

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

# КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

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



Могилев 2023

УДК 621.77.016  
ББК 34.51/59  
К38

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»  
«21» марта 2023 г., протокол № 11

Составитель канд. техн. наук, доц. А. М. Довгалев

Рецензент канд. техн. наук, доц. Е. В. Ильюшина

Методические рекомендации к лабораторным работам по дисциплине «Конструирование и расчет технологического оборудования» предназначены для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» дневной формы обучения.

Учебное издание

## КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

|                         |                   |
|-------------------------|-------------------|
| Ответственный за выпуск | С. Н. Хатетовский |
| Корректор               | И. В. Голубцова   |
| Компьютерная верстка    | Н. П. Полевничая  |

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 44 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, 2023

## 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 подач станков .....                                                        | 11 |
| 3 Лабораторная работа № 3. Анализ конструкций направляющих скольжения и способов их регулирования .....                                                       | 14 |
| 4 Лабораторная работа № 4. Анализ компоновок шпиндельных узлов, конструкций подшипников, способов регулирования натяга в опорах, конструкций уплотнений ..... | 20 |
| 5 Определение статической жесткости технологической системы комбинированными методами обработки .....                                                         | 32 |
| 6 Определение динамической жесткости технологической системы комбинированным резанием .....                                                                   | 34 |
| 7 Определение динамической жесткости и амплитудно-частотной характеристики технологической системы .....                                                      | 37 |
| 8 Исследование упругосилового метода комбинированной обработки шейки вала .....                                                                               | 42 |
| Список литературы .....                                                                                                                                       | 46 |

## **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** – изучение конструкций и кинематики 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;
- сохранение постоянства 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.

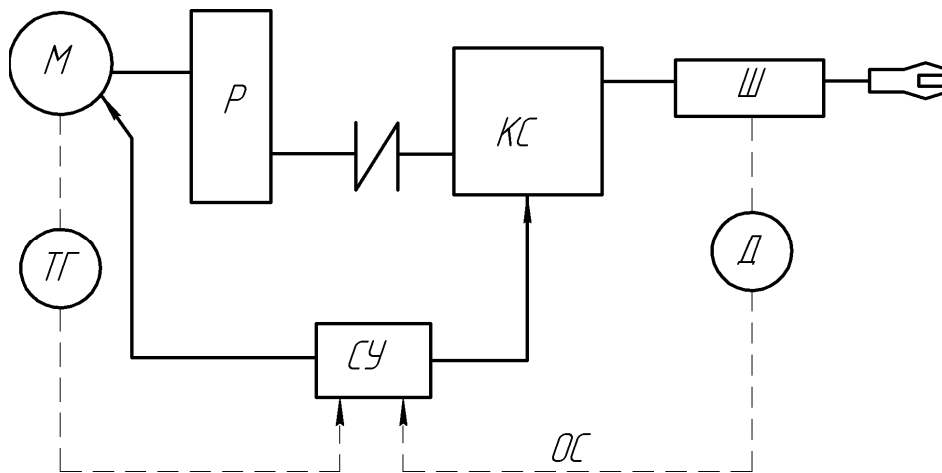


Рисунок 1.1 – Обобщенная структура привода главного движения

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 отдельными. 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.

Отдельный 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 отдельном 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 эксплуатации, 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.

### **Задание**

Разработать типовую схему (на основании изученного материала) главного привода одного из станков (в соответствии с заданием преподавателя): 2Н135Ф1, 16Д25, 16К20, 2А135, 6Н12П, 6520Ф3, 16К20Т1, 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**

- 1 Какие движения механизмов станков называются основными, а какие вспомогательными?
- 2 Перечислите виды приводов металлорежущих станков.
- 3 Какие передачи применяют в станках?
- 4 Какие виды муфт применяют в станках?
- 5 Какие механизмы реверсирования Вы знаете?
- 6 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 подач

Привод подач 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  $i_{п}$  и ряд постоянных передач  $i_{шп}$ . Тяговый механизм привода подачи связан со шпинделем с помощью коробки передач или сменных колес с регулируемым передаточным отношением  $i_s$  и постоянных передач  $i_{шп}$ . Фрезерные и другие станки имеют привод подач с отдельным электродвигателем (рисунок 2.1, в, г). 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.

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.

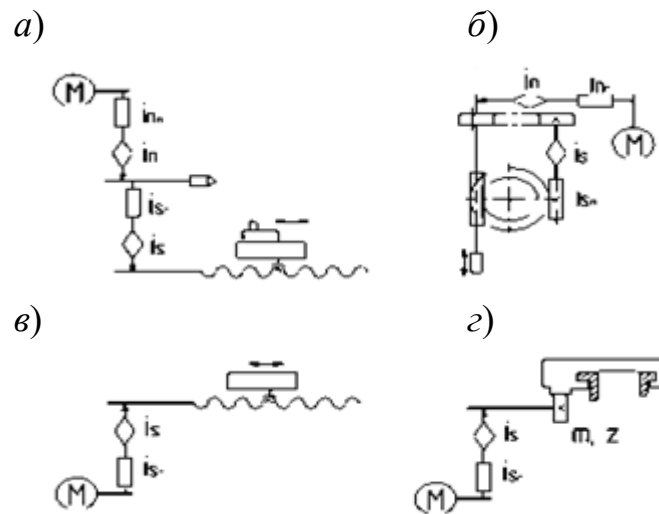


Рисунок 2.1 – Структуры приводов подачи со ступенчатым регулированием

### 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 произ-

водительности 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 допускаемое ускорение для привода по условиям механической прочности.

### **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**

- 1 Назначение привода подач.
- 2 Структуры и механизмы приводов подач со ступенчатым регулированием.
- 3 Структуры и механизмы приводов подач с бесступенчатым регулированием.
- 4 Элементы исполнительного механизма привода подач.
- 5 Способы смазки шарико-винтового механизма.
- 6 Способы защиты механизма.

### **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 металло-режущих 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).

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.

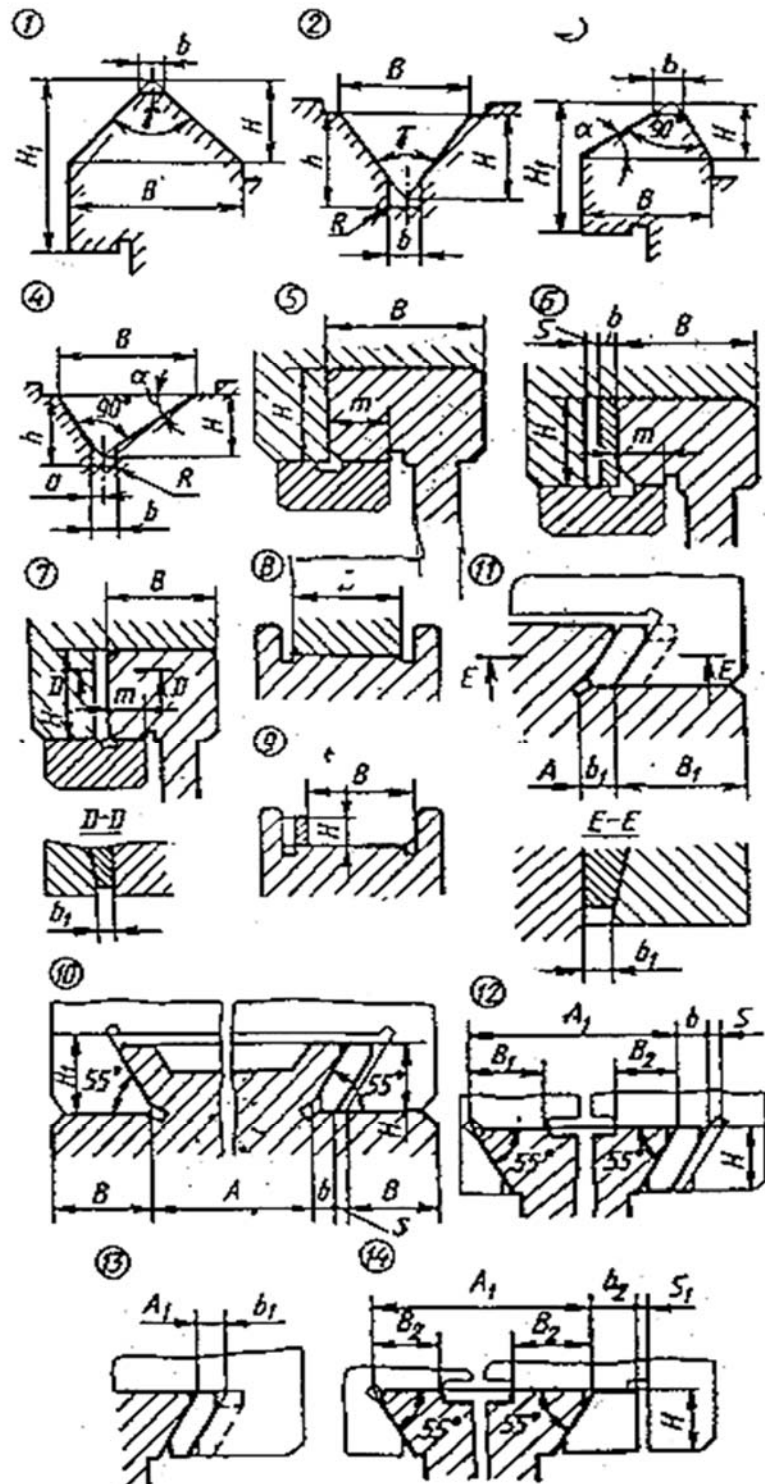
Охватывающие направляющие 2, 4, 8, 9 более пригодны для высоких скоростей скольжения, т. к. они хорошо удерживают смазочный материал. Однако эти направляющие требуют надежной защиты от попадания стружки и других видов загрязнений.

