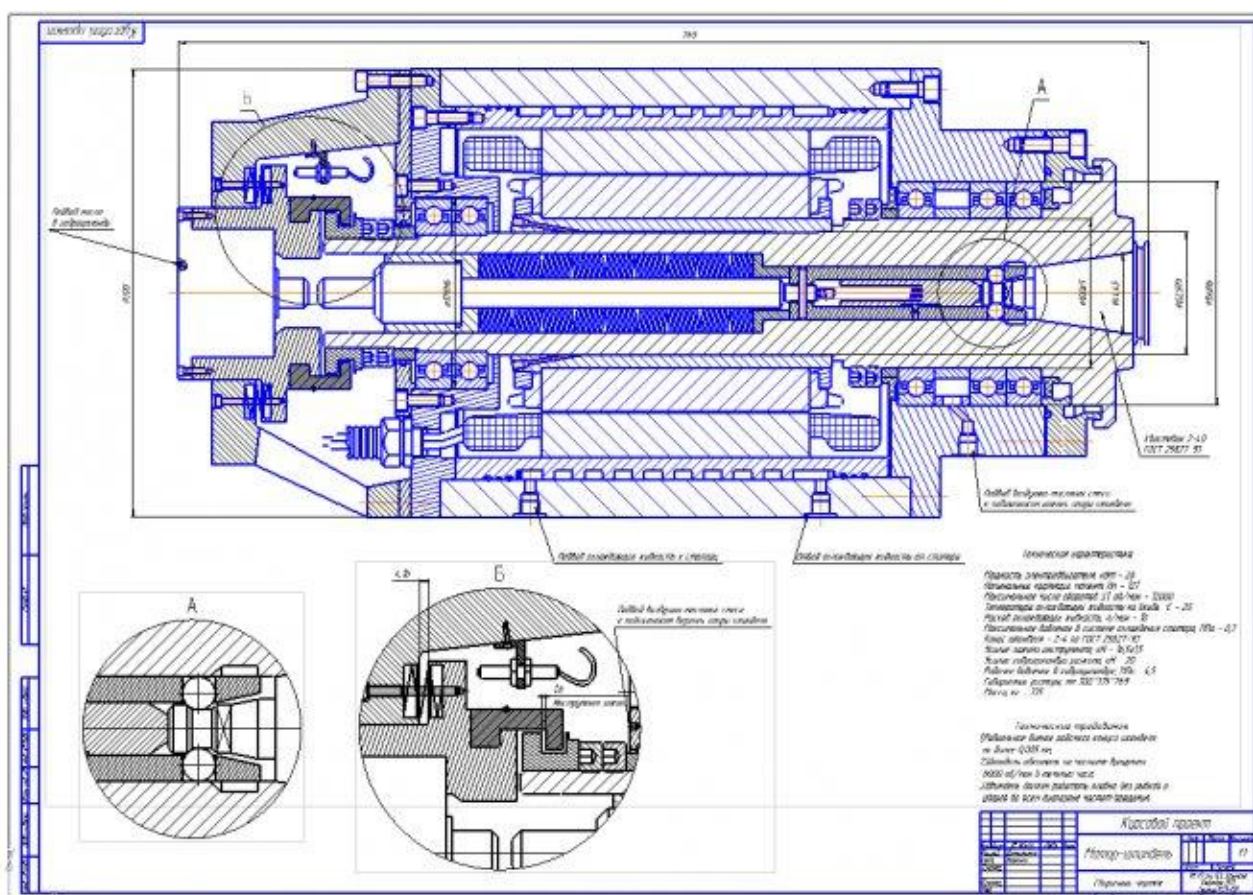


Рис. 7. Конструкция шпиндельного узла на шариковых радиально-упорных подшипниках

В этой конструкции вес шпинделя с ротором направлен вниз и соизмерим с предварительным натягом радиально-упорных шариковых подшипников передней опоры. Наружные кольца подшипников задней опоры установлены вверх по Т-образной схеме и подпружинены силой, направленной вверх.

Все компоновочные схемы рис. 3 представлены «запертой» передней опорой и «плавающей» задней. Этим достигается увеличение радиальной жесткости шпиндельного узла за счет заземляющего момента в передней опоре, уменьшение температурного удлинения переднего конца шпинделя и исключаются параметрические колебания и параметрическая неустойчивость. Так, в процессе резания под действием радиальной и периодически изменяющейся осевой силы резания в узлах с «плавающей» передней и «запертой» задней опорами появляются параметрические поперечные колебания, а при некоторых сочетаниях параметров может появиться и параметрическая неустойчивость.



Под действием радиальной силы шпиндель изгибается, а изменяющаяся осевая сила при этом влияет на параметр жесткости. Конструирование по схемам рис. 3 с «запертой» передней опорой исключает это явление.

## ЗАДАНИЕ

1. Выбрать опоры шпинделя по скоростному фактору и привести схему (см. варианты в Приложении).
2. Показать чертеж шпиндельного узла и описать его конструкцию:
  - тип подшипников опор шпиндельного вала и принцип их работы;
  - схему установки подшипников с учетом действующих сил;
  - средства создания предварительного натяга в подшипниках;
  - схему смазки подшипников.
3. Написать технические требования для сборочного чертежа шпиндельного узла.

## Библиографический список

1. **Оборудование машиностроительных предприятий** [Текст]: учебное пособие / А. Г. Схиртладзе [и др.]. - Старый Оскол : ТНТ, 2012. - 168 с.
2. **Технологическое оборудование машиностроительных производств** [Текст] : учебное пособие / А. Г. Схиртладзе, Т. Н. Иванова, В. П. Борискин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Старый Оскол: ТНТ, 2009. - 708 с.
3. **Диагностика и надежность автоматизированных систем** [Текст] : учебник / под ред. Б. М. Бржозовского. - 3-е изд., перераб. и доп. - Старый Оскол : ТНТ, 2011. - 352 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ. Варианты заданий

### Фрезерная обработка.

Обозначения:

$R_n$  – диапазон регулирования привода главного движения;

$R_{nN}$  – диапазон регулирования привода главного движения при постоянной мощности электродвигателя (зона II);

$R_N$  – диапазон регулирования электродвигателя при постоянной мощности;

$n_{ш\ min} \dots n_{ш\ max}$  – пределы частот вращения шпинделя,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$n_{э\ ном} \dots n_{э\ max}$  – пределы частот вращения вала электродвигателя от номинального до максимального значений;

$N_{расч}$  – расчетная мощность резания, кВт.

Диапазон продольных подач стола  $S_{min} \dots S_{max}$ , мм/мин.;

Ускоренная подача стола  $S_{уск.}$ , мм/мин.;

$R_S$  – диапазон регулирования привода подач;

$B_{ст}$  – ширина стола, мм.

<b>Фрезерные обрабатывающие центры (вертикальное исполнение)</b>										
№	Диапазон частот шпинделя, $\text{мин}^{-1}$		Диапазон регулирования привода главного движения		Расчетная мощность, кВт	Скорость подачи, мм/мин.			Ширина стола, мм	Число инструментов УСИ
	$n_{ш\ min}$	$n_{ш\ max}$	$R_n$	$R_{nN}$		$N_{расч}$	$S_{min}$	$S_{max}$		
1	18	2000	110	80	3,9	12,5	2000	7000	250	18
2	15	1500	100	70	4,2	25	1600	3000	160	12
3	20	2500	125	80	4,8	10	1800	6000	250	16
4	25	1500	60	60	5,2	15	2000	7000	250	10
5	25	3000	120	100	5,0	16	2000	8000	320	12

6	12,5	2000	160	100	4,5	18	1200	5000	250	16
7	40	3500	87,5	60	6,2	31,5	3150	8000	250	12
8	18	1800	100	70	4,5	20	2500	7000	320	16
9	20	2000	100	80	5,2	10	1500	5000	250	10
10	15	2500	167	100	3,8	25	1250	6000	160	12
11	31,5	3600	115	100	7,0	20	3150	7000	320	18
12	12	4300	340	360	21	10	1800	6000	400	24
13	10	3400	340	340	14,2	10	2000	8000	310	24
14	10	450	450	450	18	10	2500	8000	400	24
15	12,5	5000	400	200	10	25	5000	8000	250	20

**Фрезерные обрабатывающие центры (горизонтальное исполнение)**

№	Диапазон частот шпинделя, мин <sup>-1</sup>		Диапазон регулирования привода главного движения		Расчетная мощность, кВт	Скорость подачи, мм/мин.			Ширина стола, мм	Число инструментов УСИ
	$n_{шп\ min}$	$n_{шп\ max}$	$R_n$	$R_{nN}$		$N_{расч}$	$S_{min}$	$S_{max}$		
1	20	1500	75	50	3,5	12,5	1000	8000	250	20
2	50	2500	50	40	4,0	10	1200	7000	250	20
3	15	3000	200	120	4,5	16	1600	6000	250	16
4	10	2500	150	100	4,2	15	1350	5000	320	12
5	12,5	1500	120	80	3,7	25	1500	8000	320	10
6	18	1600	89	60	4,5	20	2000	7000	320	16
7	25	2250	90	50	4,8	18	1620	9000	250	10
8	40	5000	125	100	5,2	25	2000	8000	250	12
9	25	4000	160	120	5,8	31,5	2500	7000	160	16
10	20	3000	150	110	4,8	1,5	1800	6000	250	10

11	31,5	4500	140	120	6,3	10	2000	8000	320	16
12	40	5000	125	120	7,5	15	2500	7000	320	20
13	10	6000	600	500	15	12,5	1000	8000	250	30
14	15	4000	300	260	18	10	1200	7000	250	30

### Обработка отверстий.

Обозначения:

$R_n$  – диапазон регулирования привода главного движения;

$R_{nN}$  – диапазон регулирования привода главного движения при постоянной мощности электродвигателя (зона II);

$R_N$  – диапазон регулирования электродвигателя при постоянной мощности;

$n_{ш\ min} \dots n_{ш\ max}$  – пределы частот вращения шпинделя,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$n_{э\ ном} \dots n_{э\ max}$  – пределы частот вращения вала электродвигателя от номинального до максимального значений;

$N_{расч}$  – расчетная мощность резания, кВт.

Осевая подача  $S_{\min} \dots S_{\max}$ , мм/об.

$R_S$  – диапазон регулирования привода подач;

$L$  – вылет оси отверстия шпинделя, мм;

$H$  – ход шпинделя.

### Сверлильно-расточные обрабатывающие центры

№	Диапазон частот шпинделя, $\text{мин}^{-1}$		Диапазон регулирования привода главного движения		Расчетная мощность, кВт	Скорость подачи, мм/об.		Вылет оси и ход шпинделя, мм		Число инстр. УСИ	Макс. диаметр сверления мм
	$n_{ш\ min}$	$n_{ш\ max}$	$R_n$	$R_{nN}$	$N_{расч}$	$S_{\min}$	$S_{\max}$	$L$	$H$		
1	12	800	66	40	2,8	0,05	4	150	250	8	50
2	10	900	90	50	2,5	0,06	3,6	200	300	6	

3	15	1200	80	60	3,0	0,03	3	250	300	10	
4	18	1000	55,5	55,5	3,2	0,02	1,6	315	200	12	
5	20	1500	75	50	3,5	0,04	2,8	250	250	10	
6	25	1200	48	48	4,2	0,07	4,2	200	200	8	
7	14	800	57	57	4,0	0,03	1,5	315	350	6	35
8	31,5	1500	47,6	47,6	4,50	0,04	3,2	250	300	12	
9	40	1800	45	45	5,2	0,02	2	315	160	8	40
10	25	1800	72	50	4,8	0,01	1,5	200	200	10	
11	25	5000	200	180	12	0,001	1,5	200	200	30	25
12	40	3600	90	90	18	0,02	2	315	160	30	40
13	20	4000	200	160	15	0,07	4,2	200	200	24	30
14	14	1400	100	80	5,0	0,005	4,0	200	300	24	50
15	15	1500	100	100	5,2	0,001	4,0	250	250	24	60
16	18	1800	100	90	5,8	0,002	2,0	250	300	24	
17	20	2000	100	100	6,0	0,005	5,0	315	160	30	50
18	25	2500	100	100	6,2	0,001	2,5	200	200	30	45

### Токарная обработка.

$R_n$  – диапазон регулирования привода главного движения;

$R_{N-}$  – диапазон регулирования привода главного движения при постоянной мощности электродвигателя (зона II);

$R_{N-}$  – диапазон регулирования электродвигателя при постоянной мощности;

$n_{ш\ min} \dots n_{ш\ max}$  – пределы частот вращения шпинделя,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$n_{э\ ном} \dots n_{э\ max}$  – пределы частот вращения вала электродвигателя от номинального до максимального значений;

$N_{расч}$  – расчетная мощность резания, кВт.

$D_{max}$  – максимальный диаметр обработки над направляющими станины, мм;

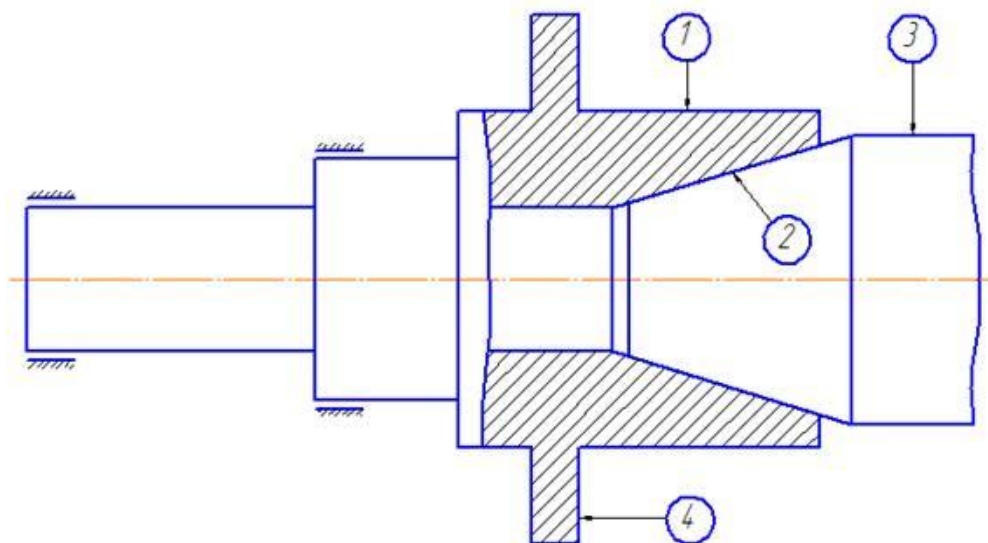
$L_{max}$  – максимальная длина обработки, мм.

Токарные обрабатывающие центры						
Диапазон частот	Диапазон регулирования	Расчетная		Макс. длина	Высота	Число
		я				

№	шпинделя, мин <sup>-1</sup>		привод главного движения		мощност ь, кВт	Скорость подачи, мм/об.		обработк и мм	центров мм	инстр. УСИ
	$n_{\text{min}}$	$n_{\text{max}}$	$R_n$	$R_{nN}$		$N_{\text{расч.}}$	$S_{\text{min}}$			
1	20	2500	125	100	4,8	0,01	1	1000	320	12
2	25	2000	100	80	5,2	0,015	1,8	1500	400	20
3	12,5	1800	144	60	3,8	0,015	1,5	2000	400	16
4	18	2500	139	70	4,2	0,01	1,2	710	320	18
5	10	1500	150	80	3,5	0,02	3	1500	630	18
6	15	1800	120	100	3,8	0,02	1,5	2000	400	12
7	31,5	2500	79	79	4,5	0,05	5	1600	320	10
8	40	3000	75	75	5,6	0,01	1,2	2000	400	6
9	35	4500	128	100	5,8	0,01	1,5	1500	320	8
10	16	2000	125	80	3,5	0,025	1,5	710	630	12
11	10	4500	450	400	5,0	0,025	3,0	1500	630	12
12	12,5	3150	250	200	4,2	0,02	3,0	1000	400	10
13	10	3500	350	300	8	0,01	4,5	1500	630	30
14	15	4200	280	280	14,2	0,025	3,0	1500	630	18

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Технические требования

**Точность вращения**, характеризуется радиальным и осевым биением переднего конца шпинделя. Оказывает сильное влияние на точность обрабатываемой детали. Допустимое значение шпинделя по ГОСТ должно соответствовать следующим параметрам (для универсальных станков):



- 1) Радиальное биение центральной шейки шпинделя
- 2) Радиальное биение конического отверстия в шпинделе
- 3) Радиальное биение оправки, установленной в коническое отверстие
- 4) Торцовое биение опорного буртика шпинделя.

Биение шпинделя специальных станков не должно превосходить  $1/3$  допуска на лимитирующий размер обрабатываемой на станке детали.

2. **Жёсткость ШУ**, характеризуется деформациями шпинделя под действием нагрузок [Н/мкм].

Допустимая минимальная жесткость переднего конца шпинделя обычных станков составляет порядка 200 Н/мкм. Для прецизионных 400 Н/мкм.

Допустимый угол поворота шпинделя в передней опоре, сопровождающийся неравномерным распределением нагрузки между телами качения подшипников принимается равным: 0,0001...0,00015 рад.

Угол поворота шпинделя под приводным зубчатым колесом: 0,00008...0,0001 рад.

Прогиб в этом месте не должен превышать 0,01м.

Для обеспечения работоспособности шпиндельных подшипников необходимо следующее соотношение между диаметром шпинделя и межопорным расстоянием:

расстоянием:  $d \leq \sqrt[4]{(0,005 \dots 0,01) \cdot l^3}$

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»

(ЮЗГУ)

Кафедра машиностроительных технологий и оборудования



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

15.03

2021 г.

**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ  
МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА**

Методические указания по выполнению практической работы  
для студентов направления Машиностроение



УДК 621.(076.1)

Составитель: Е.И.Яцун

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *Зубкова О.С.*

**Расчет и проектирование кинематической схемы многоцелевого станка:** методические указания по выполнению практической /Юго-Зап. гос.ун-т; сост.: Е.И.Яцун. Курск, 2021. - 20 с. - Библиогр.: с.12.

Содержат сведения о методике проектирования приводов главного движения многоцелевых станков на основе построения графиков частот вращения; о выборе системы переключения диапазонов регулирования скорости; о правилах построения кинематической схемы привода в соответствии в ГОСТ 2.770-68 Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Элементы кинематики

Методические указания соответствует требованиям ФГОС, по направлению подготовки Машиностроение

Предназначены для студентов направления Машиностроение дневной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.  
Усл.печ. л. [кол-во стр. : 16 x 0,93] . Уч.-изд. л. [кол-во стр. : 19].  
Тираж 100 экз. Заказ . Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

**СОДЕРЖАНИЕ**

	Стр.
Введение	4
Цель работы	5
Варианты заданий	5
Порядок выполнения работы	9
Этапы построения ГЧВ	11
Определение передаточных отношений передач	
Выбор числа зубьев передач	
Выбор принципа переключения диапазонов регулирования передач	
Построение кинематической схемы привода главного движения	
Библиографический список	18
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Электродвигатели постоянного тока, рекомендуемые к применению в приводах главного движения и приводах подач	19
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Нормальные ряды чисел в станкостроении (Нормаль станкостроения H11-1)	21
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Примеры кинематических схем станков	24

**Кинематическая схема станка** с компьютерным управлением состоит из нескольких кинематических цепей, каждая из которых включает в себя кинематические пары и звенья.

**Кинематическими звеньями** принято считать:

- зубчатые колеса станка;
- ходовые винты;
- шкивы и др.

Все кинематические схемы должны быть составлены в соответствии с требованиями ГОСТ 3462-61.

### **Кинематические группы**

При формировании кинематических схем основополагающее значение имеют кинематические группы.

В них включают:

1. **Источник движения** - двигатели различных типов.
2. **Исполнительные органы**, которые принимают непосредственное участие в формировании траектории исполнительного движения. К ним относят шпиндели, суппорты, рабочие столы и т. д.
3. **Органы настройки** двигательных параметров - коробки скоростей, подач, вариаторы и др.
4. **Кинематические связи** – передачи зубчатые, ременные и т.д.

**Цель работы:**

1. Выполнить кинематический расчет привода главного движения.
2. Построить кинематическую схему привода в соответствии с ГОСТ 2.770-68.
3. Варианты заданий

### I. Фрезерные обрабатывающие центры

$n_{ш \min} \dots n_{ш \max}$  – пределы частот вращения шпинделя,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$n_{э \text{ ном}} \dots n_{э \text{ max}}$  - пределы частот вращения вала электродвигателя от номинального до максимального значений;

$N_{\text{расч}}$  – расчетная мощность резания, кВт.

Диапазон продольных подач стола  $S_{\min} \dots S_{\max}$ , мм/мин.;

Ускоренная подача стола  $S_{\text{уск.}}$ , мм/мин.;

$B_{\text{ст}}$  - ширина стола, мм.

Фрезерный обрабатывающий центр вертикальный								
Вар №	Диапазон частот шпинделя, $\text{мин}^{-1}$		Расчетная мощность, кВт	Скорость подачи, мм/мин.			Ширина стола, мм	Число инструментов <i>УСИ</i>
	$n_{ш \min}$	$n_{ш \max}$		$N_{\text{расч}}$	$S_{\min}$	$S_{\max}$		
1	18	2000	3,9	12,5	2000	7000	250	18
2	15	2500	4,2	25	1600	3000	160	20
3	20	3000	4,8	10	1800	6000	250	25
4	15	3500	5,2	15	2000	7000	250	30
5	5	3000	5,0	16	2000	8000	320	32
6	12,5	2000	4,5	18	1200	5000	250	16
7	40	3500	6,2	31,5	3150	8000	250	12
8	18	1800	4,5	20	2500	7000	320	16
9	20	2000	5,2	10	1500	5000	250	10
10	15	2500	3,8	25	1250	6000	160	12

11	31,5	3600	7,0	20	3150	7000	320	18
12	12	4300	21	10	1800	6000	400	24
13	10	3400	14,2	10	2000	8000	310	24
14	10	450	18	10	2500	8000	400	24
15	12,5	5000	10	25	5000	8000	250	20
<b>Фрезерный обрабатывающий центр горизонтальный</b>								
Вар №	Диапазон частот шпинделя, мин <sup>-1</sup>		Расчетная мощность, кВт	Скорость подачи, мм/мин.			Ширина стола, мм	Число инструментов УСИ
	$n_{\text{шп min}}$	$n_{\text{шп max}}$	$N_{\text{расч}}$	$S_{\text{min}}$	$S_{\text{max}}$	$S_{\text{уск.}}$	$B_{\text{ст}}$	
1	5	5000	5,5	12,5	2000	8000	250	30
2	5	4500	4,5	10	1200	7000	250	20
3	5	3500	4,0	16	1600	6000	250	16
4	10	6000	6,2	15	2500	8000	320	40
5	2,5	5000	5,7	10	1500	8000	320	30
6	18	1600	4,5	20	2000	7000	320	16
7	25	2250	4,8	18	1620	9000	250	10
8	40	5000	5,2	25	2000	8000	250	12
9	25	4000	5,8	31,5	2500	7000	160	16
10	20	3000	4,8	1,5	1800	6000	250	10
11	31,5	4500	6,3	10	2000	8000	320	16
12	40	5000	7,5	15	2500	7000	320	20
13	10	6000	15	12,5	1000	8000	250	30
14	15	4000	18	10	1200	7000	250	30

## II. Сверлильно-расточные обрабатывающие центры

$n_{ш \min} \dots n_{ш \max}$  – пределы частот вращения шпинделя,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$n_{э \text{ ном}} \dots n_{э \text{ max}}$  - пределы частот вращения вала электродвигателя от номинального до максимального значений;

$N_{\text{расч}}$  – расчетная мощность резания, кВт.

Осевая подача  $S_{\min} \dots S_{\max}$ , мм/об.

$L$  – вылет оси отверстия шпинделя, мм;

$H$  – ход шпинделя.

