

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

# ОБОРУДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов специальности  
1-36 01 03 «Технологическое оборудование  
машиностроительного производства»  
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2022

УДК 621.77.016  
ББК 34.51/59  
ОЗ8

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»  
«10» октября 2022 г., протокол № 3

Составитель канд. техн. наук, доц. В. А. Логвин

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

Методические рекомендации предназначены к лабораторным работам по дисциплине «Оборудование инструментального производства» для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства».

Учебно-методическое издание

## ОБОРУДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ответственный за выпуск	С. Н. Хатетовский
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 38 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2022

## Содержание

Меры безопасности при проведении лабораторных работ .....	4
1 Лабораторная работа № 1. Изучение конструкции и кинематики привода главного движения станков 1Д625, 16К20Т1, ВФ130, 6520Ф3 .....	5
2 Лабораторная работа № 2. Анализ конструкции приводов и исполнительных механизмов подачи станков .....	15
3 Лабораторная работа № 3. Анализ конструкций направляющих скольжения и способов их регулирования .....	23
4 Лабораторная работа № 4. Анализ компоновок шпиндельных узлов, конструкций подшипников, способов регулирования натяга в опорах, конструкций уплотнений .....	30
Список литературы .....	47

## **Меры безопасности при проведении лабораторных работ**

1 Перед пуском станка необходимо опробовать работу механизмов станка вручную. При наличии обнаруженных дефектов станок не включать и принять меры по устранению неисправностей.

2 При работе на сверлильных, фрезерных и других станках держать заготовку руками категорически запрещается.

3 Необходимо проверить исправность предохранительных ограждений, имеющих на станке. Ограждения должны быть надежно закреплены.

4 При работе на токарных станках не разрешается стоять против патрона, а при работе на шлифовальных станках – против шлифовального круга.

5 Трогать руками вращающиеся инструменты и изделия запрещается.

6 Перед началом работы на шлифовальных станках необходимо проверить шлифовальный круг (отсутствие или наличие трещин).

7 На заточных и шлифовальных станках без предохранительных кожухов работать категорически запрещается.

8 При работе на заточных станках обязательно пользоваться предохранительными очками.

9 Перед началом работы необходимо убрать волосы (под головной убор), застегнуть костюм и обшлага рукавов халата.

10 Перед началом работы убедиться в наличии заземления и надежности крепления шины к станку.

11 При работе на фрезерных и зубофрезерных станках запрещается вводить руки в зону движения режущего инструмента.

12 Категорически запрещается пуск станка без разрешения преподавателя или лаборанта.

# **1 Лабораторная работа № 1. Изучение конструкции и кинематики привода главного движения станков 1Д625, 16К20Т1, ВФ130, 6520Ф3**

**Цель работы** – изучить конструкции и кинематику приводов главного движения станков 1Д625, 16К20Т1, ВФ130, 6520Ф3.

## ***1.1 Назначение привода***

В общем случае приводом металлорежущего станка называется совокупность источника и устройства преобразования энергии, передач и исполнительного звена станка. В зависимости от вида источника и устройства преобразования энергии, передач, передающих движение исполнительному звену, различают электрический, гидравлический, пневматический и механический приводы или их комбинации в виде электромеханических, электрогидравлических и других приводов.

В соответствии со своим назначением приводы разделяются на:

- приводы главного движения;
- приводы подачи;
- приводы установочных перемещений;
- приводы высокоскоростных холостых ходов;
- приводы периодического поворота на точно фиксированный угол многопозиционных столов, барабанов, револьверных головок и других рабочих звеньев;
- приводы механизмов переключения и управления;
- приводы вспомогательных звеньев – механизмов подачи и зажима заготовки, измерительных приборов и т. п.

Назначение приводов главного движения и подачи в станках состоит в том, чтобы обеспечить удаление припуска под обработку с максимальной производительностью.

Привод главного движения осуществляет движение резания, требующее наибольших затрат мощности. На токарных станках таким движением является вращение заготовки, на фрезерных, сверлильных и расточных – вращение режущего инструмента (фрезы, сверла, расточного резца).

Основную нагрузку при снятии припуска в процессе обработки воспринимает привод главного движения. Привод главного движения должен обеспечить во время исполнения рабочего хода постоянную мощность, а привод подач – постоянный момент. От приводов главного движения требуется также высокий КПД и, соответственно, низкие потери на холостом ходу.

## ***1.2 Требования, предъявляемые к приводам***

Приводы главного рабочего движения и подачи должны обеспечивать:

- возможность изменения частоты вращения или скорости прямолинейного движения в пределах заданного диапазона;
- возможность изменения направления движения;

- передачу требуемой мощности в пределах всего или части диапазона;
- обеспечение максимального заданного усилия на режущем инструменте;
- плавность движения и отсутствие вибраций при работе на холостом ходу и под нагрузкой, т. е. необходимую виброустойчивость;
- сохранять постоянство настроенных частот вращения или скорости движения независимо от приложенной нагрузки в пределах всего срока эксплуатации, т. е. должны иметь жесткую характеристику;
- необходимую теплостойкость;
- удовлетворительные шумовые характеристики.

### 1.3 Привод главного движения станков с ручным управлением

Приводы станков в общем случае состоят из двигателя (М), редуктора (Р), коробки скоростей (КС) или подач (КП), системы управления (СУ), шпиндельной группы (ШГ), стола (суппорта) (С).

Обобщенная структурная схема привода главного движения металлорежущих станков представлена на рисунке 1.1.

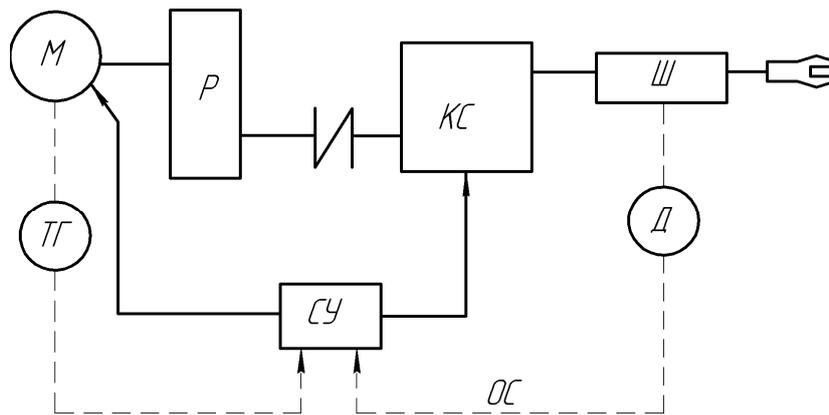


Рисунок 1.1 – Обобщенная структура привода главного движения

В станках с программным управлением приводы имеют датчики скорости и положения (Д) исполнительного звена, тахогенератор (ТГ), а также обратную связь (С) (см. рисунок 1.1).

В зависимости от сочетания различных видов двигателей и механических передач привод обеспечивает ступенчатое или бесступенчатое изменение частоты вращения.

**1.3.1 Бесступенчатое изменение частоты вращения.** Бесступенчатое изменение частот вращения может быть обеспечено с помощью электропривода, гидропривода или с помощью бесступенчатой механической передачи, называемой вариатором.

Для бесступенчатого изменения частот вращения в приводах станков средних размеров с односкоростным асинхронным электродвигателем применяются механические вариаторы различной конструкции. Механические бесступенчатые передачи имеют сравнительно узкий диапазон изменения частот вращения.

Для расширения диапазона последовательно с бесступенчатой передачей включается передача для ступенчатого изменения частот вращения. Внутри каждого интервала частот вращения, устанавливаемых с помощью этой передачи, можно получить любую скорость с помощью бесступенчатой передачи. Таким образом, во всем диапазоне достигается бесступенчатое изменение частот вращения.

Возможен вариант сочетания многоскоростного асинхронного электродвигателя с бесступенчатой механической передачей, также обеспечивающей бесступенчатое изменение частот вращения во всем диапазоне.

Механические вариаторы применяются в основном на станках средних размеров – токарных, сверлильных, координатно-расточных.

Для бесступенчатого регулирования скорости в основном применяют приводы с двигателем постоянного тока и тиристорным управлением. Частота вращения такого двигателя регулируется в двух областях. От минимальной частоты его вращения до номинальной  $n_n$  регулирование осуществляется изменением напряжения в цепи якоря, при этом на валу двигателя поддерживается постоянный крутящий момент. Выше  $n_n$  регулирование частоты вращения производится изменением поля возбуждения, и мощность двигателя остается постоянной. Диапазон регулирования  $D_p$  бесступенчатых приводов при постоянной мощности составляет 2,5...4 по другим данным – 2,5...6 (иногда до 8...10). Если этого достаточно для станка, регулируемый электродвигатель постоянного тока с максимальной частотой вращения  $n_{\text{dmax}} = 4000...6000$  об/мин соединяют непосредственно со шпинделем станка. В том случае, когда требуется более широкий диапазон регулирования частоты вращения шпинделя (в станках с ЧПУ он достигает 50...250), между электродвигателем и шпинделем устанавливают двух-, трех- или четырехступенчатую коробку скоростей, а между приводом и коробкой или между коробкой и шпинделем помещают ременную передачу с передаточным отношением 0,5...2.

При уменьшении стоимости и габаритных размеров двигателей постоянного тока их применение будет расширяться. Перспективным является применение бесколлекторных электродвигателей постоянного тока, что повышает их надежность. В приводе главного движения применяют и регулируемые за счет изменения частоты тока асинхронные электродвигатели, у которых  $n = (60f/p)(1 - S)$ , где  $f$  – частота тока;  $p$  – число пар полюсов;  $S$  – скольжение. Эти двигатели обладают высокой надежностью, жесткой характеристикой и обеспечивают регулирование с постоянной мощностью во всем диапазоне.

*1.3.2 Ступенчатое изменение частот вращения.* Ступенчатое изменение частоты вращения может быть получено с помощью механических передач, объединенных в коробку скоростей в приводах главного движения и коробку подач в приводах подачи, а также с помощью многоскоростного электропривода.

При ступенчатом изменении частот вращения привод характеризуется числом ступеней. Чем больше число ступеней для заданного диапазона, тем меньше будет разница между настроенной скоростью резания и расчетной и, соответственно, потери времени, вызванные снижением скорости резания. Однако увеличение числа ступеней ограничивается усложнением конструкции привода.

Во многих случаях для получения требуемого диапазона приходится сочетать в приводах различные методы изменения частот вращения.

*1.3.3 Компоновки шпиндельных групп.* Наиболее распространенной формой является привод с односкоростным асинхронным электродвигателем и механической передачей для ступенчатого изменения частот вращения. Такой привод обладает жесткой характеристикой, т. к. асинхронный двигатель лишь незначительно изменяет свое число оборотов под нагрузкой и обеспечивает постоянство мощности во всем диапазоне скоростей.

При использовании многоскоростного асинхронного электродвигателя механическая передача для ступенчатого изменения частоты вращения может быть значительно упрощена при сохранении того же общего числа ступеней. Следует заметить, что с изменением частоты вращения электродвигателя мощность привода изменяется.

Обычно применяются двух- или трехскоростные асинхронные электродвигатели. Приводы с асинхронными электродвигателями отличаются сравнительно высоким КПД. Главными приводами со ступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя оснащают автоматизированные редко переналаживаемые станки, работающие в массовом производстве и неавтоматизированные станки с ручным управлением. Такие приводы просты, компактны, имеют высокий КПД, долговечны.

Однако они не пригодны для станков с ЧПУ, т. к. не всегда обеспечивают требуемую частоту вращения шпинделя (регулирование частоты ступенчатое) и не позволяют оптимально регулировать скорость резания в процессе выполнения рабочего хода.

*1.3.4 Компоновка привода.* Приводы бывают нераздельными и раздельными. Нераздельный привод выполняется объединением коробки скоростей и шпиндельного узла, помещаемых в общий корпус. Такая конструкция компактна, но часто имеет неудовлетворительные динамические и теплостойкостные характеристики, т. к. колебания и выделяемая в коробке теплота передаются на шпиндель.

Раздельный привод состоит из коробки скоростей и шпиндельной бабки, выполненных в разных корпусах. Движение от последнего вала коробки скоростей поступает к шпиндельной бабке через ременную передачу.

Для увеличения диапазона регулирования в шпиндельную бабку иногда встраивают перебор. Шпиндельный узел в раздельном приводе нагревается меньше. Колебания, возникающие в коробке скоростей, на шпиндельный узел не передаются.

## ***1.4 Привод главного движения станков с ЧПУ***

Приводы главного движения станков с ЧПУ могут иметь нерегулируемые и регулируемые приводные двигатели.

*1.4.1 Нерегулируемые приводы.* При применении нерегулируемого приводного двигателя, в качестве которого может быть одно- или двухсторонний асинхронный электродвигатель, изменение частот вращения шпинделя осуществляется ступенчато с помощью многоступенчатой автоматической коробки скоростей со сложной кинематикой. Асинхронный двигатель надежен и прост в экс-

плуатации, допускает высокие перегрузки и не требует преобразователей и специальных усилителей, что является его преимуществом по сравнению с двигателем постоянного тока.

Однако в приводах главного движения с асинхронным двигателем и ступенчатым регулированием частот вращения усложняется процесс автоматизации его управления от числовой управляющей программы.

*1.4.2 Регулируемые приводы.* В регулируемых приводах главного движения в качестве регулируемого приводного двигателя может применяться электродвигатель постоянного тока с тиристорным бесступенчатым регулированием, которое в сочетании с небольшой коробкой скоростей обеспечивает широкий диапазон регулирования частот вращения.

Тиристорный преобразователь является управляющим источником питания электродвигателя постоянного тока, т. е. усилителем мощности с весьма высоким коэффициентом. Скорость электродвигателя регулируется изменением напряжения, подводимого к его якорю от источника регулируемого напряжения – тиристорного преобразователя – выпрямителя. Применение тиристорных статических преобразователей в электроприводах постоянного тока позволяет достигнуть повышенной управляемости и быстродействия электропривода, а также улучшить его энергетические показатели, уменьшить габариты и массу, повысить надежность в работе и уменьшить стоимость. Преимуществом указанного электропривода является возможность изменить частоту вращения бесступенчато в автоматическом режиме, а также управлять характеристиками пусковых и тормозных процессов, подбирая оптимальные режимы.

Главный привод первого типа позволяет ступенчато регулировать частоту вращения шпинделя (число ступеней до 24) благодаря применению многоваловых шпиндельных бабок. Причем использование полной установленной мощности на станках с таким приводом возможно начиная со второй четверти диапазона частоты вращения шпинделя.

Главный привод второго типа позволяет бесступенчато регулировать частоту вращения шпинделя путем изменения частоты вращения двигателя постоянного тока. Поскольку такие электродвигатели обеспечивают работу станка на полной установочной мощности только на высокой частоте вращения, в шпиндельных бабках устанавливают два-три зубчатых перебора, расширяющих диапазон частоты вращения шпинделя.

*1.4.3 Компоновка шпиндельной группы.* Типовые структуры главного привода токарных станков с ЧПУ приведены на рисунке 1.2.

Привод по схеме на рисунке 1.2, *а* включает регулируемый электродвигатель постоянного тока ДП, двухступенчатую переключаемую ременную передачу и шпиндельную бабку (ШБ). В приводы по схемам на рисунке 1.2, *б*, *в* входит электродвигатель постоянного тока ДП, коробка скоростей АР с автоматическим переключением частоты вращения, ременные передачи и шпиндельная группа (ШГ). Если диапазон регулирования шпинделя с постоянной мощностью  $D_p = 8 \dots 16$ , а диапазон регулирования двигателя  $D_d = 2 \dots 2,5$ , применяют трехступенчатые коробки, при  $D_d = 3 \dots 4$  – двухступенчатые. При  $D_p = 16 \dots 40$  и  $D_d = 3 \dots 4$  механическая часть

должна быть трехступенчатой. Схема на рисунке 1.2, *з* включает ШБ со встроенной коробкой скоростей. Когда  $D_p = 8 \dots 16$  и  $D_o = 2 \dots 3,5$  механическая часть должна быть трехступенчатой при  $D_o = 3 \dots 4$  – двухступенчатой. Приводы по схемам на рисунке 1.2, *а–г* с ременной передачей, способной передавать относительно небольшой крутящий момент, целесообразно применять в токарных станках небольших и средних размеров (наибольший диаметр обрабатываемого изделия 200...400 мм).