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

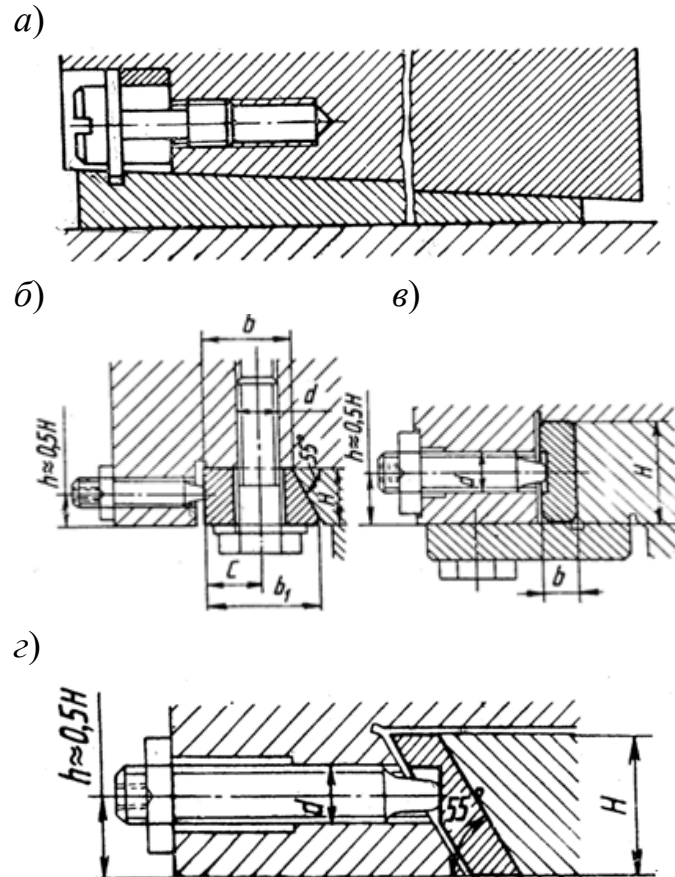
жесткость, их применяют обычно при малых скоростях перемещений. Для круговых направляющих планшайбы столов станин применяют в основном плоские 8, 9 и V-образные направляющие скольжения.



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

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); планками, не закрепляемыми после регулирования (рисунок 3.2, в, г).



а – клином; б – планками, закрепляемыми после регулирования; в, г – планками, не закрепляемыми после регулирования

Рисунок 3.2 – Создание натяга в направляющих

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.

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 3.3 показан профиль направляющих прецизионного токарного станка с указанием основных требований к шероховатости поверхностей скольжения.



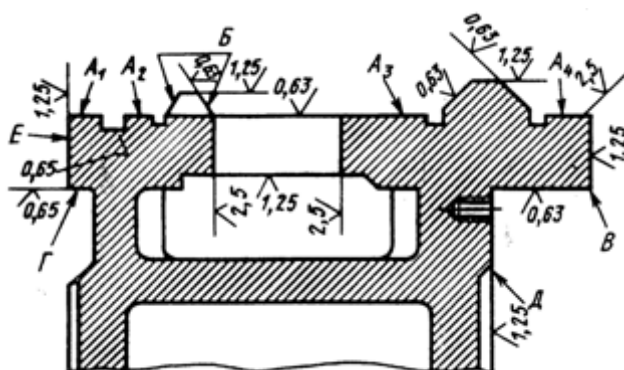


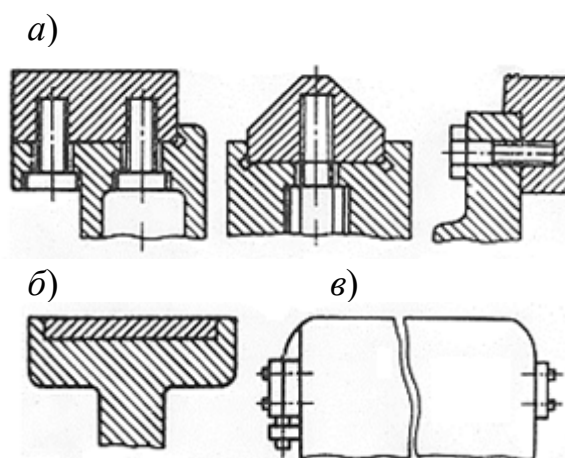
Рисунок 3.3 – Профиль монолитных направляющих скольжения станины прецизионного токарного станка

При этом:

- допуск прямолинейности поверхности  $B$  в вертикальной плоскости –  $0,012$  мм на  $1000$  мм (допускается только выпуклость);
- извернутость направляющих поверхностей  $A_1$ – $A_4$  – не более  $0,025$  мм по всей длине направляющих;
- допуск параллельности поверхностей  $B$  и  $\Gamma$  направляющим поверхностям  $A_1$  и  $A_4$  – не более  $0,015$  мм на длине  $1000$  мм;
- допуск перпендикулярности поверхности  $D$  к общей прилегающей поверхности  $A_1$ – $A_3$  –  $0,03$  мм на длине  $250$  мм.

Наиболее часто применяются конструкции накладных направляющих (рисунок 3.4).

Накладные массивные планки (см. рисунок 3.4, *a*) применяют в сварных и литых станинах. Их крепят винтами, клеем, а также винтами и клеем (К153) одновременно, что позволяет существенно увеличить контактную жесткость стыка направляющих. Планки (рисунок 3.5) устанавливают на станине и закрепляют винтами. После затвердевания клея контролируют жесткость направляющих, затем их шлифуют по всей длине.



*a* – накладные планки; *б* – закаленные пластины; *в* – стальная лента

Рисунок 3.4 – Накладные направляющие скольжения

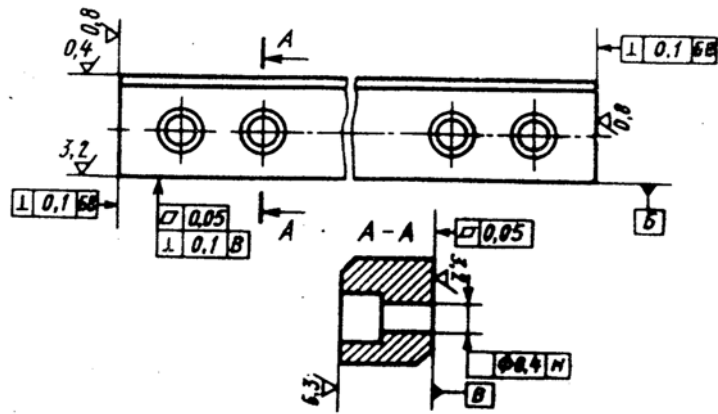


Рисунок 3.5 – Накладная планка токарного станка

На рисунке 3.6 указаны технические требования, предъявляемые при сборке и окончательной обработке направляющих с накладными планками.