Сверлильно-расточной обрабатывающий центр									
Вар. №	Диапазон частот шпинделя, $\text{мин}^{-1}$		Расчетная мощность, кВт	Скорость подачи, мм/об.		Вылет оси и ход шпинделя, мм		Число инстр. УСИ	Макс. диаметр сверления мм
	$n_{ш \min}$	$n_{ш \max}$	$N_{\text{расч}}$	$S_{\min}$	$S_{\max}$	$L$	$H$		$d_{\max}$
1	12	4000	5,8	0,05	4	500	350	28	50
2	10	5000	6,5	0,06	3,6	500	300	26	
3	5	4500	8,0	0,03	3	450	300	30	
4	8	4000	6,2	0,02	1,6	400	300	32	
5	2	3600	4,5	0,04	2,8	250	250	30	
6	2,5	3200	4,2	0,07	4,2	200	200	18	
7	14	800	4,0	0,03	1,5	315	350	6	35
8	31,5	1500	4,50	0,04	3,2	250	300	12	
9	40	1800	5,2	0,02	2	315	160	8	40
10	25	1800	4,8	0,01	1,5	200	200	10	
11	25	5000	12	0,00 1	1,5	200	200	30	25
12	40	3600	18	0,02	2	315	160	30	40

13	20	4000	15	0,07	4,2	200	200	24	30
14	14	1400	5,0	0,00 5	4,0	200	300	24	50
15	15	1500	5,2	0,00 1	4,0	250	250	24	60
16	18	1800	5,8	0,00 2	2,0	250	300	24	
17	20	2000	6,0	0,00 5	5,0	315	160	30	50
18	25	2500	6,2	0,00 1	2,5	200	200	30	45

### III. Токарные обрабатывающие центры

$n_{ш \text{ min}} \dots n_{ш \text{ max}}$  – пределы частот вращения шпинделя,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$n_{э \text{ ном}} \dots n_{э \text{ max}}$  - пределы частот вращения вала электродвигателя от номинального до максимального значений;

$N_{\text{расч}}$  – расчетная мощность резания, кВт.

$D_{\text{max}}$  – максимальный диаметр обработки над направляющими станины, мм;

$L_{\text{max}}$  - максимальная длина обработки, мм.

Токарный обрабатывающий центр								
Вар.	Диапазон частот шпинделя, $\text{мин}^{-1}$		Расчетная мощность, кВт	Скорость подачи, мм/об.		Макс. длина обработки и мм	Высота центров мм	Число инстр. УСИ
№	$n_{ш \text{ min}}$	$n_{ш \text{ max}}$	$N_{\text{расч.}}$	$S_{\text{min}}$	$S_{\text{max}}$	$L_{\text{max}}$	H	
1	5	4500	5,8	0,01	1	1000	320	32

2	2,5	4000	5,2	0,015	1,8	1500	400	20
3	10	3800	3,8	0,015	1,5	2000	400	16
4	8	2500	4,2	0,01	1,2	710	320	18
5	10	5000	5,5	0,02	3	1500	630	40
6	15	1800	3,8	0,02	1,5	2000	400	12
7	31,5	2500	4,5	0,05	5	1600	320	10
8	40	3000	5,6	0,01	1,2	2000	400	6
9	35	4500	5,8	0,01	1,5	1500	320	8
10	16	2000	3,5	0,025	1,5	710	630	12
11	10	4500	5,0	0,025	3,0	1500	630	12
12	12,5	3150	4,2	0,02	3,0	1000	400	10
13	10	3500	8	0,01	4,5	1500	630	30
14	15	4200	14,2	0,025	3,0	1500	630	18

### Порядок выполнения работы

1. По своим исходным данным ( $N_{расч.}$ ) выбрать тип регулируемого электродвигателя из условия  $N_{эд} \geq 1,1 \dots 1,2 N_{расч.}$  (ПРИЛОЖЕНИЕ 1):

Тип электродвигателя 2ПФ.....

Мощность электродвигателя  $N_{эд} = \dots$  кВт.

Максимальная/номинальная частота вала электродвигателя  $n_{эмах.} = \dots$ ;

$n_{эном} = \dots$  мин<sup>-1</sup>.

2. Выбрать ряд частот от  $n_{шп.мин}$  до  $n_{шп.мах}$  для  $\varphi = 1,26$  (ПРИЛОЖЕНИЕ 2):

находим в колонке 1,26 первое значение от  $n_{шп.мин} = n_i$ ; каждое следующее значения ряда  $n_{i+1} = n_i \cdot \varphi = n_i \cdot 1,26$ .

**Примечание.** Если напротив вашего  $n_{шп.мин}$  черточки нет, то берите относительно черты каждое следующее значение выше или ниже черты.

3. Теперь можно строить график частот вращения привода главного движения станка.



[Посмотрите фильм: Построение графика частот вращения металлорежущего станка/](https://youtu.be/D2cNTq4Ury4)

<https://youtu.be/D2cNTq4Ury4>

На графике вертикальные линии – валы:

I вал э/д; II – промежуточный; III – шпиндель.

Горизонтальные линии – это частоты. Их будет столько, сколько значений вы выписали от  $n_{\text{шп. min}}$  до  $n_{\text{шп. max}}$ . Их записать как на примере (Рис. 1) вдоль вала

III. Для э/д (вал I) записать  $n_{\text{э max}}$ ;  $n_{\text{э ном}}$  вдоль вала I.

Передачи.

Линия вверх – повышающая передача;

Линия вниз – понижающая передача.

Для  $\varphi=1,26$  на графике:

повышающая передача вверх идет на 3 интервала не больше, меньше можно;

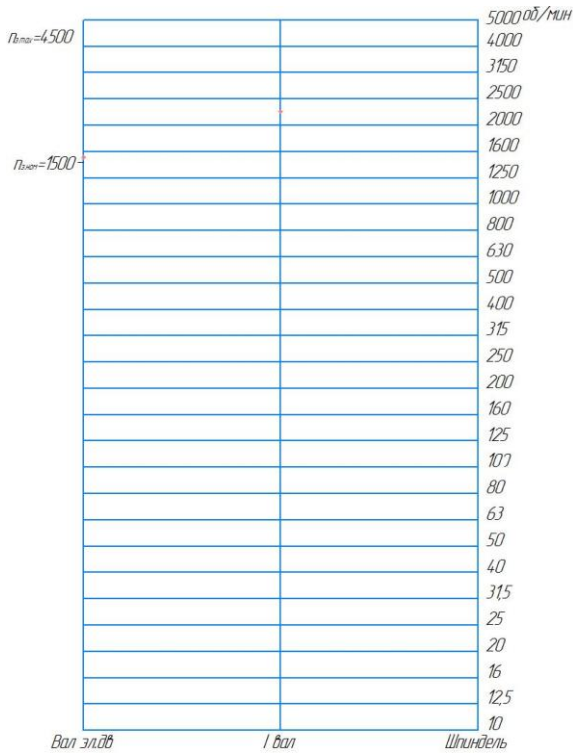
понижающая передача - максимально вниз идет на 6 интервалов, меньше можно.

Построение лучше начать сверху от максимального значения  $n_{\text{шп. max}}$ . на валу

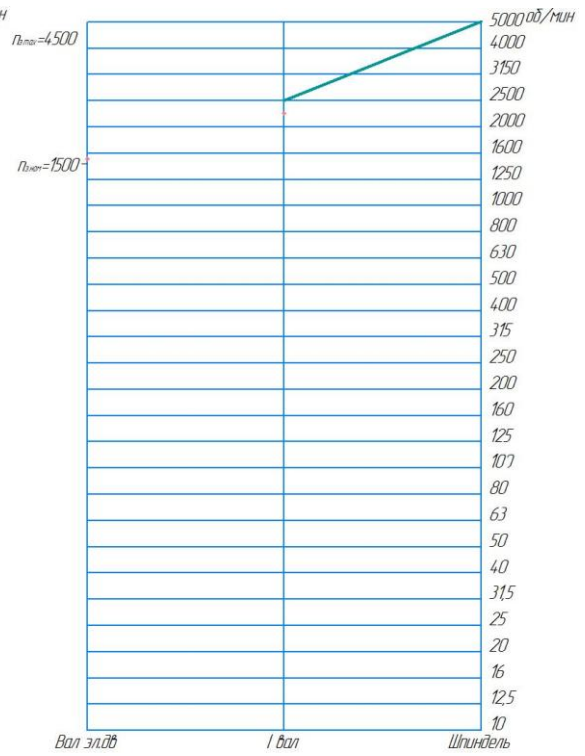
III.

## Этапы построения ГЧВ

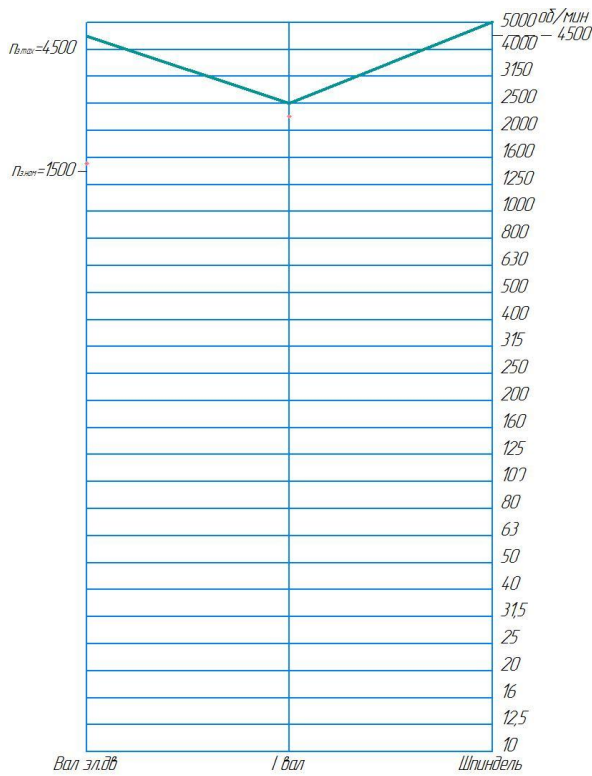
### Этап 1



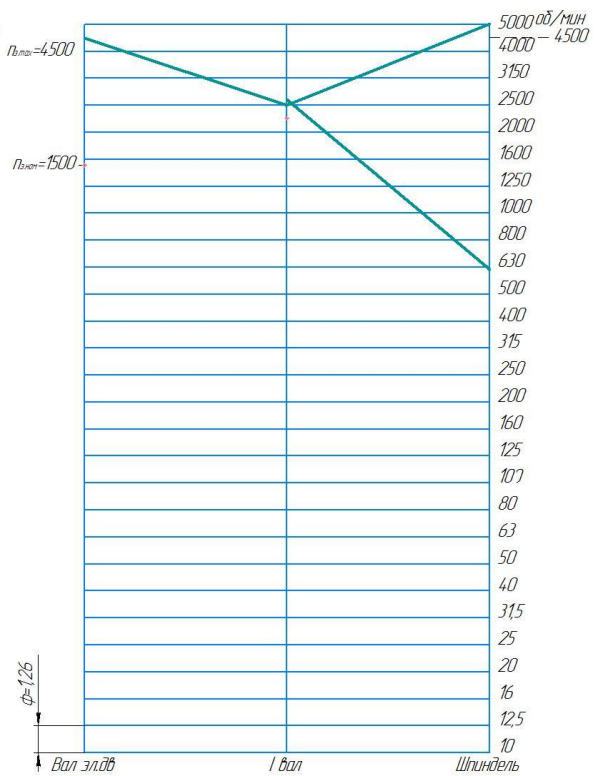
### Этап 2

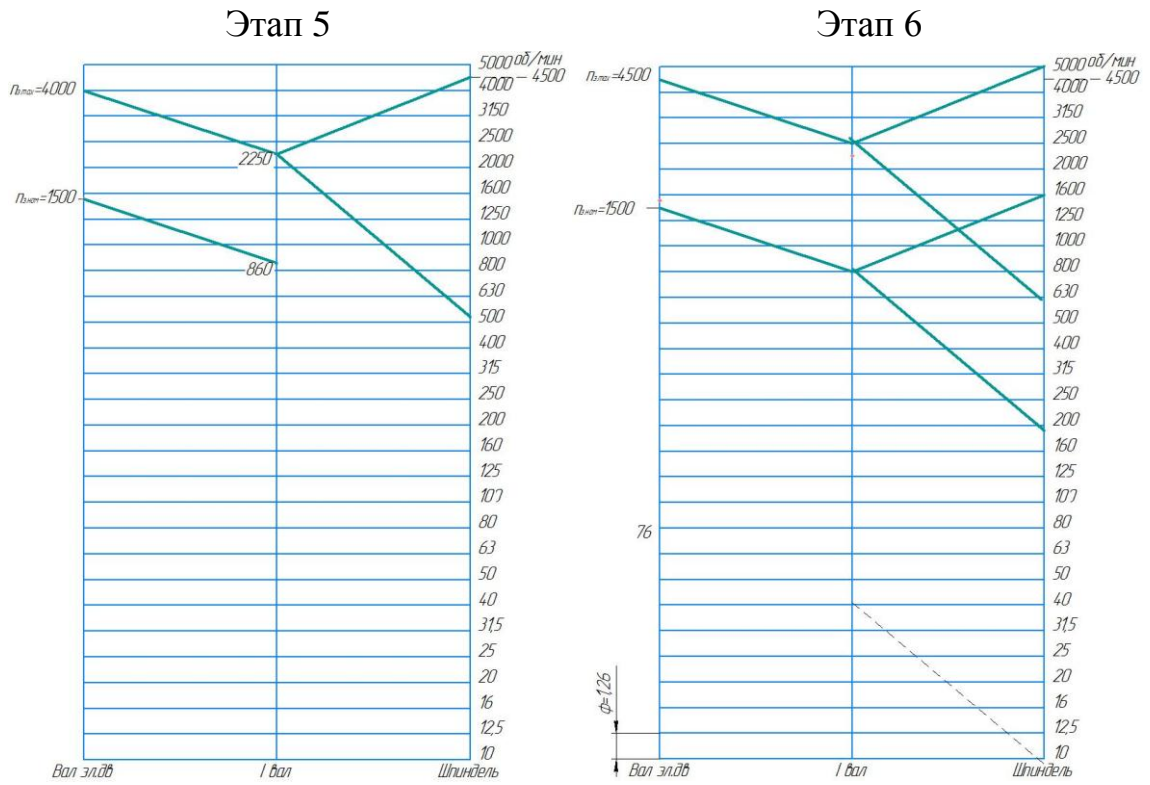


### Этап 3



### Этап 4





**Этап 7**

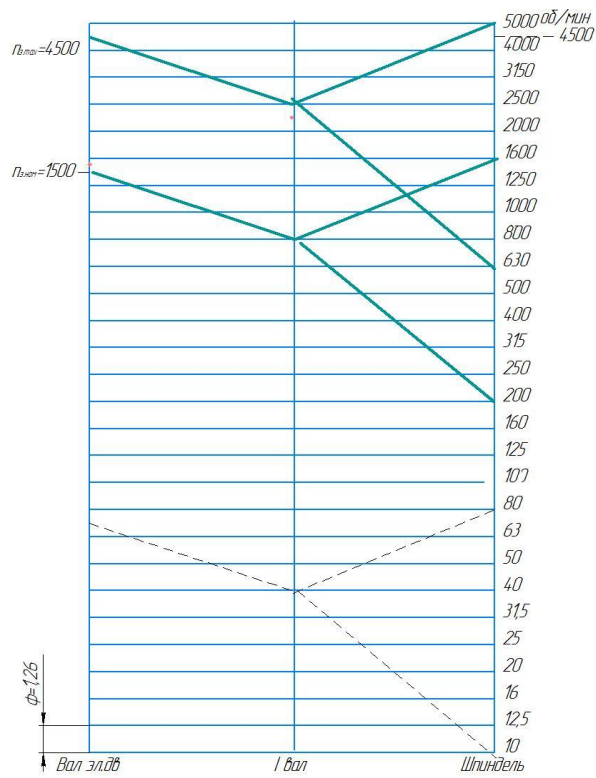


Рис. 1 Этапы построения графика частот вращения (ГЧВ)

4. Теперь надо определить передаточные отношения передач. Их в приводе три: ременная и две зубчатых передачи (Рис. 2).

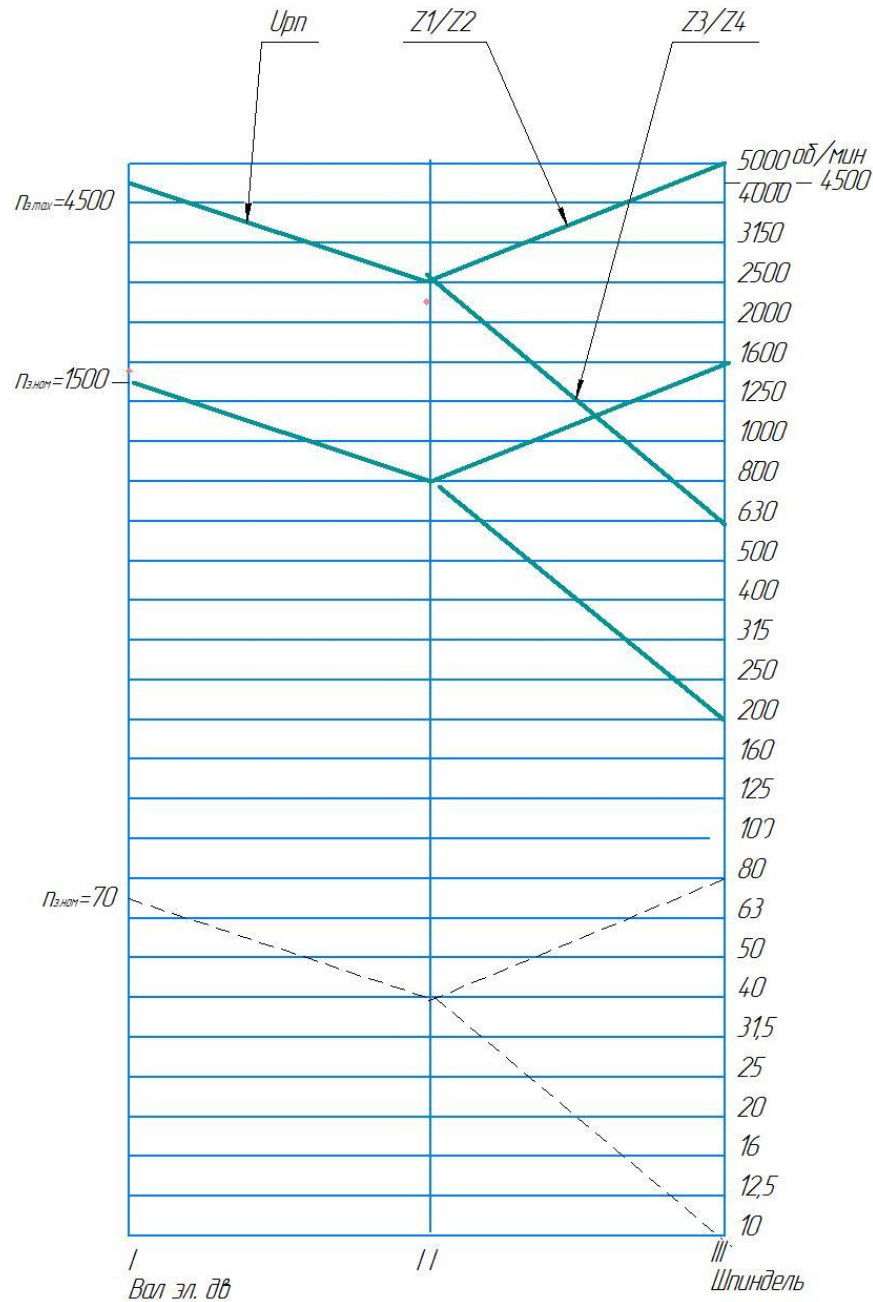


Рис. 2 График частот вращения

4.1 Постоянная (ременная) передача от вала I к валу II:

$$U_{рп} = n_{вм} / n_{вц} = d_1 / d_2.$$

Например (Рис. 2):

$$U_{р.п.} = 2500 / 4500 = 25 / 45 = d_1 / d_2.$$

Принимаем диаметры шкивов  $d_1 = 50$  мм,  $d_2 = 90$  мм.

## 4.2 Зубчатые передачи:

$Z_1/Z_2$  - повышающая передача  $U_1 = \varphi^k$ , где  $k$  - число интервалов вверх, их 3,

поэтому  $U_1 = \varphi^3$ .

$$U_1 = \frac{Z_1}{Z_2} = 1,26^3 = 2.$$

$Z_3/Z_4$  - понижающая передача  $U_2 = \varphi^{-6}$ .

$$U_2 = \frac{Z_3}{Z_4} = 1,26^{-6} = 1/1,26^6 = 1/4.$$

5. Теперь надо выбрать числа зубьев передач.

Условие:  $Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4 = \text{Const}$ .

$Z_{\min} = 20$ .

Для выбора чисел зубьев воспользуемся специальными таблицами [Пронииков А.С. Расчёт и конструирование металлорежущих станков. М., Высшая школа] / <https://www.chipmaker.ru/files/file/17432/> стр.92-93.

Например: пусть сумма чисел зубьев 103.

Тогда  $Z_1 + Z_2 = 99$ ;  $Z_3 + Z_4 = 99$  (1).

Находим в таблице число зубьев одного из колес; число зубьев другого определяем из уравнения (1):

Если  $Z_1 = 33$ , то  $Z_2 = 99 - 33 = 66$ . Тогда  $Z_1/Z_2 = 2 = 66/33$  с учетом того, что передача повышающая.

$Z_3 = 20$ ;  $Z_4 = 99 - 20 = 79$ . Тогда  $Z_3/Z_4 = 1/4 = 20/79$  - передача понижающая.

6. Теперь можно строить кинематическую схему привода главного движения.

6.1 Сначала следует выбрать принцип переключения диапазонов регулирования передач в приводе главного движения обрабатываемого центра.

Варианты переключения:

- с помощью вилок и гидроцилиндра (Рис. 3, 4);

- электромагнитными муфтами (Рис. 5-7);
- барабаном (Рис. 8).