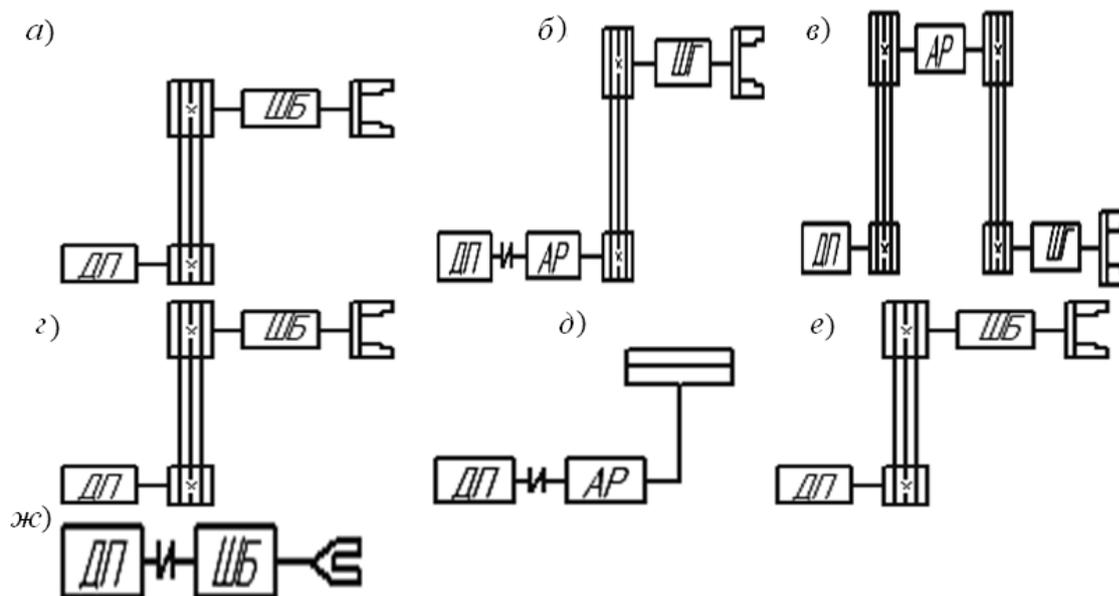


Рисунок 1.2 – Типовые структуры главного привода станков с ЧПУ

Приводы по схеме на рисунке 1.2, *д* с двигателем постоянного тока, автоматическим переключаемым редуктором и постоянными передачами на планшайбу рекомендуются для карусельных станков (наибольший диаметр обрабатываемого изделия 1000...4000 мм).

Типовые структуры главного привода станков сверлильно-расточной и фрезерной групп, а также сверлильно-фрезерно-расточных обрабатывающих центров приведены на рисунке 1.2, *е, ж*.

В станках с числовым программным управлением часто применяют приводы с двигателем постоянного тока и ступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя. При этом используют ряд частот с малым знаменателем  $\phi$ , обычно равным 1,12 (реже 1,06). Благодаря этому управление приводом упрощается, а экономические потери вследствие отклонения от оптимальной скорости резания незначительны.

Автоматическими коробками скоростей (АКС) оснащены многие токарные и сверлильные станки с ЧПУ. С АКС (рисунок 1.3) зубчатые колеса находятся в постоянном зацеплении. Частота вращения шпинделя переключается соответствующими включениями фрикционных электромагнитных муфт М1...М4. Переключение производится под нагрузкой в процессе резания.

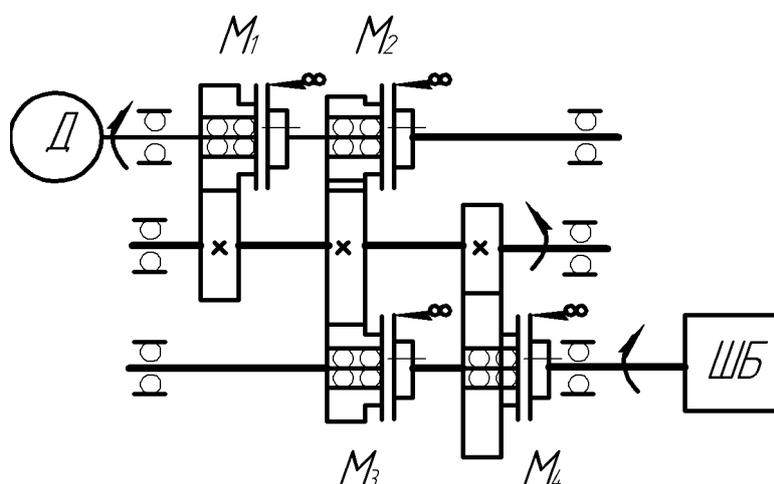


Рисунок 1.3 – Кинематическая схема автоматической коробки скоростей

### 1.5 Типы передач

Механическая часть электромеханического главного привода со ступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя состоит из постоянных и групповых передач.

Постоянные передачи (зубчатоременные) служат для редуцирования частоты вращения и формирования пространственной компоновки станка.

Групповые передачи (рисунок 1.4) обеспечивают требуемый ряд частот вращения.

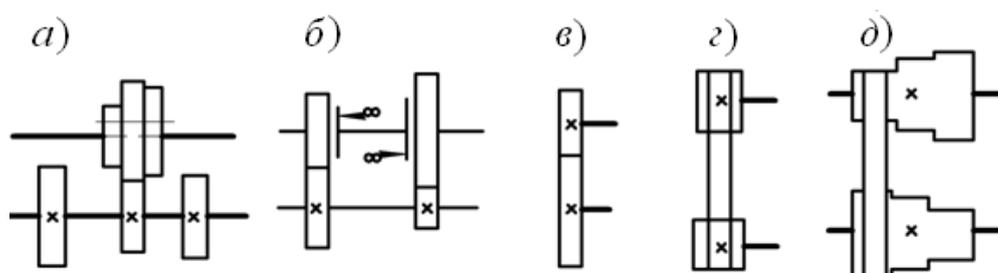


Рисунок 1.4 – Групповые передачи

Передача с подвижными колесами (рисунок 1.4, а) позволяет передавать большие крутящие моменты, имеет высокий КПД, т. к. в работе участвует только одна пара зубчатых колес. В ней нельзя использовать косозубые колеса, нельзя переключать ее на ходу.

Передачу с электромагнитными муфтами (рисунок 1.4, б) можно переключать на ходу, что позволяет автоматизировать управление приводом. Передача может состоять из косозубых колес.

Передача со сменными колесами (рисунок 1.4, в) отличается компактностью.

Передача с плоским ремнем и сменными шкивами (рисунок 1.4, г) или ступенчатыми шкивами (рисунок 1.4, д) работает плавно, однако имеет большие габариты.

*1.5.1 Ременная передача.* В ременных передачах используют поликлиновые и зубчатые ремни. Поликлиновый ремень, поперечное сечение которого изображено на рисунке 1.5, *а*, представляет собой ленту, составленную из нескольких слоев резины. Наружная поверхность 1 ремня покрыта прорезиненной тканью, в плоской части ремня расположены кордовые шнуры 2, играющие роль несущих элементов.

Зубчатый ремень (рисунок 1.5, *б*) представляет собой ленту с зубьями на внутренней поверхности, состоит из несущего элемента (стального каната диаметром до 0,8 мм) и эластичного материала (резины или пластмассы). Шкив представляет собой колесо с зубьями трапецеидального профиля.

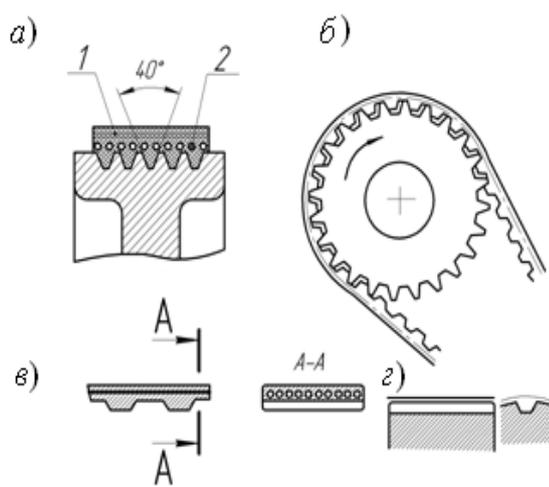


Рисунок 1.5 – Зубчатая ременная передача

Передача зубчатым ремнем по сравнению с передачами клиновым или плоским ремнем при одинаковых габаритах позволяет передать большой крутящий момент. Передачу можно использовать при малых межосевых расстояниях, повышенном значении передаточного числа (до 5...8). В то же время эта передача имеет относительно низкий КПД, повышенный шум, большую массу зубчатого ремня сложную конструкцию шкивов.

*1.5.2 Зубчатые передачи.* В коробках скоростей изменение частот вращения достигается поочередным включением различных зубчатых передач между валами коробок скоростей. Для поочередного включения могут быть использованы либо сменные зубчатые колеса, либо постоянные зубчатые колеса. Так как в большинстве случаев требуется значительно больший диапазон, коробки скоростей выполняются многоваловыми.

Для включения различных зубчатых передач между смежными валами используются элементарные механизмы.

При переключении с помощью подвижных шестерен, последние выполняются в виде блоков (рисунок 1.6, *а–в*). Наиболее распространены механизмы с двойным или тройным блоком. При блоках из четырех шестерен сильно возрастает осевая длина механизма, поэтому такой вариант используется только в определенных случаях, когда большая длина механизма предопределяется другими конструктивными элементами. В других случаях поочередное включение четырех передач осуществляется с помощью двух отдельных двойных подвижных блоков.

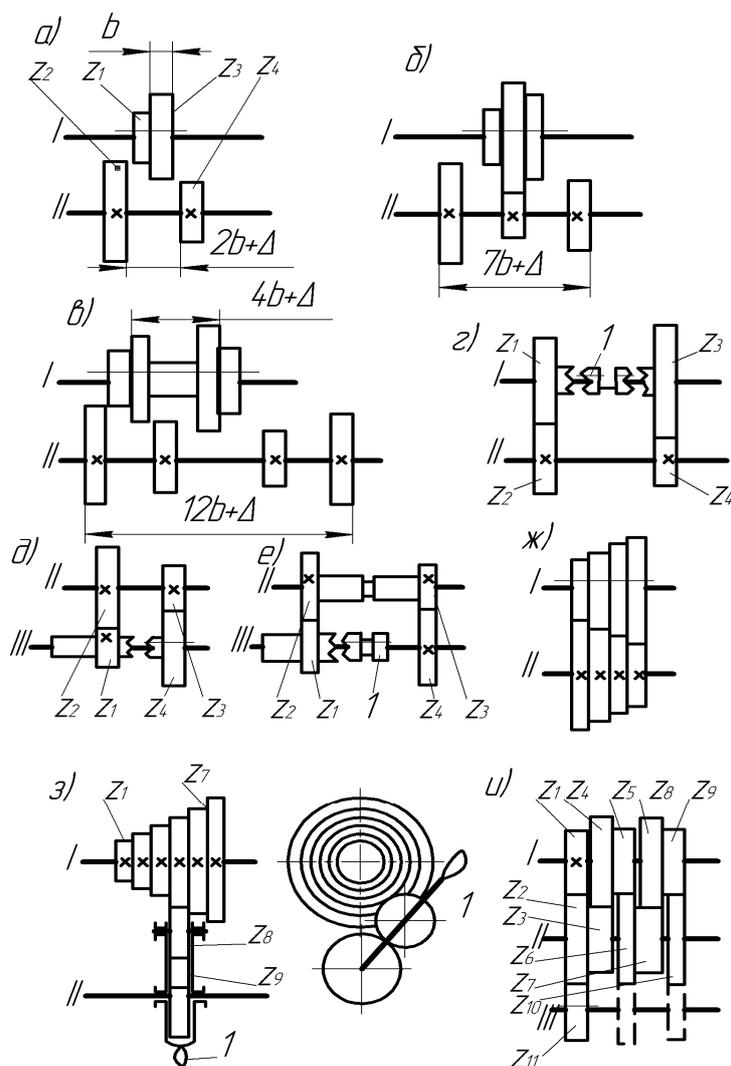


Рисунок 1.6 – Виды зубчатых передач

При использовании в механизмах изменения частот вращения кулачковых зубчатых и фрикционных муфт, они имеют схему, представленную на рисунке 1.6, з. Как правило, эти механизмы выполняются с двусторонней муфтой *1*. Вследствие недостатков механизмов переключения с муфтами они применяются реже. Исключение составляют электромагнитные фрикционные муфты. В ряде конструкций коробок скоростей используется механизм, изображенный на рисунке 1.6, д. В данном случае ведущим звеном является втулка шестерни  $z_1$ , которая получает вращение через зубчатую или ременную передачу. Вращение передается от втулки шестерни  $z_1$ , через шестерни  $z_1 - z_2, z_3 - z_4$  валу III. При перемещении шестерни  $z_4$  влево, она выходит из зацепления с шестерней  $z_3$  и муфта, выполненная заодно с шестерней  $z_1$ . При этом вращение от шестерни  $z_1$  непосредственно передается валу III. Механизмы этого типа называются передачей со звеном возврата.

Составные блоки по сравнению с цельными имеют меньшую длину и массу. В них можно соединить колеса из разных материалов со шлифованными венцами. При ремонте (рисунок 1.7) допускается замена только одного вышедшего

из сторон венца. Венцы составных блоков, работающие при импульсных нагрузках (в приводах фрезерных станков), более долговечны, что объясняется их самоустановкой благодаря коротким ступицам и более равномерному распределению нагрузки по длине зуба.

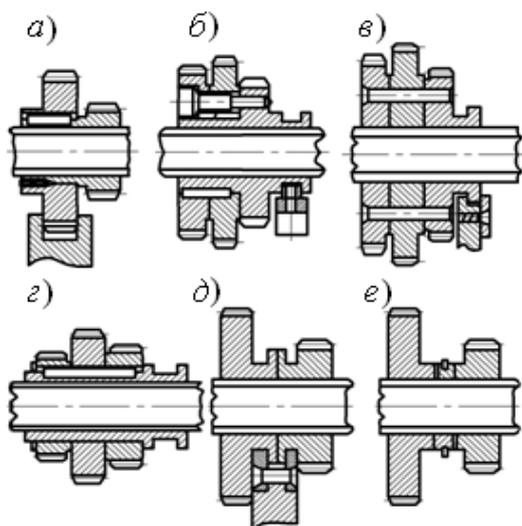


Рисунок 1.7 – Конструкции составных блоков зубчатых колес

вилки пружинного кольца резьбы. Колеса составного блока могут быть установлены на общей втулке (см. рисунок 1.7, *з*).

Ряд способов соединения зубчатых колес в составные блоки приведен на рисунке 1.7. Насадное колесо может быть помещено на ступице основного, в качестве которого используется колесо меньшего диаметра (см. рисунок 1.7, *а*, *б*). Крутящий момент на посадочное колесо передается шпонкой цилиндрическими штифтами зубчатой муфты. В осевом направлении оно фиксируется установочным винтом. Колеса могут быть установлены непосредственно на валу (см. рисунок 1.7 *в*, *д*, *е*) и соединены между собой с помощью развальцованных штифтов охватывающей составной

### Задание

Разработать типовую схему (на основании изученного материала) главного привода одного из станков (в соответствии с заданием преподавателя): 2Н135Ф1; 16Д25; 16К20; 2А135; 6Н12П; 6520Ф3; 16К30Т1; 6Н80; 1А616Ф2; 1П326; 6Н13Ф3-2.

**Перечень используемого оборудования:** станки 16Д25, 16К20Т1, 2А135, ВФ130, 5В12, 5Е32, ТМ1.

### Порядок выполнения работы

- 1 Изучить назначение приводов, требования, предъявляемые к приводам.
- 2 Изучить приводы главного движения станков.
- 3 Изучить компоновку шпиндельной группы.
- 4 Изучить типы передач.
- 5 Изучить назначение и конструкции муфт.

**Содержание отчета:** цель работы; назначение приводов; требования, предъявляемые к приводам; виды приводов; виды передач; муфты; характеристика главного привода для станков 16Д25; 16К20Т1; ВФ130.

**Контрольные вопросы.** Какие движения механизмов станков называются основными, а какие вспомогательными? Перечислите виды приводов металлорежущих станков. Какие передачи применяют в станках? Какие виды муфт применяют в станках? Какие механизмы реверсирования вы знаете? Какие механизмы торможения применяются в приводах главного движения?

## 2 Лабораторная работа № 2. Анализ конструкции приводов и исполнительных механизмов подач станков

**Цель работы** – анализ конструкции приводов и исполнительных механизмов подач станков.

### 2.1 Назначение привода подачи

Привод подачи осуществляет взаимное перемещение инструмента и заготовки. На токарных станках такими движениями являются продольное и поперечное перемещение суппортов с резцами, на фрезерных – перемещение стола с заготовкой, на сверлильных – перемещение пиноли и т. д.