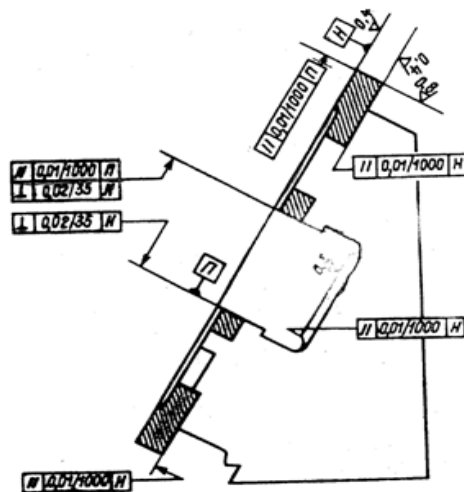


Рисунок 3.6 – Технические требования к сборке накладных направляющих скольжения токарного станка класса П

Тонкие закаленные пластины в качестве накладных направляющих вклеивают в пазы станины (см. рисунок 3.4, б). Их применение экономит высоколегированную сталь. Стальную ленту толщиной 0,2...0,3 мм в качестве накладной направляющей станины (см. рисунок 3.4, 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 3.7).

При горизонтальной компоновке наиболее распространена схема с треугольной передней и плоской задней гранью (см. рисунок 3.7, а). При наклонной компоновке и наличии в станке только одного суппорта применяют конструкции с одной (см. рисунок 3.7, б), двумя (см. рисунок 3.7, в–д) и четырьмя (см. рису-

нок 3.7, 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 3.7, з).

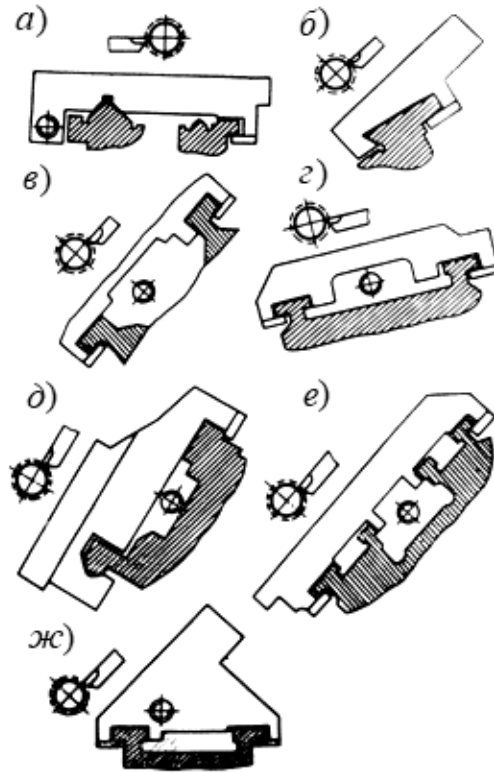


Рисунок 3.7 – Направляющие скольжения суппортов односуппортных токарных станков

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 3.7, е), или на той же направляющей, но с другой стороны (см. рисунок 3.7, в). Применяют также наклонные конструкции суппортов с горизонтально расположенными направляющими (см. рисунок 3.7, ж).

### **Задание**

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

1 Основные типы направляющих.

2 Направляющие скольжения.

3 Создание натяга в направляющих.

4 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 пере-

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

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 коническому отверстию во внутреннем кольце можно регулировать радиальный зазор в подшипнике при осевом перемещении этого кольца относительно конической шейки шпинделя. Данные 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 жесточенным 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.

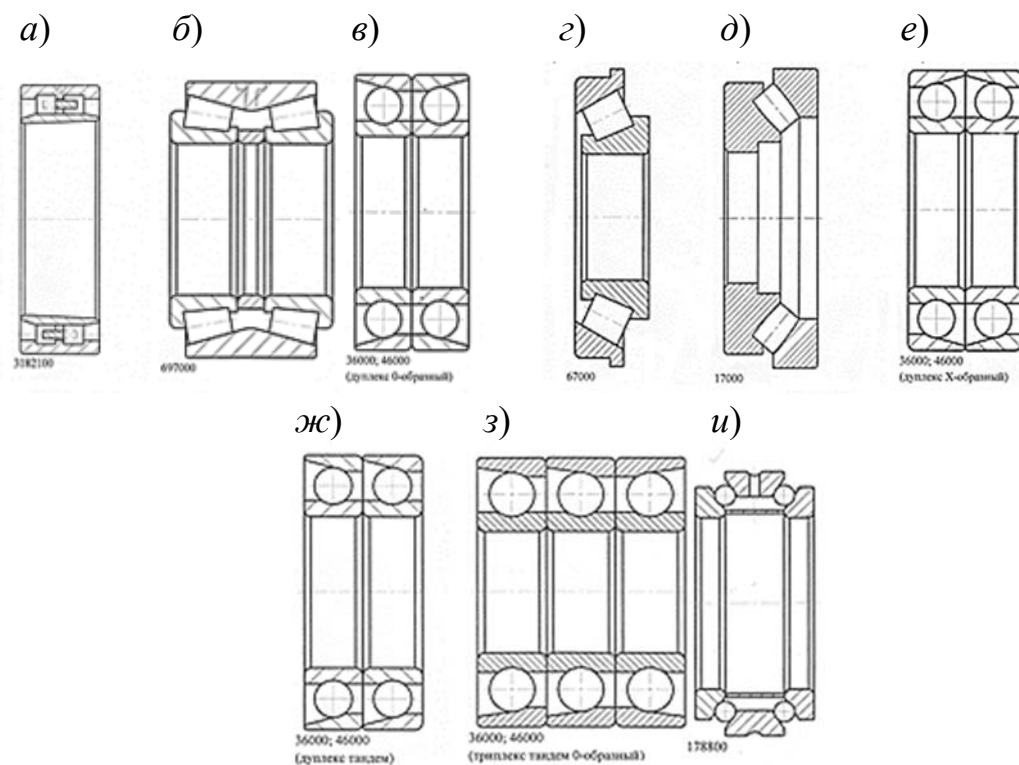


Рисунок 4.1 – Типы подшипниковых опор шпиндельных узлов

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 серий 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  $15^\circ$ .

### ***4.3 Схемы компоновок шпиндельных узлов***

Конструктивные схемы шпиндельных узлов различных вариантов исполнения отличаются 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.

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.

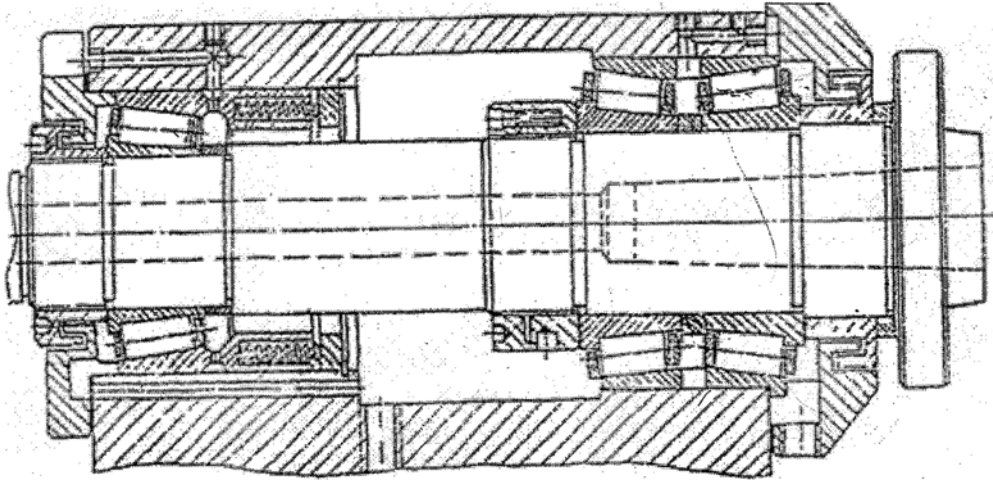


Рисунок 4.2 – Шпиндельный узел станка с ЧПУ на роликоподшипнике с упорным бортом типа 697000 в передней опоре и однорядном роликоподшипнике типа 17000 с предварительным натягом пружинами в задней опоре