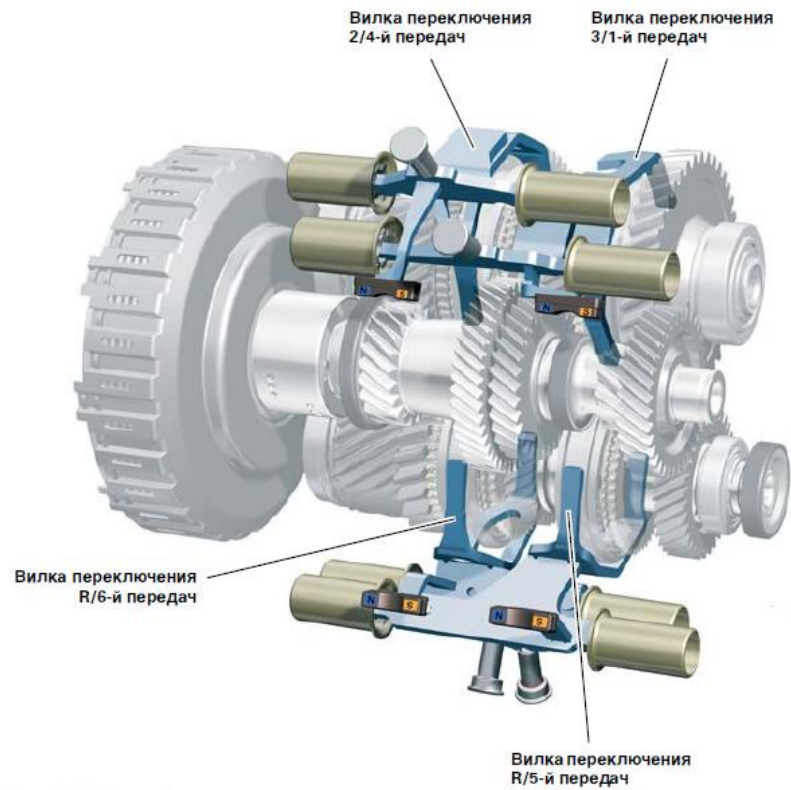


Рис. 3 Переключение блоков зубчатых колес с помощью вилок и гидроцилиндра

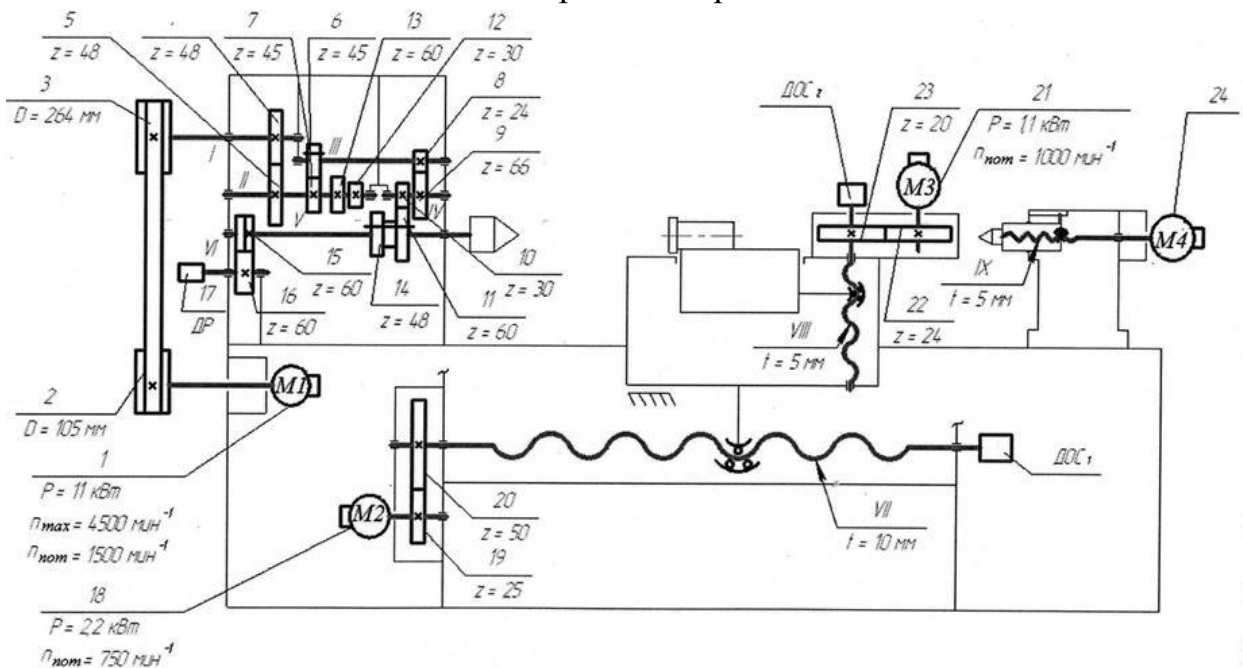


Рис. 4 Кинематическая схема привода главного движения токарного станка с ЧПУ – переключение скорости блоками колес



Посмотрите фильм/ <https://youtu.be/ywmMxacPUeI>

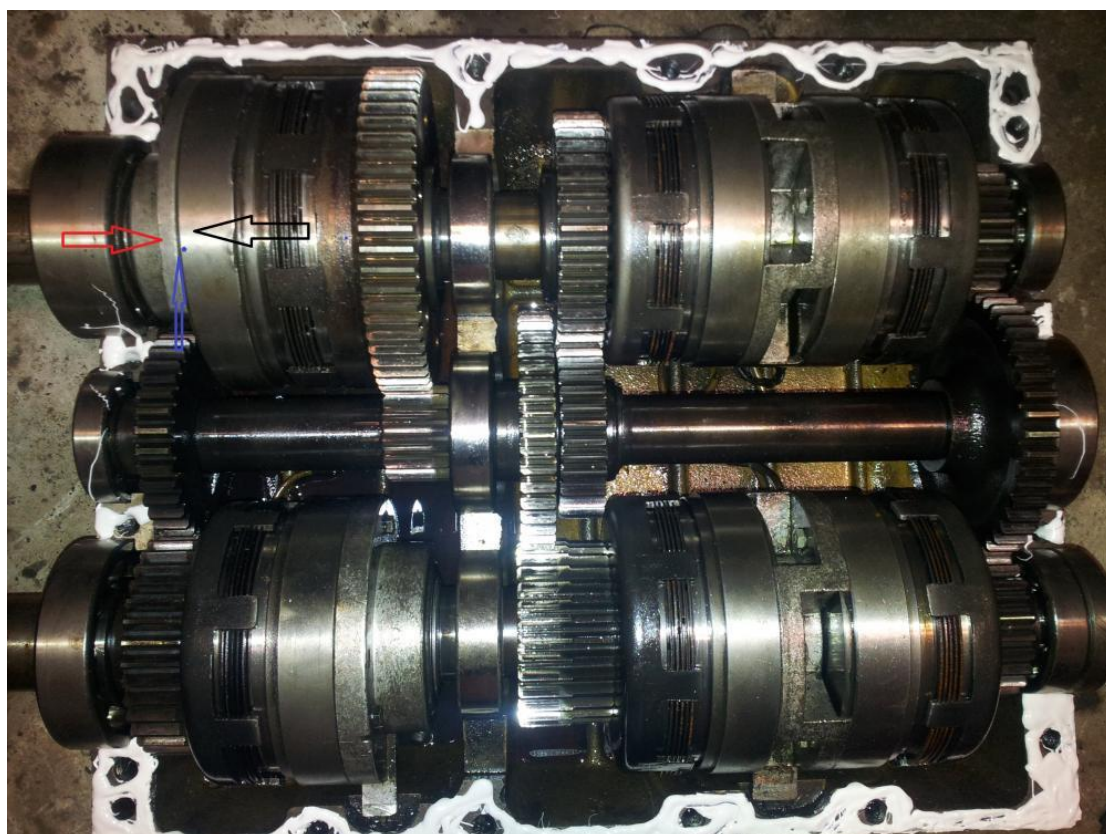


Рис. 5 Переключение передач электромагнитными муфтами

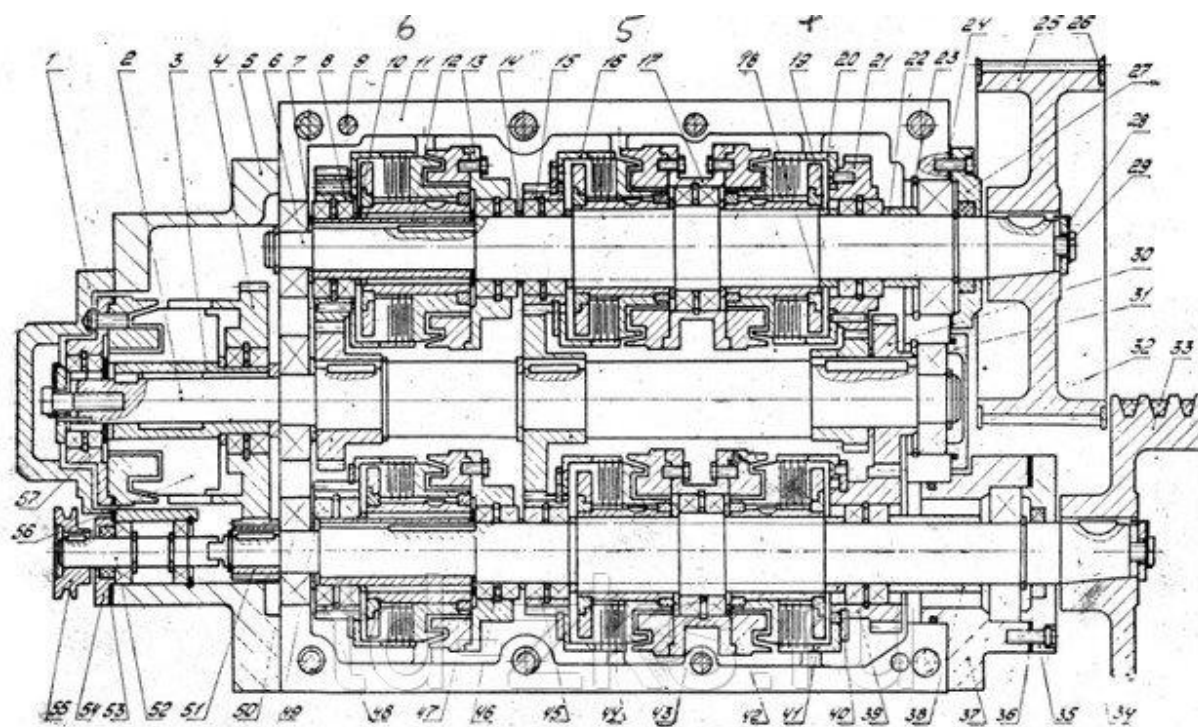


Рис. 6 Переключение передач электромагнитными муфтами – сборочный чертёж

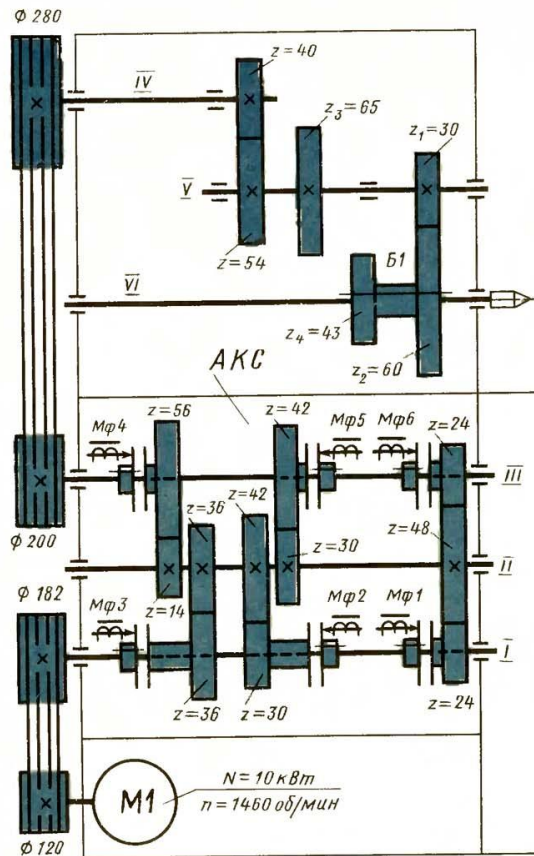


Рис. 7 Кинематическая схема с автоматической коробкой скоростей (АКС) с электромагнитными муфтами

Посмотрите фильм/ <https://youtu.be/yswmg5e1Z-Y>

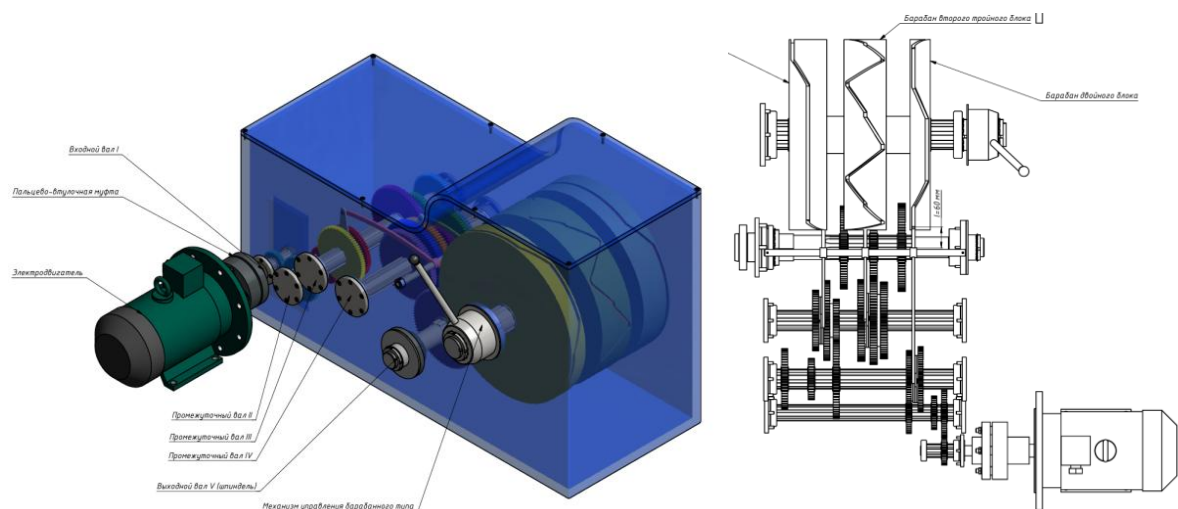


Рис. 8 Коробка с переключением скоростей с помощью барабана



## 6.2 Построение кинематической схемы привода главного движения обрабатывающего центра (ПРИЛОЖЕНИЕ 3)

Любой станок, оснащенный блоками ЧПУ, обладает рабочими органами, которым с помощью управляющих программ сообщаются определенные движения, зависящие от характера выполняемых работ. В ходе эксплуатации устройств используются стандартные кинематические схемы.

### Библиографический список

1. Компоновка металлообрабатывающих станков и проектирование приводов: методическое пособие по выполнению курсового и дипломного проектов, практических и лабораторных заданий/Юго-Зап. гос.ун-т; сост.: Е.И.Яцун. Курск, 2013. 108 с.
2. <https://www.chipmaker.ru/files/file/17432/> Проников А.С. Расчёт и конструирование металлорежущих станков. М., Высшая школа]
3. <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/5130/%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82.pdf?sequence=1/> В.И. Глубокий, В.И. Туромша. Расчет главных приводов станков с ЧПУ Методическое пособие по дисциплине «Конструирование и расчет станков» для студентов машиностроительных специальностей Минск БНТУ 2011.
4. ГОСТ 3462-61 ГОСТ 2.770-68 Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Элементы кинематики.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Электродвигатели постоянного тока,  
 рекомендуемые к применению в приводах главного движения и приводах  
 подач

Тип электродвигателя	Номинальная мощность электродвигателя $N_3$ кВт	Частота вращения электродвигателя $n_3$ мин <sup>-1</sup> .	
		$n_{3 \text{ ном.}}$ номинальная	$n_{3 \text{ max}}$ максимальная
2ПФ-132 МГУ4	2,0	750	3000
2ПБ-132 МГУ4	1,1	750	3000
2ПБ-160 МГУ4	2,1	750	3000
2ПБ-132 МГУ4	2,4	1500	4000
2ПБ-160 МГУ4	2,5	1000	4000
2ПБ-160 МГУ4	2,5	750	3000
ПБСТ-43 У4	2,8	1500	3600
ПБСТ-53 У4	3,3	1000	3000
ПБСТ-62 У4	4,7	1000	3000
ПБСТ-63 У4	5,4	1000	3000
ПБСТ-62 У4	7,2	1600	3600
ПБСТ-63 У4	7,8	1500	3600
2ПФ-132 МГУ4	4,0	1500	4000
2ПФ-132 ГУ4	4,2	1000	3000
2ПФ-160 МГУ4	4,2	750	2500
2ПФ-132 ГУ4	5,5	1500	4000
2ПФ-160 ГУ4	5,6	750	2500
2ПФ-160 МГУ4	6,0	1000	3000
2ПФ-160 МГУ4	7,5	1500	4000
2ПФ-160 ГУ4	8,0	1000	3000
2ПФ-180 МГУ4	9,0	750	2500

2ПФ-160 ГУ4	10,0	1500	4000
2ПБ-132 ГУ4	3,2	1500	4000
2ПБ-160 ГУ4	3,2	1000	3000
2ПБ-180 МГУ4	3,4	750	2500
2ПБ-180 ГУ4	4,2	750	2500
2ПБ-180 МГУ4	4,5	1000	3000
2ПБ-160 ГУ4	5,3	1500	4000
2ПБ-180 ГУ4	5,6	1000	3000
2ПБ-220 ГУ4	6,0	750	2500
2ПО-160 ГУ4	3,2	750	2500
2ПО-160 ГУ4	4,0	1000	3000
2ПО-180 МГУ4	4,5	750	2500
2ПО-180 ГУ4	5,2	750	2500
2ПО-160 МГУ4	6,0	1500	4000
2ПО-200 МГУ4	6,0	750	2500
2ПО-180 МГУ4	6,3	1000	3000
2ПО-160 ГУ4	7,1	1500	4000
2ПО-200 ГУ4	7,1	750	2500
2ПО-180 ОГУ4	7,5	1000	3000
ПБСТ-53 У4	3,3	1000	3000
ПБСТ-52 У4	4,1	1500	3600
ПБСТ-53 У4	4,8	1500	3600

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Нормальные ряды чисел в станкостроении  
(Нормаль станкостроения Н11-1)

Знаменатели рядов предпочтительных чисел													
1,060	1,12	1,26	1,58	1,41	1,78	2,00	1,060	1,12	1,26	1,58	1,41	1,78	2,00
0,100	-	-	-		-		1,000	-	-	-	-	-	-
0,106							1,060						
0,112	-						1,120	-					
0,118							1,180						
0,125	-	-		-		-	1,250	-	-				
0,132							1,320						
0,140	-						1,400	-			-		
0,150							1,500						
0,160	-	-	-				1,600	-	-	-			
0,170							1,700						
0,180	-			-	-		1,800	-				-	
0,190							1,900						
0,200	-	-					2,000	-	-		-		-
0,212							2,120						
0,224	-						2,240	-					
0,236							2,360						
0,250	-	-	-	-		-	2,500	-	-	-			
0,265							2,645						
0,280	-						2,800	-			-		
0,300							3,000						
0,315	-	-			-		3,150	-	-			-	
0,335							3,350						
0,355	-			-			3,550	-					
0,375							3,750						
0,400	-	-	-				4,000	-	-	-	-		-
0,425							4,250						
0,450	-						4,500	-					
0,475							4,750						
0,500	-	-		-		-	5,000	-	-				
0,530							5,300						
0,560	-				-		5,600	-			-	-	
0,600							6,000						
0,630	-	-	-				6,300	-	-	-			
0,670							6,700						
0,710	-			-			7,100	-					
0,750							7,500						
0,800	-	-					8,000	-	-		-		-
0,850							8,500						
0,900	-						9,000	-					
0,950							9,500						

## Продолжение прилож. 2

1,060	1,12	1,26	1,58	1,41	1,78	2,00	1,060	1,12	1,26	1,58	1,41	1,78	2,00
10,00	-	-	-		-		100,0	-	-	-		-	
10,60							106,0						
11,20	-			-			112,0	-					
11,80							118,0						
12,50	-	-					125,0	-	-		-		-
13,20							132,0						
14,00	-						140,0	-					
15,00							150,0						
16,00	-	-	-	-		-	160,0	-	-	-			
17,00							170,0						
18,00	-				-		180,0	-			-	-	
19,00							190,0						
20,00	-	-					200,0	-	-				
21,20							212,0						
22,40	-			-			224,0	-					
23,60							236,0						
25,00	-	-	-				250,0	-	-	-	-		-
26,45							264,5						
28,00	-						280,0	-					
30,00							300,0						
31,50	-	-		-	-	-	315,0	-	-			-	
33,50							335,0						
35,50	-						355,0	-			-		
37,50							375,0						
40,00	-	-	-				400,0	-	-	-			
42,50							425,0						
45,00	-			-			450,0	-					
47,50							475,0						
50,00	-	-					500,0	-	-		-		-
53,00							530,0						
56,00	-				-		560,0	-				-	
60,00							600,0						
63,00	-	-	-	-		-	630,0	-	-	-			
67,00							670,0						
71,00	-						710,0	-			-		
75,00							750,0						
80,00	-	-					800,0	-	-				
85,00							850,0						
90,00	-			-			900,0	-					
95,00							950,0						

## Продолжение прилож. 2

1,060	1,12	1,26	1,58	1,41	1,78	2,00
1000	-	-	-	-	-	-
1060						
1120	-					
1180						
1250	-	-				
1320						
1400	-			-		
1500						
1600	-	-	-			
1700						
1800	-				-	
1900						
2000	-	-		-		-
2120						
2240	-					
2360						
2500	-	-	-			
2645						
2800	-			-		
3000						
3150	-	-			-	
3350						
3550	-					
3750						
4000	-	-	-	-		-
4250						
4500	-					
4750						
5000	-	-				
5300						
5600	-			-	-	
6000						
6300	-	-	-			
6700						
7100	-					
7500						
8000	-	-		-		-
8500						
9000	-					
9500						