Основную нагрузку при снятии припуска в процессе обработки воспринимает привод главного движения. Привод подачи при этом воспринимает составляющие усилия резания, которые, как правило, значительны. Привод главного движения должен обеспечивать в процессе резания постоянную мощность, а привод подачи – постоянный момент.

### 2.2 Электромеханические приводы подачи со ступенчатым регулированием

**2.2.1 Структуры и механизмы приводов.** Токарно-винторезные, вертикально-сверлильные и станки других типов имеют приводы подачи, кинематически связанные приводом (рисунок 2.1, а, б).

Шпиндель получает вращение от электродвигателя через коробку скоростей с регулируемым передаточным отношением  $i_{лн}$  и ряд постоянных передач  $i_{пл}$ . Тяговый механизм привода подачи связан со шпинделем с помощью коробки передач или сменных колес с регулируемым передаточным отношением  $i_s$  и постоянных передач  $i_{сп}$ . Фрезерные и другие станки имеют привод подачи с отдельным электродвигателем (рисунок 2.1, в, з). Изменение величины подачи можно производить различными способами: с помощью механизмов с зубчатыми передачами и без применения зубчатых передач, например, электрическим или гидравлическим путем, храповым или кулачково-рычажными механизмами и т. д.

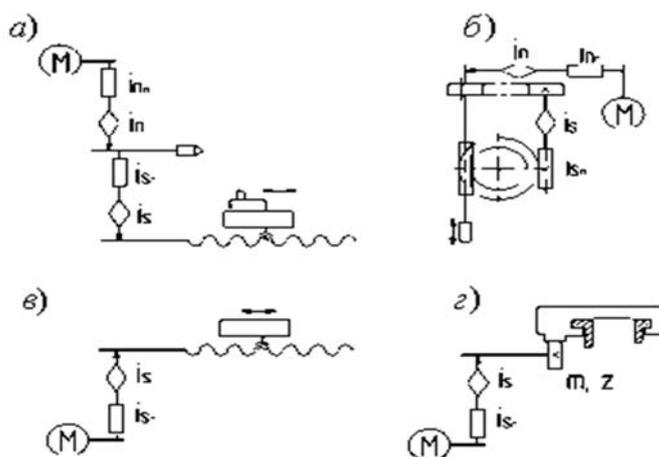


Рисунок 2.1 – Структуры приводов подачи со ступенчатым регулированием

Коробки подач с зубчатыми передачами бывают:

- со сменными зубчатыми колесами и с постоянным расстоянием между осями валов;
- с передвижными блоками зубчатых колес;
- со встречными ступенчатыми конусами колес и вытяжными шпонками;
- нортоновские;
- в форме гитар сменных зубчатых колес;
- с механизмом типа Меандра.

Компактный механизм со ступенчатым конусом (рисунок 2.2, а) позволяет получить от 4 до 12 ступеней подачи. В цепь подач он может быть включен таким образом, что от конуса зубчатых колес движение с помощью колес  $Z_1$  и  $Z_2$  передается на вал II каретки или в обратном направлении – от вала II на вал I конуса. Недостатком механизма является пониженная жесткость.

2.2.2 Механизм с выдвижной шпонкой (рисунок 2.2, б) состоит из колес, находящихся в постоянном зацеплении. На валу I колеса закреплены, на валу II – установлены свободно. Вытяжная шпонка, которую можно перемещать вдоль прорези в валу, входит в шпоночный паз одного из колес и связывает его с валом II. В этом компактном механизме можно установить косозубые колеса. Механизм имеет сравнительно малую жесткость.

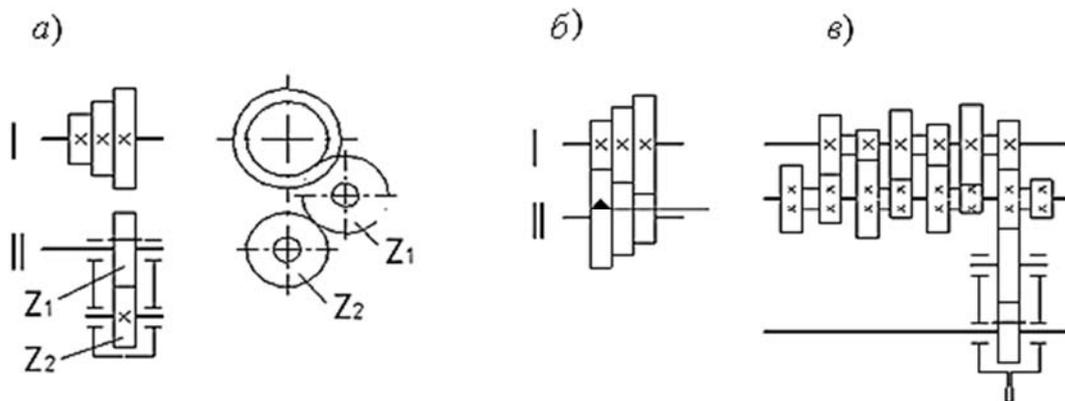


Рисунок 2.2 – Механизмы приводов подач

2.2.3 Механизм типа Меандра (рисунок 2.2, в) состоит из нескольких одинаковых зубчатых блоков и передвижной каретки с накидным или передвижным колесом. Зубчатые блоки, за исключением одного, на валах установлены свободно. Передаточные отношения передач образуют геометрический ряд. Для механизма характерны малые осевые габариты, большой диапазон регулирования и в то же время пониженные жесткость и износостойкость.

Приводы подачи со ступенчатым регулированием применяют в универсальных неавтоматизированных станках, а также в редко переналаживаемых автоматах и полуавтоматах.

### ***2.3 Электромеханические приводы подачи с бесступенчатым регулированием***

Приводами подач с бесступенчатым регулированием оснащают станки с ЧПУ, гибкие производственные модули, станки с адаптивным управлением. Приводы должны обеспечивать широкий диапазон режимов обработки, максимальную производительность, высокую точность позиционирования исполнительных органов.

В настоящее время в электроприводах станков получают все более широкое применение приводы подач с сокращенной механической частью с использованием высокомоментных двигателей, имеющих высокоэнергетические постоянные моменты и обладающие рядом существенных преимуществ по сравнению с обычными двигателями постоянного тока с электромагнитным возбуждением и с малоинерционными двигателями постоянного тока.

Основными преимуществами являются меньшие габаритные размеры, высокие значения электромагнитного вращающего момента, высокие значения угловых ускорений в переходных режимах, равномерный ход при малых частотах вращения, способность выдерживать большие токовые нагрузки в кратковременном и повторно-кратковременном режимах. С применением в приводах подач высокомоментных двигателей появилась возможность значительно сократить механическую часть привода подач за счет исключения силового редуктора и подключения высокомоментного двигателя непосредственно к ходовому винту. Эффект от применения высокомоментных двигателей в станках обеспечивается повышением производительности станка, упрощением его кинематики и улучшением динамических характеристик привода. Повышение производительности достигается за счет увеличения скорости быстрых перемещений, большого диапазона регулирования подач рабочего органа станка и высоких динамических качеств.

С исключением силового редуктора значительно уменьшается общий момент инерции механизма подач, снижается динамический крутящий момент на двигателе и увеличивается допустимое ускорение для привода по условиям механической прочности.

### ***2.4 Элементы исполнительного механизма приводов***

Состав исполнительного механизма электромеханического привода подачи включает соединительную муфту 1 (рисунок 2.3), тяговое устройство 4, его опоры 3. В приводе может быть использован простой редуктор 2, предназначенный для повышения момента на тяговом устройстве или для реализации компоновочного решения.

### 2.4.1 Тяговые устройства привода подачи.

2.4.1.1 Передача винт-гайка качения. Передача винт-гайка качения обладает свойствами, позволяющими применять ее как в приводах подач без отсчета перемещений (универсальных станков, силовых станков, агрегатных станков), так и в приводах подач и позиционирования станков с ЧПУ. Для передачи характерны высокий коэффициент полезного действия (0,6...0,9), небольшое различие между силами трения движения и покоя, незначительное влияние частоты вращения винта на силу трения в механизме, полное отсутствие осевого зазора. Недостатками являются высокая стоимость, понижающее демпфирование, отсутствие самоторможения. Передача состоит из винта, гайки, шариков и устройства для возврата шариков.

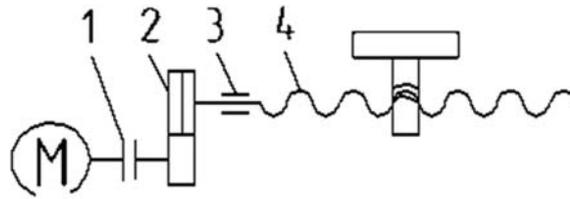


Рисунок 2.3 – Исполнительный механизм регулируемого электромеханического привода подачи

Обычно применяют передачи с наиболее технологичным полукруглым профилем резьбы. Предварительный натяг, повышающий точность и жесткость передачи, создают осевыми проставками между гайками, винтами, сдвоенной дифференциальной гайкой.

2.4.1.2 Передача винт-гайка скольжения. Для передачи винт-гайка скольжения характерны:

- возможность использования малого шага и, соответственно, малое передаточное отношение при однозаходной резьбе и небольшой скорости подачи;
- самоторможение при использовании одно- и двухзаходных винтов и, соответственно, возможность применения передачи для вертикальных движений и узлов, совершающих установочные перемещения под нагрузкой;
- относительно низкая износостойкость;
- низкий КПД.

На гайке и винте нарезают трапецеидальную резьбу обычно стандартного профиля с углом  $30^\circ$ . Винты с такой резьбой технологичны, но радиальное биение их создает погрешность шага. Поэтому прецизионные передачи делают с резьбой, имеющей угол профиля  $10^\circ \dots 20^\circ$ .

Зазор в резьбе регулируют и устраняют двумя способами. Первый состоит в том, что гайку изготавливают из двух полугаек, одну из них прикрепляют к столу или суппорту, другую с помощью клина, прокладок или резьбового соединения перемещают в осевом направлении. Регулирование по второму способу достигают в результате поворота одной полугайки относительно другой при неизменном осевом расположении.

2.4.1.3 Передача червяк-рейка качения. Передача червяк-рейка качения состоит из червяка 4 с 5–6 рабочими витками (рисунок 2.4), жестко закрепленной на станине станка рейке 2 и комплекта шариков 3, циркулирующих между рабо-

чими профилями червяка и рейки. Вне рабочей зоны шарики удерживаются ограничителем 1. Параметры передачи: угол контакта  $\alpha = 45^\circ \dots 60^\circ$ , угол охвата рейки  $\varphi = 180^\circ$ , отношение диаметра шарика к диаметру условного цилиндра, на котором расположены центры шариков  $d/D = 0,06 \dots 0,1$ , шаг винтовой канавки на червяке  $p = 1,6d$ .

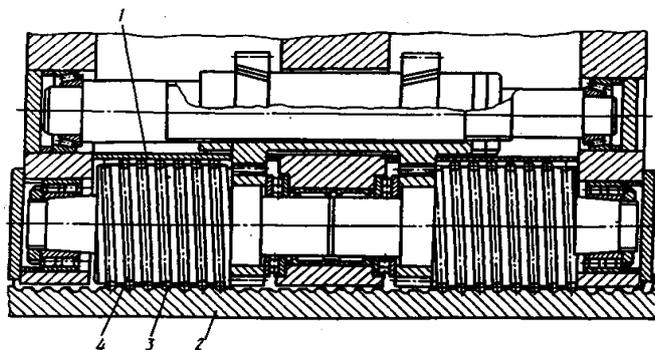


Рисунок 2.4 – Передача червяк-рейка качения

В передаче создают предварительный натяг. С этой целью червяк смещают относительно рейки в радиальном направлении. В этом случае при большом ходе стола по недостаточно точным направлениям (или в результате деформации корпусных деталей) возможно появление зазоров в передаче или заклинивание червяка.

Более надежный способ создания предварительного натяга заключается в том, что в передаче применяют два червяка, которые с помощью зубчатых передач поворачивают в противоположные стороны при одновременном осевом смещении колес. Достоинства передачи: высокая нагрузочная способность, плавность и точность перемещений, высокий КПД, возможность полностью устранить зазоры.

2.4.1.4 Гидростатическая червячно-реечная передача. Гидростатическая червячно-реечная передача (рисунок 2.5) состоит из червяка 1 и рейки 2, в зазор между которыми нагнетается масло. Когда передача не нагружена, давление во всех карманах одинаково и зазоры по обеим сторонам профиля равны. При нагружении передачи зазоры с одной стороны профиля уменьшаются, а давление в них возрастает.

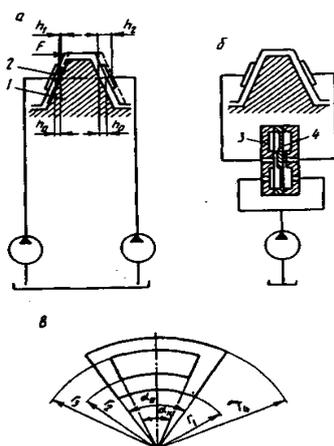


Рисунок 2.5 – Схема гидростатической червячно-реечной передачи

С другой стороны профиля изменения зазоров и давления масла противоположны. В результате внешняя нагрузка уравнивается разностью сил давления масла. Для гидростатической передачи червяк-рейка характерны большая нагрузочная способность, высокий КПД (не ниже 0,95), высокая точность, доста-

точная жесткость, отсутствие изнашивания, хорошая демпфирующая способность. Передачу целесообразно применять в качестве звена привода подачи тяжелых станков с ЧПУ.

### **2.5 Способы смазывания шарико-винтового механизма и защита от загрязнений**

Для смазывания шарико-винтового механизма применяют жидкий или пластичный смазочный материал. Масло типа индустриального подводится к корпусу, в котором установлены гайки. Используется смазывание следующих типов: капельное, порционное, циркуляционное, масляным туманом. Пластичный смазочный материал типа солидола применяется, когда при использовании жидкого возникают затруднения; в небольшом объеме его закладывают в винтовые канавки гайки. Эффективны масла с присадками, особенно в связи с тем, что в каналах возврата имеет место трение скольжения.

Для предохранения винтов от загрязнения применяют защитные устройства в совокупности с устройствами уплотнения и очистки. Защитные телескопические трубки с уплотнениями, имея значительные габариты, могут быть использованы только при увеличении длины винта. Гармоникообразные меха хорошо защищают винт и не занимают много места. Короткие винты могут быть защищены стальными лентами, свернутыми в спираль.

Хорошо очищает винт охватывающая его фетровая или войлочная втулка с резьбой на внутренней поверхности (рисунок 2.6, а), однако при изнашивании она хуже выполняет свои функции. При использовании втулки из нейлона возникает меньшая сила трения в контакте с винтом и втулка меньше шаржируется твердыми частицами. Скребки-щетки, предназначенные для очистки винта (рисунок 2.6, б, в), следует установить так, чтобы их можно было заменять без разборки узла в целом.

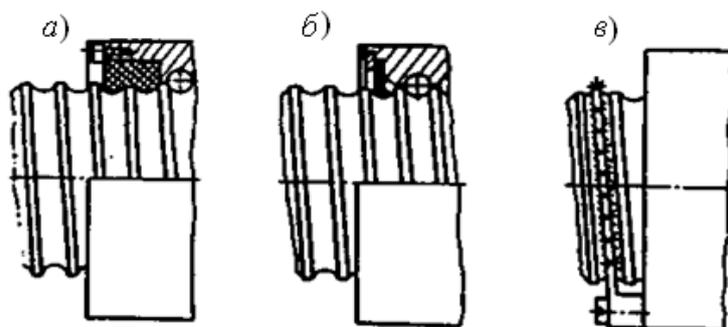


Рисунок 2.6 – Устройства для предохранения шарико-винтового механизма от загрязнения

## 2.6 Способы осевого закрепления винта

Применяют осевое закрепление винта по следующим схемам.

*Схема 1.* Опора, представляющая собой комбинированный подшипник, воспринимает нагрузку в обоих направлениях (рисунок 2.7, а).

Одностороннее закрепление винта допускает наименьшую сжимающую нагрузку и наименьшую критическую частоту вращения. Поэтому длина винта  $L$  не должна превышать 20–25 его диаметров. Передачи, выполненные по этой схеме, применяются при небольших ходах перемещаемого узла или при односторонней нагрузке, часто в приводах вертикальной подачи.