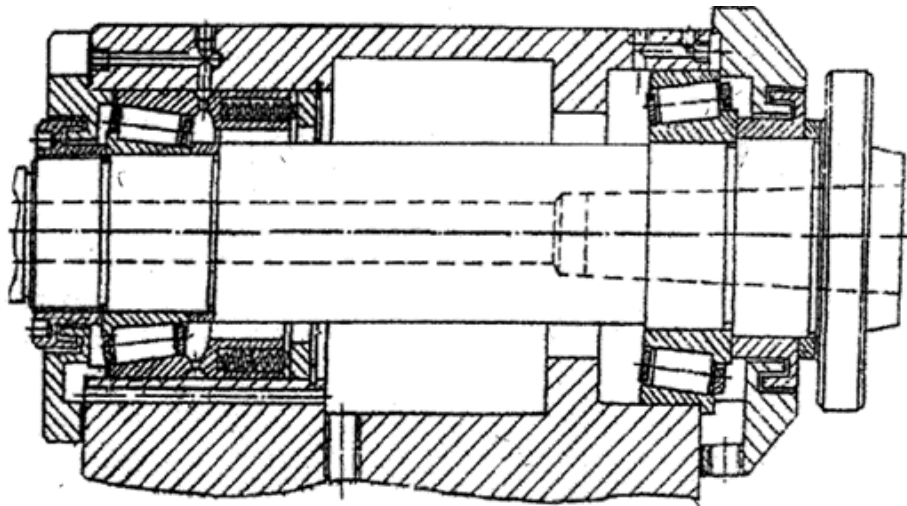


Рисунок 4.3 – Шпиндельный узел станка с ЧПУ на роликоподшипниках с упорным бортом типа 67000 в передней опоре и типа 17000 в задней опоре

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.

Шпиндельные узлы с четырьмя радиально-упорными шарикоподшипниками типов 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.



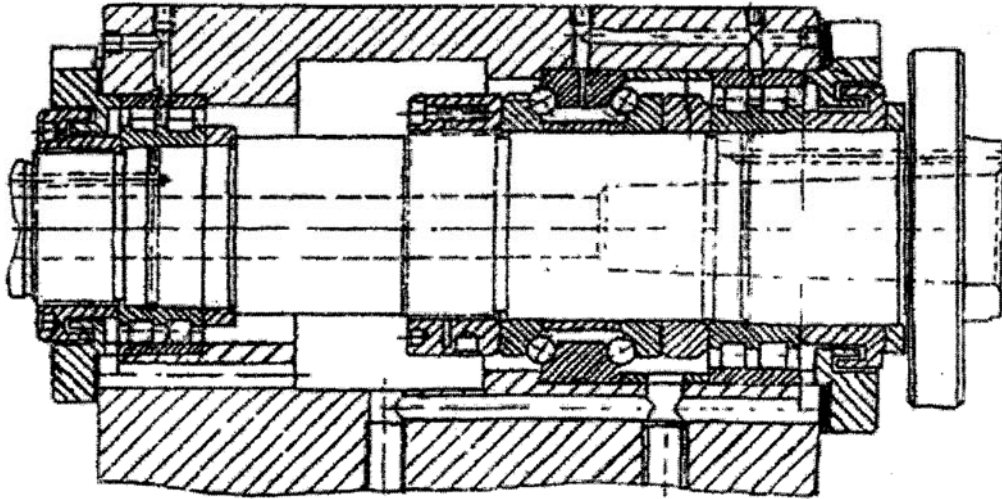


Рисунок 4.4 – Шпиндельный узел станка с ЧПУ на роликоподшипниках типа 3182100 в обеих опорах и на шариковом упорно-радиальном типа 178000 в передней опоре

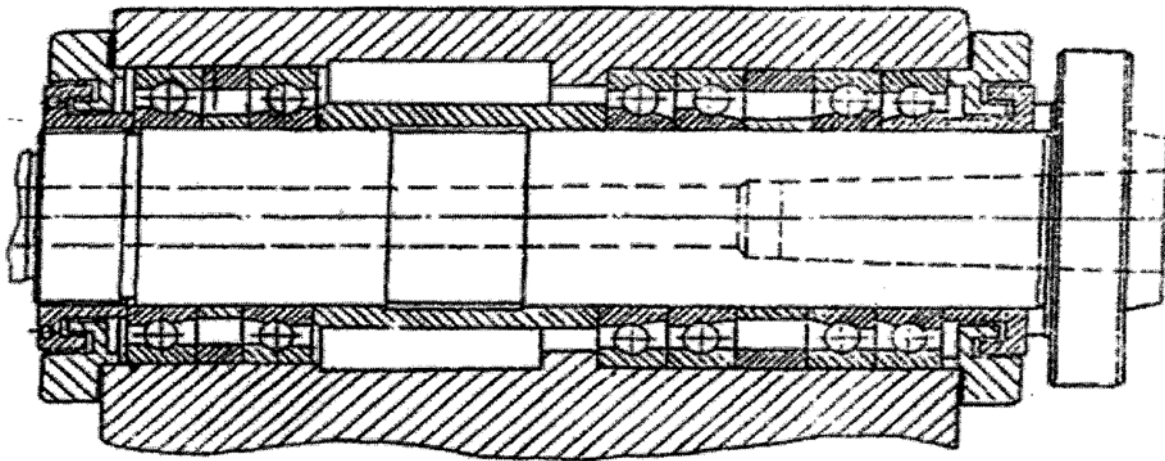


Рисунок 4.5 – Шпиндельный узел станка с ЧПУ на роликоподшипниках типа 3182100 в обеих опорах и на упорно-радиальном подшипнике типа 178000 в передней опоре

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.

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.

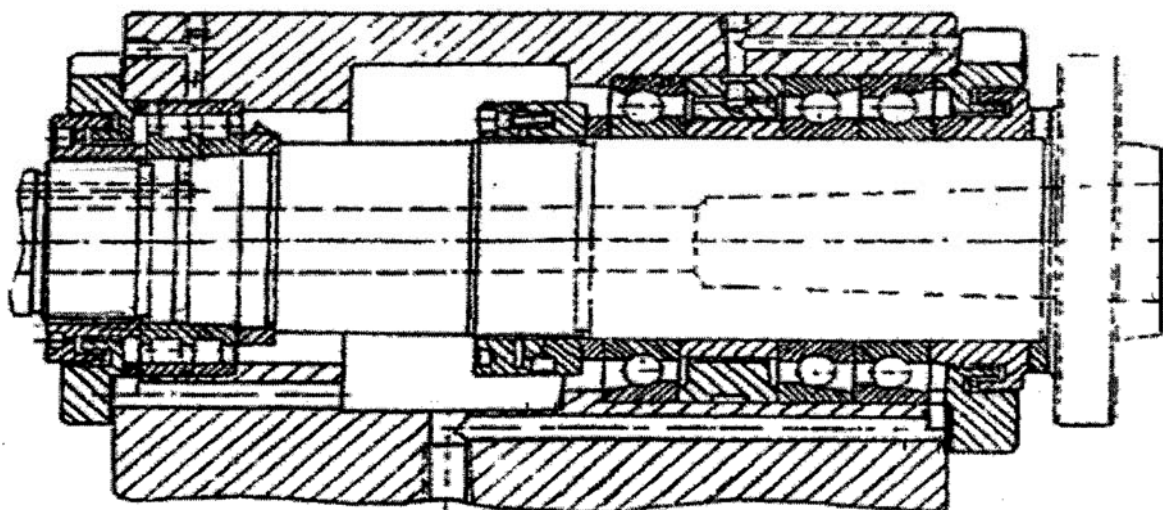


Рисунок 4.6 – Шпиндельный узел станка на роликоподшипниках типа 3182100 в задней опоре и на подшипниках типов 36000 и 46000, собранных в комплекте по три по схеме дуплекс 0-образной в передней опоре