## Примеры кинематических схем станков

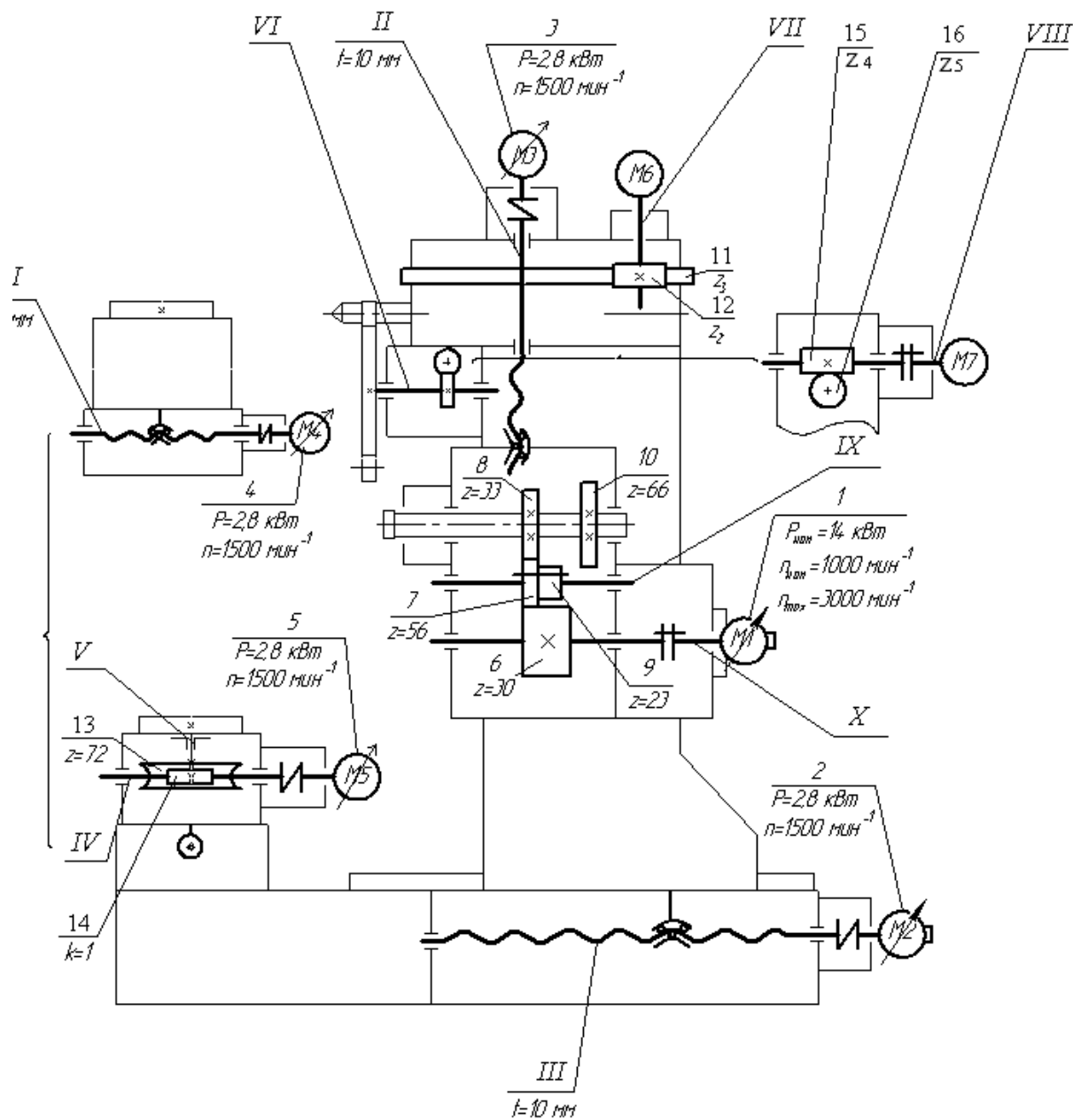


Рис. П1 Кинематическая схема горизонтально-расточного станка

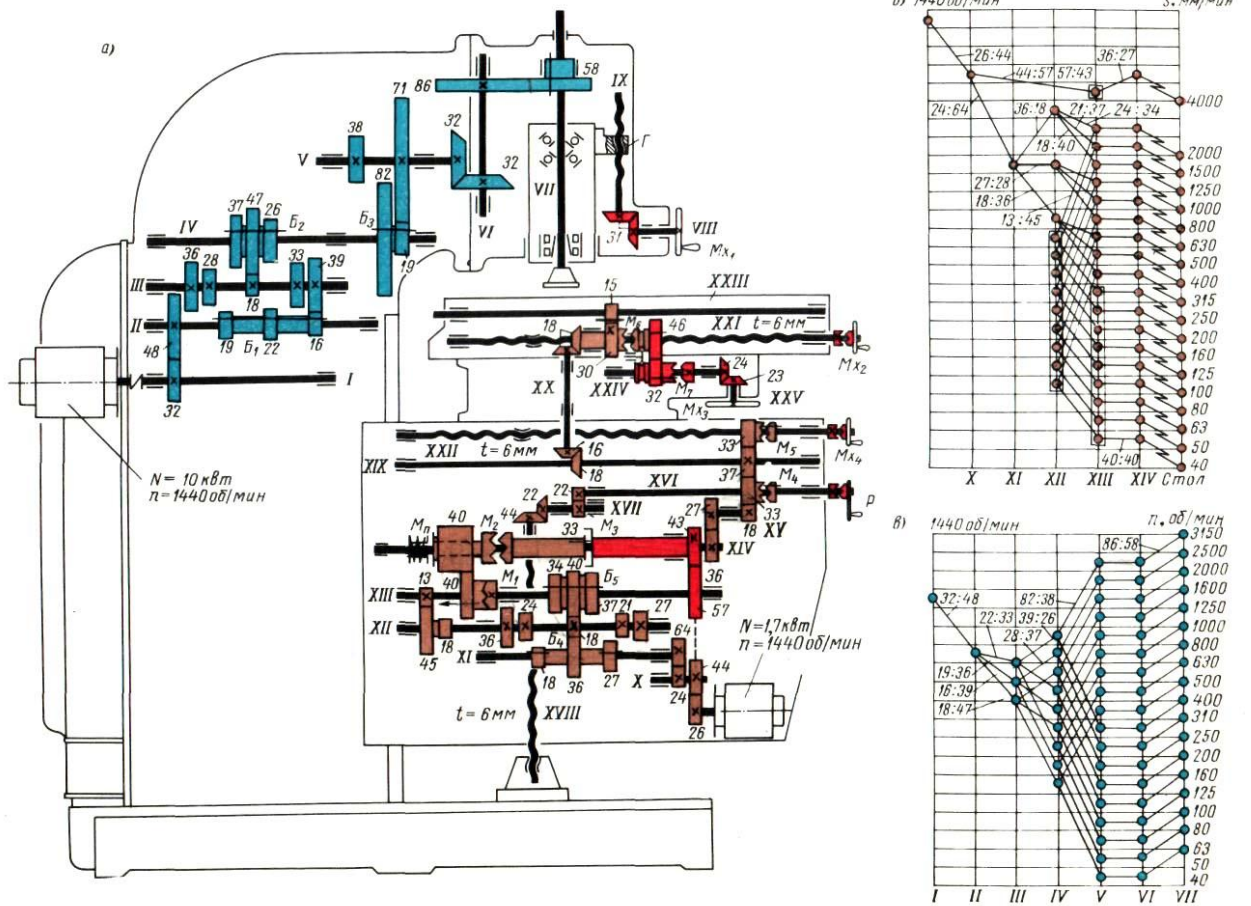


Рис. П2 Кинематическая схема горизонтально-фрезерного станка



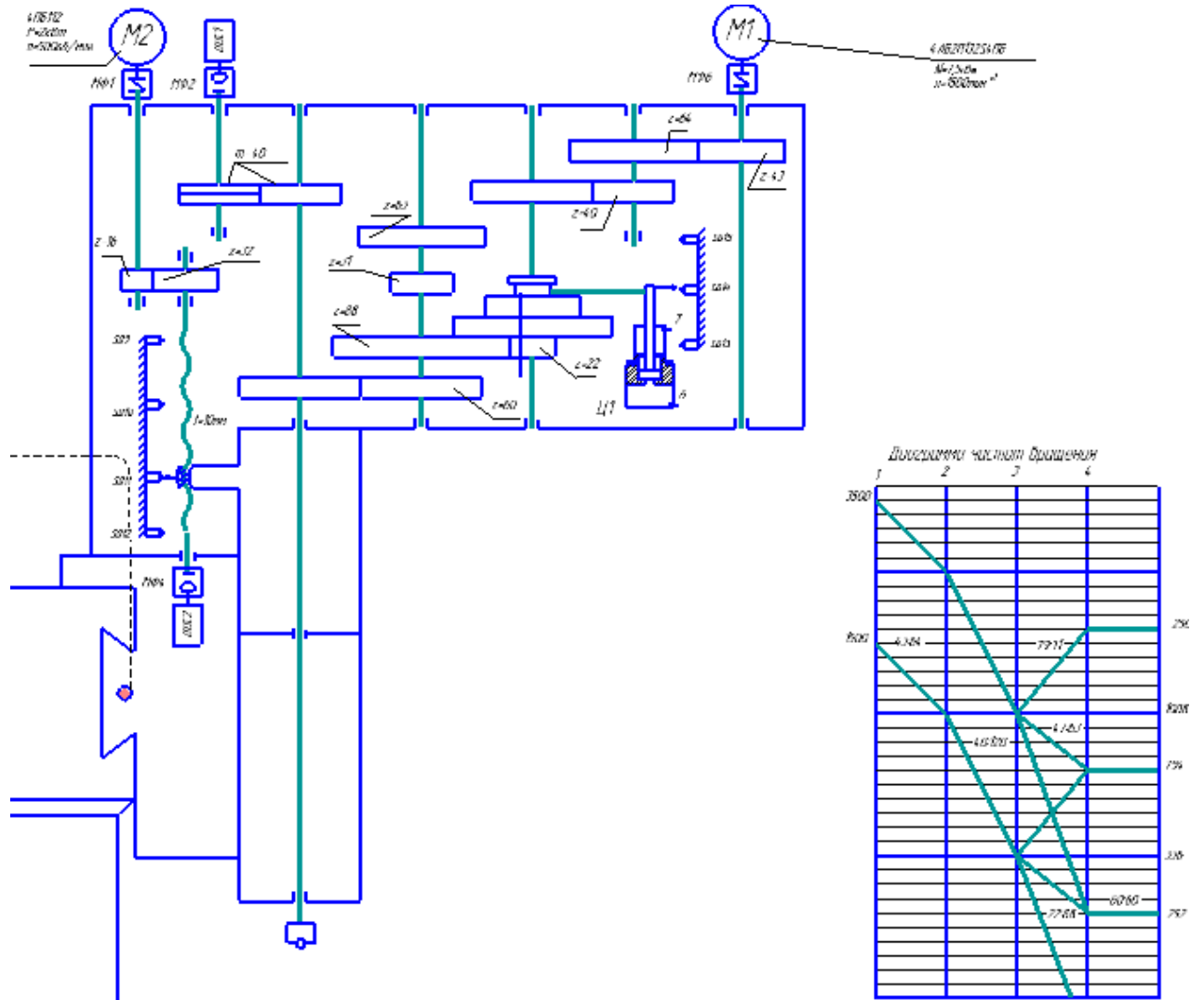


Рис. ПЗ Кинематическая схема вертикально-фрезерного станка

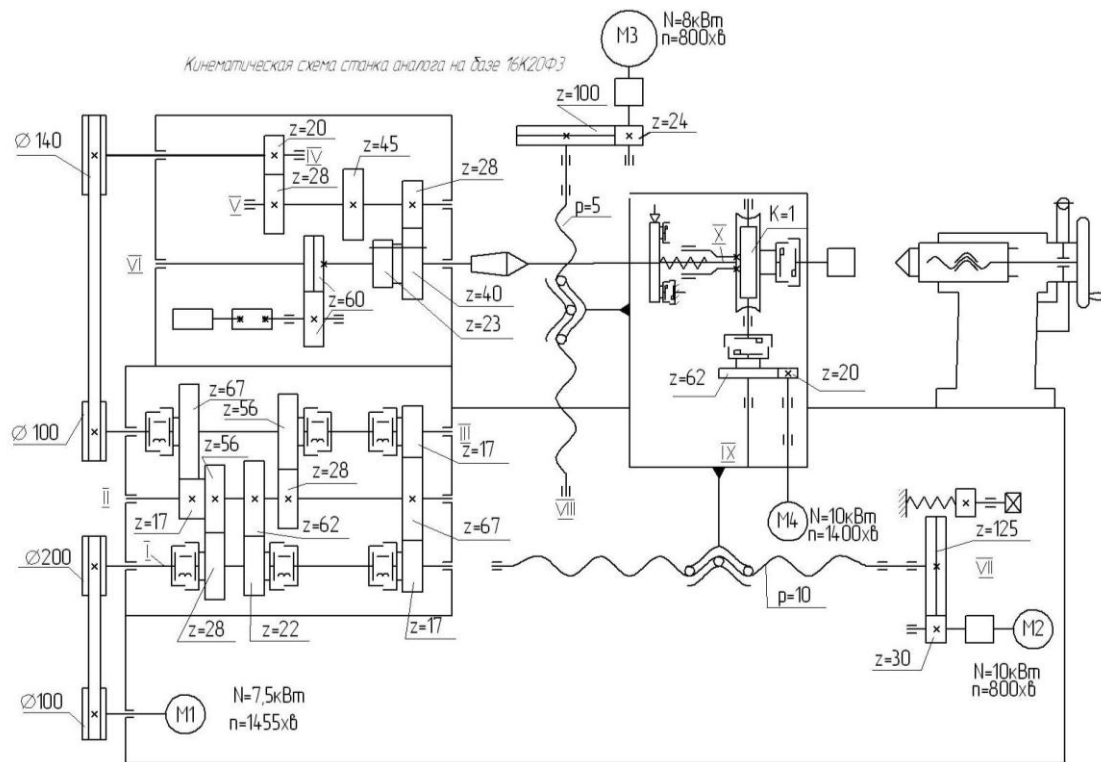


Рис. П4 Кинематическая схема токарного станка

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра машиностроительных технологий и оборудования



**УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНЫ ИНСТРУМЕНТА  
МНОГООПЕРАЦИОННЫХ СТАНКОВ(АСИ)**

Методические указания по выполнению практических и лабораторных работ  
для студентов направления Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств

Курск 2017

УДК 621.(076.1)

Составитель: Е.И.Яцун

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент А.А. Горохов

**Устройства автоматической смены инструмента многооперационных станков (АСИ):** методические указания по выполнению практических и лабораторных работ/Юго-Зап. гос.ун-т; сост.: Е.И.Яцун. Курск, 2017. 39 с.: ил. 28. Библиогр. 7: с.39.

Содержат сведения о накопителях инструментов, о системах смены инструмента многооперационных станков; кинематических схемах инструментальных магазинов, револьверных головок, автооператоров; примеры расчета.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением по специальностям автоматизированного машиностроительного производства (УМО АМ).

Предназначены для студентов направления Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать \_\_\_\_\_20\_\_\_ г. Формат 60x84 1/16

Усл.печ.л. \_\_. Уч.-изд.л. \_\_. Тираж 100 экз. Заказ \_\_\_\_\_. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040 г. Курск, ул.50 Лет Октября, 94.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
СОДЕРЖАНИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1 УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНЫ ИНСТРУМЕНТА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ (АСИ)	5
Требования к устройствам АСИ	5
1.2 Устройства АСИ с инструментом, постоянно закрепленным в шпиндельных узлах	6
1.3 Устройства АСИ с инструментом в гнездах револьверной головки	7
1.4 Устройства АСИ со сменой инструмента в шпинделе станка	7
1.5 Комбинированные устройства АСИ	18
1.6 Агрегатированные устройства АСИ	18
2 УСТРОЙСТВА АСИ ДЛЯ СТАНКОВ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ	19
3 УСТРОЙСТВА АСИ ДЛЯ ФРЕЗЕРНО-СВЕРЛИЛЬНО-РАСТОЧНЫХ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ	22
4 УСТРОЙСТВО АСИ ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНЫХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРОВ	26
5 КОНСТРУКЦИИ МЕХАНИЗМОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНЫ ИНСТРУМЕНТОВ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ СТАНКОВ	28
5.1 Многооперационные станки сверлильно-фрезерно-расточного типа	28
5.2 МАСИ токарных многоцелевых станков	31
5.3 Устройства смены инструмента шлифовальных станков	37
Библиографический список	39

## ВВЕДЕНИЕ

Характерной особенностью станков с ЧПУ является наличие у них устройств автоматической смены инструментов (АСИ), основная цель которых – сокращение времени простоя станков, затрачиваемого на смену инструмента.

Устройства автоматической смены инструмента (АСИ) обеспечивают стабильное точное, жесткое и надежное положение инструмента и минимальное время его смены.

Устройства автоматической смены инструмента (магазины, автооператоры, револьверные головки) должны обеспечивать минимальные затраты времени на смену инструмента, высокую надежность в работе, стабильность положения инструмента, т.е. постоянство размера вылета и положения оси при повторных сменах инструмента, иметь необходимую вместимость магазина или револьверной головки.

Станки с ЧПУ, оснащенные устройствами автоматической смены инструмента и заготовки, настройки и поднастройки, позволяют исключить участие человека в технологическом процессе обработки заготовки на станке.

Цель работы.

1. Ознакомиться с конструкциями накопителей инструментов многоцелевых станков.

2. Изучить конструкции устройств автоматической смены инструментов (АСИ) различных станков

3. Выполнить кинематический расчет устройства АСИ.

## 1 УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНЫ ИНСТРУМЕНТА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ (АСИ)

Устройства автоматической смены инструмента (АСИ) применяются в автоматизированных станках и в станках с ЧПУ и служат для автоматической смены инструмента при обработке детали, в соответствии с технологическим процессом.

АСИ управляются единой системой управления и состоят из:

накопителей инструментов (многопозиционные резцедержатели, револьверные головки, инструментальные магазины);

автооператоров (манипуляторы) с захватными устройствами для смены инструмента в шпинделе станка;

транспортирующих и зажимных устройств.

АСИ во многом определяют работоспособность станков и к ним предъявляются следующие требования:

минимальное время смены инструмента,

необходимое количество инструментов для обработки сложных деталей,

простота конструкции,

безопасность в работе,

высокая надежность,

высокая точность позиционирования инструмента в шпинделе станка.

АСИ многооперационных станков делятся на четыре группы:

с инструментом, постоянно закрепленным в шпиндельных узлах;

с инструментом в гнездах револьверной головки;

со сменой инструмента в шпинделе станка;

комбинированные.

По составу устройства АСИ делят на устройства:

без автооператора;

с автооператором;

с позицией ожидания;

с промежуточным носителем и автооператором;

с револьверными головками.

По относительному расположению инструментов в магазине и шпинделе станка устройства АСИ делят на устройства АСИ для МС с соосным, параллельным и угловым относительным расположением инструментов.

По типам МС выделим устройства АСИ для МС с горизонтальным, вертикальным расположением шпинделя и для продольно-обрабатывающих МС.

Принципы действия и особенности основных типов устройств АСИ рассмотрим в соответствии с этой классификацией.

Основное внимание обратим на устройства для смены одиночных инструментов как наиболее распространенные.

#### Требования к устройствам АСИ

Устройство АСИ должно обеспечивать передачу инструмента вместе с инструментальной оправкой из магазина в шпиндель станка и обратную замену отработавшего инструмента другим по ходу выполнения технологической операции. На тех многооперационных станках (МС), где используют наряду с одиночными инструментами инструментальные одно- и многошпиндельные головки, должно быть предусмотрено устройство для автоматизации смены таких головок.

***Первое требование*** к устройству АСИ — быстроедействие.

Чтобы сократить простой МС при смене инструментов, стремятся разделить цикл работы устройства АСИ таким образом, чтобы подготовительные действия — поиск нужного инструмента в магазине, перенос его к шпинделю, ориентация, а также возврат сменяемого инструмента в магазин — выполнялись во время работы станка. В этом случае для остановки шпинделя и отвода его от заготовки требуется всего несколько секунд для того, чтобы извлечь отработавший инструмент из шпинделя и установить следующий.

***Второе требование*** - высокая надежность. Длительный отказ устройства АСИ вызывает необходимость ручной смены инструмента, из-за чего эффективность применения МС резко снижается.

***Третье требование.*** Для упрощения кинематики и конструкции механизмов смены инструментов, облегчения конструктивных и технологических решений, повышения



надежности и улучшения условий обслуживания важно, чтобы общее число движений в цикле автоматической смены инструмента было минимальным. В числе этих движений нежелательно включать перемещение шпиндельной бабки в позицию смены инструмента, так как при этом нарушается достигнутое при позиционировании положение шпинделя по отношению к заготовке, — после смены инструмента шпиндель не может вернуться абсолютно точно в исходное положение. Поэтому каждое точное отверстие стремятся обработать полностью несколькими инструментами, не смещая шпиндель относительно оси отверстия.

Отсюда — **четвертое требование**: смену инструментов желательно выполнять при любом положении шпиндельной бабки.

**Пятое требование.** В станкостроении все шире внедряется принцип агрегатирования. Применительно к магазинам и механизмам автоматической смены инструментов это означает разработку конструкций, позволяющих один и тот же тип магазина, устройства АСИ использовать на разных станках, или в зависимости от условий производства, где работает станок, оснащать его магазинами разных типов.

Очень важными требованиями к любой системе смены инструмента являются простота и безопасность обслуживания, доступность механизмов и устройств, удобство наладки и переналадки, ремонтпригодность. Обеспечить выполнение всех этих требований удастся далеко не всегда. Создание совершенных систем автоматической смены инструмента представляет сложную конструкторско-технологическую проблему.

## 1.2 Устройства АСИ с инструментом, постоянно закрепленным в шпиндельных узлах

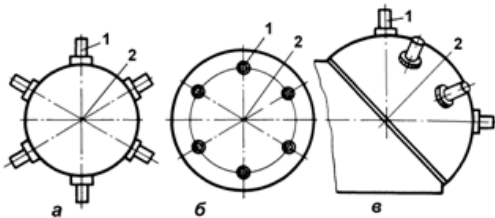


Рисунок 1.1 – Инструментальные магазины с инструментом, закрепленным в шпиндельных узлах

В устройствах АСИ с инструментом, постоянно закрепленным в шпиндельных узлах, каждый из шпинделей в рабочей позиции получает вращение от главного привода. Шпиндели установлены в револьверной головке, и их смена осуществляется путем поворота револьверной головки (рис. 1.1, а). Смена инструмента происходит за 2...3 с.

Основными недостатками таких устройств АСИ являются:

- ограничено количество применяемого инструмента (7...8 шт.);
- не обеспечивается жесткость конструкции;
- точность обработки определяется точностью фиксации различных шпиндельных узлов;
- большая масса и габариты АСИ;
- высокая стоимость

### 1.3 Устройства АСИ с инструментом в гнездах револьверной головки

В токарных станках с ЧПУ в качестве устройства АСИ применяют револьверные головки (РГ), позволяющие установку инструментов (Рис. 1.2).

Инструмент в РГ устанавливается в специальных державках (Рис. 1.3) и смена инструмента осуществляется поворотом дискового магазина РГ, по команде от устройства ЧПУ.

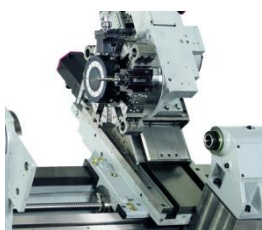


Рисунок 1.2 - Револьверные головки

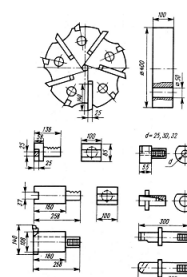


Рисунок 1.3 – Типовые резцовые блоки крепления цилиндрическим хвостовиком с реечным зацеплением

Иногда широкоуниверсальные станки оснащаются 2-мя револьверными головками.

### 1.4 Устройства АСИ со сменой инструмента в шпинделе станка

Устройства для смены инструмента в шпинделе станка имеют (Рис. 1.4):

инструментальный магазин,

устройство переноса инструмента (автооператор) из магазина в шпиндель и наоборот.

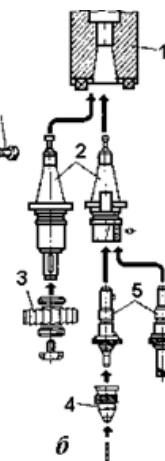
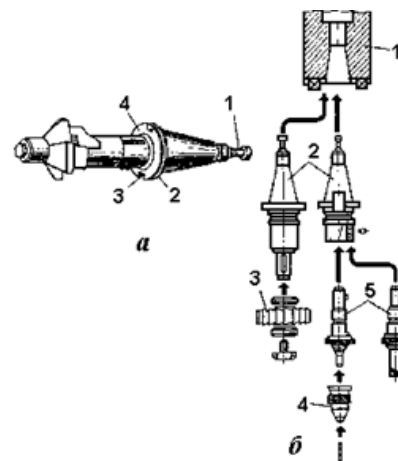
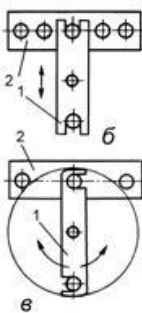
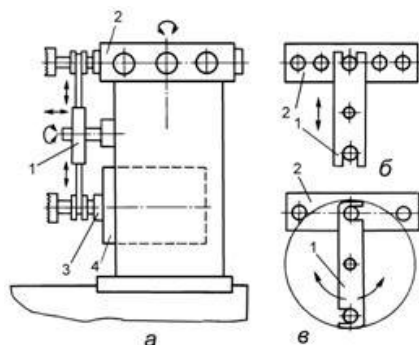


Рисунок 1.4 – Схема смены инструмента манипулятором

Рисунок 1.5 - Схема построения инструментального комплекта для многоцелевых станков:  
а – инструментальная–оправка с коническим хвостовиком; б – общая схема комплекта

При этом инструмент устанавливается в специальных оправках с коническим хвостиком, имеющим конусность 7:24.

Для сокращения номенклатуры оправок применяют унифицированные инструментальные комплекты вспомогательного инструмента (Рис. 1.5).

Комплект состоит из различных оправок 2, устанавливаемых в шпиндель станка 1, переходных втулок или оправок 5, патронов 4, что позволяет закреплять различный режущий инструмент 3.

Инструментальные магазины могут быть, в зависимости от расположения оси шпинделя, с горизонтальной или вертикальной осями вращения (Рис.1.6).

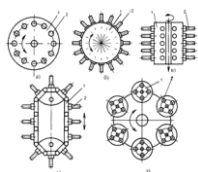


Рисунок 1.6 – Виды инструментальных магазинов

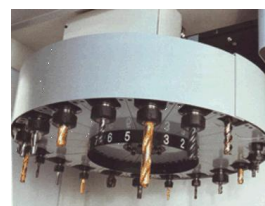


Рисунок 1.7 - Дисковый инструментальный магазин с вертикальной осью фрезерный станка мод. ЛФ260МФЗ

При использовании более 30...40 инструментов используют цепные магазины, а при небольшом количестве применяют дисковые (Рис. 1.7).

Для увеличения емкости АСИ применяют магазины, состоящие из нескольких секций. При расположении магазина вне рабочей зоны, инструмент меняется с помощью автооператора, конструкция которого определяется видом магазина и его расположением.

Управление автооператором осуществляется устройством ЧПУ по командам, обеспечивающим определенный цикл.

Цикл работы автооператора включает следующие движения:

Выдвижение захватов.

Захват оправок, одновременно, в шпинделе и в магазине.

Опускание автооператора, с оправками, вниз.

Задвижение захватов.

Поворот захватов на 180°.