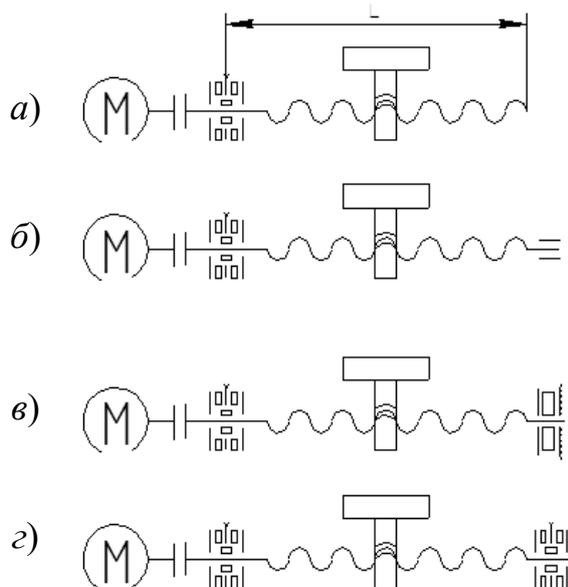


Рисунок 2.7 – Способы осевого закрепления винта

*Схема 2.* Один конец винта установлен на опоре, которая воспринимает осевую нагрузку в обоих направлениях, второй находится на дополнительной радиальной опоре (рисунок 2.7, б). Такая конструкция имеет по сравнению с предыдущей более высокий запас устойчивости по критической осевой силе и по критической частоте вращения. Применяется в тех же случаях, что и передача с односторонним закреплением винта, часто в приводах горизонтальной подачи.

*Схема 3.* Одна опора воспринимает осевую нагрузку в обоих направлениях, другая в одном (рисунок 2.7, в).

Опора, воспринимающая нагрузку обоих направлений, представляет собой упорный комбинированный роликовый подшипник или совокупность двух упорных роликовых и шарикового радиального подшипника.

*Схема 4.* Каждая из двух опор винта воспринимает осевую нагрузку в обоих направлениях (рисунок 2.7, г). В опорах устанавливают упорные комбинированные роликовые подшипники или по два роликовых радиально-упорных подшипника и по одному шариковому радиальному.

## 2.7 Рекомендации по конструированию приводов подачи

Механизм подачи получает движение от отдельного электродвигателя или от шпинделя станка. Если необходимо обеспечить жесткую кинематическую связь между шпинделем и тяговым устройством, что требуется, например, при нарезании резьбы, ременную передачу или цепную передачу в привод встраивать нельзя. Кроме передач, необходимых для редукции и регулирования подачи, в привод включают устройства для реверсирования подачи, предохранительное

устройство, цепь передач для быстрых ходов суппорта, устройство для включения механизма подач.

В качестве устройств для реверсирования подачи применяют механизмы с цилиндрическими или коническими колесами, а также с составным зубчатым колесом. Предохранительное устройство помещают между коробкой подач и тяговым устройством. Цепь передач для быстрых ходов суппорта может иметь привод или от отдельного электродвигателя или от привода подачи. Цепь быстрых ходов соединяют с цепью рабочих подач в самом конце последней. Устройство для включения механизма подач выполняют в виде передвижного колеса, кулачковой или фрикционной муфты и помещают в начале цепи подачи.

Большинство валов, входящих в состав коробок передач, относятся к мало-нагруженным. Они вращаются медленно. Их диаметр обусловлен требованиями жесткости.

### **Задание**

Разработать конструкцию привода и исполнительных механизмов подач станков: 16К20, 16К20Т1, 6А12Р, 6520Ф3, 2А125, 2Р135Ф2, 5В12, 5Е32.

**Перечень используемого оборудования:** станки 16Д25, 16К20Т1, 2А135, ВФ130, 5В12, 5Е32, ТМ1.

### **Порядок выполнения работы**

- 1 Изучить назначение привода подач.
- 2 Изучить электромеханические приводы подач со ступенчатым регулированием.
- 3 Изучить электротехнические приводы подач с бесступенчатым регулированием.
- 4 Изучить элементы исполнительного механизма приводов.
- 5 Изучить способы смазывания шарико-винтового механизма.
- 6 Изучить способы защиты шарико-винтового механизма.
- 7 Изучить способы закрепления винта.

**Содержание отчета:** цель работы; эскиз и анализ разработанной конструкции привода и исполнительного механизма подач.

**Контрольные вопросы.** Назначение привода подач. Структуры и механизмы приводов подач со ступенчатым регулированием. Структуры и механизмы приводов подач с бесступенчатым регулированием. Элементы исполнительного механизма привода подач. Способы смазки шарико-винтового механизма. 6 Способы защиты механизма. Способы осевого закрепления винта.

### **3 Лабораторная работа № 3. Анализ конструкций направляющих скольжения и способов их регулирования**

**Цель работы** – изучение и анализ конструкций направляющих скольжения и способов их регулирования.

#### **3.1 Основные типы направляющих**

Для прямолинейных и круговых перемещений рабочих органов в металлорежущих станках применяют направляющие. Они бывают двух типов: направляющие скольжения и направляющие качения. Если в станке имеются направляющие обоих видов, то такие направляющие называются комбинированными. Направляющие должны обеспечивать плавность перемещений и заданную точность, иметь минимальный износ и допускать компенсацию износа. Для направляющих должна быть также обеспечена эффективность смазки, простота сборки и регулирования, надежная защита от загрязнения и попадания стружки на поверхность трения.

#### **3.2 Направляющие скольжения**

Среди направляющих скольжения наибольшее распространение получили направляющие, выполненные заодно со станиной или столом, т. е. монолитные, имеющие охватываемый или охватывающий профиль (рисунок 3.1 и таблица 3.1).

На направляющих *1, 3, 5–7, 10–14*, образующих охватываемый профиль, плохо удерживается смазочный материал и поэтому их чаще применяют при сравнительно медленных перемещениях столов и суппортов. Их основное преимущество в более простом изготовлении и с них легче удалить попавшую стружку.

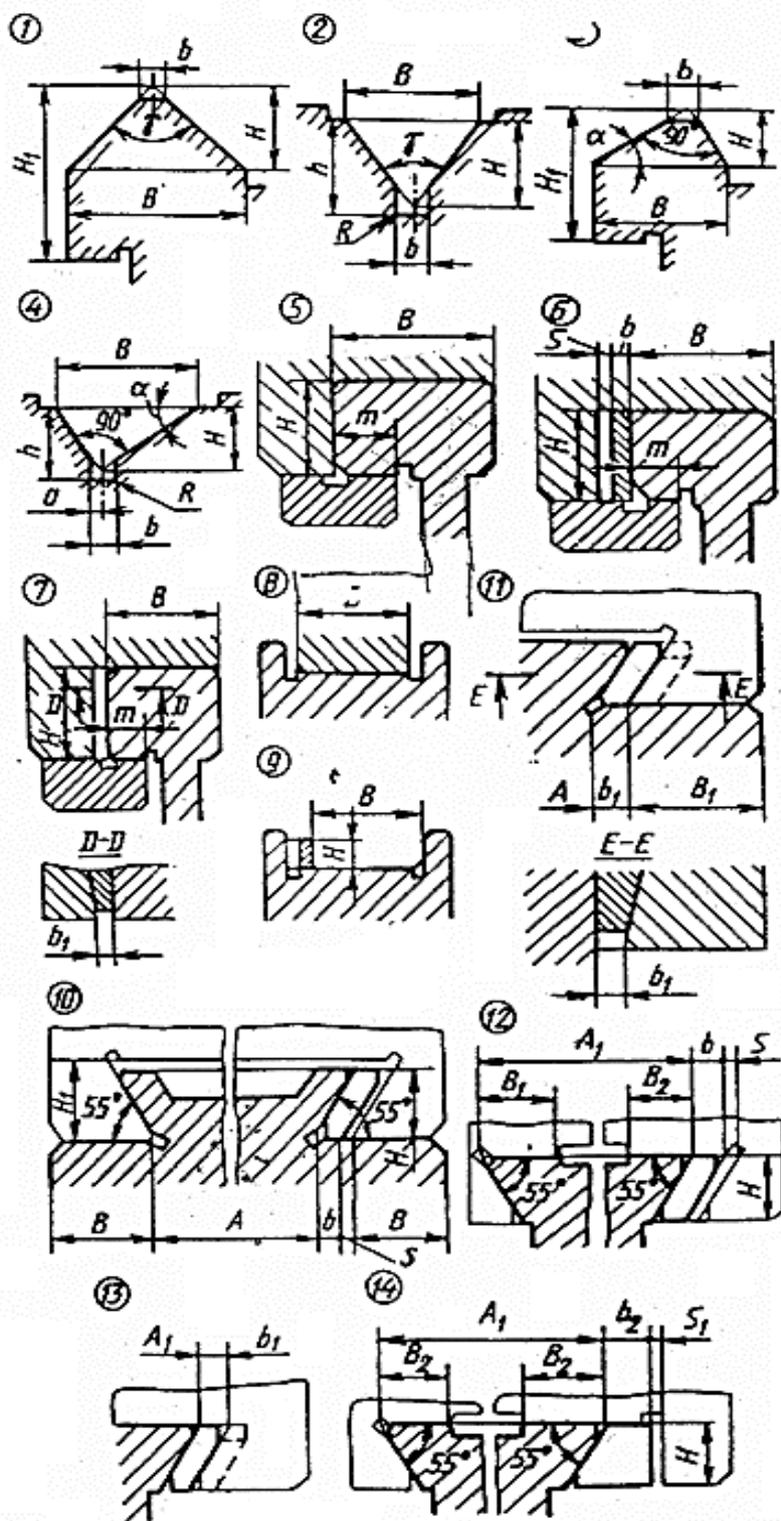
Охватывающие направляющие *2, 4, 8, 9* более пригодны для высоких скоростей скольжения, т. к. они хорошо удерживают смазочный материал. Однако эти направляющие требуют надежной защиты от попадания стружки и других видов загрязнений.

Прямоугольные направляющие *5–7* просты в изготовлении, но менее благоприятны для восприятия пространственных нагрузок.

Равносторонние треугольные (призматические) направляющие *1* применяют преимущественно при симметричной нагрузке. Треугольные направляющие *3* с неодинаковыми гранями – при ассиметричной нагрузке; V-образные направляющие *2, 4* применяют на станках, обеспечивающих большие скорости подвижных рабочих органов.

Трапецеидальные направляющие (в виде ласточкина хвоста) *10–14* удобны тем, что достаточно четырех поверхностей скольжения, чтобы воспринять нагрузки во всех направлениях, включая опрокидывающие моменты. Эти направляющие сравнительно сложны в изготовлении, имеют довольно низкую жесткость, их применяют обычно только при малых скоростях перемещений и

средних требованиях к точности. Для круговых направляющих планшайб и столов станин применяют в основном плоские  $\delta$ ,  $9$  и V-образные направляющие скольжения.



1–5, 8 – без регулировочных элементов; 6, 9, 10, 12, 14 – с регулировочной планкой; 7, 11, 13 – с клином

Рисунок 3.1 – Типы монолитных направляющих

Таблица 3.1 – Рекомендуемые значения параметров конструкции монолитных направляющих

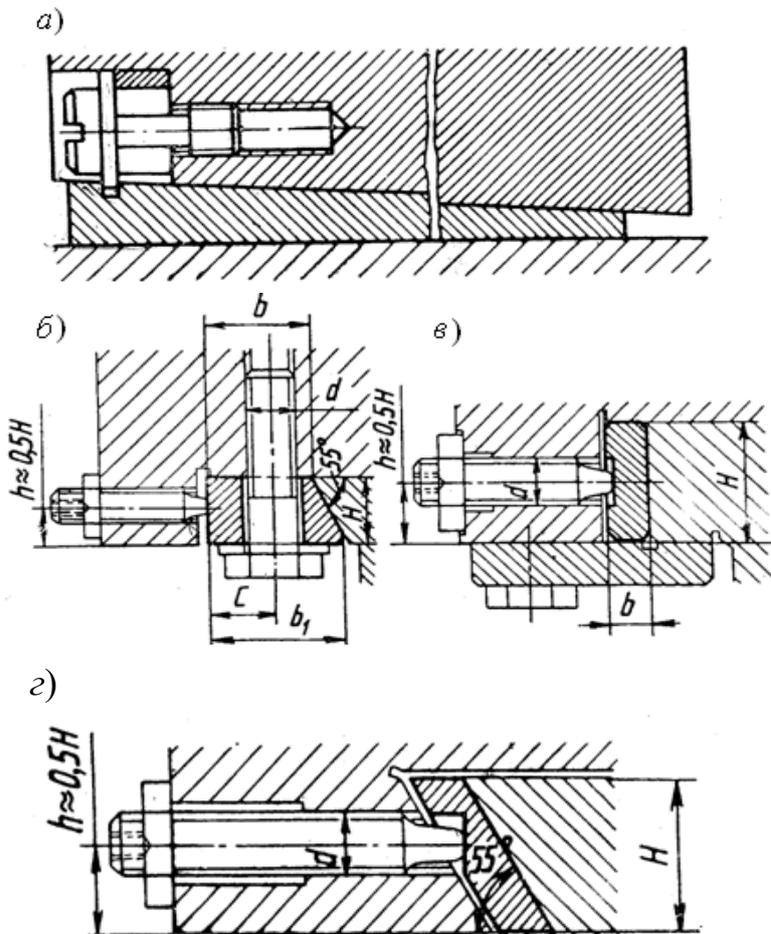
Форма направляющей	Параметр (рисунок 3.1)	$H$ , мм													
		6	8	10	12	16	20	25	32	40	50	60	80	100	
Треугольная 1 и 3. V-образная 2 и 4. Симметричная 1 и 2. Несимметричная 3 и 4	$H_1$	2Н			2,2 Н			2,6 Н				–			
	$b$	0,2 Н													
	$h$	Н + 1						Н + 2			Н + 3			Н + 4	
	$R$	0,3	0,5		1		1,5		2	3			4		
Прямоугольная 5–7. Плоская 8 и 9	$B$	1,6 Н			2 Н			2,5 Н		3,1 Н			4 Н		
	$m$	0,4 Н						0,5 Н		0,6 Н					
	$b$	0,36 Н						0,28 Н							
	$b_1$	0,3 Н			0,28 Н			0,23 Н			0,18 Н				
	$S$	0,5						1							
Трапецидальная 10–14	$H_1$	Н + 0,5					Н + 1				Н + 1,5				
	$b$	5	6			8	10	12	15	18	22	–	–		
	$b_1$	–	3	4	5	6		8		10	12	15	–		
	$b_2$	–			20		25	32			10	45	–		
	$S$	0,5						1							
	$S_1$	–					1			2					

3.2.1 Способы регулирования направляющих скольжения. Для устранения зазора и создания необходимого натяга в направляющих используют преимущественно три способа регулирования: клиньями (рисунок 3.2, а); планками, закрепляемыми после регулирования (рисунок 3.2, б и таблица 3.2); планками, не закрепляемыми после регулирования (рисунок 3.2, в, г).

Направляющие, снабженные регулировочными планками, закрепляемыми после регулирования, обладают наибольшей жесткостью. Жесткость грани с клином примерно в 2–2,5 раза ниже жесткости грани с закрепленной планкой. Жесткость грани с призматической планкой, не закрепляемой после регулирования, примерно в 2–3 раза ниже жесткости грани с другими видами регулировок.

Таблица 3.2 – Рекомендуемые значения параметров конструкций планок, закрепляемых после регулирования (рисунок 3.2, б)

$H$ , мм	$b$ , мм	$b_1$ , мм	$C$ , мм	$d$ , мм
20	20	33	12	M10
25		36		
32	25	46	15	M12
40	32	58	20	M16
50		64		
60	40	79	25	M20
80	45	96	28	M24



*a* – клином; *б* – планками, закрепляемыми после регулирования; *в, з* – планками, не закрепляемыми после регулирования

Рисунок 3.2 – Создание натяга в направляющих

По рисунку 3.3 и таблице 3.3 выбираются конструктивные параметры прижимных планок направляющих скольжения. Присутствие в конструкциях элементов, обеспечивающих натяг, увеличивает размер *M* на их ширину.