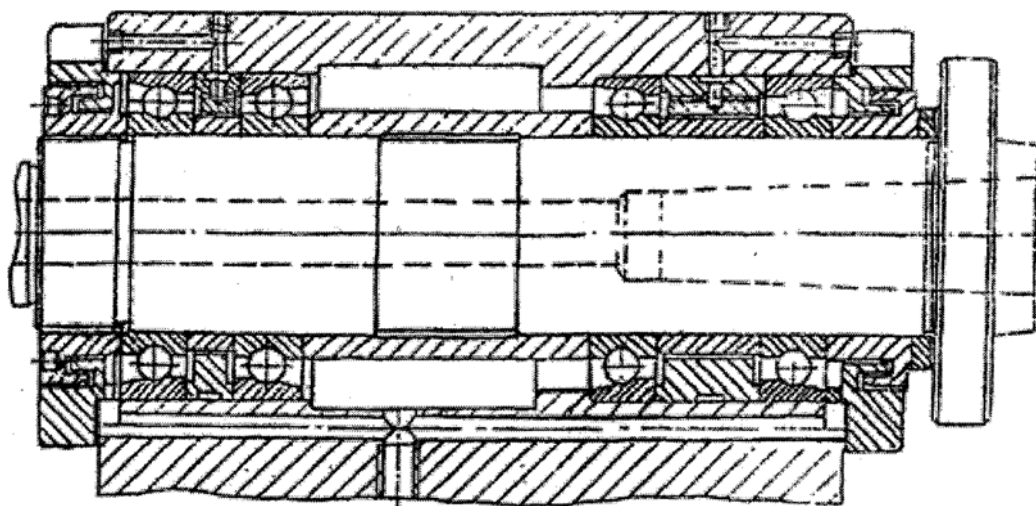


Рисунок 4.7 – Шпиндельный узел станка на шариковых упорно-радиальных подшипниках типа 36000 или 46000, собранных в комплекте по два по схеме дуплекс 0-образной в двух опорах

#### 4.5 Примеры шпиндельных узлов

Передняя опора и конец шпинделя многоцелевого фрезерно-сверлильного расточного станка представлены на рисунке 4.8.

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.

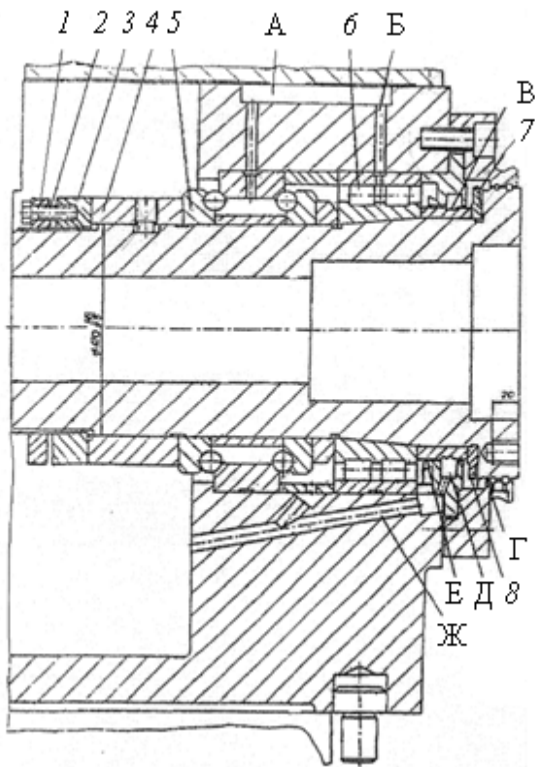


Рисунок 4.8 – Передняя опора и конец шпинделя многоцелевого фрезерно-сверлильно-расточного станка

При завинчивании гайки 3 точная втулка 4 оказывает на подшипник 5 приблизительно одинаковое давление во всех точках контакта. Благодаря этому 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 В 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 представлен на рисунке 4.9. Передняя опора шпинделя состоит из трех радиально-упорных подшипников, установленных по схеме тандем – 0.

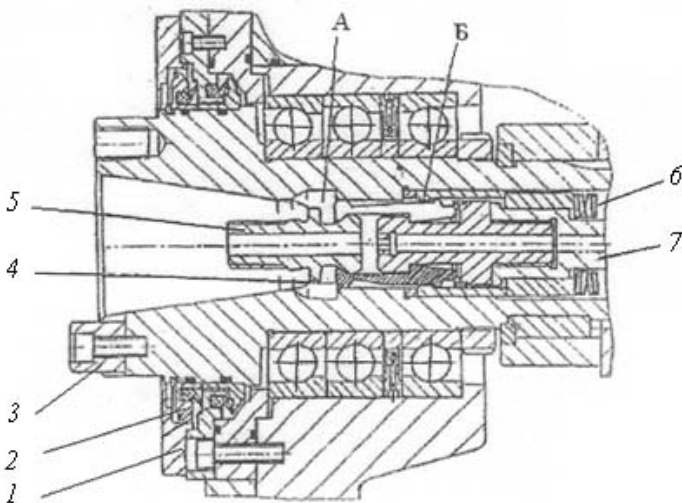


Рисунок 4.9 – Шпиндельный узел многоцелевого фрезерно-сверлильно-расточного станка

Крутящий момент инструментальной оправке передается торцевой шпонкой. Защита внутренних поверхностей осуществляется с помощью контактных торцевых уплотнений 1 и 2.

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 В втулки. Благодаря этому сухари поворачивают и освобождают инструментальную оправку.

Шпиндельный узел многоцелевого сверлильно-фрезерно-расточного станка представлен на рисунке 4.10. Передняя опора по компоновке подшипников аналогична изображенной на рисунке 4.8. 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.

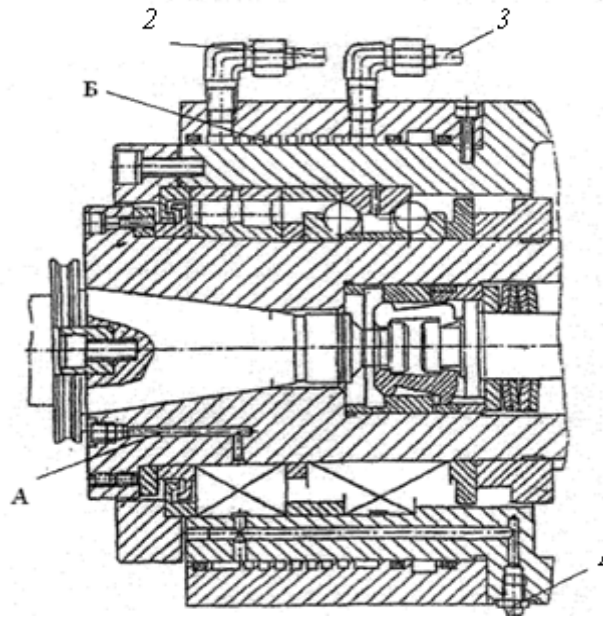


Рисунок 4.10 – Шпиндельный узел многоцелевого фрезерно-сверлильно-расточного станка

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

Шпиндельный узел внутришлифовального станка. Шпиндель приводится во вращение плоским ремнем через шкив. Передняя и задняя опоры шпинделя (рисунок 4.11) 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.

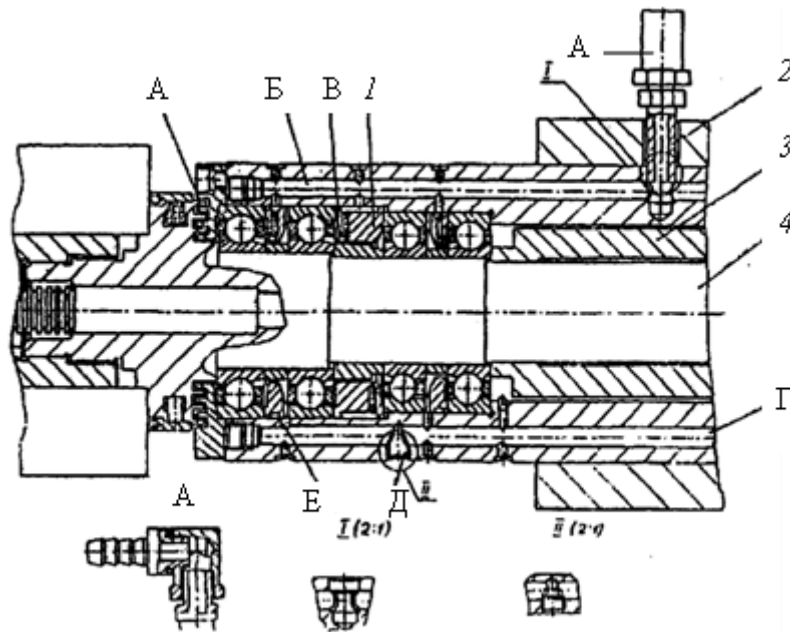


Рисунок 4.11 – Передняя опора шпинделя внутришлифовального станка

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 и отверстие малого диаметра *В* в простановочных кольцах *1* 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 4.1 и 4.2 представлены схемы шпиндельных узлов различных станков.