Выдвижение захватов.

Подъем автооператора вверх и установка одного инструмента в шпиндель, другого в магазин.

Задвижение захватов.

Поворот захватов на  $180^0$  в исходное положение.

Смена инструмента в данных АСИ осуществляется только в одном определенном положении шпиндельной бабки, что снижает точность обработки и увеличивает время смены инструмента.

Такого недостатка лишены АСИ, имеющие перемещающиеся автооператоры и отслеживающие положение шпиндельной бабки.

В настоящее время разработана модульная система АСИ, состоящая из унифицированных узлов. Такой принцип построения АСИ позволяет применять их на многих многоцелевых станках.

Автоматический поиск инструмента в магазине осуществляется 3-мя методами:

установкой инструментальных отправок в магазине строго в определенной последовательности;

кодированием инструментальных блоков;

кодированием гнезда магазина.

В настоящее время находит применение система с *магнитным кодовым носителем*, смонтированным в оправку, и бесконтактным датчиком считывания кода.

Когда обработка детали требует небольшого числа инструментов, и каждым из них используется только один раз, инструментодержатели в магазине или револьверной головке располагаются в последовательности выполнения обработки.

При каждой смене инструмента магазин перемещается на один шаг. В остальных случаях применяют кодирование инструмента или кодирование гнезда магазина.

При кодировании оправки отработавший инструмент возвращается в гнездо перегружаемой оправки в шпиндель, что позволяет сокращать время смены инструмента. Однако при этом усложняется конструкция оправок и поиск нужного инструмента.

Кодирование инструмента на оправке (Рис. 1.8) осуществляют установкой определенной комбинации сменных кодовых колец 2 и 3 или уже имеющихся на сменном хвостовике инструментальной оправки (на представленном фото хвостовика имеются кольца закодированные под цифрами **1** и **4**, которые дадут кодовую комбинацию номера оправки **05**); во время движения магазина кодовые кольца нажимают на путевые переключатели 4; при возникновении заданной комбинации сигналов магазин остановится в требуемом положении (1 – конус Морзе для крепления оправки).

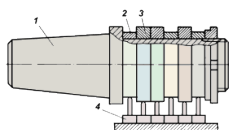


Рисунок 1.8 – Кодирование инструментальной оправки



Рисунок 1.9 - Номер на хвостовике инструментальной оправки

Для распознавания оператором необходимого инструмента его номер выбит на хвостовике инструментальной оправки, например **05** или **08** и т.д. (Рис. 1.9).

Хвостовики сменные и могут вворачиваться в любые инструментальные оправки, позволяя тем самым присваивать соответствующий номер любому инструменту, записанному в управляющей программе.

### Устройства АСИ для МС с соосным расположением инструментов

При соосном расположении инструментов в гнезде магазина и шпинделе МС при смене инструментов достаточно повернуть магазин до совмещения гнезда магазина с осью шпинделя, а затем, перемещая шпиндель вдоль оси, вытолкнуть инструмент из магазина и закрепить в шпинделе. Возврат отработавшего инструмента в шпиндель выполняется в обратном порядке.

Схемы действия таких устройств показаны. Широко известно устройство, показанное на рис. 1.10. Магазин на 12 инструментов выполнен в виде массивного барабана с наклонной осью поворота. Ось инструментального гнезда, находящегося в момент смены инструмента в нижнем положении, совмещается с осью шпинделя.

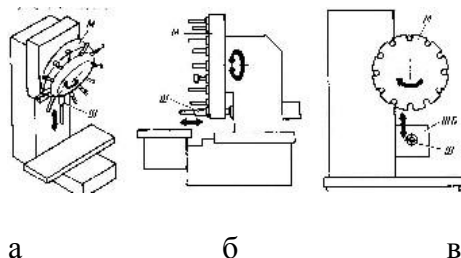


Рисунок 1.10 - Соосное расположение инструментов

в гнезде магазина и шпинделе МС

При движении вниз шпиндель захватывает инструмент за оправку и перемещает его к заготовке. Зажатие оправки в шпинделе производится автоматически. При ходе пиноли

шпинделя в верхнее положение инструментальная оправка с инструментом автоматически отсоединяется от шпинделя и остается в гнезде магазина. При крайнем верхнем положении шпинделя магазин поворачивается — происходит поиск следующего заданного программой инструмента. Угол поворота определяется номером гнезда, в котором находится нужный инструмент. После использования инструмент возвращается в то же гнездо. Поиск инструмента происходит при остановленном шпинделе в его верхнем положении. Время на поворот магазина не совмещается с машинным временем.

В станке горизонтальной компоновки фирмы Wyssbrod (Швейцария) ось магазина емкостью 20 инструментов расположена горизонтально (Рис. 1.10, б). Выдача инструмента из магазина происходит при ходе вперед пиноли шпинделя так же, как в схеме на рис. 1.10, а. Станок предназначен для обработки мелких точных заготовок.

Аналогичный способ смены инструментов использован на вертикальном МС фирмы Brown и Sharpe (США) (рис. 1.10, в).

Рассмотренный способ смены инструмента имеет существенные недостатки:

- 1) пиноль шпинделя совершает длительные вспомогательные ходы, необходимые для подачи инструмента в рабочую зону; из-за увеличенного вылета жесткость шпиндельного узла недостаточна для точной обработки чугуновых и стальных заготовок;
- 2) максимальная емкость магазина при допустимых габаритных размерах ограничена необходимостью размещения гнезд для инструментальных оправок на значительном расстоянии друг от друга, иначе выступающие из них неработающие инструменты будут мешать инструменту в рабочей позиции;
- 3) для поиска инструмента магазин должен отводиться от заготовки на значительное расстояние;
- 4) инструментальный магазин находится в рабочей зоне станка или в непосредственной близости от нее. Режущий и вспомогательный инструмент и механизмы магазина легко загрязняются металлической пылью, разбрызгиваемой СОЖ, мелкой стружкой.

#### 1.4.2 Устройства АСИ для МС с параллельным расположением инструментов.

Чтобы разместить инструментальный магазин вне рабочей зоны МС, его поднимают над шпиндельной бабкой или выносят в сторону от нее, а иногда устанавливают на отдельную стойку. Во всех этих случаях оси инструментов в магазине и шпинделе МС не совпадают, но могут быть параллельными между собой.

Для смены инструментов здесь добавляется движение, необходимое для совмещения осей сменяемого инструмента и шпинделя во фрезерно - расточном станке. Дисковый магазин опускается и свободным гнездом — вырезом захватывает оправку сменяемого инструмента (перед этим происходит автоматическое раскрепление оправки в шпинделе). Вслед за этим ползунковая бабка перемещается вдоль оси шпинделя, и оправка с инструментом остается в гнезде магазина. Магазин поворачивается для поиска следующего инструмента по его месту в магазине (в программе кодируется номер гнезда). После совмещения сменяющего инструмента со шпинделем следует ход вперед ползунковой бабки, и инструментальная оправка закрепляется в отверстии шпинделя.

Магазин поднимается за пределы рабочей зоны, шпиндель быстро подводится к заготовке. Подобный способ смены инструмента приведен и для продольно — обрабатывающих МС (Рис. 1.11). На МС Sass vertimatic (Италия) дисковый магазин расположен на боковой стойке и может совершать два движения: поворот для поиска сменяемого инструмента и перемещение вдоль своей оси для смены инструмента. После выполнения очередного перехода шпиндельная бабка совершает быстрый ход влево до совмещения оси отработавшего инструмента со свободным гнездом магазина.

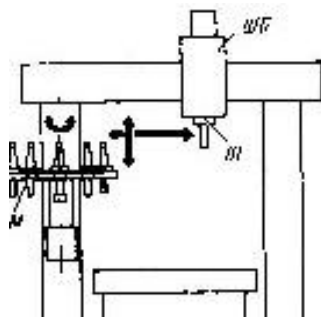


Рисунок 1.11 - Параллельное расположение инструментов в гнезде магазина и шпинделе МС

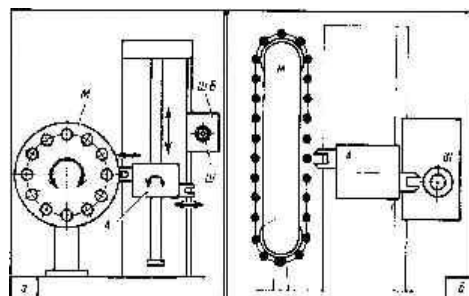


Рисунок 1.12 - Устройства АСИ с автооператором и магазином:

*а* — дисковым; *б* — цепным

Магазин поднимается, забирает оправку с инструментом из шпинделя (к этому моменту оправка автоматически раскрепляется), опускается, поворачивается для поиска следующего инструмента и вновь поднимается, заталкивая его в шпиндель. Сейчас же следует закрепление в шпинделе. Магазин опускается в нижнее положение, а шпиндельная бабка совершает быстрый ход вправо для обработки очередной поверхности заготовки. Общий недостаток двух приведенных схем — значительные потери времени на вспомогательные ходы магазина или шпиндельной бабки в связи с их большой массой.

### 1.4.3 Устройства АСИ с автооператором

Ускорить перенос и смену инструментов при размещении магазина вне рабочей зоны можно с помощью автооператора.

На МС с горизонтальным шпинделем ИР-500МФ4, ИР-800МФ4 и многих зарубежных станках устанавливают инструментальный магазин (М) на стойку станка (Рис. 1.12). Между шпиндельным Ш станка и магазином М расположен автооператор А, который при повороте забирает оправку с отработавшим инструментом из шпинделя (перед этим оправка раскрепляется) и сменяющий инструмент из гнезда. Для связи магазина со шпинделем Ш станка используют автооператор А с двумя захватами.

Существуют две принципиальные схемы работы автооператора.

В первой схеме (Рис. 1.12, *а*) при смене инструментов автооператор совершает ход снизу вверх, захватывает оправку инструмента, находящегося в гнезде, и вытаскивает ее в направлении оси. Затем автооператор ходом вдоль оси шпинделя вытаскивает отработавший инструмент. Следует поворот автооператора вокруг своей оси на  $180^\circ$  — к

шпинделю подводится сменяемый инструмент; ходом вдоль оси инструмент «заталкивается» в шпиндель, где автоматически закрепляется. После этого каретка автооператора передвигается вверх для переноса отработавшего инструмента в магазин.

Для увеличения емкости магазина без увеличения его диаметра используют двух- и многодисковые магазины.

В другой схеме (Рис. 1.12, б) автооператор не имеет вертикального перемещения. При смене инструментов он, поворачиваясь вокруг горизонтальной оси, одновременно захватывает инструменты из магазина и шпинделя, а затем ходом вдоль оси вытаскивает их, поворотом на  $180^0$  меняет местами и вставляет в магазин и шпиндель. Цикл смены заканчивается поворотом автооператора в горизонтальное — нейтральное положение, при котором он не мешает повороту магазина и вертикальному перемещению шпиндельной бабки. Как видно, вторая схема отличается более простым циклом работы автооператора. Однако в ней есть и существенный недостаток: при повороте автооператор может задевать инструменты, расположенные в соседних гнездах магазина. Поэтому расстояние  $I$  между гнездами, а, следовательно, максимальное число инструментов в магазине одинакового диаметра  $D$  будет меньше.

#### 1.4.4 Устройства АСИ для МС с угловым расположением инструментов

В этом случае приходится поворачивать инструмент в процессе смены в положения, параллельные осям шпинделя и магазина (Рис. 1.13).

Инструменты, закрепленные в оправках, вставляют при наладке станка в гнездо барабанного магазина, размещенного наверху стойки горизонтального МС. Попадая в позицию смены инструмента, гнездо поворачивается в горизонтальное положение, и ось инструмента становится параллельной оси шпинделя. Цикл смены инструмента в станке простой: из нейтрального положения автооператора А с помощью гидроцилиндра и реечно-зубчатой передачи поворачивается относительно своей оси, захватывая одновременно оправки инструментов, находящихся в гнезде магазина и шпинделя. Затем с помощью гидроцилиндра Ц, автооператор ходом вдоль своей оси вытаскивает инструменты из магазина и шпинделя, поворачивается вместе с ними на  $180^0$  и меняет инструменты местами. После возврата автооператора в нейтральное положение шпиндель начинает выполнение очередного перехода.

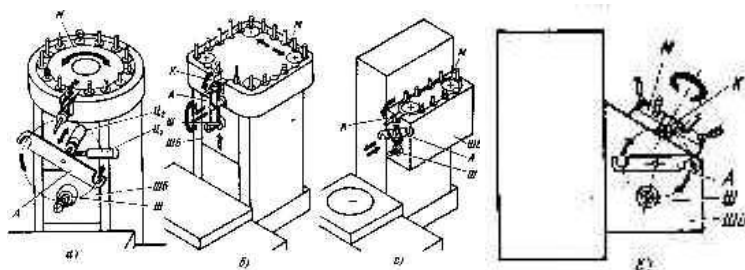


Рисунок 1.13 - Устройства АСИ для МС с угловым расположением инструментов

Отработавший инструмент подается в освободившееся гнездо, на место вынутого оттуда. Если кодируются гнезда магазина, то перед подачей отработавшего инструмента в свое гнездо потребуется повернуть освободившееся гнездо на  $90^0$  (вверх), магазин — в



положение поиска гнезда отработавшего инструмента, а затем установить гнездо в горизонтальное положение.

Все это время шпиндель не работает, и время на смену инструмента существенно возрастает. Смена инструмента возможна только при одном — верхнем положении шпиндельной бабки ШБ.

Вместо барабанного магазина может быть установлен цепной. Вертикальное (или наклонное) положение инструмента в магазине взамен горизонтального имеет некоторые преимущества: магазин с инструментами имеет меньшие размеры в плане, упрощается удержание инструментальной оправки в гнезде магазина (этому помогает сила тяжести), меньше опасность травмирования наладчика, обслуживающего станок, в случае, если магазин начнет поворачиваться для поиска инструмента.

#### 1.4.5 Устройство с взаимно перпендикулярным расположением инструментов в магазине и шпинделе

В некоторых МС инструментальный магазин размещают на корпусе шпиндельной бабки.

Такую компоновку имеют, например, универсальные станки с горизонтальным шпинделем и барабанным или цепным магазином. Емкость магазина небольшая — обычно 16...24 инструмента. Достоинство компоновки — шпиндельную бабку или каретку автооператора не нужно перемещать при смене инструментов. Такая компоновка обусловлена удобством доступа к гнездам магазина для загрузки и разгрузки инструментов при переналадке станка или замены изношенного инструмента (Рис. 1.14).

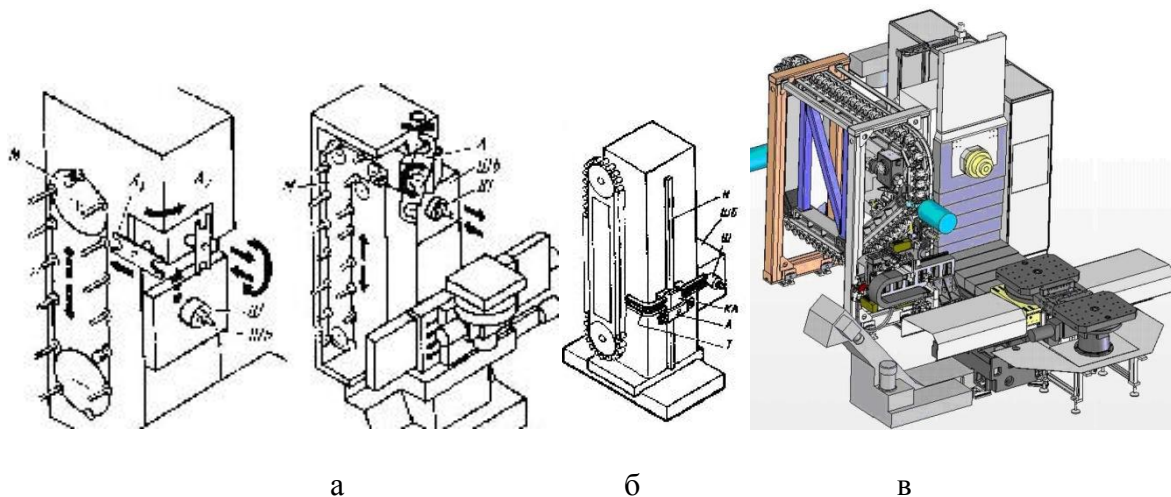


Рисунок 1.14 - Устройства АСИ при боковом расположении магазина на горизонтальных МС

Но боковое по отношению к стойке расположение шпиндельной бабки вызывает неравномерную жесткость шпинделя при изменении направления силы резания в процессе растачивания отверстий в корпусных заготовках. В сочетании со значительной и переменной массой магазина, возможностью передачи вибраций механизмов шпинделя при поиске инструмента это существенно затрудняет достижение высокой точности обработки. Во многих МС применяют компоновки с боковым размещением инструментального магазина.

Задача смены инструментов при любом положении шпиндельное бабки в крупных МС с боковым расположением магазина (Рис. 1.8. в) успешно решается применением подвижной траверсы Т, перемещающейся вверх — вниз по направляющей Н стойки станка. Траверса изогнута под прямым углом. Каретка КА автооператора А перемещается по направляющим траверсы с помощью шестеренчато- реечной передачи. В крайнем левом положении захват автооператора забирает инструмент из магазина и движением вдоль оси извлекает его.

Затем происходит перемещение каретки КА по траверсе, которая в это же время поднимается или опускается в положение, где находится шпиндельная бабка. Правый захват вытаскивает инструмент из шпинделя. Затем происходит смена инструментов.

#### 1.4.6 Устройства АСИ с позицией ожидания

В особую группу устройства АСИ можно выделить устройство, где между магазином и автооператором имеется позиция ожидания. В этой промежуточной позиции может находиться инструмент, подготовленный для подачи в шпиндель, или инструмент, уже закончивший работу и ожидающий возврата в свое гнездо магазина.

Использование позиции ожидания обусловлено следующим. Поворот магазина для поиска нужного инструмента, перенос этого инструмента в позицию ожидания, а также поворот магазина для поиска сменяемого инструмента и перенос в это гнездо инструмента из позиции ожидания происходит во время работы станка.

Это удобно в тех случаях, когда кодируются гнезда магазина, и потому нельзя вставить отработавший инструмент в гнездо, откуда только что извлекли другой инструмент. Наряду с преимуществом такой способ смены инструмента имеет существенный недостаток: необходимо устанавливать добавочный автооператор для передачи инструмента из магазина в позицию ожидания и обратно.

Добавочный автооператор ДА, расположен внутри барабанного магазина М, имеет один захват (Рис. 1.15).

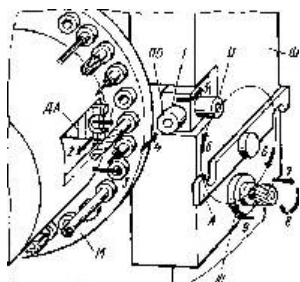


Рисунок 1.15 - Устройства АСИ с позицией ожидания

Смещаясь в радиальном направлении, он захватывает оправку инструмента, находящуюся в магазине, и вытаскивает ее из гнезда. Затем следует дополнительное радиальное перемещение автооператора до совмещения оправки с гнездом позиции ожидания ПО и продольный ход. После фиксации оправки в гнезде автооператор ДА возвращается в исходное положение. Все это время станок работает, выполняя очередной переход. После его окончания шпиндельная бабка ШБ поднимается в позицию смены инструмента. Основной оператор А, поворачиваясь на своей оси, одновременно вытаскивает оправки с инструментами из шпинделя и м гнезда позиции ожидания и меняет их местами.

Шпиндельная бабка подается в рабочую позицию, начинается следующий переход. В это же время поворотом магазина гнездо инструмента, занимающего позицию ожидания, подводится в позицию смены, добавочный автооператор переносит инструмент из него в магазин. Происходит поиск следующего инструмента, и он доставляется в позицию ожидания. Рассмотрим устройство смены инструментов с использованием позиции ожидания на горизонтальном МС. Магазин размещен на боковой стороне стойки, и оси инструментов в магазине и шпинделе взаимно перпендикулярны. Поэтому позиция ожидания выполнена в виде гнезда, поворачивающегося относительно вертикальной оси.

Основной А и дополнительный ДА автооператоры совершают перемещения во взаимно перпендикулярных плоскостях. Инструмент, предназначенный для подачи в шпиндель, подается в позицию смены поворотом дискового магазина М. Дополнительный автооператор ДА движением в направлении стрелки 1 захватывает инструментальную оправку и ходом 2 вытаскивает ее из магазина. Следует движение 3 автооператора до совмещения оси инструментальной оправки с осью гнезда позиции ожидания. Ходом 4 оправки с инструментом подаются в гнездо.

Дополнительный автооператор ДА возвращается в исходное положение. Подготовка к смене инструментов, выполняемая во время работы станка, заканчивается поворотом гнезда позиции ожидания ПО на  $90^\circ$  вокруг вертикальной оси — из положения I в положение II (новое положение гнезда показано на схеме тонкими линиями) — движение 5. По окончании работы инструмента, находящегося в шпинделе, автооператор А, поворачиваясь относительно горизонтальной оси (движение 6), захватывает одновременно оправки сменяемого и нового инструмента, вытаскивает их (ход 7) из гнезда и шпинделя и, поворачиваясь на  $180^\circ$  (ход 8), меняет их местами. Ходом 9 оправки подаются в гнездо ПО и шпиндель Ш. Для возврата отработавшего инструмента в магазин гнездо ПО поворачивается на  $90^\circ$ , и вступает в работу автооператор ДА. На заводе деревообрабатывающих станков принята система кодирования гнезд магазина: каждый инструмент должен быть возвращен в свое гнездо. Поэтому во время выполнения рабочего перехода и смены инструмента в шпинделе осуществляется поиск нужного гнезда магазина. Инструмент сменяется при любом положении шпиндельной бабки, так как магазин перемещается по вертикальным направляющим стойки станка совместно со шпиндельной бабкой.

Конструкторам вертикального станка Mitsui Seiki VP4A (Япония) удалось совместить в одном узле функции дополнительного автооператора, кантователя и позиции ожидания (Рис. 1.16). Корпус дополнительного автооператора ДА закреплен на конце штока гидроцилиндра Ц и может поворачиваться относительно горизонтальной оси. В начале цикла смены инструмента ДА находится в крайнем левом положении.

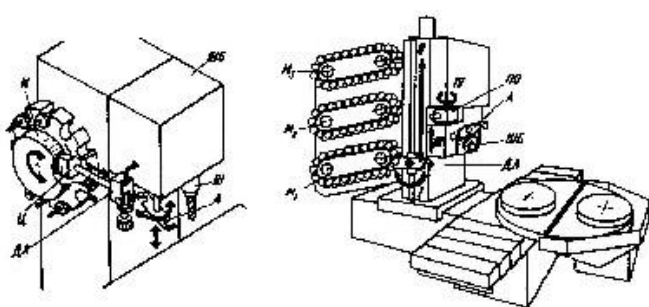


Рисунок 1.16 - Совмещение в одном узле функции дополнительного автооператора, кантователя и позиции ожидания станка Mitsui Seiki VP4A (Япония)

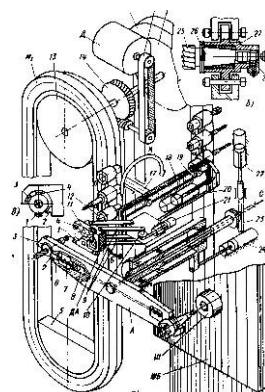


Рисунок 1.17 - Устройство АСИ для МС с двумя магазинами

Он захватывает оправку с инструментом из гнезда дискового магазина М и перемещается вправо. Здесь корпус ДА опрокидывается в положение, показанное на схеме, и инструмент оказывается в позиции ожидания. В нужный момент автооператор А производит смену инструментов в шпинделе Ш — захват поворотом вокруг своей оси, вытаскивание, поворот на  $180^\circ$ , смену. На МС, предназначенных для обработки сложных заготовок, требующих использования многих десятков инструментов, часто устанавливают несколько магазинов ограниченной емкости вместо одного. Это позволяет уменьшить габариты и упростить конструкцию каждого из них, сократить время поиска инструмента. Вместе с тем усложняется смена инструментов.