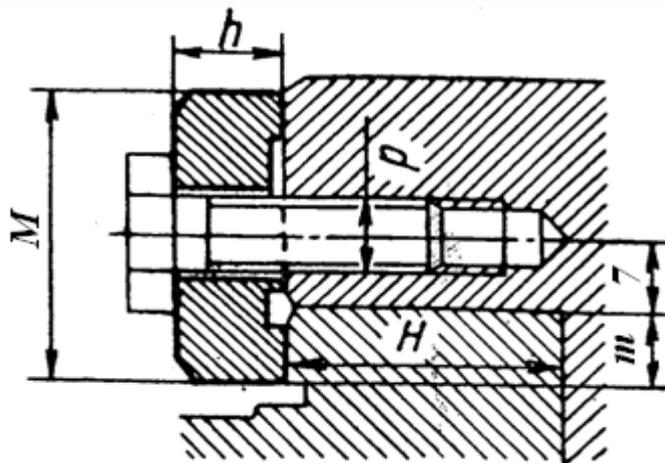


Рисунок 3.3 – Установка прижимных планок на монолитные направляющие

Таблица 3.3 – Рекомендуемые значения конструктивных параметров прижимных планок

$m$ , мм	$H$ , мм	$h$ , мм	$M$ , мм	$d$ , мм	$t$ , мм
4	8	4	12	M4	5
5	8 10	5	15	M5	4
6	10 12	6	20	M6	6
8	12 16	8	25	M8	7
10	16 20	10	32	M10	9
12	20 25 32	12	40	M12	11
16	25 32 40 (45)	16	50	M16	14
20	32 40 (45) 50 (55)	20	60		
40	(70) 80 100	40	125	M30	25

Монолитные направляющие станков обрабатывают фрезерованием, строганием, шлифованием или шабрением. Для компенсации погрешности, вызываемой термообработкой и изнашиванием направляющих, в ряде случаев, после фрезерования преднамеренно создают выпуклость направляющих по программе ЧПУ или за счет упругого деформирования станины (вниз) в процессе обработки. В качестве типичного примера на рисунке 3.4 показан профиль направляющих прецизионного токарного станка с указанием основных требований к шероховатости поверхностей скольжения.

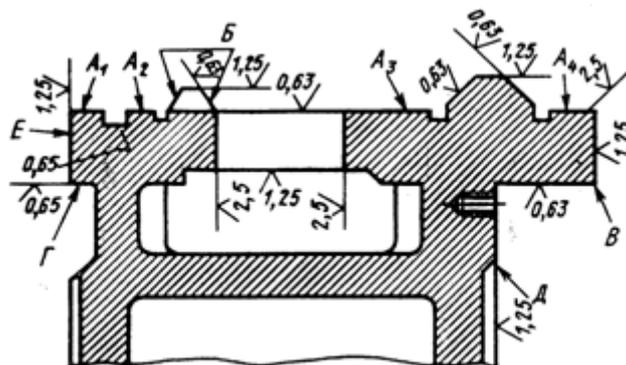


Рисунок 3.4 – Профиль монолитных направляющих скольжения станины прецизионного токарного станка



На рисунке 3.7 указаны технические требования, предъявляемые при сборке и окончательной обработке направляющих с накладными планками.

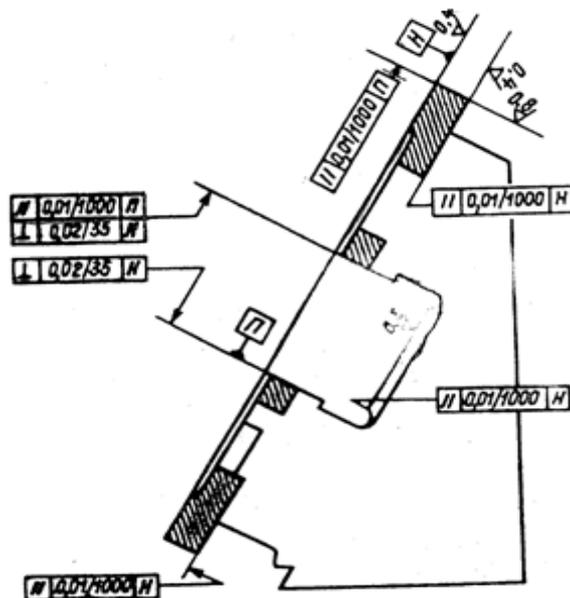


Рисунок 3.7 – Технические требования к сборке накладных направляющих скольжения токарного станка класса П

Тонкие закаленные пластины в качестве накладных направляющих вклеивают в пазы станины (см. рисунок 3.5, б). Их применение экономит высоколегированную сталь. Стальную ленту толщиной 0,2...0,3 мм в качестве накладной направляющей станины (см. рисунок 3.5, в) используют при длине станины более 10 м. Натянутую ленту вдоль всей ее длины прижимают к станине планками, которые приклеивают к станине эпоксидным клеем и привинчивают винтами, что предотвращает попадание стружки и смазочно-охлаждающей жидкости в зазор между лентой и станиной. Конструкции направляющих суппортных групп металлорежущих станков существенно различаются в зависимости от их компоновки (рисунок 3.8).

При горизонтальной компоновке наиболее распространена схема с треугольной передней и плоской задней гранью (см. рисунок 3.8, а). При наклонной компоновке и наличии в станке только одного суппорта применяют конструкции с одной (см. рисунок 3.8, б), двумя (см. рисунок 3.8, в–д) и четырьмя (см. рисунок 3.8, е) наклонными направлениями. В зависимости от угла наклона суппортной группы существенно меняются условия работы различных направляющих. При малых углах наклона суппорта предпочтительным является исполнение направляющих с силовым замыканием на нижней направляющей и расположением регулирующего элемента с ее задней стороны (см. рисунок 3.8, з).

При больших углах наклона (более  $60^\circ$ ) основная нагрузка выпадает на ту направляющую, которая воспринимает вес суппортной группы, поэтому регулировочные элементы располагают или на противоположной направляющей (см. рисунок 3.8, е) или на той же направляющей, но с другой стороны (см. рисунок 3.8, в). Применяют также наклонные конструкции суппортов с горизонтально расположенными направляющими (см. рисунок 3.8, ж).

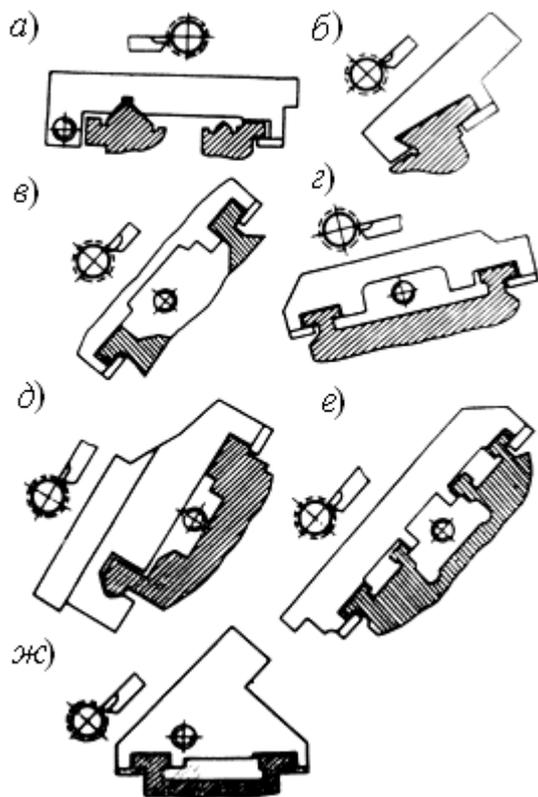


Рисунок 3.8 – Направляющие скольжения суппортов односуппортных токарных станков

### Задание

Разработать конструкцию направляющих скольжения и способ их регулирования следующих станков: 16К20, 16Д25, 16К20Т1, 6А12Р, 6520Ф3 2А125, 2Р135Ф2, 5В12.

**Перечень используемого оборудования:** станки 16Д25, 16К20Т1, 2А135, ВФ130, 5В12, 5Е32, ТМ1.

### Порядок проведения работы

1 Изучить основные типы направляющих.

2 Изучить типы направляющих скольжения.

3 Изучить создание натяга в направляющих.

4 В соответствии с вариантом задания разработать конструкцию направляющих скольжения и способ их регулирования, начертить эскиз и сделать анализ.

**Содержание отчета:** цель работы; типы направляющих скольжения; создание натяга в направляющих; технические требования к сборке накладных направляющих токарного станка; эскиз и анализ разработанной конструкции направляющих скольжения и способ их регулирования.

**Контрольные вопросы.** Основные типы направляющих. Направляющие скольжения. Создание натяга в направляющих. Технические требования к сборке накладных направляющих.

## 4 Лабораторная работа № 4. Анализ компоновок шпиндельных узлов, конструкций подшипников, способов регулирования натяга в опорах, конструкций уплотнений

**Цель работы** – изучение и анализ компоновок шпиндельных узлов, конструкций подшипников и способов регулирования натяга в опорах, конструкций уплотнений.

### 4.1 Общие сведения

Шпиндельный узел предназначен для осуществления главного вращательного движения, привод которого обеспечивает требуемую частоту вращения.

Шпиндельный узел обычно состоит из шпинделя, имеющего передний конец и межопорный участок, приводного элемента и шпиндельных опор. В шпинделе производится закрепление и вращение режущих инструментов или заготовок. Шпиндельный узел станков с ЧПУ имеет автоматическое управление циклом по программе. В частности, изменение установленной частоты вращения на определенных участках обработки, остановка шпинделя в определенном ориентированном положении для смены инструментов, зажим и разжим режущих инструментов.

#### ***4.2 Конструкции шпиндельных опор***

В металлорежущих станках в качестве шпиндельных опор широко используются подшипники качения, основными критериями работоспособности которых являются: точность изготовления, радиальная и осевая жесткость, радиальная и осевая несущая способность, быстроходность, нечувствительность к перекосам и небольшие температурные деформации. В станкостроении широко применяются как обычные подшипники качения, так и специально предназначенные для установки в шпиндельных узлах станков.

Подшипники качения обеспечивают высокую точность вращения шпинделя, необходимую виброустойчивость, надежно работают при изменении частоты вращения и нагрузок в широком диапазоне и удобны в эксплуатации. Несущая способность подшипников качения для шпинделей характеризуется динамической и статической грузоподъемностью. Быстроходность подшипников качения характеризуется предельной частотой вращения и параметрами быстроходности. Для каждого подшипника существует предельная частота вращения, превышение которой приводит к существенному проявлению сил инерции тел качения, возрастанию влияния погрешностей формы тел вращения и дорожек качения, соответствующему нарушению равномерности вращения подшипника, условий смазывания, росту износа рабочих поверхностей и перегрева.

Подшипники качения для шпинделей станков выходят из строя вследствие выкрашивания дорожек качения или износа элементов, приводящих к увеличению зазоров. Предельная частота вращения подшипников в нормальных условиях эксплуатации указывается в каталогах подшипников.

Наибольшее распространение в опорах шпиндельных узлов получили (рисунк 4.1) двухрядные цилиндрические роликоподшипники с коническим отверстием типа 3182100; роликоподшипники конические однорядные типа 7000, 2007900; с упорным бортом на наружном кольце типа 67000; с подпружиненным наружным кольцом типа 17000; двухрядные конические типа 97000, 2097700; с упорным бортом типа 6970. Кроме того, применяются шариковые радиально-упорные подшипники типа 36000, 46000, 66000; упорно-радиальные сдвоенные с углом контакта  $60^\circ$  типа 178800; упорные типа 8000 и сдвоенные типа 38000.

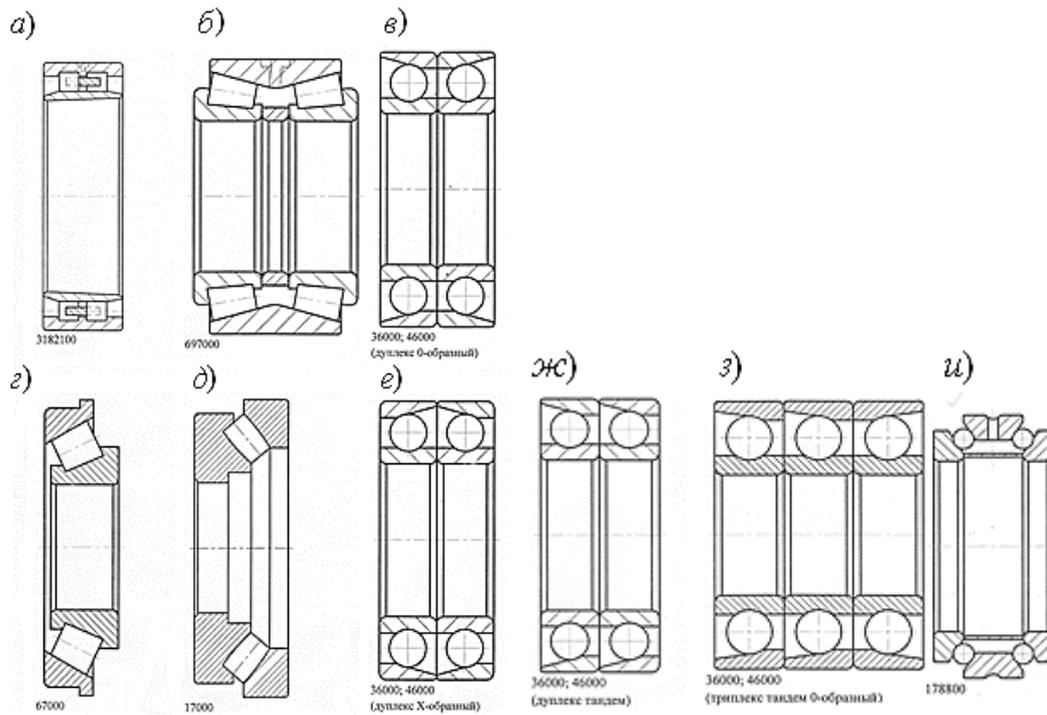


Рисунок 4.1 – Типы подшипниковых опор шпиндельных узлов

Двухрядные роликовые подшипники с короткими цилиндрическими роликами предназначены для восприятия только радиальной нагрузки и характеризуются высокой грузоподъемностью. Подшипники типа 3182100 имеют гладкую дорожку качения на наружном кольце, а типа 4162900 на внутреннем кольце, поэтому последние имеют меньший наружный диаметр. Благодаря конической отверстию во внутреннем кольце можно регулировать радиальный зазор в подшипнике при осевом перемещении этого кольца относительно конической шейки шпинделя. Эти подшипники могут устанавливаться в передней и задней опоре шпинделя.

Однорядные роликовые конические подшипники с бортом на наружном кольце типа 67700 предназначены для восприятия радиальных и осевых нагрузок. От обычных роликовых подшипников отличаются малым углом конуса дорожек качения, благодаря чему снижается давление роликов на борт внутреннего кольца и повышается радиальная жесткость. Эти подшипники обычно устанавливаются в передней опоре шпинделя.

Двухрядные роликовые конические подшипники с бортом на наружном кольце типа 697000 воспринимают радиальную и осевую нагрузку. Благодаря ужесточенным требованиям к волнистости и гранности рабочих поверхностей и тому, что в переднем ряду на один ролик больше чем в заднем, снижается уровень вибраций шпинделя и улучшается стабильность положения его оси. С помощью промежуточного кольца в подшипнике при сборке создают заданный натяг или зазор, благодаря чему, отпадает необходимость в регулировании или подгонке деталей при монтаже шпиндельного узла.

Однорядные роликовые конические подшипники с широким наружным кольцом типа 17000 предназначены для установки в задней опоре шпинделя.

Пружины, вставленные в осевые отверстия наружного кольца, обеспечивают постоянный предварительный натяг подшипника.

Радиально-упорные шариковые высокоскоростные подшипники имеют угол контакта  $12^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $18^\circ$  или  $25^\circ$  и отличаются высокой точностью изготовления. Подшипники поставляются в одиночном исполнении или комплектами, состоящими из двух, трех или четырех подшипников. Радиально-упорные шариковые подшипники универсального исполнения серии G6000 и 46000 различаются по способу центрирования сепаратора, т. е. по наружному или внутреннему кольцу. В шпиндельных опорах указанные подшипники могут быть установлены по два по схемам дуплекс 0-образный; X-образный и тандем, или по три по схеме триплекс тандем 0-образный (см. рисунок 4.1, е, ж).

Упорно-радиальные двухрядные шариковые подшипники с углом контакта  $60^\circ$  предназначены для восприятия только осевой нагрузки. В состав подшипников типа 178800 входят два тугих внутренних кольца, свободное наружное кольцо, проставочное кольцо, тела качения и два массивных сепаратора. Ширина проставочного кольца обуславливает величину предварительного натяга, поэтому отпадает необходимость в регулировании натяга в процессе монтажа шпиндельного узла и повышается стабильность натяга и долговечность подшипника. Быстроходность упорно-радиальных подшипников приблизительно в 2–2,5 раза выше, чем у обычных упорных подшипников. Упорно-радиальный двухрядный шариковый подшипник устанавливается в опору вместе с роликоподшипником, воспринимающим только радиальную нагрузку.

Опоры качения в передней опоре шпиндельных узлов многооперационных станков и станков с ЧПУ применяются главным образом в виде комбинации радиальных двухрядных роликоподшипников с коническим отверстием и упорно-радиальных шарикоподшипников. Реже используются конические роликовые подшипники, в частности при больших осевых нагрузках, а для высокоскоростных шпиндельных узлов применяются комплекты радиально-упорных шарикоподшипников с углом контакта  $15^\circ$ .