Таблица 4.1 – Схемы шпиндельных узлов токарных станков

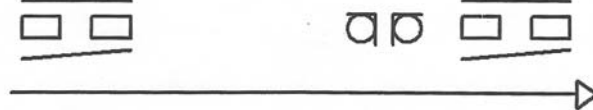


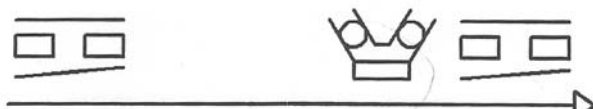
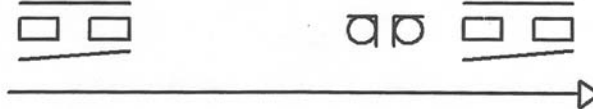




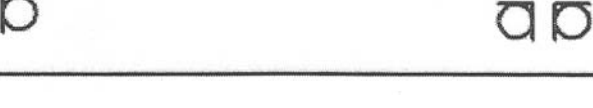



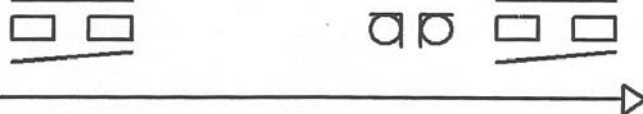



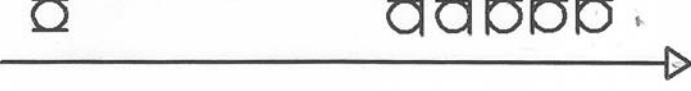


| Номер<br>схемы | Схема шпинделя                                                                       | $dn_{\max},$<br>$10^{-1} \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$ |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 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 4.2 – Схемы шпиндельных узлов сверлильно-фрезерно-расточных станков

| Номер<br>схемы | Схема шпинделя                                                                       | $dn_{\max},$<br>$10^{-1} \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$ |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 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, 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 вышеизученного, 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**

- 1 Назначение шпиндельного узла.
- 2 Что используется в качестве шпиндельных опор в металлорежущих станках?
- 3 Назовите схемы компоновок шпиндельных узлов.
- 4 Какие шпиндельные узлы применяются в средних и тяжелых токарных, фрезерных, фрезерно-расточных и шлифовальных станках?
- 5 Какие шпиндельные узлы применяются в средних и тяжелых кругло- и плоскошлифовальных станках?
- 6 Какие бывают смазочные материалы?
- 7 Назовите виды смазывания.

## **5 Определение статической жесткости технологической системы комбинированными методами обработки**

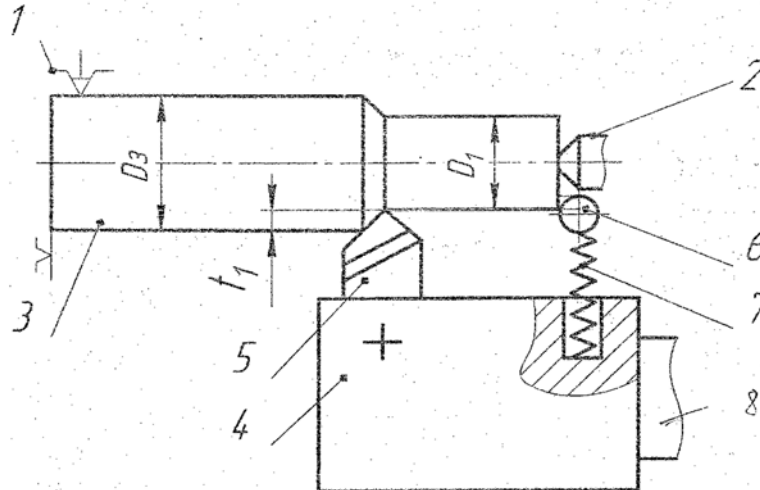
**Цель работы** – ознакомление с существующими методами определения статической жесткости элементов металлорежущего станка. Оценка эффективности определения статической жесткости элементов технологической системы с помощью комбинированного инструмента. Предложения по разработке новых производственных методов определения статической жесткости технологической системы.



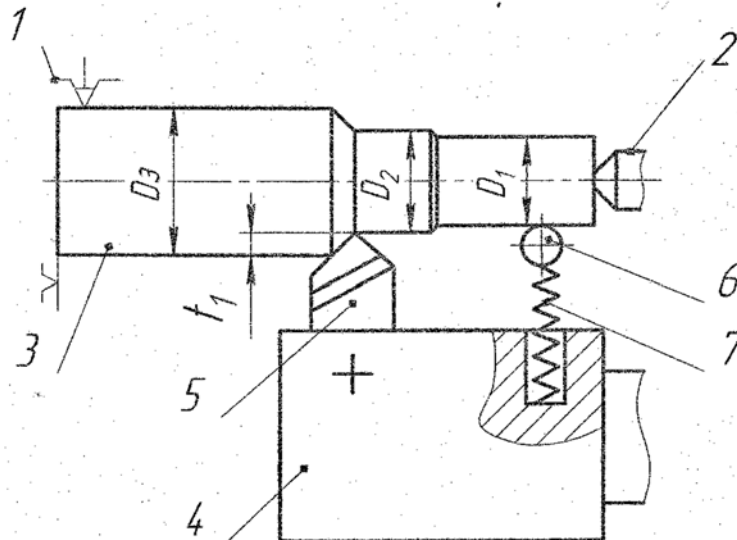
### 5.1 Схема экспериментальной установки

В состав установки входят: токарно-винторезный станок с патроном 1 и задним центром 2; обрабатываемый вал 3; комбинированный инструмент с корпусом 4, режущим 5 и деформирующим 6 элементами; силовая пружина 7; резцедержатель 8 (рисунок 5.1).

а)



б)



а – до вступления в работу деформирующего элемента; б – после вступления в работу деформирующего элемента

Рисунок 5.1 – Схема установки для определения статической жесткости технологической системы

#### Задание

- 1 Выполнить пп. 7–8 методики проведения эксперимента.
- 2 Дать предложения по усовершенствованию метода определения статической жесткости технологической системы.
- 3 Составить заявку на предполагаемое изобретение.

**Перечень используемого оборудования:** станок токарно-винторезный 16Д25, специальный комбинированный инструмент, содержащий корпус, режущий и деформирующий элементы; обрабатываемый вал, материал вала – сталь 45 (180...200 НВ), размеры вала –  $(D \times \ell) : 50 \times 200$  мм; микрометр (ГОСТ 6507–78).

**Содержание отчета:** наименование работы; цель работы; схема экспериментальной установки; применяемое оборудование и инструменты; анализ результатов исследования и выводы по работе; материалы заявки на предполагаемое изобретение.

### **Контрольные вопросы**

1 В чем заключается сущность процесса совмещенной обработки резанием и ППД?

2 Назовите известные методы определения статической жесткости технологической системы.

3 В чем заключается преимущество метода определения статической жесткости технологической системы с помощью комбинированного инструмента?

4 Зависит ли жесткость технологической системы от режимов обработки?

5 Какими методами можно повысить жесткость технологической системы?

## **6 Определение динамической жесткости технологической системы комбинированным резанием**

**Цель работы** – ознакомление с методами определения динамической жесткости технологической системы. Оценка возможности определения динамической жесткости технологической системы комбинированным резанием. Предложения по разработке новых методов определения динамической жесткости технологической системы.

### **6.1 Схема экспериментальной установки**

В состав экспериментальной установки входят (рисунок 6.1): оправка 1, имеющая соосную цилиндрическую шейку 2; эксцентрично расположенная цилиндрическая шейка 3; обрабатываемые кольца 4–7; проставочные втулки 8, 9 и гайки 10, 11; токарно-винторезный станок с трехкулачковым патроном 12, задним центром 13 и суппортом 14; резцы 15, 16; магнитная стойка 17; индикатор часового типа 18.