#### 1.4.7 Устройство АСИ с промежуточным носителем

Стремление удалить инструментальный магазин от рабочей зоны МС привело к разработке устройств АСИ, где кроме основного автооператора имеется какой-либо промежуточный носитель, обеспечивающий связь между шпиндельной бабкой и магазином.

И одним из примеров такого решения может служить МС, предназначенный для обработки сложных заготовок массой до 12 т. Два цепных магазина М1 и М2, емкостью 60 инструментов каждый, размещены в общем корпусе, установленном на салазках станка (Рис. 1.17). Они приводятся в движение электродвигателем Д через зубчато-ременную 15, червячную 14 передачи и ведущие ролики 13 и 16. Сегменты 5 поддерживают и натягивают цепи. Каждое звено цепи магазина имеет гнездо с пластмассовой конической втулкой 27 для инструментальной оправки 26 с закрепленным в ней инструментом 25. Оправка удерживается в гнезде подпружиненным фиксатором 28. В устройстве АСИ имеются два автооператора. Основной автооператор А выполнен в виде двухзахватного поворотного рычага 6.

Инструментальная оправка удерживается в каждом захвате автооператора упором 3 и фиксатором 2, который перемещается штоком гидроцилиндра 8, куда подается под давлением по каналу С масло от насоса. Для освобождения оправки масло на слив, и фиксатор 2 отходит от оправки под действием пружины 7. Так же как и в ряде других ранее рассмотренных устройствах АСИ, автооператор А имеет два движения: поворот относительно горизонтальной оси (с помощью гидроцилиндра 22 и реечно-шестеренчатой

передачи 23) и перемещение вдоль оси (с помощью гидроцилиндра 24). Второй, дополнительный автооператор ДА связывает первый автооператор с магазинами. Когда автооператоры сближаются, захваты 1 и 4 автооператора ДА оказываются между упором 3 и фиксатором 2 основного автооператора А, гидроцилиндр 11 поворачивает рычаги захватов 1 и 4, и они зажимают инструментальную оправку. Фиксатор 2 отходит, и происходит передача инструмента от одного автооператора к другому.

Для переноса инструмента с оправкой в гнездо 12 магазина каретка 19 автооператора ДА перемещается вправо по направляющим качения гидроцилиндром 20. После этого захваты ДА раскрываются, и он отходит в нейтральное положение, чтобы не мешать движению цепи для поиска следующего инструмента (в станке кодируются гнезда магазина).

Для обслуживания магазина М2 автооператор ДА гидроцилиндром 21 с помощью ременной передачи 10 и рычага 9 отводится в сторону по стрелке Б. Его корпус 18 поворачивается вокруг оси 17 на  $180^\circ$  (стрелка К) с помощью привода, не показанного на схеме. После этого ДА извлекает инструмент из гнезда магазина М2 и вместе с ним возвращается в положение, показанное на рис. 44,а, для передачи инструмента в ранее освободившийся захват автооператора А.

В продольно-обрабатывающих МС целесообразно размещать инструментальный магазин на одной из стоек или рядом с ней (Рис. 1.18). В этом случае удобно устанавливать или вынимать инструменты при наладке станка, магазин удален от рабочей зоны.

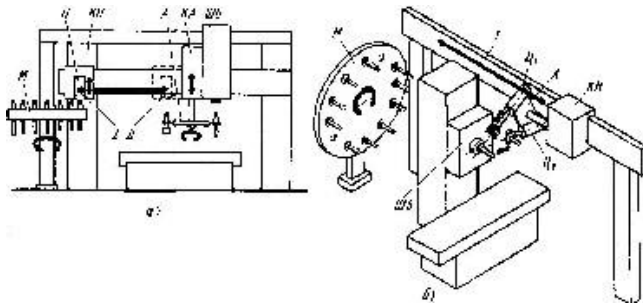


Рисунок 1.18 – Размещение инструментального магазина продольно-обрабатывающих МС

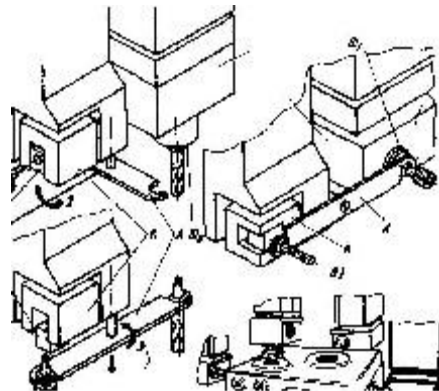


Рисунок 1.19 - Устройство смены инструментов в вертикальном (а, б) и горизонтальном (в) шпинделе

Такая компоновка принята в МС 6620МФ4. Дисковый магазин М выполнен в виде самостоятельного агрегата с приводами поворота диска (для поиска инструмента) и вертикального перемещения. Корпус КА автооператора А прикреплен сбоку к шпиндельной бабке ШБ и при позиционировании перемещается вместе с ней. Связь между автооператором и магазином обеспечивает промежуточный носитель Н, установленный на каретке КН. В крайнем левом положении каретки КН носитель Н захватывает за оправку нужный инструмент и ходом вверх вытаскивает его из магазина. Каретка совершает ход вправо из положения 1 в положение 2, где она автоматически сцепляется с корпусом автооператора КА. Теперь автооператор может, поворачиваясь, захватить одновременно инструмент, находящийся в шпинделе и в промежуточном носителе.

При ходе вниз, повороте на  $180^\circ$  и возврате в исходное положение автооператор меняет инструменты местами, а затем поворачивается в среднее нейтральное положение, не мешающее работе шпинделя. Начинается очередной переход, во время которого промежуточный носитель транспортирует отработавший инструмент в магазин. Последующие действия — отвод носителя для поворота магазина, поиск следующего инструмента, подвод носителя для его захвата и транспортирование к автооператору — выполняются во время работы станка при любом положении шпиндельной бабки. Все это учитывается при производстве деревообрабатывающих станков. Благодаря этому достигается существенная экономия времени по сравнению со способом смены инструментов движением шпиндельной бабки.

Сложные конструкторские задачи возникают при проектировании устройств АСИ, позволяющих подавать инструмент из магазина не в один, а в два шпинделя, расположенные взаимно перпендикулярно (Рис. 1.20). Наличие у станка двух шпинделей позволяет значительно расширить технологические возможности станка.

Если на продольно-обрабатывающем МС с вертикальным шпинделем можно с одного установка обработать только горизонтально расположенные полости заготовки и перпендикулярные к ним отверстия, колодцы и т. п. элементы, то добавление второго — горизонтального шпинделя, размещенного к тому же в поворотной бабке, позволяет выполнить полную обработку сложной заготовки с пяти сторон.

Примером такого устройства АСИ может служить система смены инструментов станка, приведенная на рис. 1.19. Шпиндельная бабка ШБ станка несет вертикальный Шв и горизонтальный Шг шпиндели и может поворачиваться вокруг вертикальной оси на угол, кратный  $90^\circ$ . Смена инструментов выполняется основным А и дополнительным ДА автооператорами с использованием промежуточного кантователя К.

В положении, показанном на рис. 1.19, а, автооператор ДА вставляет инструмент, извлеченный им предварительно из магазина М, в гнездо кантователя К (оно служит здесь позицией ожидания). Теперь нужно повернуть инструмент в вертикальное положение, параллельное оси вертикального шпинделя Шв. Поэтому после того, как автооператор ДА займет нейтральное положение (поворот по стрелке 1), гнездо Г кантователя К опрокидывается (стрелка 2) вместе с инструментом и устанавливается вертикально. Вступает в работу автооператор станка. Поворачиваясь (стрелка 3), он захватывает и вытаскивает инструменты из гнезда кантователя и шпинделя. Затем выполняются обычные действия по смене инструмента. Отработавший инструмент поступает в нужное гнездо магазина. Если требуется подать инструмент в горизонтальный шпиндель Шг, то после транспортирования его в гнездо кантователя и поворота гнезда на  $90^\circ$  кантователь разворачивается вокруг горизонтальной оси и оси меняемых инструментов оказываются в одной плоскости. Одновременно происходит поворот корпуса автооператора А в ту же плоскость (рис. 1.19, б), а затем смена инструментов.

### 1.5 Комбинированные устройства АСИ

Такие устройства обеспечивают смену шпиндельного узла и инструмента в шпиндельном узле. В их состав входят: револьверная головка, поворот которой на  $180^\circ$  обеспечивает смену всего шпиндельного узла; установленный на инструментальной бабке магазин с манипулятором, предназначенным для смены инструмента в одном из шпинделей револьверной головки во время обработки заготовки инструментом,

установленным в другом шпинделе. Смена инструмента осуществляется в любом его положении относительно стола станка.

АСИ комбинированного типа используют в небольших многооперационных станках.

### **1.6 Агрегатированные устройства АСИ**

С целью увеличения эффективности устройства АСИ, повышения их надежности и снижения стоимости используют устройства АСИ, выполненные в виде законченных унифицированных автономных узлов (модулей), которые не зависят от компоновки конкретного станка и могут поставляться как самостоятельные узлы к различным моделям станков с ЧПУ. Они могут устанавливаться на станине или колонне станка или на отдельном фундаменте. Применение таких устройств позволяет максимально унифицировать конструкции многоинструментальных станков с ЧПУ. Установка магазинов агрегатированных автономных устройств АСИ вне станка на отдельном фундаменте обеспечивает большую вместимость магазина, удобство его обслуживания и исключает, благодаря отсутствию связи со станком, влияние переменного веса комплекта инструмента и вибрации при перемещении магазина для поиска инструмента во время работы станка, а также влияние температурного фактора на точность обработки. Значительное расстояние магазина от рабочей зоны станка обеспечивает предохранение инструментов от попадания стружки, эмульсии, чугуновой пыли и т. д.

## 2 УСТРОЙСТВА АСИ ДЛЯ СТАНКОВ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ

На станках с ЧПУ токарной группы наиболее широко применяются многопозиционные револьверные головки (Рис. 2.1), число инструментов в которых позволяет осуществить полную токарную обработку заготовок. Около 70 % заготовок могут быть обработаны всего восемью инструментами, а при наличии 13 инструментов можно обработать более 95 % заготовок. Револьверные головки применяются четырех-, шести-, восьмипозиционные и с большим числом позиций. Наиболее широко используются восьмипозиционные головки. При оснащении токарных станков двумя независимо программируемыми головками в обработке заготовок одновременно принимают участие два инструмента.

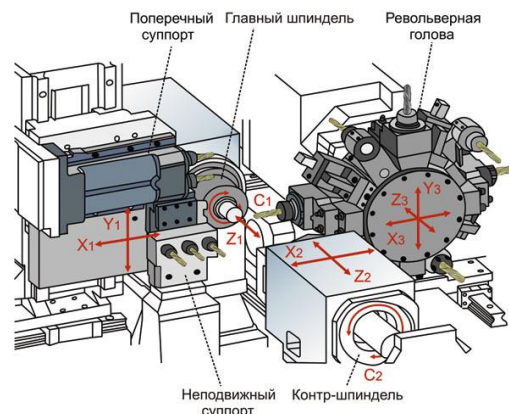


Рисунок 2.1 - Рабочая зона токарного центра

Револьверные головки применяются с вертикальной, горизонтальной и наклонной (корончатые) осями вращения; инструменты устанавливаются в той последовательности, в какой они используются согласно технологическому процессу. Смена инструмента осуществляется поворотом и фиксацией головки или линейным ее перемещением (в случаях, когда в одной позиции установлено несколько инструментов). Инструментальный магазин – револьверная головка – является рабочим органом станка, воспринимающим силы резания, следовательно, к нему предъявляются требования высокой прочности, жесткости и точности позиционирования. Инструменты для обработки внутренних и наружных поверхностей не должны мешать друг другу. Время смены инструмента должно быть минимальным. Замена инструмента должна осуществляться удобно и легко, для чего к нему необходимо обеспечить свободный доступ.

На рис. 2.2 показаны схемы различных вариантов и сочетаний револьверных головок, применяемых на токарных станках с ЧПУ. Изначально на станки устанавливалась револьверная головка, выполненная по аналогии с резцедержателем универсального станка.

В такие четырехпозиционные револьверные головки с осью, перпендикулярной к оси шпинделя (рис. 2.2, а), на каждой грани головки может быть установлено несколько инструментов. При этом можно вести обработку сразу несколькими инструментами.

Попытка увеличить количество позиций револьверных головок привела к созданию 6-, 8-, 10- и 12-позиционных головок с осью, перпендикулярной оси шпинделя станка (рис. 2.2, б). В 12-позиционной головке могут быть установлены шесть инструментов для обработки наружных поверхностей и шесть для внутренних.



Дальнейшее совершенствование револьверных головок привело к созданию головок с осью, параллельной оси шпинделя (рис. 2.17, в) 8- и 12-позиционных, обеспечивающих максимальную точность установки инструмента. Такие головки используются, в основном, на патронно-центровых станках. Шестипозиционные корончатые револьверные головки показаны на рис. 2.2, г.

Дальнейшее стремление увеличить емкость головок привело к установке нескольких инструментальных головок на одной каретке. Две головки 4-, 5- или 6-позиционные с осью вращения, перпендикулярной к оси шпинделя, установленные на одной каретке, показаны на рис. 2.2, д, а две головки с осью, параллельной этой оси, установленные на одной каретке - на рис. 2.2, е.

Если допустить возможность независимого перемещения головок по оси, перпендикулярной к шпинделю, то вполне возможно осуществлять обработку сразу нескольких поверхностей. Две головки (4- или 6-позиционные) с осью, перпендикулярной оси шпинделя, с независимым поперечным перемещением (рис. 2.2, ж) обеспечивают одновременную обработку заготовки двумя инструментами. Две головки на общей каретке, одна из которых (с восемью и большим числом позиций) с осью, параллельной оси шпинделя, предназначена в основном для обработки наружных поверхностей, а вторая четырех- или шестипозиционная с осью, перпендикулярной оси шпинделя для внутренних поверхностей, показаны на рис. 2.2 з. Две головки на одной каретке, одна из которых корончатая, а вторая с осью, перпендикулярной оси шпинделя, – на рис. 2.2, и.

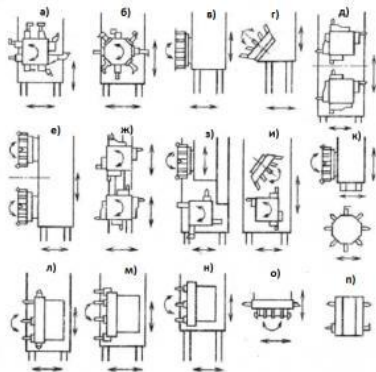


Рисунок 2.2 - Схемы конструктивного исполнения револьверных головок токарных станков

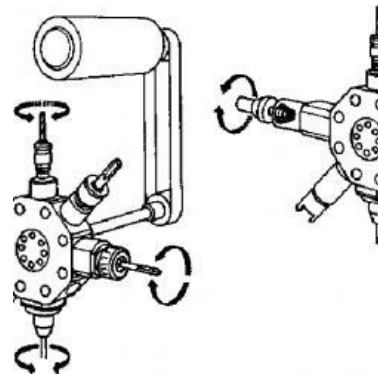


Рисунок 2.3 - Конструктивная схема револьверной головки с вращающимися шпинделями токарного станка

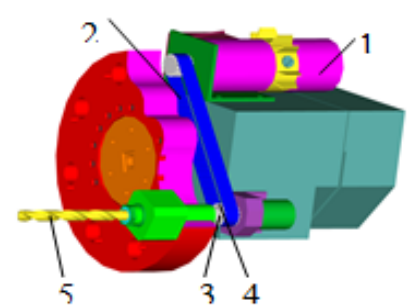


Рисунок 2.4 - Схема шестипозиционной револьверной головки с вращающимся инструментом: 1 – приводной двигатель; 2 – зубчатая ременная передача; 3, 4 – полумуфты; 5 – инструмент

На рис. 2.2, к показаны две головки с независимым перемещением, одна из которых с осью, параллельной оси шпинделя, а вторая - с осью, перпендикулярной оси шпинделя, предназначены для обработки внутренних поверхностей. Однако применение таких конструкций с несколькими револьверными головками ведет к значительному усложнению конструкции станка, системы ЧПУ, повышает сложность разработки управляющих программ, а количество поверхностей, допускающих совместную обработку, ограничено.

В последнее время отмечается тенденция к увеличению числа инструментов для обработки одной заготовки детали. Причиной являются усложнение обрабатываемых деталей и требование выполнения обработки заготовок с одной установки с целью сокращения цикла обработки. Для этой цели число позиций револьверных головок увеличивают до 15.

Работы по увеличению емкости одной головки были перспективными, что привело к разработке револьверных головок с осью, параллельной оси шпинделя (рис. 2.2, л), установка инструмента на которых производится в два ряда: на периферии и на торце. На периферии устанавливается инструмент для наружной обработки, а на торце посредством цилиндрических державок закрепляют инструмент для внутренней обработки и различный осевой инструмент.

В последнее время на токарных станках с ЧПУ используются агрегатированные револьверные головки, представляющие собой полностью законченные узлы, устанавливаемые на каретке или суппорте станка.

Значительная часть (70 - 75 %) обрабатываемых на токарных станках с ЧПУ видов деталей (фланцы, валы, стаканы) требуют и других отличных от токарных методов обработки, к которым относятся: сверление, резбонарезание метчиком, фрезерование боковых поверхностей и канавок. Для сокращения цикла обработки таких деталей их целесообразно полностью обрабатывать на одном станке, что исключает время на переустановку заготовки со станка на станок. Однако, если установить в револьверной головке токарного станка вращающийся инструмент, то заготовки могли быть полностью обработаны на одном станке. Практическая реализация данной идеи привела к созданию револьверных головок с приводными позициями (рис. 2.3).

Показанная на рис. 2.3 головка вследствие того, что одновременно вращаются сразу все инструменты, имеет ряд существенных недостатков: представляет опасность для оператора и значительные затраты энергии на бесполезное вращение неиспользуемого инструмента.

Данные недостатки привели к созданию револьверных головок, у которых вращается только один задействованный в обработке инструмент (рис. 2.4).

Токарные станки, оснащенные приводным инструментом, получили название токарных обрабатывающих центров. Такие станки обычно оснащаются: одной револьверной головкой, содержащей как приводной, так и неподвижный инструмент; двумя револьверными головками, одна из которых содержит неподвижный инструмент, а вторая приводной.

В одну из приводных позиций может быть установлен патрон, позволяющий в процессе обработки перебазировать деталь с другой стороны и провести обработку заготовки с двух сторон.

Часто такие станки снабжаются противопинделем, позволяющим высвободить револьверную головку для обработки. Пример компоновки токарного пруткового автомата с ЧПУ модели Diamond 20CS показан на рис. 2.5.

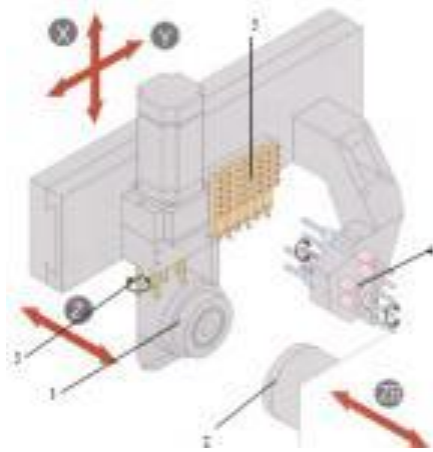


Рисунок 2.5 - Компоновка станка Diamond 20CS:

- 1 – шпиндель, имеющий возможность перемещения по оси Z;
  - протившпиндель, имеющий возможность перемещения по оси Z;
  - приводной инструмент для обработки наружных поверхностей;
  - приводной инструмент для обработки торцовых поверхностей и неподвижный инструмент для обработки внутренних поверхностей;
  - инструмент для наружной обработки

Токарные станки с ЧПУ могут быть оснащены устройствами АСИ, состоящими из магазинов-накопителей инструмента и манипуляторов, которые автоматически заменяют инструмент в резцедержателе. Применение таких устройств АСИ имеет следующие преимущества перед револьверными головками: исключается возможность столкновения инструмента, что значительно упрощает программирование и составление карт наладки; наличие большего числа инструментов в магазине позволяет обработать максимальное число поверхностей с одной установки; обеспечивается возможность замены инструментов в магазине во время работы станка, что сводит к минимуму подготовительно-заключительное время на смену комплекта инструментов.

Примеры обработки поверхностей на токарных обрабатывающих центрах показаны на рис. 2.6.

В настоящее время магазины – накопители устанавливаются, в основном, на токарные обрабатывающие центры с вертикальным расположением оси шпинделя.

На станках с горизонтальным расположением оси шпинделя используются, в основном, восьмипозиционные револьверные головки с горизонтальной осью вращения.

При изготовлении криволинейных пазов и поверхностей кулачков, а также для растачивания отверстий с точным угловым расположением требуется привод шпинделя, управляемый УЧПУ и обеспечивающий программируемое угловое перемещение шпинделя, частоту и направление вращения. Для этого используется следящий привод с обратной связью по угловому положению шпинделя.

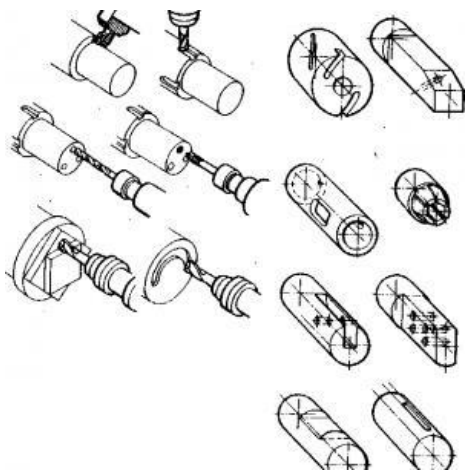


Рисунок 2.6 - Примеры обработки на станках с револьверной головкой с приводными шпинделями

При фрезеровании и нарезании резьбы гребенкой, при точении многогранников или фрезеровании винтовых канавок применяется синхронизация вращения инструмента и заготовки.

### 3 УСТРОЙСТВА АСИ ДЛЯ ФРЕЗЕРНО-СВЕРЛИЛЬНО-РАСТОЧНЫХ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ

В общем случае устройства АСИ многоцелевых станков состоят из следующих компонентов [3]: инструментальных магазинов, являющихся накопителями инструмента (блоков режущего и вспомогательного инструмента для инструментальных шпинделей); инструментальных манипуляторов, предназначенных для смены инструмента в шпинделе станка; промежуточных транспортных манипуляторов, предназначенных для передачи инструмента от магазина к инструментальным манипуляторам или к промежуточным позициям — накопителям инструмента.

Основные требования, предъявляемые к инструментальным магазинам, следующие: достаточная вместимость; высокая точность позиционирования инструмента в рабочем органе станка; легкость и удобство загрузки магазинов и хороший доступ к ним; минимальное время, затрачиваемое на смену инструмента; высокая надежность; наименьшее число координат при смене инструмента.

Вместимость инструментальных магазинов весьма различна (от 6 до 160 шт. и более). Наименьшую вместимость имеют револьверные головки, а наибольшую — барабанные и цепные магазины. Конструктивные исполнения устройств АСИ зависят от типов станков, рабочей зоны расположения шпинделя, необходимого числа и типа инструментов. Используются три типа устройств АСИ: для смены шпиндельного узла; для смены инструмента в шпинделе станка и комбинированные. Устройства для смены шпиндельного узла подразделяются на устройства с револьверными головками (Рис. 3.1) и с дисковыми магазинами (Рис. 3.2). В револьверных головках инструменты устанавливаются в требуемой последовательности обработки заготовки. Автоматическая смена инструмента осуществляется расфиксацией, поворотом и фиксацией револьверной головки. Инструменты, как правило, закрепляются в гнездах магазина и не меняются в течение всего времени обработки партии заготовок. Магазин является рабочим органом станка, воспринимающим силы резания.