Таблица 4.1 – Коэффициент изменения показателей работоспособности радиально-упорных шариковых подшипников

Схема установки подшипников в опоре	Коэффициент изменения ширины опоры	Коэффициент изменения статической и динамической грузоподъемности	Коэффициент изменения предельной частоты вращения при натяге		
			легком	среднем	тяжелом
По одному	1	1	1	0,8	0,5
По два по схеме дуплекс 0-образная	2	1,62	0,8	0,65	0,4
По два по схеме дуплекс X-образная	2	1,62	1	0,8	0,5
По три по схеме триплекс тандем 0-образная	2	2,15	0,8	0,5	0,3

### 4.3 Схемы компоновок шпиндельных узлов

Конструктивные схемы шпиндельных узлов различных вариантов исполнений, отличающиеся различной быстроходностью и допускаемой нагруженностью. С повышением допускаемой быстроходности шпиндельного узла уменьшается жесткость, виброустойчивость и передаваемая мощность.

Низкоскоростные схемы имеют двухрядные цилиндрические роликоподшипники и шариковые упорные или конические двухрядные роликоподшипники. Поэтому они обладают повышенной радиальной и осевой жесткостью и применяются при работе на умеренных скоростях в токарных, сверлильных и фрезерных станках с высокими нагрузками.

Среднескоростные схемы имеют конические однорядные роликоподшипники или двухрядные цилиндрические, роликоподшипники шариковые радиально-упорные. В связи с этим они имеют более высокие параметры быстроходности и применяются при умеренных нагрузках в токарных, расточных, фрезерных и шлифовальных станках при работе на средних скоростях.

Высокоскоростные схемы имеют радиально-упорные подшипники, собранные в комплекты по два, три или четыре подшипника, обычно они применяются при работе на высоких скоростях в шлифовальных и отделочно-расточных станках.

### 4.4 Конструкции шпиндельных узлов

Шпиндельные узлы с подшипниками типов 697000 и 17000 (рисунок 4.2) предназначены для средних и тяжелых токарных и фрезерных станков, изготавливаемых крупными партиями. Передняя опора имеет высокую жесткость, предварительный натяг в ней создается с помощью постановочного кольца, в задней – пружинами. Диаметр шпинделя в передней опоре – 60...200 мм.

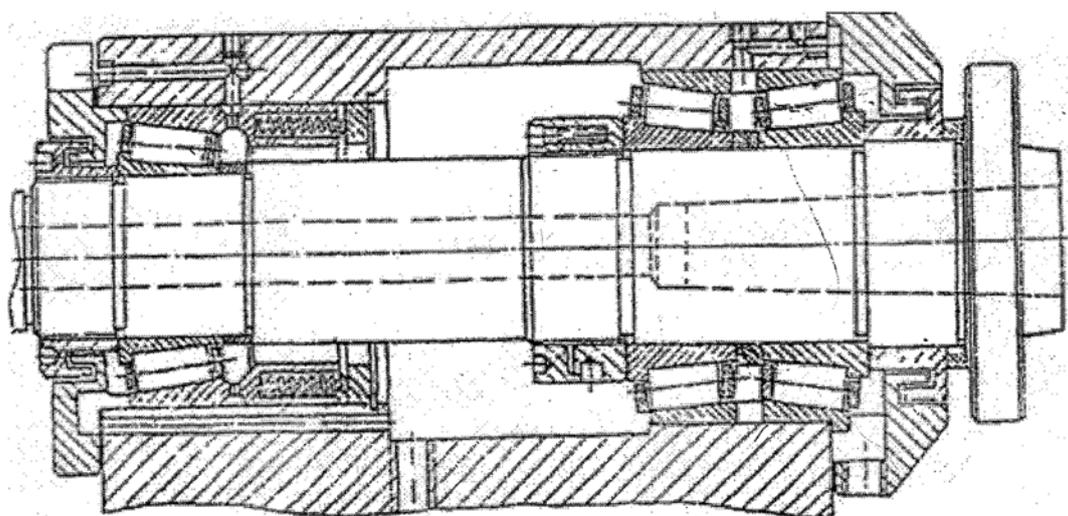


Рисунок 4.2 – Шпиндельный узел станка с ЧПУ на роликоподшипнике с упорным бортом типа 697000 в передней опоре и однорядном роликоподшипнике типа 17000 с предварительным натягом пружинами в задней опоре

Шпиндельные узлы с подшипниками типов 67000 и 17000 (рисунок 4.3) применяются в небольших и средних токарных и фрезерных станках. Диаметр шпинделя в передней опоре – 40...160 мм.

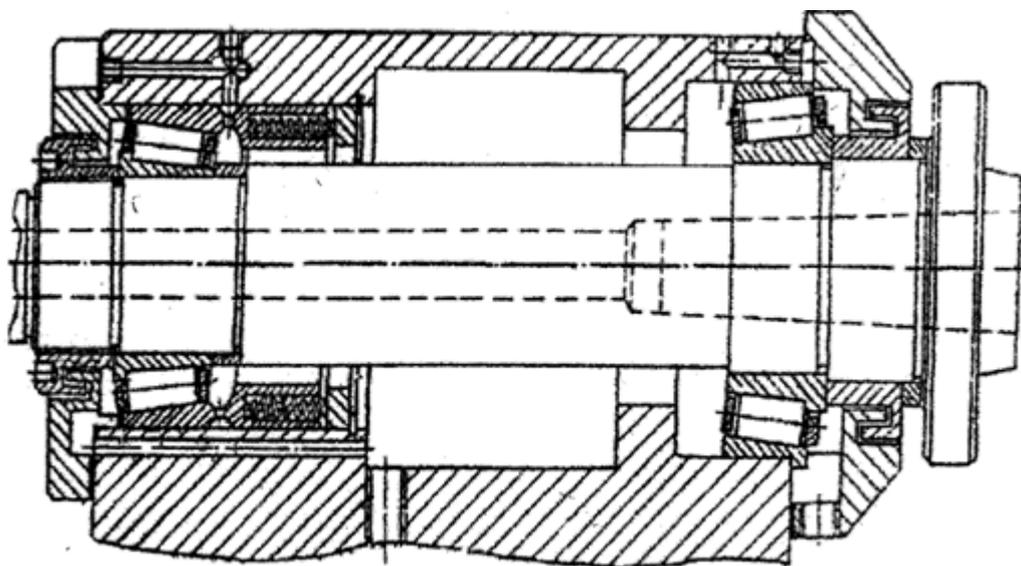


Рисунок 4.3 – Шпиндельный узел станка с ЧПУ на роликоподшипниках с упорным бортом типа 67000 в передней опоре и типа 17000 в задней опоре

Шпиндельные узлы с подшипниками типов 3182100 и 178800 (рисунок 4.4) применяются в средних и тяжелых токарных, фрезерных, фрезерно-расточных и шлифовальных станках. В передней опоре первый подшипник предназначен для восприятия радиальной нагрузки, второй – для осевой. Диаметр шпинделя в передней опоре – 60...200 мм.

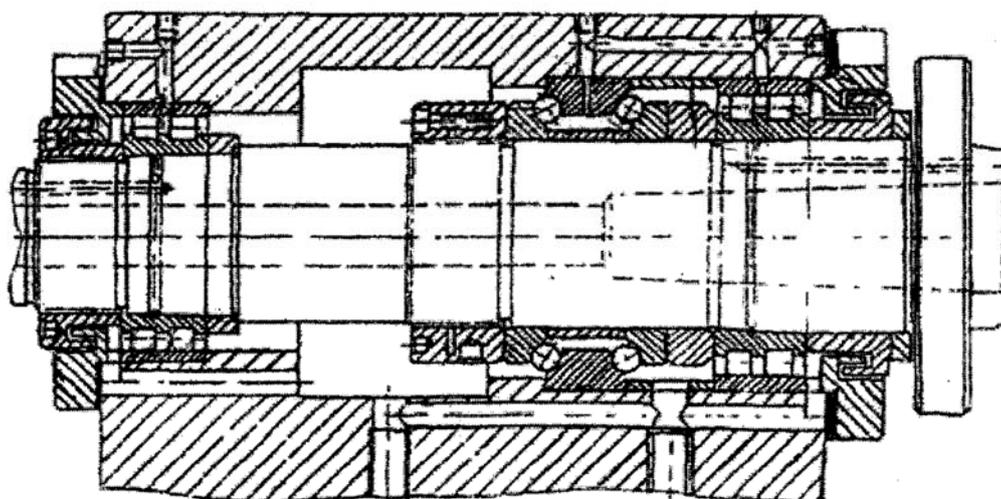


Рисунок 4.4 – Шпиндельный узел станка с ЧПУ на роликоподшипниках типа 3182100 в обеих опорах и на шариковом упорно-радиальном типа 178000 в передней опоре

Шпиндельные узлы с четырьмя радиально-упорными шарикоподшипниками типа 36000 × 2, 46000 × 2, 236000 × 2, 246000 × 2 в передней опоре и двумя в задней (рисунок 4.5) применяются в средних и тяжелых кругло- и плоскошлифовальных станках. Диаметр передней шейки шпинделя – 60...140 мм. Для обеспечения температурного смещения задней опоры предусматривается радиальный зазор между наружными кольцами подшипников и корпусов шпиндельной бабки.

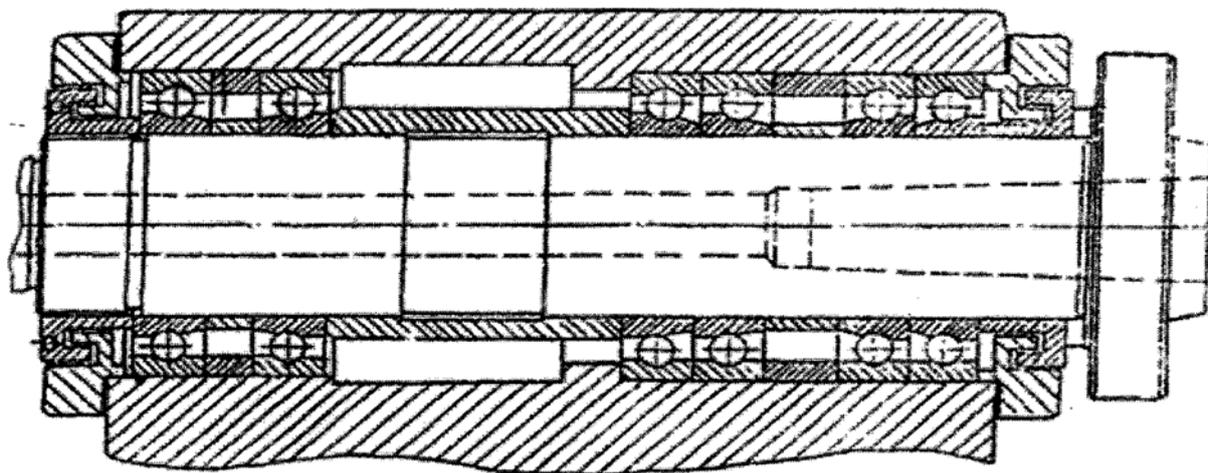


Рисунок 4.5 – Шпиндельный узел станка с ЧПУ на роликоподшипниках типа 3182100 в обеих опорах и на упорно-радиальном подшипнике типа 178000 в передней опоре

Шпиндельные узлы с тремя радиально-упорными шарикоподшипниками в передней опоре и подшипником типа 3182100 в задней (рисунок 4.6) применяются для легких и средних токарных, фрезерных, шлифовальных и фрезерно-расточных станков, а также в силовых головках агрегатных станков. Диаметр шпинделя в передней опоре – 30...120 мм.

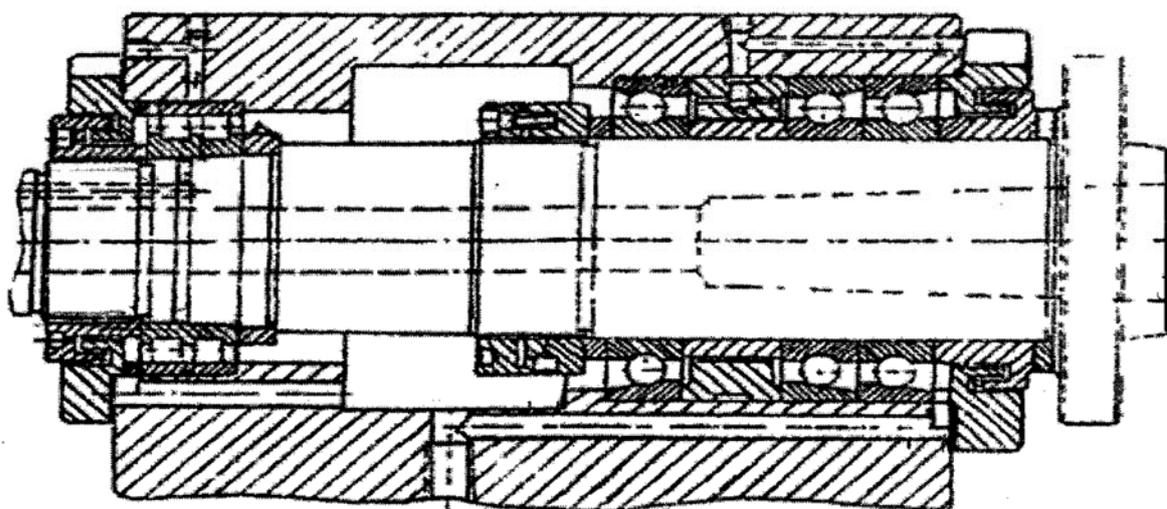


Рисунок 4.6 – Шпиндельный узел станка на роликоподшипниках типа 3182100 в задней опоре и на подшипниках типа 36000 и 46000, собранных в комплекте по три по схеме дуплекс 0-образной в передней опоре

Шпиндельные узлы с двумя радиально-упорными шарикоподшипниками в передней и задней опорах (рисунок 4.7) предназначены для легких шлифовальных, отделочно-расточных и агрегатных станков. Диаметр шпинделя в передней опоре – 20...80 мм.

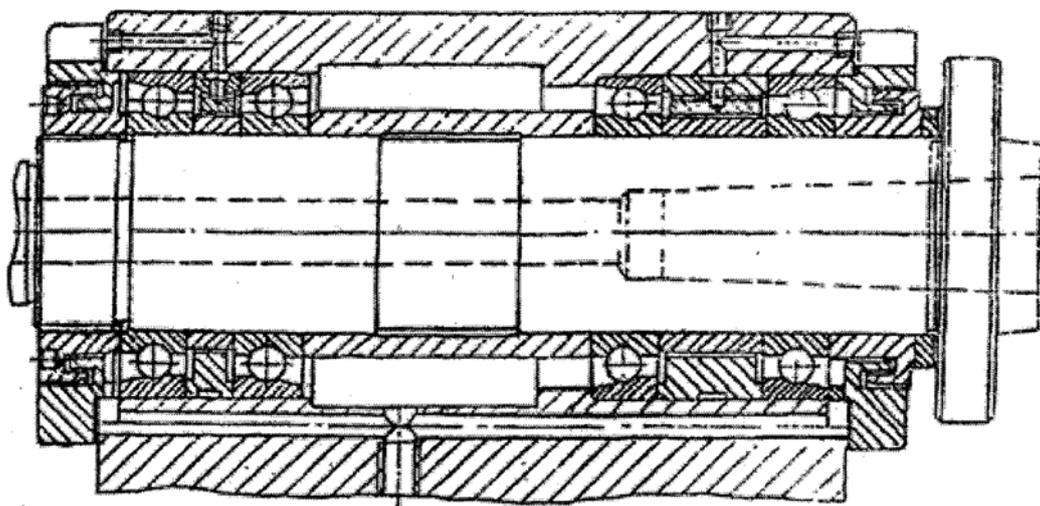


Рисунок 4.7 – Шпиндельный узел станка на шариковых упорно-радиальных подшипниках типа 36000 или 46000, собранных в комплекте по два по схеме дуплекс 0-образной в двух опорах

#### **4.5 Устройства для регулирования подшипников**

В этих устройствах (рисунок 4.8) регулировочные гайки должны надежно фиксироваться после достижения требуемого натяга в подшипниках, т. е. в любом угловом положении или через каждые  $20^\circ \dots 30^\circ$ . Устройство, изображенное на рисунке 4.10, б, позволяет тонкое регулирование натяга в подшипниках, находящихся на шпинделе слева. Движение им передается через точно изготовленную втулку 1 при вращении гайки 7. После достижения требуемого натяга гайку стопорят с помощью винта 4, который через упругую пластину 3 прижимает к шпинделю шпонку 2, помещенную в паз регулировочной гайки. Для предотвращения отвинчивания винта 4 установлены шайбы 5, закрепленные винтами 6. В регулировочной гайке 3 устройства, изображенного на рисунке 4.8, а, имеется 18 радиальных пазов, а в шпинделе 4 – два радиальных отверстия, в которые вставлены стопоры 2 и пружины 1. В начале регулировки стопор, входящий в один из пазов гайки с помощью отвертки поворачивают на  $90^\circ$ , чтобы он при наличии скоса не препятствовал ее вращению. По окончанию процесса регулирования натяга один из пазов в гайке совмещают с ближайшим стопором. Затем его поворачивают на  $90^\circ$  и он под действием пружины входит в паз. Благодаря тому, что один стопор смещен относительно диаметральной плоскости, в которой расположен другой угол поворота регулировочной гайки, кратен половине шага пазов в ней и достигаемый натяг более точно приближается к расчетному.