### **Методика проведения эксперимента.**

1 Установить на оправке 1 обрабатываемые кольца 4–7 (стали 45, 180...200 НВ).

2 Закрепить оправку 1 в сборе на станке в соответствии с рисунком 6.1.

3 Настроить резцы *15, 16* соответственно на глубину резания:  $t_1 = 0,5 + e$  мм;  $t_2 = 0,2 \dots 0,4$  мм ( $e$  – величина эксцентриситета цилиндрической шейки *3* оправки *1*).

4 Установить на станке режимы резания (задаются преподавателем):  $n, S$ .

5 Обточить обрабатываемые шейки *4–7* оправки *1*.

6 Индикатором *18* измерить величину погрешности геометрической формы обрабатываемых шеек *4–7*. Данные измерений занести в таблицу 6.1.

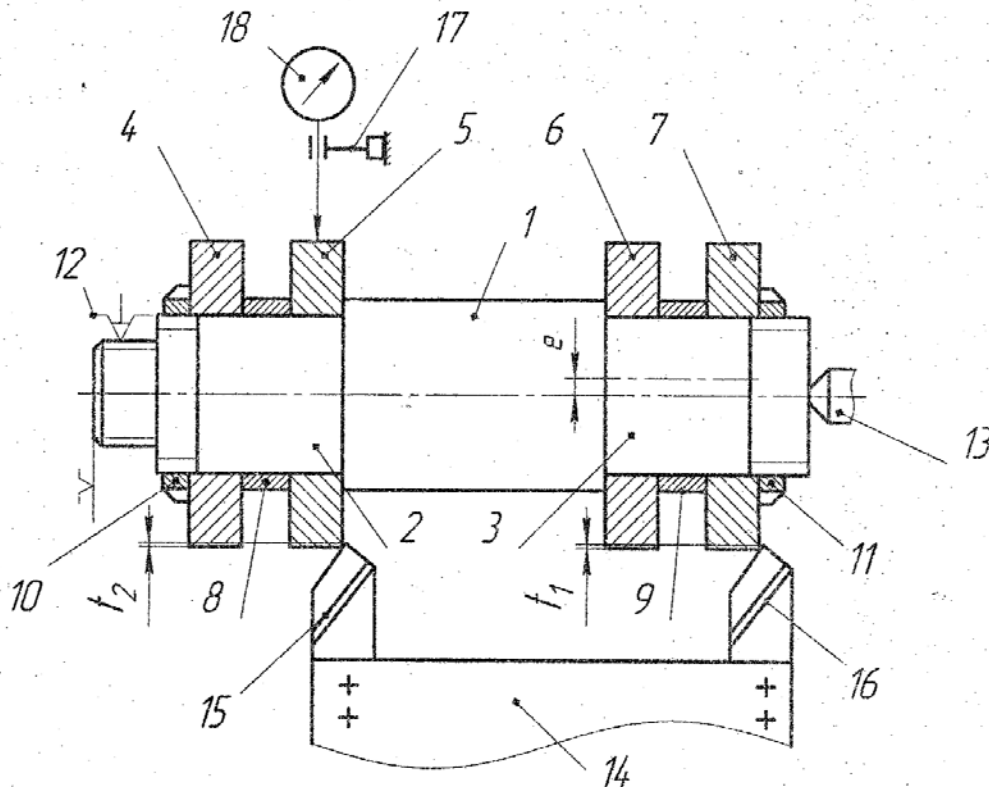


Рисунок 6.1 – Схема экспериментальной установки

7 Определить аналитическим методом изменение радиальной составляющей силы резания  $\Delta P_y$  при обтачивании колец *6, 7*, закрепленных на эксцентрично расположенной цилиндрической шейке *3*. Уточнить параметры технологической системы, необходимые для расчета величины изменения радиальной составляющей силы резания. При этом изменение глубины резания следует принять равной  $\Delta t = e$ .

### Обработка результатов эксперимента.

1 Определить динамическую жесткость технологической системы по формуле

$$J_d = \Delta P_y / U_{ср}.$$

2 Дать предложения по усовершенствованию метода определения динамической жесткости технологической системы.

## 3 Составить заявку на предполагаемое изобретение.

Таблица 6.1 – Сводная таблица экспериментальных и расчетных параметров

| Параметры                                                            | Номер обработанной шейки            |   |   |   |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---|---|---|
|                                                                      | 4                                   | 5 | 6 | 7 |
| Погрешность геометрической формы шейки, мкм                          |                                     |   |   |   |
| Средняя величина погрешности геометрической формы 4 и 5 шеек, мкм    | $U_{cp} =$                          |   | – |   |
| Расчетное значение измерения радиальной составляющей силы резания, Н | $\Delta P_y =$                      |   |   |   |
| Динамическая жесткость технологической системы, Н/мкм                | $j_d = \frac{\Delta P_y}{U_{cp}} =$ |   |   |   |

**Перечень используемого оборудования:** токарно-винторезный станок 16Д25; резцы проходные (ГОСТ 18878–73, Т15К6); контрольная оправка в сборе с обрабатываемыми кольцами; индикатор часового типа ИЧ (ГОСТ 577–68) с ценой деления 0,002 мм; стойка магнитная; микрометр (ГОСТ 6507–78).

**Содержание отчета:** наименование работы; цель работы; схема экспериментальной установки; применяемое оборудование и инструменты; анализ результатов исследования и выводы по работе; материалы заявки на предполагаемое изобретение.

### Контрольные вопросы

- 1 Что входит в состав технологической системы при механической обработке деталей на металлорежущих станках?
- 2 Что называется жесткостью технологической системы?
- 3 Какими методами можно повысить жесткость элементов металлорежущего станка?
- 4 В чем заключается разница в понятиях «статическая» и «динамическая» жесткость?
- 5 Методы определения жесткости элементов технологической системы.
- 6 В чем заключается преимущество метода определения динамической жесткости технологической системы комбинированным резанием?

## 7 Определение динамической жесткости и амплитудно-частотной характеристики технологической системы

**Цель работы** – изучение методики экспериментального определения динамической жесткости и амплитудно-частотной характеристики технологической системы.

**Перечень используемого оборудования:** токарно-винторезный станок модели 16Д25; инструмент деформирующий ИД.000.000.СБ; резец проходной, Т15К6, индикатор часового типа ИЧ (ГОСТ577–68) с ценой деления 0,002 мм; стойка магнитная; динамометр специальный (жесткость пружины  $c = 5 \cdot 10^4$  Н/мм); величина эксцентриситета деформирующего ролика  $e = 3$  мм; эталонная деталь (рисунок 7.1).

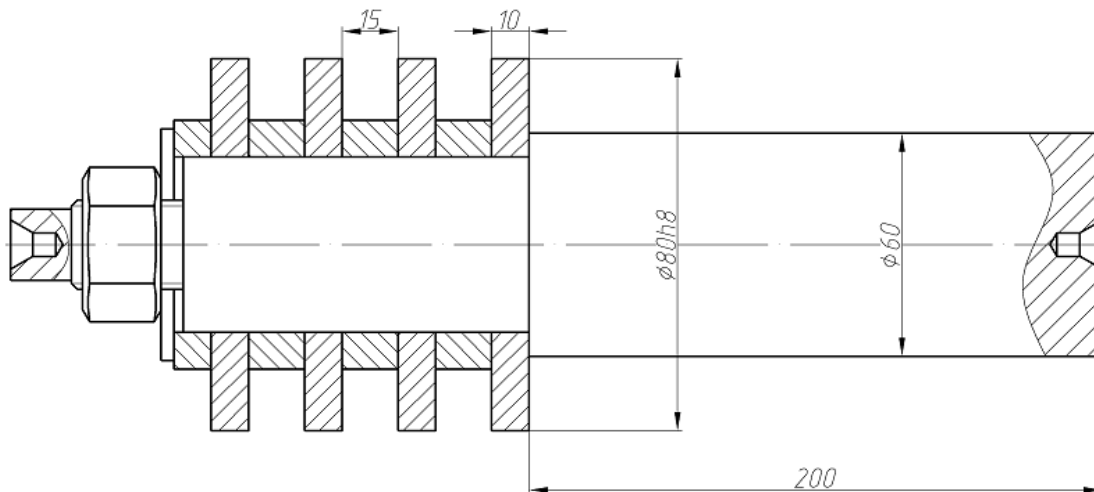


Рисунок 7.1 – Эскиз эталонной детали

Динамическая жесткость ТС является комплексным параметром, определяющим виброустойчивость процесса механической обработки, а следовательно, и точность геометрической формы в продольном и поперечном сечениях обрабатываемой детали.