При применении револьверных головок необходимость наличия инструментальных и транспортных манипуляторов, а также промежуточных накопителей отсутствует. Преимуществом таких устройств АСИ являются простота конструкции, минимальное время, необходимое для смены инструментов (1–3 с.), отсутствие автоматической смены инструмента в шпинделе станка.

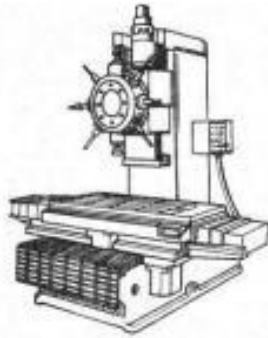


Рисунок 3.1 - Схема устройства смены шпиндельного узла в виде револьверной головки

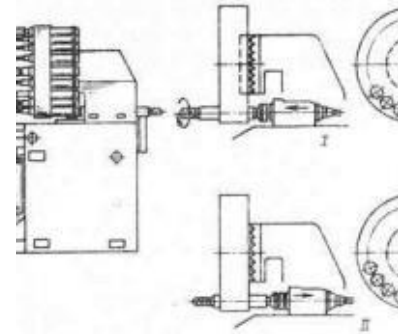


Рисунок 3.2 - Схема устройства смены шпиндельного узла в виде дискового магазина

Недостатки: небольшое число инструментов; ограниченность рабочей зоны (поскольку подача инструмента осуществляется перемещением револьверной головки); невысокая жесткость инструментальных шпинделей. По положениям осей револьверных головок эти устройства подразделяются на головки с горизонтальной и вертикальной осями вращения. Наиболее широкое применение получили револьверные головки с горизонтальной осью вращения (на многоцелевых станках с вертикальным шпинделем). Устройства для смены шпиндельного узла в виде дискового магазина используются с горизонтальной, вертикальной или наклонной осью поворота. Шпиндели поочередно присоединяются к приводу, обеспечивающему вращение и подачу шпинделя (Рис. 3.2). При смене инструмента шпиндель отсоединяется от привода. Магазин поворачивается в положение, при котором очередной шпиндель устанавливается соосно со шпинделем привода и присоединяется к последнему. Преимуществом устройств АСИ с магазином шпиндельных гильз перед устройствами с револьверными инструментальными шпиндельными головками является увеличение числа инструментов, большая жесткость шпинделя, меньшие ограничения зоны обработки, поскольку подача инструментов осуществляется перемещением гильзы шпинделя.

По сравнению с устройствами АСИ со сменой инструмента в шпинделе станка, АСИ с магазином шпиндельных гильз имеют меньшую жесткость шпинделя из-за необходимости увеличения вылета инструмента, меньшую вместимость магазинов, необходимость при смене инструмента отвода заготовки на значительное расстояние от шпинделя. На инструмент, находящийся в магазине, возможно попадание стружки и пыли.

Устройства для смены инструмента в шпинделе станка состоят из магазинов-накопителей инструмента и устройств различных конструкций для автоматической его установки из магазина в шпиндель станка и обратно. На небольших и средних многоцелевых станках применяются наиболее простые конструкции устройств АСИ, в которых смена инструмента осуществляется относительным перемещением магазина и шпинделя станка (Рис. 3.3) [ ]. Применение

таких устройств исключает наличие сложного узла – манипулятора, работающего в сложном цикле, требующего многих блокировок и точных фиксаций.

Это повышает надежность работы (что особенно важно при работе по безлюдной технологии), но увеличивает время смены инструмента, так как время поиска требуемого инструмента в этом случае не может быть совмещено с временем работы станка.

Магазины устройств АСИ с манипулятором подразделяются на дисковые, барабанные и цепные. Дисковые магазины (см. рис. 3.3) применяются с горизонтальной, вертикальной и наклонной осями вращения. В магазинах с горизонтальной осью вращения инструменты устанавливаются горизонтально.

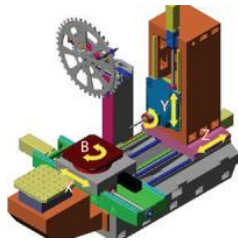


Рисунок 3.3 - Схема устройства смены инструмента путем относительного перемещения шпинделя: станок горизонтальный сверлильно-фрезерно-расточной с ЧПУ модели 630Н ОАО «Стерлитамакский станкозавод»



Рисунок 3.4 - Пример цепного магазина (горизонтальный обрабатывающий центр Hyundai Kia KH 50G/63G)

В магазинах с вертикальной осью вращения инструменты могут быть установлены вертикально, горизонтально или под углом (корончатые). В магазинах с наклонной осью поворота инструменты устанавливаются параллельно оси поворота или под углом (корончатые). Барабанные магазины выполняются многоярусными (в виде этажерок) с вертикальной осью вращения с горизонтально установленными инструментами. Цепные магазины выполняются вертикальными, горизонтальными или наклонными различной конфигурации (Рис. 3.4) [ ].

Наибольшей вместимостью обладают барабанные и цепные магазины.

Магазины-накопители инструментов могут быть установлены на стойке (колонне) станка, сверху или сбоку, вне станка или на шпиндельной бабке. Расположение магазина на шпиндельной бабке (Рис. 3.5) не требует дополнительных перемещений манипулятора, шпиндельной бабки или магазина для обеспечения необходимого взаимного положения магазина и шпинделя при смене инструмента, которая осуществляется при любом положении шпинделя. Однако в связи с большой массой магазина имеют место значительные потери времени на вспомогательные ходы шпиндельной бабки.



Рисунок 3.5 - Установка магазина на шпиндельной бабке станка

Масса магазина и инструментов будет оказывать влияние на точность обработки заготовок, так как силы инерции, возникающие в момент пуска и торможения магазина при поиске инструмента, воздействуют на систему СПИД станка и микрогеометрию обрабатываемой поверхности. Кроме того, степень заполнения магазина инструментами и его различная масса обуславливают различные нагрузки на бабку станка, что приводит к смещению оси шпинделя, а также влияет на стабильность позиционирования. При установке магазина вне шпиндельной бабки (см. рис.3.3) смена инструмента осуществляется при перемещении шпиндельной бабки по окончании очередного перехода в позиции смены инструмента, что увеличивает время между переходами, а также снижает точность обработки на величину повторяемой точности позиционирования шпиндельной бабки.

Инструментальные манипуляторы (Рис. 3.6) [8], предназначенные для смены инструмента в шпинделе станка, по числу захватов подразделяются на одно-, двух- и многозахватные. Наиболее широкое применение получили двухзахватные манипуляторы.

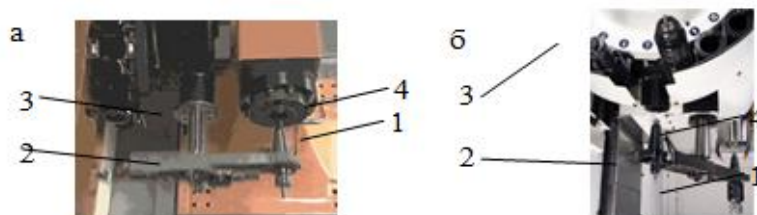


Рисунок 3.6 - Конструктивная схема смены инструмента манипулятором: 1 – инструмент; 2 – манипулятор; 3 – магазин; 4 – шпиндель



#### 4 УСТРОЙСТВО АСИ ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНЫХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРОВ

Станкостроительными компаниями производится ряд многофункциональных токарно-фрезерных центров. Работа на таких станках требует меньше оснастки, меньше ручных настроек, меньше обслуживания благодаря высокой степени автоматизации и технологической оснащённости. Типичным примером является многофункциональный токарно-фрезерный центр пятого поколения Super NTX фирмы Nakamura (Рис. 4.1).



Рисунок 4.1 - Токарно-фрезерный центр Nakamura-Tome

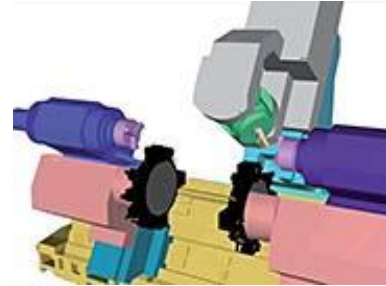


Рисунок 4.2 - Устройство станка

Концепция Super NTX воплощает формулу «три в одном»: функциональные возможности двух токарных и фрезерного станков, что позволяет, осуществляя одновременное 11-осевое управление, высокопроизводительно выполнять комплексную обработку деталей с одной установки (Рис. 4.2).

Super NTX (Рис. 4.3) отвечает современным требованиям к точности обработки: некруглость обработанных деталей составляет 0,4 мкм, а шероховатость  $R_a$  - 0,195 мкм. Точность обработки обеспечивается продуманной конструкцией и качеством изготовления станков. Это жесткая станина, широкие направляющие скольжения (отсутствие вибраций при нагруженных режимах резания), принудительное охлаждение шпиндельных бабок и станины через сеть каналов с охлажденным маслом (стабильность точности при длительной обработке), интегрированная конструкция шпинделя и электропривода (меньше излучение тепла, отсутствие люфтов в передачах).



Рисунок 4.3 - Super NTX

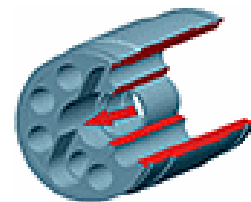


Рисунок 4.4 - Револьверная головка

Конструктивно шпиндели выполнены по типу «электрошпиндель» – т.е. ротор электродвигателя является единым целым с телом шпинделя. Управляемый поворот шпинделей с минимальным шагом 0,001о в сочетании с эффективным тормозом позволяет выполнять обработку по оси С, а также высококачественную контурную фрезерную обработку.



Обработку деталей можно осуществлять одновременно в двух шпинделях либо отдельно – как на двух разных станках (например, для обработки двух разных деталей), либо вместе – в этом случае второй шпиндель используется в режиме дополнительной управляемой опоры (например, для обработки крупных деталей).

На каждой из двух головок может быть размещено 12 токарных и приводных инструментов (в том числе с внутренней подачей СОЖ), а при использовании спаренных правок – до 24 токарных инструментов (Рис.4.4).

Левая револьверная головка работает со шпинделем, а правая – с противощпинделем. Кроме того, они могут использоваться в качестве экономичного устройства для загрузки заготовок и выгрузки готовых деталей, а также с их помощью можно выполнять запрессовку втулок (с усилием до 800 кг).

Для силового фрезерования и сверления используется инструментальный шпиндель с широкими возможностями перемещений и поворота относительно детали в шпинделе или противощпинделе. Функция контролируемого поворота шпинделя вокруг оси позволяет гибко использовать в нем не только фрезерный, но и токарный инструмент (в том числе с внутренней подачей СОЖ).

В стандартном оснащении магазин рассчитан на 24 инструмента или на 40, 80 и 120 – в качестве опции. Магазин расположен на собственной станине, благодаря чему процесс смены инструментов, а также их вес не вызывают вибраций, не оказывают влияния на точность обработки и могут выполняться во время резания инструментами револьверной головки, не прекращая обработку ни на секунду (Рис.4.5).



Рисунок 4.5 - Инструментальные магазины

Для автоматизированной непрерывной работы станка предусмотрена функция управления ресурсом режущего инструмента, позволяющая автоматически, не дожидаясь критического износа инструмента, заменять его дубликатом из другой позиции револьверной головки или инструментального магазина.

Функция контроля осевых нагрузок позволяет широко использовать ее возможности в работе со станком. Например:

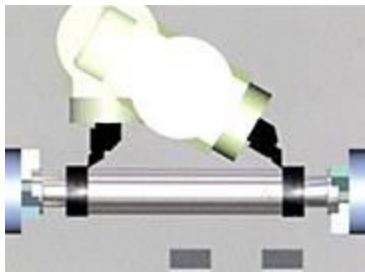
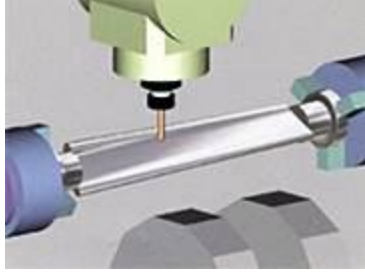



- для контроля усилия прижима детали вращающимся центром;
- для автоматического задания глубины прохода при многопроходном сверлении в зависимости от величины нагрузки;

- для аварийного останова станка при чрезмерных усилиях во время обработки;
- для функции "воздушной подушки", позволяющей мгновенно (за 0,008 с) отследить внезапный рост нагрузки и отвести рабочий орган назад, оберегая станок от поломки;

- для запрессовки втулок и т.д.

ПО Net-Monitor позволяет централизованно следить с персонального компьютера за работой нескольких удаленных станков. С его помощью можно дистанционно:

- просматривать подробную информацию о работе станка;
  - легко определять состояние его работы (с помощью трех цветов: зеленый - "работа по программе", желтый - "операция завершена", красный - "авария");
  - вводить и выводить УП для каждого из станков;
  - отображать экраны систем ЧПУ подключенных станков и т.д.
- Технологические возможности станков данного типа представлены в таблице 4.1.

	<p>Точение в обоих направлениях инструментом инструментального шпинделя</p>
	<p>Силовое точение, сверление или фрезерование крупной детали, зажатой в обоих шпинделях</p>
	<p>Одновременная 4-осевая токарная обработка одной детали и токарно-фрезерная обработка во втором шпинделе</p>
	<p>Непрерывность процессов обработки за счет перехода к обработке инструментом одной из револьверных головок во время смены инструмента в инструментальном шпинделе. Если ведется обработка в противощпинделе, то она также не прерывается</p>
	<p>Использование одной револьверной головки в качестве люнета во время обработки в шпинделе длинной детали инструментальным шпинделем и т.д.</p>

## 5 КОНСТРУКЦИИ МЕХАНИЗМОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНЫ ИНСТРУМЕНТОВ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ СТАНКОВ

Основное назначение механизмов -автоматической смены инструментов (МАСИ) - сокращение времени простоя станка, затрачиваемого на смену инструментов, и обеспечение автоматической обработки сложных деталей. В зависимости от назначения станка устройство МАСИ могут включать накопители инструментов (револьверные головки, инструментальные магазины); загрузочно-разгрузочные устройства для съема и установки инструмента в шпиндель станка (автооператоры); промежуточные конвейерные устройства для передачи инструмента от накопителя к загрузочно-разгрузочному устройству при больших расстояниях от шпинделя до накопителя (перегрузатели, автооператоры).

### 5.1 Многооперационные станки сверлильно-фрезерно-расточного типа

В станках сверлильно-фрезерно-расточного типа наибольшее применение получили МАСИ с использованием инструментальных магазинов с размещением в них до 200 инструментов. Инструментальные магазины дискового, барабанного и цепного типов в зависимости от компоновки станка могут располагаться на шпиндельной бабке, стойке, станине или рядом со станком. В горизонтально-расточном станке с МАСИ (Рис. 5.1) устройство автоматической смены инструмента включает инструментальный магазин 1 цепного типа, автооператор 2 смены инструмента и траверсу 3, по которой перемещается автооператор. Инструмент закрепляется в шпинделе 4 станка. На рис. 3.53 приведена кинематическая схема МАСИ этого станка. Перемещение инструмента в цепном магазине осуществляется высокомоментным двигателем  $M_3$  через ряд зубчатых колес и цепную передачу. Перемещение автооператора 2 по траверсе 3 происходит от электродвигателя  $M_1$  при включении электромагнитной муфты ЭМ1 и обкатывании зубчатых колес  $z = 20$  по рейке. Поворот инструмента при его смене осуществляется от того же двигателя при включении муфты ЭМ2.

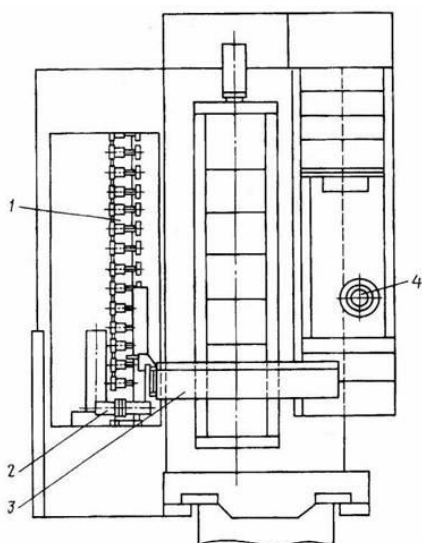


Рисунок 5.1 – Компоновка

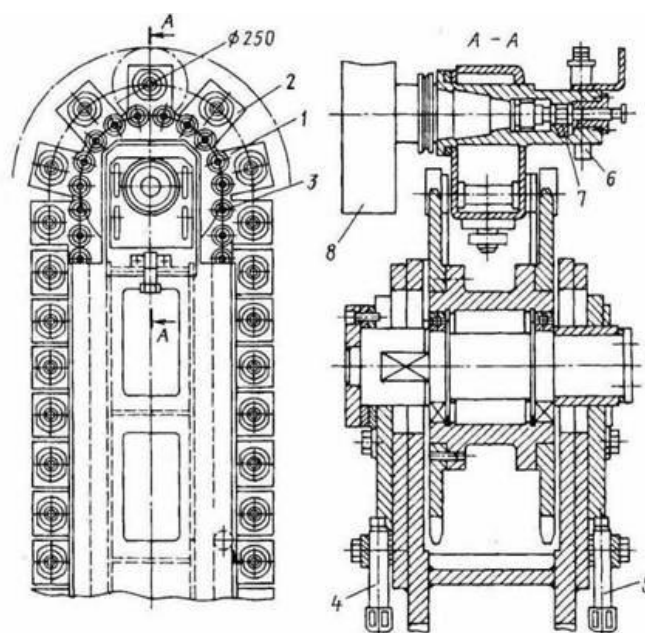


Рисунок 5.2 – Инструментальный магазин цепного

горизонтально-расточного станка с  
МАСИ

типа

Гнезда 1, 2 инструментального магазина (Рис. 5.2), в которых устанавливается инструмент, закреплены на цепи 3 магазина, натяжение которой производится винтами 4 и 5. Фиксация инструмента 8 осуществляется поворотным фиксатором 7 от подпружиненного упора 6.

Положение магазина в позиции смены инструмента показано на рис. 5.3. Инструмент 1 удерживается в гнезде магазина с помощью поворотного фиксатора 2, освобождение которого производится упором 5. Контроль положения инструмента осуществляется конечными выключателями 3 и 4. Для повышения точности положения инструмента в магазине при его съеме предусмотрены дополнительные направляющие качения 6-8.

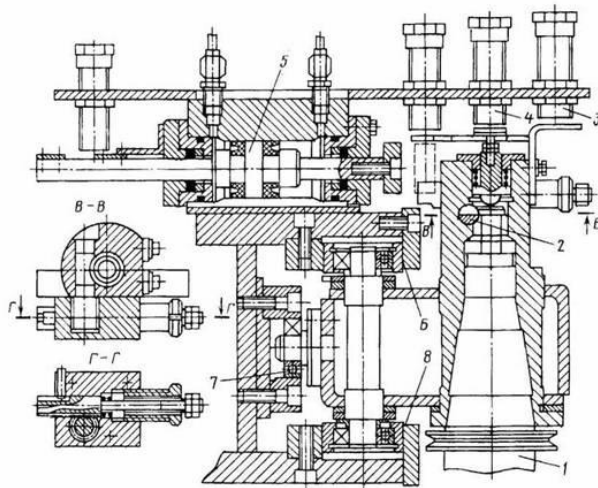


Рисунок 5.3 – Инструментальный магазин в позиции смены инструмента

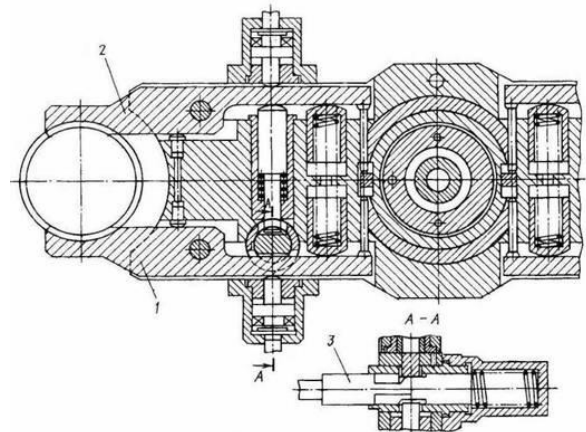


Рисунок 5.4 – Рука автооператора

Захват и удержание инструмента в поворотной руке автооператора производится с помощью подпружиненных губок 7 и 2 (Рис. 5.4).

Для повышения надежности транспортировки инструмента происходит его жесткая фиксация (от поворота губок 1 и 2) с помощью штока 3. На рис. 5.5 показаны направляющие качения 3 автооператора 1 при его перемещении по траверсе 2 (транспортирование инструмента от магазина до шпинделя и обратно).

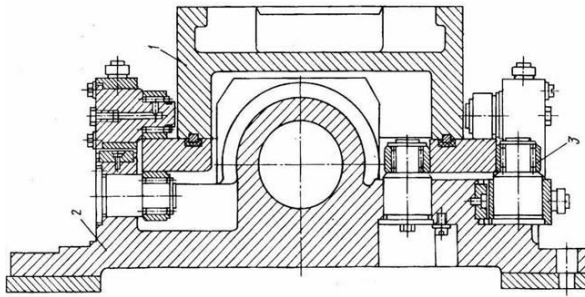


Рисунок 5.5 – Направляющие качения автооператора

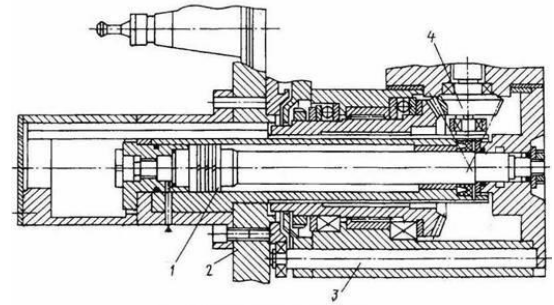
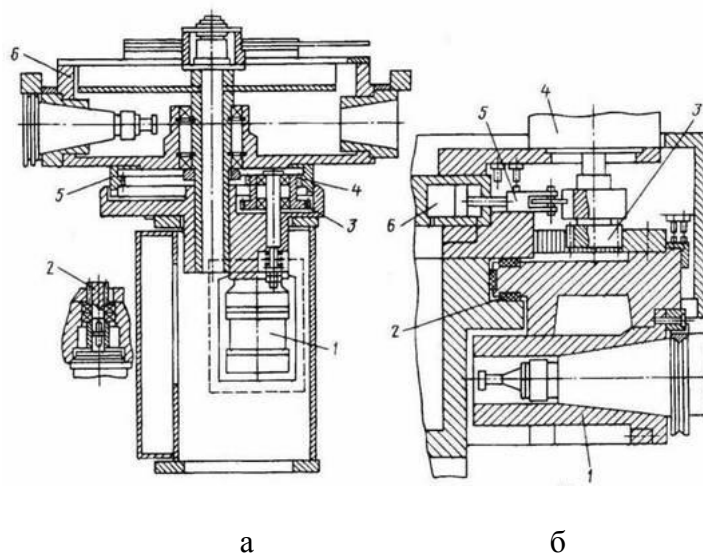


Рисунок 5.6 – Механизм перемещения руки

На рис. 5.6 показан механизм перемещения руки 2 с инструментом (при его выдвижении из гнезда магазина или конуса шпинделя) от гидроцилиндра 1. При выдвижении рука базируется в цилиндрических направляющих 3. Поворот руки 2 на 180° при смене инструмента осуществляется через коническое колесо 4 входного вала.

Поворот инструментального магазина 6 дискового типа с вертикальной осью (Рис.5.7, а) происходит от двигателя 1 через зубчатые передачи 2-3; 4-5. На схеме рис. 5.7, б показан фрагмент дискового магазина 1, вращение которого происходит от двигателя 4 через зубчатую передачу 3. Базирование магазина осуществляется в круговых направляющих скольжения 2, а фиксирование в заданной позиции - упором 5 с помощью гидроцилиндра

б.