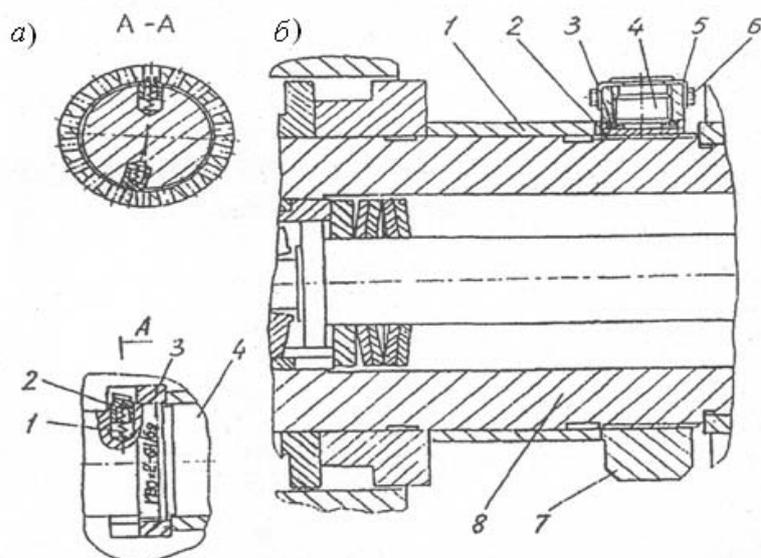


Рисунок 4.8 – Устройство для регулирования подшипников

#### 4.6 Системы смазывания шпиндельных узлов

Смазывание шпиндельных подшипников качения (рисунок 4.9) может осуществляться с помощью жидких и пластичных смазочных материалов. Метод смазывания выбирается исходя из требуемой предельной быстроходности шпинделя, его положения (горизонтальное, вертикальное или наклонное) возможной конструкции уплотнений и условий подвода смазочного материала.

Пластичные смазочные материалы применяются при сравнительно невысокой быстроходности шпинделя и если не требуется специальное охлаждение опор. Особенно целесообразно их применять в автономных шпиндельных узлах, расположенных вертикально или наклонно, т. к. при применении пластичных смазочных материалов уплотнения становятся более простыми.

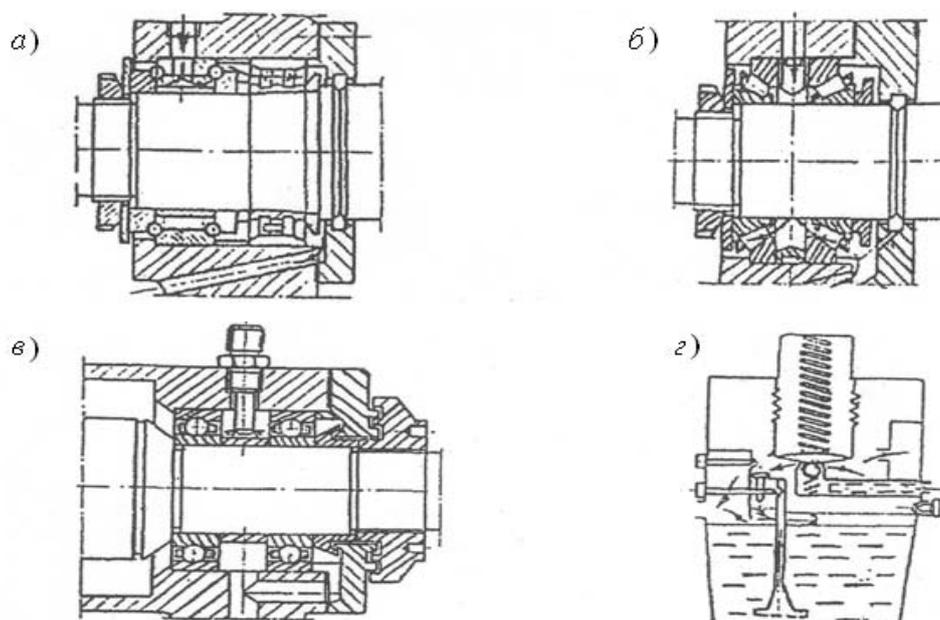


Рисунок 4.9 – Схемы смазывания подшипников шпиндельных опор

Жидкие смазочные масла хорошо отводят тепло от шпиндельных опор, уносят из подшипников продукты изнашивания и обеспечивают образование на их рабочих поверхностях в зоне контакта эластогидродинамической пленки. В зависимости от способности обильного смазывания с отводом тепла и системами минимального смазывания без отвода тепла. Система обильного смазывания позволяет при прокачивании смазочного материала через опору под давлением понизить температуру шпиндельного узла. Системы минимального смазывания обеспечивают необходимое количество смазочного материала, достаточное только для разделения рабочих поверхностей эластогидродинамической пленкой.

Для опор шпинделя с радиально-упорными подшипниками смазывание осуществляется пластичным материалом, с масляным туманом, масловоздушным импульсивным жидким способом или впрыскиванием с охлаждением масла. Для опор с другими подшипниками смазывание будет циркулярным без охлаждения масла, пластичным материалом, масляным туманом, масловоздушным или минимальным импульсным жидким и впрыскиванием с охлаждением масла.

Циркуляционное смазывание осуществляется автономной системой, предназначенной только для шпиндельного узла, или системой общей для него и коробки скоростей. Масло подается в шпиндельные опоры или в карман, из которого стекает в опору. Для улучшения циркуляции масла предусматривается отверстие на наружном кольце подшипника. Чтобы обеспечить надежное попадание смазочного материала на рабочей поверхности подшипников масло подводят в зону всасывания, т. е. к малому диаметру дорожек качения радиально-упорных шариковых и роликовых подшипников, которым присущ насосный эффект. Если два подшипника установлены рядом, то целесообразно вводить масло между ними, а при вертикальном положении шпинделя масло подводится к самому верхнему подшипнику. Из опор шпинделя предусматривается свободный слив масла, благодаря чему не допускается его застой и снижается температура опоры. Минимальный допустимый расход жидкого смазочного материала для смазывания шпиндельных подшипников зависит от тепла подшипников, их среднего диаметра и числа рядов тел качения, частоты вращения шпинделя, рабочей температуры подшипников, вязкости масла при этой температуре и условия выхода масла из рабочей зоны и характера нагружения шпиндельных опор.

Смазывание впрыскиванием осуществляется специальной системой. Через три-четыре отверстия в кольце подшипника и через каналы в постановочном кольце и зазор между сепаратором и внутренним кольцом подшипника масло под давлением до 0,4 МПа попадает на его рабочие поверхности. Масло из опоры может удаляться самотеком или с помощью насоса.

Смазывание масляным туманом, образующимся с помощью маслораспылителя, применяется для высокоскоростных шпинделей шлифовальных станков. В опорах выделяется минимальное количество тепла, они хорошо охлаждаются сжатым воздухом и благодаря его избыточному давлению защищены от абразивной пыли. Однако система сложна и проникающие наружу через уплотнения частицы масла ухудшают санитарные условия станка.

Масловоздушное смазывание осуществляется следующим образом. Плунжерный дозатор, установленный в точке смазки, через определенные промежутки времени выдает в смеситель заданное количество масла. Далее оно захва-

тывается охлажденным воздухом, имеющим давление  $0,2 \dots 0,4$  МПа и в виде капель (а не микротумана) подводится к смазываемым поверхностям. Количество подводимого к шпиндельной опоре масла определяется расходом воздуха и не зависит от его давления и вязкости. В отличие от смазывания масляным туманом рассматриваемый метод позволяет повысить расход масла на каждую точку, что повышает защиту опор от загрязнений и обеспечивает дополнительное охлаждение. Масловоздушное смазывание не загрязняет окружающую среду микротуманом и рекомендуется для быстроходных шпиндельных узлов.

При смазывании пластичными смазочными материалами необходимо для опор качения материала сделать прогноз его срока службы, предусмотреть надежность уплотнения как со стороны коробки скоростей, так и с наружной стороны. Излишний смазочный материал в опоре вызывает его повышенный нагрев, поэтому количество материала в опоре не должно превышать требуемого минимума. Количество работающего в подшипнике смазочного материала ограничивается с помощью диска, устанавливаемого рядом с подшипником, и благодаря центробежным силам диском сбрасывается излишний смазочный материал.

#### 4.7 Уплотнения шпиндельных узлов

Тип уплотнений опор качения шпиндельного узла (рисунок 4.10) можно выбрать в зависимости от  $d_{n\max}$  шпинделя, где  $d$  – диаметр передней шейки шпинделя, мм;  $n_{\max}$  – максимальная частота его вращения,  $\text{мин}^{-1}$ ; места расположения привода и других параметров.

Радиальный и аксиальный зазоры в бесконтактных (лабиринтных) уплотнениях рекомендуется определять в зависимости от диаметра  $d_l$  лабиринтной щели:  $h_r = (1,5 \pm 0,5)d_l$  для станков классов точности Н и П;  $h_r = (1 \pm 0,5)d_l$  – для станков классов точности В, А, С;  $h_a = (10 \pm 5)d_l$ . Для лабиринтно-дискового уплотнения 02  $h_a = (5 \pm 1,5)d_l$ ;  $h_a = d_l \dots 1,5d_l$ .

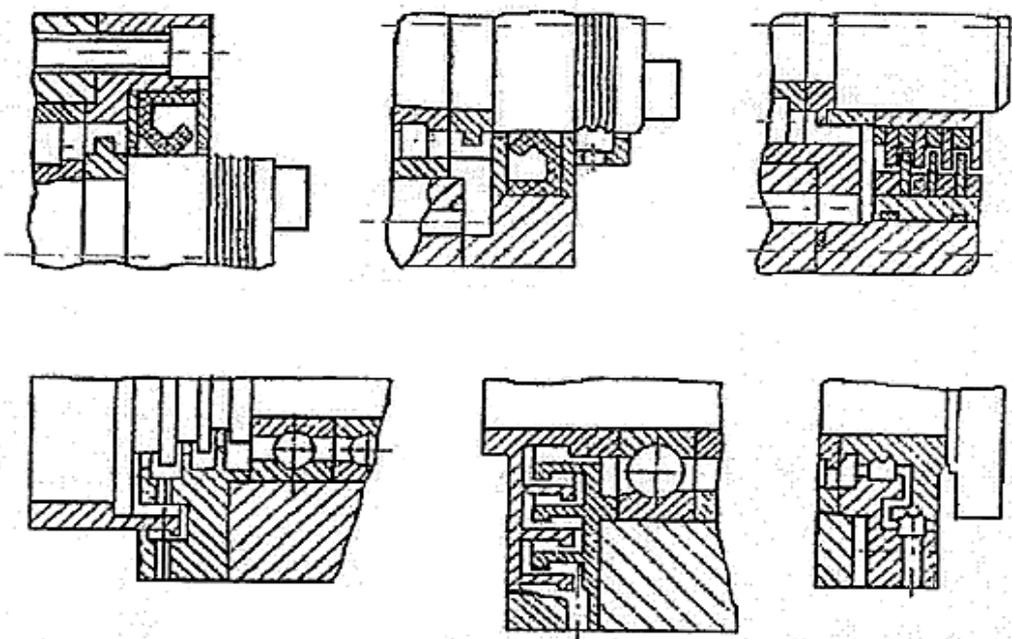
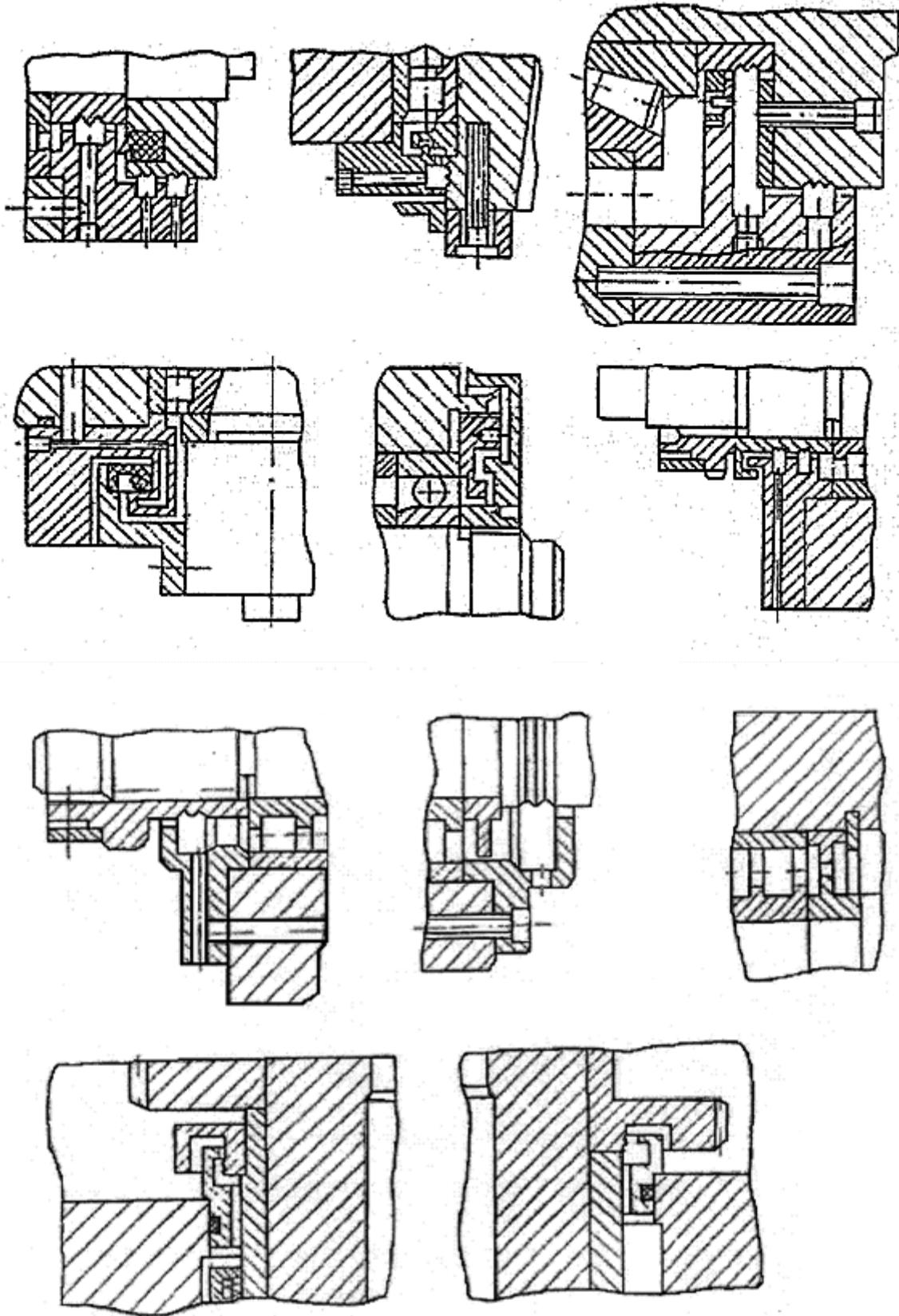


Рисунок 4.10 – Схемы уплотнений опор качения шпиндельных узлов



Окончание рисунка 4.10

### 4.8 Примеры шпиндельных узлов

Передняя опора и конец шпинделя многоцелевого фрезерно-сверлильного расточного станка представлены на рисунке 4.11.

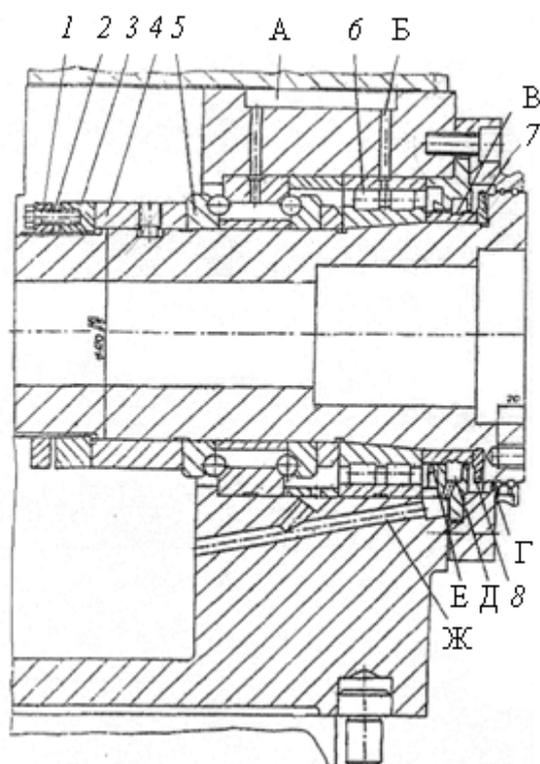


Рисунок 4.11 – Передняя опора и конец шпинделя многоцелевого фрезерно-сверлильно-расточного станка

шпиндель предохраняется от изгиба, который мог бы появиться в процессе регулирования натяга подшипника при отсутствии втулки 4. Использована система обильного смазывания жидким материалом. Из ванны А через отверстия Б масло попадает в подшипники. По каналу 1 нагревшееся масло сливается из опоры, благодаря чему она предохраняется от перегрева.

Щелевое уплотнение Е обеспечивает герметичность опоры. Масляная пленка, перемещающаяся вдоль шпинделя, сбрасывается кромками канавок В, находящихся в кольцевой камере Д. От проникновения смазочно-охлаждающей жидкости опора защищена щелевым уплотнением Г. Попавшая в уплотнение жидкость сливается через два соединенные с ним отверстия.

Шпиндельный узел многоцелевого фрезерно-сверлильно-расточного станка (рисунок 4.12). Передняя опора шпинделя состоит из трех радиально-упорных подшипников, установленных по схеме тандем – 0. Крутящий момент инструментальной оправке передается торцевой шпонкой. Защита внутренних поверхностей осуществляется с помощью контактных торцевых уплотнений 1 и 2.

Радиальная нагрузка воспринимается двухрядным роликовым подшипником 6 с короткими цилиндрическими роликами, а осевая нагрузка – упорно-радиальным сдвоенным шариковым подшипником 5 с углом контакта  $60^\circ$ . Натяг в роликовом подшипнике 6 регулируется гайкой 3 после снятия небольшого слоя металла (шлифованием) с торца кольца 7, состоящего из двух полуколец, стянутых пружинным кольцом 8. Для стопорения гайки 3 служат гайка 1 и винты 2. Гайка 3 действует на комплект подшипников через достаточно длинную втулку 4, торцы которой изготовлены с малым отклонением от перпендикулярности к ее оси. Втулка насажена на цилиндрическую шейку шпинделя с малым зазором. При завинчивании гайки 3 точная втулка 4 оказывает на подшипник 5 приблизительно одинаковое давление во всех точках контакта. Благодаря этому

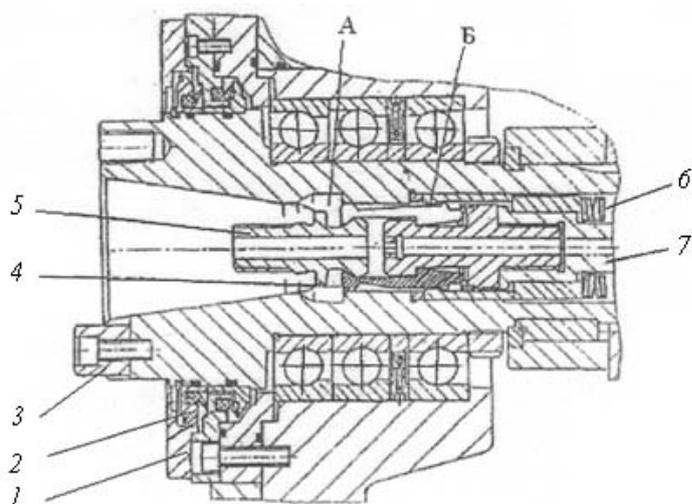


Рисунок 4.12 – Шпиндельный узел многоцелевого фрезерно-сверлильно-расточного станка

Для автоматизированного зажима в инструментальную оправку с коническим хвостовиком ввинчена деталь 5 с грибообразным элементом. Зажим оправки производится пакетом тарельчатых пружин 6, под действием которых перемещается вправо шток 7. При этом сухари 4 захватывают грибообразный элемент и затягивают конический хвостовик оправки в конусное гнездо, создавая необходимое усилие его зажима.

Для освобождения оправки служит гидроцилиндр, при движении штока 7 влево сжимающий пакет тарельчатых пружин 6. При этом захватные элементы сухарей 4, смещаясь влево, попадают в полость А, их выступы вступают в контакт с кольцевым элементом Б втулки. Благодаря этому сухари поворачивают и освобождают инструментальную оправку.

Шпиндельный узел многоцелевого сверлильно-фрезерно-расточного станка представлен на рисунке 4.13. Передняя опора по компоновке подшипников аналогична изображенной на рисунке 4.11. Подшипники смазываются пластичным материалом, вводимым через масленку 1. Для облегчения съема двухрядного роликового подшипника, имеющего коническое внутреннее отверстие, с помощью приспособления, ввинченного вместо пробки, в канале А создается повышенное давление масла.

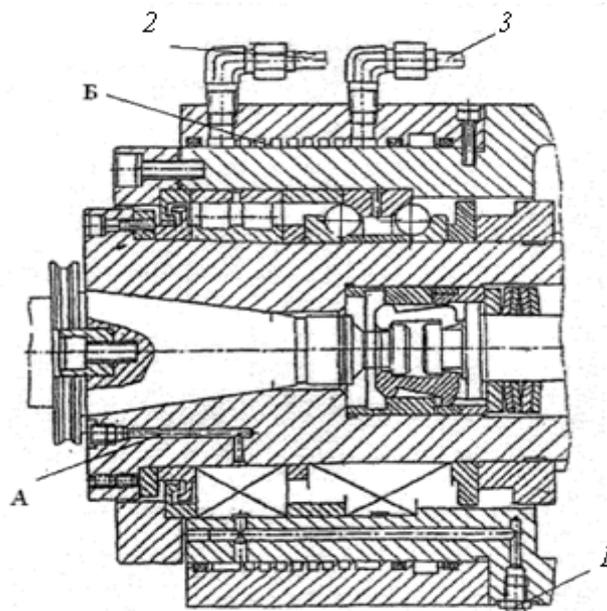


Рисунок 4.13 – Шпиндельный узел многоцелевого фрезерно-сверлильно-расточного станка

Особенность шпиндельного узла состоит в том, что передняя опора охлаждается жидкостью, подводимой через трубку 2, проходящей по винтовой канавке Б и отводимой через трубку 3. Благодаря охлаждению повышается быстрота опора и точность станка.

Шпиндельный узел внутришлифовального станка. Шпиндель приводится во вращение плоским ремнем через шкив. Передняя и задняя опоры шпинделя (рисунок 4.14) одинаковы. Каждая состоит из четырех радиально-упорных высокоскоростных шарикоподшипников. Такая конструкция опор обеспечивает необходимую жесткость шпиндельного узла.

Жесткий предварительный натяг в подшипниках создается простановочными кольцами, ширина которых между наружными и внутренними кольцами подшипников различна, и гильзой 3.

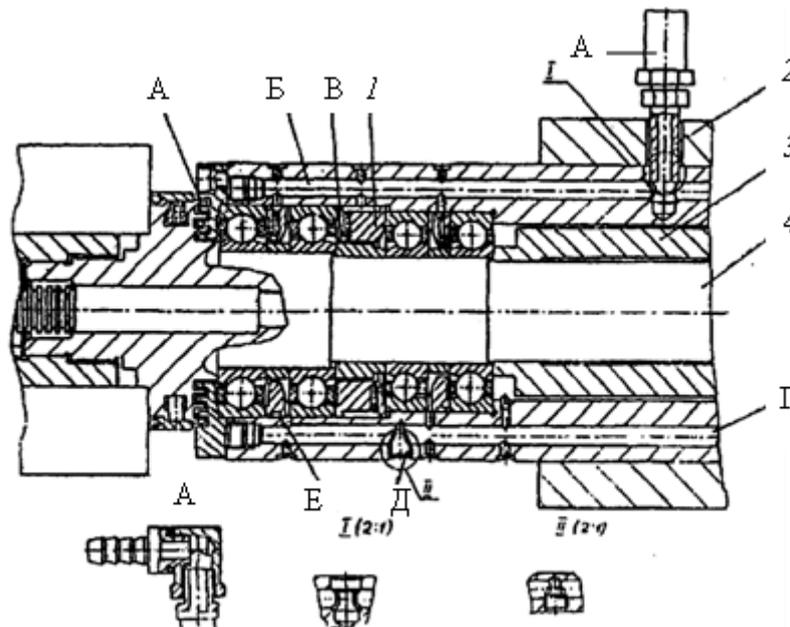


Рисунок 4.14 – Передняя опора шпинделя внутришлифовального станка

Комплект подшипников передней опоры зажат между корпусом шпиндельной бабки и крышкой, при этом осевая сила, действующая на шпиндель, воспринимается корпусом. Благодаря тарельчатым пружинам, задняя опора сделана плавающей, что дает возможность шпинделю свободно удлиняться при нагревании в процессе работы станка (в противном случае шпиндель должен был бы изгибаться).

Смазывание опор шпинделя возможно двумя способами. В первом используется жидкий смазочный материал. К рабочим поверхностям подшипников (в зазор между сепаратором и меньшим диаметром внутреннего кольца) он подводится через штуцер, трубку 2, продольное отверстие Б, радиальное отверстие Б и отверстие малого диаметра В в простановочных кольцах I и других. При этом масло впрыскивается на рабочие поверхности подшипников. Отработавшее масло сливается через радиальное отверстие Е, продольное Г и отверстие Д,

соединенное с резервуаром. Подшипники опор можно смазывать и другим способом: пластичный смазочный материал в небольшом объеме помещается на дорожки качения подшипников при сборке станка. При этом вход в канал Б и выход из отверстия Г заглушаются пробками. Передняя и задняя опоры занижены радиальными зигзагообразными лабиринтными уплотнениями.

В таблицах 4.2 и 4.3 представлены схемы шпиндельных узлов различных станков.

Таблица 4.2 – Схемы шпиндельных узлов токарных станков

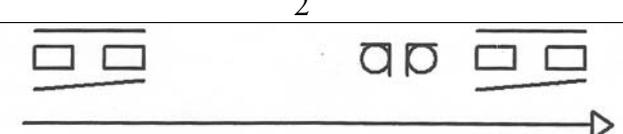
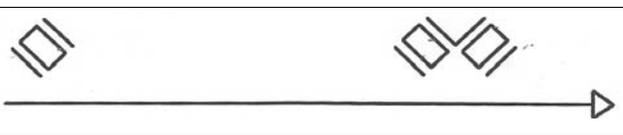
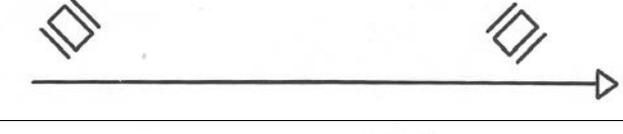
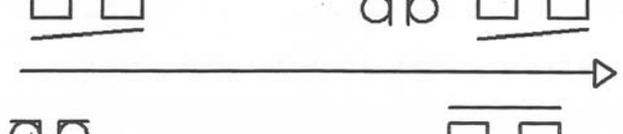
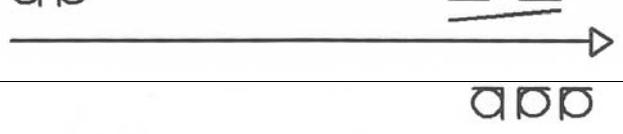
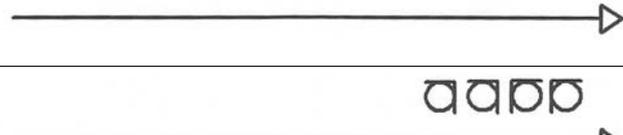
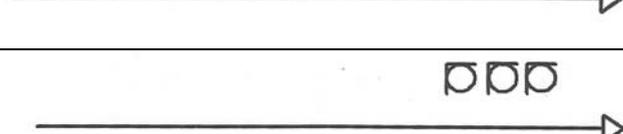
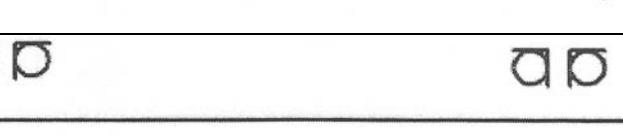
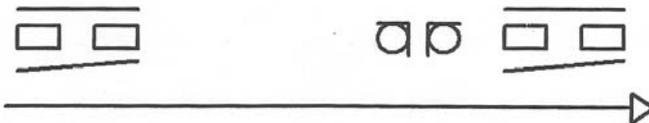
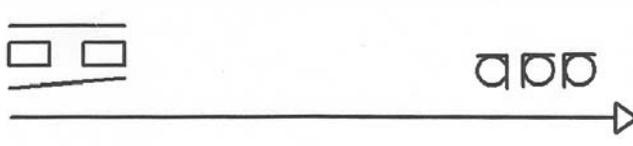
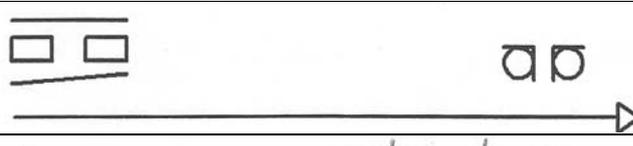
Номер схемы	Схема шпинделя	$dn_{\max}, 10^{-1} \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$
1	2	3
1		2
2		3
3		3,6
4		3,2...6,2
5		3,6...4
6		3,6
7		4,5
8		7
9		3,5
10		3,6; 4,2

Таблица 4.3 – Схемы шпиндельных узлов сверлильно-фрезерно-расточных станков

Номер схемы	Схема шпинделя	$dn_{\max},$ $10^{-1} \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$
1		8,5...7,2
2		3,5
3		3,3; 3,6; 3,9
4		3,5...3,7
5		3,2; 3,6; 4
6		5,5
7		4,8
8		4
9		4
10		4,5

**Задание**

1 В соответствии с вариантом разработать конструкцию шпиндельного узла, систему смазки, вычертить эскиз и сделать анализ.

2 Схемы шпиндельных узлов токарных станков.

3 Схемы шпиндельных узлов сверлильно-фрезерно-расточных станков.

**Перечень используемого оборудования:** станки 16Д25, 16К20Т1, 2А135, ВФ130, 5В12, 5Е32, ТМ1.

**Порядок выполнения работы**

- 1 Изучить конструкции шпиндельных опор.
- 2 Изучить схемы компоновок шпиндельных узлов.
- 3 Изучить конструкции шпиндельных узлов.
- 4 Изучить устройства для регулирования подшипников.
- 5 Изучить схемы смазывания шпиндельных узлов.
- 6 Изучить уплотнения шпиндельных узлов.
- 7 Изучить примеры шпиндельных узлов.
- 8 На основании выше изученного, в соответствии с вариантом разработать конструкцию шпиндельного узла, вычертить эскиз конструкции и сделать анализ.

**Содержание отчета:** цель работы; эскиз разработанной конструкции шпиндельного узла и ее подробный анализ (конструкции шпиндельных опор; схема компоновки шпиндельного узла; конструкция шпиндельного узла; устройства для регулирования подшипников; система смазывания шпиндельного узла; уплотнения шпиндельного узла).

**Контрольные вопросы.** Назначение шпиндельного узла. Что используется в качестве шпиндельных опор в металлорежущих станках? Назовите схемы компоновок шпиндельных узлов. Какие шпиндельные узлы применяются в средних и тяжелых токарных, фрезерных, фрезерно-расточных и шлифовальных станках? Какие шпиндельные узлы применяются в средних и тяжелых кругло- и плоскошлифовальных станках? Какие бывают смазочные материалы? Назовите виды смазывания.

## Список литературы

- 1 Технологическое обеспечение машиностроительного производства : учебное пособие / В. А. Логвин [и др.]; под ред. Ж. А. Мрочека. – Минск : РИВШ, 2021. – 560 с.
- 2 Металлорежущие станки : учебник / В. Д. Ефремов [и др.]; под ред. П. И. Ящерицына. – Старый Оскол : ТНТ, 2012. – 696 с.
- 3 Станочное оборудование машиностроительных производств: учебник: в 2 ч. / А. М. Гаврилин [и др.]. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – Ч. 1. – 416 с.
- 4 Станочное оборудование машиностроительных производств: учебник: в 2 ч. / А. М. Гаврилин [и др.]. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – Ч. 2. – 408 с.