а

б

Рисунок 5.7 – Дисковые инструментальные магазины:

а – с вертикальной осью; б – установленный на стойке станка

Кинематическая схема МАСИ станка сверлильно-фрезерно-расточного типа с цепным магазином представлена на рис. 5.8.

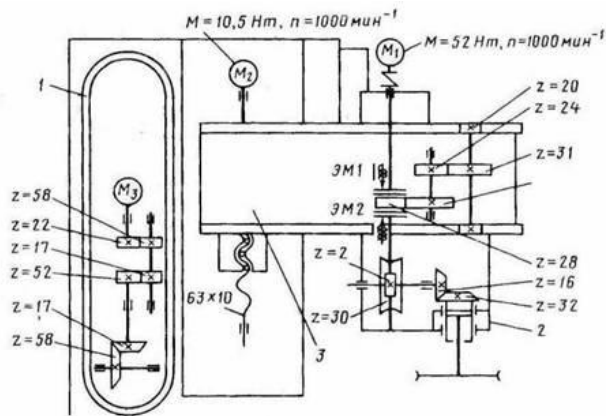


Рисунок 5.8 – Кинематическая схема МАСИ расточного станка

## 5.2 МАСИ токарных многоцелевых станков

Инструментальная система токарных многоцелевых станков реализуется в двух видах:

инструментальных магазинов, связанных посредством манипуляторов с инструментальными головками, закрепленными на поперечных салазках станка. Это обеспечивает большую емкость накопителя, малые размеры, однако конструкция достаточно сложная;

револьверных многопозиционных головок, оснащенных неподвижными и вращающимися инструментами (радиальными и осевыми).

### 5.2.1 Револьверные многопозиционные головки

Одноинструментальная двухпозиционная головка многоцелевого токарного модуля имеет ось вращения под углом 45° к вертикальной оси, фиксируется в двух положениях, что обеспечивает возможность установки инструмента в осевом и радиальном направлениях (Рис. 5.9). Привод вращающегося инструмента содержит регулируемый электродвигатель 1, передающий вращение через пару цилиндрических 2 и 3 и пару конических колес 6 и 7 на вращающийся инструмент 11 (через зубчатую муфту 12). Поворот корпуса 5 производится при размыкании зубьев торцевой зубчатой муфты 4 штоком 10 гидроцилиндра, сцепленным с зубчатым колесом 9. При этом с помощью гидроцилиндра 8 зубья торцевой муфты 4 расцепляются. Аналогичные головки применяются и в многоцелевых станках фрезерного типа.

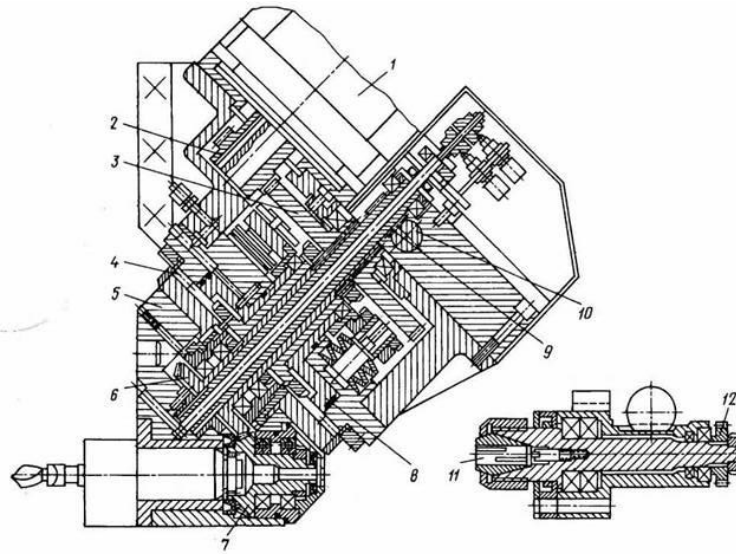


Рис. 3.60. Двухпозиционная головка токарного модуля

Рисунок 5.8 – Двухпозиционная головка токарного модуля

Наибольшее распространение в токарных многоцелевых станках нашли инструментальные системы с многопозиционными револьверными головками, так как они упрощают конструкцию и сокращают время смены инструмента до нескольких секунд. Точность поворота инструментального диска  $\pm 2$  с. Револьверные головки различают:

по расположению оси - с вертикальной и горизонтальной осью. Первые более компактны, однако в них трудно реализовывать вращающийся инструмент. Головки с горизонтальной осью имеют большую жесткость и позволяют устанавливать большее количество инструментов;

по типу привода - гидравлические (более надежные) и электромеханические.

В связи с тем, что 70...75 % видов деталей, обрабатываемых точением, требуют других операций (сверления, фрезерования и др.), широко используют револьверные головки, в которых можно устанавливать вращающийся инструмент. На рис. 5.9, а показана кинематическая схема револьверной головки с приводом через центр с вращением всех инструментов одновременно. Для такой компоновки характерны следующие недостатки: большой уровень шума и мощность холостого хода; худшие условия безопасности; наматывание стружки на неработающий инструмент; небольшое количество инструментов. К преимуществам можно отнести быстрое деление, хорошее зацепление приводных колес. (Конструктивное исполнение см. рис. 5.13)

Компоновка револьверной головки с приводом, размещенным снаружи в отдельном корпусе (привод удален от рабочей зоны), наиболее распространена (Рис. 5.9, б), так как

вращается только инструмент, требуемый для данной операции. Кроме того, исключено наматывание стружки на неработающий инструмент и работа более безопасна.

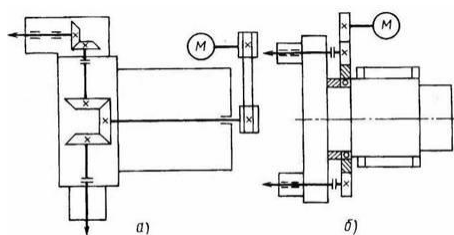


Рисунок 5.9 – Револьверные головки токарных модулей с вращающимся инструментом:

*a* – с приводом через центр; *б* – с автономным приводом инструмента

Конструкция электромеханической револьверной головки для невращающегося инструмента токарных станков показана на рис. 5.10. От асинхронного электродвигателя 1 вращение передается на колеса 2 и 3 и далее на планетарный редуктор. Колесо 4 редуктора, обкатываясь по неподвижному в данный момент колесу 18 (так как инструментальный диск 10 зафиксирован кулачковой муфтой 14), вращает колесо 16, несущее ролик 6. При вращении колеса 16 ролик 6 заходит во впадину торцевого кулачка, выполненного на детали 15. Пружина 12 отжимает деталь 9, и зубья торцевой кулачковой полумуфты 14 выходят из зацепления с зубьями полумуфты 14 на инструментальном диске.

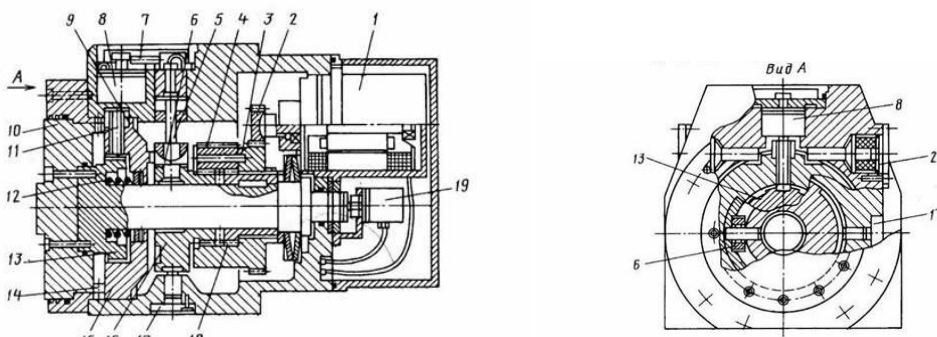


Рисунок 5.10 - Конструкция электромеханической револьверной головки для невращающегося инструмента токарных станков

На внешней цилиндрической поверхности колеса 16 выполнен паз, в край которого упирается после освобождения инструментального диска палец 17. В результате этого колесо 16 фиксируется и планетарная передача 4, обкатываясь по неподвижному колесу 18, передает вращение на колесо 18 и вместе с ним на инструментальный диск 10.

Датчик 19 контролирует поворот диска 10 и при подходе к нужной позиции дает сигнал электромагниту 8, который управляет фиксатором 11, освобождаемым пружиной 9. Так как фиксатор 11 заходит в паз еще не остановленного диска 10, предусмотрено демпфирующее устройство (втулка 20). В момент срабатывания фиксатора датчик 7 дает команду на отключение двигателя 1. После небольшой паузы двигатель 1 реверсируется. Так как фиксатор 11 находится в пазу диска 13, центральный вал головки и колесо 18 неподвижны. Поэтому при реверсе планетарное колесо 4 приводит во вращение колесо 16,



ролик 6 вновь вводит в зацепление зубья муфты 14. В момент фиксации датчик 5 дает команду на отключение двигателя.

Электромеханическая револьверная головка с горизонтальной осью для невращающегося инструмента токарных модулей имеет один привод и развитую механическую систему (планетарный редуктор, кулачковые механизмы) для осуществления поворота инструментального диска (Рис. 5.11).

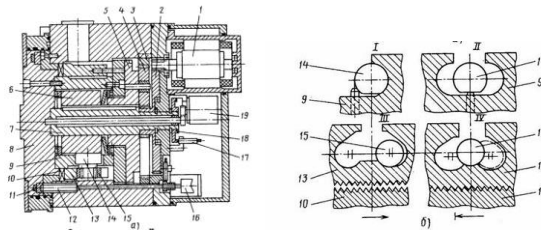


Рисунок 5.11 - Электромеханическая револьверная головка с горизонтальной осью для невращающегося инструмента токарных модулей:

*a* – конструкция; *б* – схема взаимодействия кулачков с роликами при повороте инструментального диска – I, III – в момент расцепления кулачковой муфты; II, IV – в момент фиксации муфты

Время смены каждого из двенадцати положений около 1 с. Вращение от асинхронного двигателя 1 через зубчатое колесо 2 передается на планетарный редуктор. Три сателлита 4, обкатываясь по неподвижному колесу 3, передают вращение на деталь 5, а затем через шпонку - на центральную гильзу 7 и деталь 6. При этом выдвигается инструментальный диск 8 и за счет взаимодействия зажимного кулачка 13 с роликом 15 происходит расцепление зубьев торцевой муфты 10. Одновременно ролик 14 подхватывает деталь 9, которая связана с инструментальным диском 8, и начинает его вращать. При подходе к нужной позиции датчик 19 дает команду электромагниту 16, который толкает фиксатор 12 до попадания его в гнездо инструментального диска. При фиксировании диска 8 датчик 11 отключает электродвигатель 1. Затем двигатель 1 реверсируется, при этом ролик 14 оказывается в середине паза кулачка 9 (рис. 5.11, б, II) и за счет профиля кулачка 13 ролик 15 оказывается на его плоском участке (движение на рис. 5.11, б, IV показано стрелками). На диске 18 имеются выступы, число которых равно числу позиций головки. В момент зажима, т.е. когда ролик 15 находится на плоском участке кулачка 13, один из этих выступов нажимает на выключатель датчика контроля блокировки 17, который отключает электродвигатель 1. Особенностью револьверной головки с вертикальной осью является то, что все приводы выполняются от гидроцилиндров и поворот головки 1 с закрепленными на ней инструментами происходит без подъема корпуса, что исключает попадание грязи (Рис. 5.12). Для осуществления поворота масло подается в полость 7 гидроцилиндра 5 и происходит расцепление зубьев муфты 9. Нижняя полумуфта, которая одновременно является и поршнем гидроцилиндра 5, при повороте корпуса головки остается неподвижной; связанная с ней шлицами 2 центральная гильза также не может вращаться.

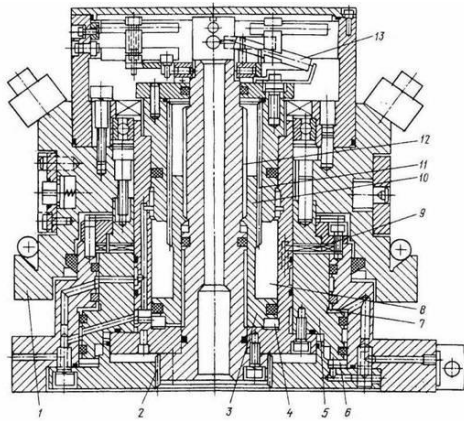


Рисунок 5.12 – Револьверная головка с гидравлическим приводом и вертикальной осью

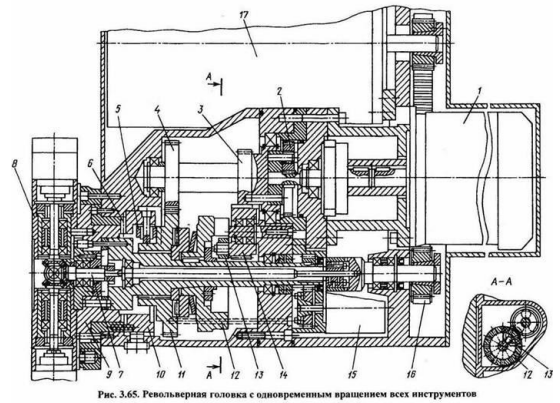


Рисунок 5.13 - Револьверная головка с одновременным вращением всех инструментов

Для поворота головки масло подается в полость 4 гидроцилиндра 3, а из полости 8 масло сливается в бак. Поршень 10 этого гидроцилиндра имеет в отверстии резьбу 12, а на наружной поверхности - шлицы 11. Поэтому при подаче масла одновременно с подъемом поршня 10 происходит его поворот и через шлицевое соединение 11 вращение передается корпусу головки. Система ЧПУ отслеживает это вращение, и при подходе к нужной позиции датчик 13 дает команду на замедление вращения до точного совмещения зубьев муфты 9. Когда это произошло, прекращают подачу масла в полость 7 гидроцилиндра 5 и подают его в полость 6.

Револьверная головка с вращением всех инструментов (валом 7) от одного электродвигателя 17 через ременную передачу 16 показана на рис. 5.13. Поворот инструментального диска 8 в требуемую позицию осуществляется электродвигателем 1 через планетарную передачу 2 и через водило, передающее вращение колесам 3 и 4.

Колесо 3 зацепляется с колесом 14, имеющим ролик 13 и работающим в режиме кривошипного диска. При одном полном обороте колеса 14 его ролик 13 входит в пазы многопазового диска 12 (мальтийского креста) и поворачивает его на один угловой шаг.

Одновременно с этим зубчатое колесо 4, вращая колесо 11 с кулачковым профилем, дает возможность перемещаться (пружинами) полумуфте 10 с кулачком 5 в осевом направлении, расцепляя торцовую муфту 6. В таком положении (при расцепленной муфте 6) диск 12 поворачивается роликом 13 кривошипного диска 14, и одновременно вместе с корпусом 9 поворачивается инструментальный диск 8 с инструментами на следующую позицию. Контроль производится датчиком 15.

В револьверной головке токарного модуля с приводом вращения каждого инструмента, расположенным снаружи, на диске 10 установлен ряд инструментальных блоков 11 и 12 (12 - 16 инструментов), причем вращается только один инструмент (в данном случае 12), находящийся в рабочей позиции (Рис. 5.14).

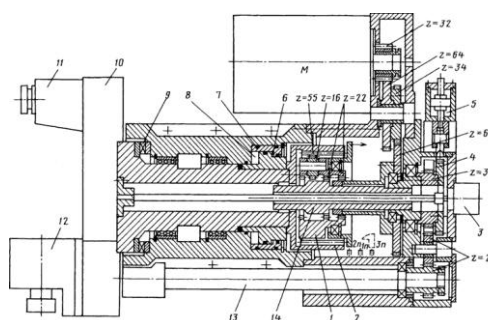


Рисунок 5.14 – Револьверная головка с автономным приводом каждого инструмента

Отличительной особенностью головки является использование одного двигателя М постоянного тока как для поворота инструментального диска в требуемую позицию, так и для вращения инструмента. Это реализуется благодаря использованию планетарного редуктора с перемещающимся (в три позиции 1п, 2п, 3п) водилом 1. (Гидроцилиндр привода водила не показан.) В положениях водила 1п и 2п происходит вращение инструмента, а в положении 3п - поворот инструментальной головки.

На рис. 5.15 приведена кинематическая схема головки. В положении водила 2п (см. также рис. 5.14) вращение от двигателя на вал 13 и далее на вращающийся инструмент передается через передачи  $z = 32 \dots 64$ ;  $z = 34 \dots 68$  и далее через  $z = 22$  на водило 1 с передаточным отношением планетарного редуктора, равным единице.

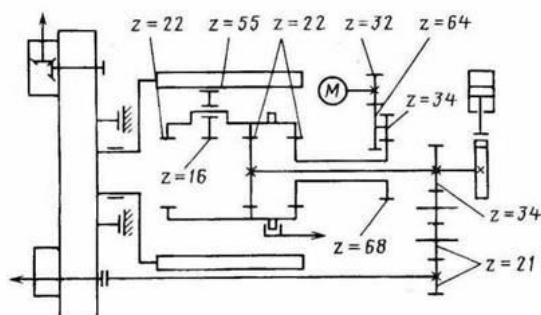


Рисунок 5.15 – Кинематическая схема головки с приводом каждого инструмента

Водило вращает приводной вал 14, при этом сателлиты  $z = 16$  свободно откатываются по колесу 2 ( $z = 55$ ) с внутренним зубом. Вращение от колеса  $z = 34$  передается на колеса  $z = 21$  и на вал 13 привода вращения инструмента. В положении 1п водило 1 получает вращение за счет обкатывания сателлита  $z = 16$  по солнечному неподвижному колесу  $z = 55$ . В этом положении с валом 14 связан сателлит  $z = 16$  и планетарный редуктор дает

$$\frac{(22/55 + 1)}{22/55} = 3,5,$$

повышение частоты вращения в 3,5 раза: что позволяет существенно

повысить частоту вращения инструмента. Дальнейшая передача движения аналогична положению 2п. Поворот инструментального диска 10 в следующую рабочую позицию производится при положении водила 3п. Для осуществления поворота в полость 6 гидроцилиндра 7 подается масло, происходит перемещение диска 10 влево и расцепление

зубьев муфты 9 В результате этого освобождается для вращения солнечное колесо  $z = 55$ .

Кроме того, фиксатор от гидроцилиндра 5 входит в паз колеса 4 и лишает возможности вращения приводной вал 14. При этом вал 14 соединяется с водилом 1 (при перемещении

левое колесо водила зацепляется с зубьями вала 14) и водило тоже не вращается, а движение передается через колесо  $z = 22$  на  $z = 16$  и далее на солнечное колесо  $z = 55$  (с передаточным отношением  $16 : 55$ ), через которое происходит поворот диска 10 с инструментами.

В конце поворота инструментального диска 10 его вращение замедляется (команда от датчика 3) и при совмещении зубьев торцевой муфты 10 датчик 3 дает команду на отключение вращения двигателя и на закрепление диска 10 при подаче масла в полость 8 гидроцилиндра.

### 5.3 Устройства смены инструмента шлифовальных станков

Револьверная головка карусельно-шлифовального станка, которая устанавливается с возможностью поворота относительно оси 0 на корпусе суппорта 2 (Рис. 5.16), позволяет обрабатывать наружные, внутренние плоские, цилиндрические и конические поверхности.

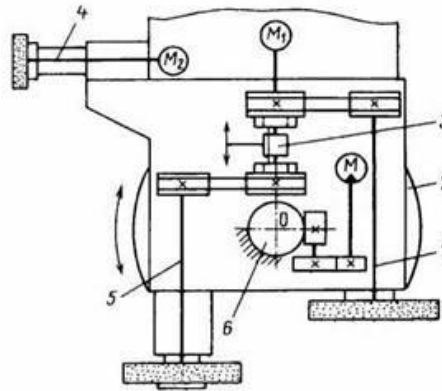


Рисунок 5.16 – Кинематическая схема револьверной головки карусельно-шлифовального станка

Включение в работу шпинделей 1 (для шлифования плоскостей) и 5 производится зубчатой муфтой 3, а частота вращения двигателя  $M_1$  переменного тока регулируется в пределах  $800...3000 \text{ мин}^{-1}$ . Шпиндель 4 имеет свой привод  $M_2$  и служит в основном для шлифования отверстий. Поворот головки на любой угол в автоматическом или ручном режиме осуществляется от гидродвигателя  $M$  путем обкатывания относительно неподвижного червячного колеса 6.

Фрагмент конструкции головки дан на рис. 5.17. Вращение от двигателя  $M$  через шкивы 1 и 3 ременных передач передается на соответствующие шпиндели (не показаны). Включение в работу одного или другого шкива (и шпинделя) осуществляется зубчатой муфтой 2, перемещаемой гидроцилиндром 4. Поворот головки на требуемый угол, контролируемый датчиком 6, производится от гидродвигателя  $M$  через пару зубчатых колес и червячную передачу. Происходит обкатка корпуса 8 головки относительно неподвижного червячного колеса 9. Для осуществления поворота необходимо расцепить зубья торцевой зубчатой муфты 10 с помощью гидроцилиндра 11.

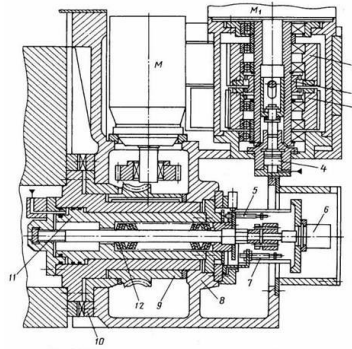


Рис. 3.69. Фрагмент конструкции револьверной головки карусельно-шлифовального станка

Рисунок 5.17 – Фрагмент конструкции револьверной головки карусельно-шлифовального станка

При подаче масла в соответствующую полость происходит перемещение корпуса 8 головки и расцепление зубьев 10, что контролируется конечным выключателем 5. Возврат головки в исходное (рабочее) положение после поворота на угол производится тарельчатыми пружинами 12 и контролируется конечным выключателем 7.

#### ЗАДАНИЕ.

1. Создать МАСИ станка - выбрать тип накопителя(ей) многоцелевого станка и способ смены инструмента.
2. Показать конструкцию устройства и дать описание.
3. Выполнить кинематическую схему МАСИ
4. Провести кинематический расчет устройства, исходя из условия: время смены инструмента 2 с.

Вариант	Многоцелевой станок	Объем накопительного устройства	Тип накопителя (ей)	Тип УСИ
1	токарно-фрезерный	20		
2	фрезерно-токарный	30		
3	сверлильно-фрезерно-расточной	40		
4	карусельно-шлифовальный	50		
5	токарно-расточной	60		
6	токарно-фрезерно-расточной	70		
7	фрезерный	80		
8	сверлильно-расточной	90		
9	токарно-	100		

	фрезерный			
10	фрезерно-токарный	110		
11	сверлильно-фрезерно-расточной	120		
12	фрезерно-расточной	130		
13	токарно-фрезерный	140		
14	фрезерно-токарный	150		
15	сверлильно-фрезерно-расточной	160		
16	токарный	20		
17	токарно-расточной	30		
18	сверлильно-расточной	40		
19	сверлильно-фрезерно-расточной	50		
20	фрезерно-расточной	60		

Библиографический список:

1. Аверьянов О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ. М.: Машиностроение. 1987 г. 232 с.
2. Васильев В.Л. Оборудование и станки с ЧПУ. Изд. ЛПИ. 1990 г. 97 с.
3. Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник. Л.: Машиностроение 1990 г. 588 с.
4. Григорьев С.Н. Инструментальная оснастка станков с ЧПУ. М.: Машиностроение. 2006 г. 544 с.
5. Оснастка для станков с ЧПУ [Текст] : справочник / Ю. Н. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. Н. Байков. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1990. - 510 с.
6. <http://futucon.esy.es/chertezhi-ustroystva-avtomaticheskoy-smeni-instrumenta.php> Чертежи устройства автоматической смены инструмента.
7. [http://ru.machinetools.net.tw/parts/taiwan\\_automatic\\_tool\\_changer.htm](http://ru.machinetools.net.tw/parts/taiwan_automatic_tool_changer.htm)