Под динамической жесткостью ТС понимают способность системы сопротивляться действию динамических сил, изменяющихся по гармоническому закону.

Динамическая жесткость определяется из уравнения

$$j_d = \frac{P_{\text{дин}}(\omega)}{y(\omega)}, \quad (7.1)$$

где  $j_d$  – динамическая жесткость ТС, Н/м;

$P_{\text{дин}}(\omega)$  – динамическая сила, действующая на ТС и изменяющаяся по гармоническому закону, Н;

$y(\omega)$  – величина упругих отжатий в ТС в направлении действия силы (величина упругих относительных колебаний детали и инструмента), м.

Известные методы экспериментального определения динамических характеристик ТС: динамической жесткости и амплитудно-частотной характеристики имеют высокую себестоимость, достаточно сложны, требуют для своей реализации специальных вибраторов и сложной контрольно-регистрирующей аппаратуры и приемлемы только для лабораторных условий.

В Белорусско-Российском университете разработан способ определения динамических характеристик ТС, лишенный указанных недостатков и легко реализуемый как в лабораторных условиях, так и в условиях производства [4].

Схема установки для осуществления разработанного способа определения динамических характеристик ТС представлена на рисунке 7.2.

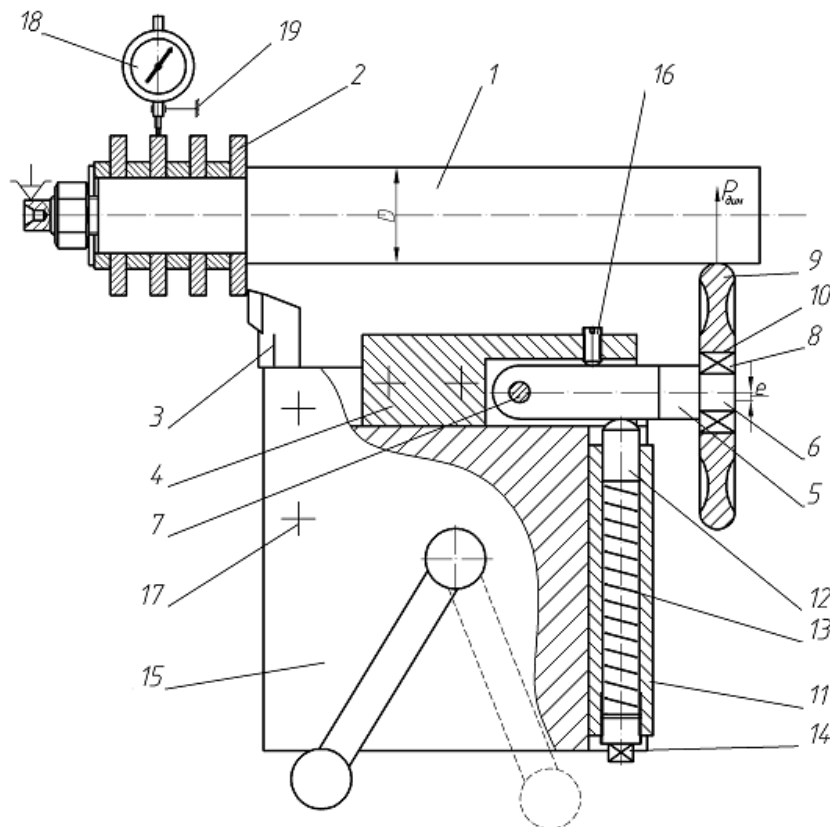


Рисунок 7.2 – Схема установки для проведения исследований

Схема включает эталонную деталь 1 с шейками 2 (шейки 2 предварительно обработаны по восьмому качеству точности), резец 3 и деформирующий инструмент для нагружения ТС усилием деформирования, изменяющимся по гармоническому закону. Деформирующий инструмент выполнен в виде корпуса 4, державки 5 с цилиндрической цапфой 6, оси 7, подшипника 8, деформирующего ролика 9 с эксцентрично выполненным отверстием 10 и специального динамометра, включающего основание 11, толкатель 12, пружину 13 и регулировочный винт 14. Державка 5 соединена с корпусом 4 осью 7 и имеет возможность поворота в плоскости резцедержателем 15. Поворот державки 5 ограничен упором 16, закрепленным на корпусе 4. Резец 3, корпус 4, основание 11 установлены в соответствующих пазах резцедержателя 15 и закреплены крепежными винтами 17.

Для контроля величины радиального биения обработанных шеек 2 эталонной детали 1 имеются индикатор 18 и магнитная стойка 19.

### Методика проведения эксперимента.

Эталонную деталь 1 закрепляют в патроне станка и поджимают центром пиноли задней бабки. Рабочую поверхность деформирующего ролика 9 вводят в контакт с цилиндрической поверхностью детали 1. Посредством поворота винта 14 сжимают на соответствующую величину пружину 13 и нагружают деталь 1 (ТС) номинальной силой деформирования.

Устанавливают первую из исследуемых частот вращения шпинделя станка. Детали 1 сообщают вращение, а резцедержателю 15 – движение подачи  $S$  вдоль обрабатываемой поверхности. Резец 3 вступает в работу и срезает с поверхности шейки 2 слой металла с номинальной глубиной резания  $t$ . Одновременно с цилиндрической поверхностью детали 1 взаимодействует деформирующий ролик 9, осуществляя ее поверхностное пластическое деформирование. При этом деформирующий ролик 9 получает вращение от детали 1 и вращается вокруг продольной оси цилиндрической цапфы 6. Поскольку деформирующий ролик установлен на цапфе 6 с эксцентриситетом  $e$ , то за один оборот деформирующего ролика 9 державка 5 повернется на угол  $\Delta\varphi$ , а толкатель 12 сместится в осевом направлении основания 11 на величину, определяемую выражением

$$\Delta = \frac{OA \cdot e}{OB}, \quad (7.2)$$

где  $\Delta$  – величина дополнительного сжатия пружины динамометра, мм;

$e$  – величина эксцентриситета деформирующего ролика, мм;

$OA$  – расстояние от оси поворота державки до точки пересечения продольных осей державки и толкателя динамометра, мм;

$OB$  – расстояние от оси поворота державки до точки пересечения продольной оси державки с радиальной плоскостью симметрии деформирующего ролика, мм.

Тогда за один оборот деформирующего ролика 9 на ТС действует дополнительно динамическая сила, максимальную величину которой определяют из соотношения

$$P_{\text{дин}}(\omega) = c \cdot \Delta, \quad (7.3)$$

где  $P_{\text{дин}}(\omega)$  – динамическая сила, действующая на ТС, Н;

$c$  – жесткость пружины динамометра, Н/м;

$\Delta$  – величина дополнительного сжатия пружины динамометра, м.

Динамическая сила «раскачивает» ТС и вызывает упругие динамические отжатия детали 1 и резца 3. При этом резец 3, обрабатывая шейку 2, формирует поверхность с радиальным биением  $y(\omega)$ .

Все последующие шейки 2 эталонной детали 1 обрабатывают на остальных исследуемых частотах вращения шпинделя станка.

По окончании обработки станок останавливают и отводят инструмент в исходное положение. Магнитную стойку 19 устанавливают на поверхности суппорта станка. Ножку индикатора 18 вводят в контакт с обработанной шейкой 2. Повернув деталь на  $360^\circ$  (путем поворота шпинделя станка), определяют величину радиального биения поверхности шейки 2. Последовательно измеряют радиальное биение всех обработанных шеек 2 эталонной детали. Данные измерений заносят в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Результаты измерений и расчета динамической жесткости ТС

| Номер обрабатываемой шейки | Частота вращения шпинделя станка, мин <sup>-1</sup> | Частота изменения динамической силы деформирования, с <sup>-1</sup> | Радиальное биение обработанной шейки, мкм | Динамическая жесткость ТС, Н/м                       | Средняя динамическая жесткость ТС, Н/м |
|----------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|                            | $n$                                                 | $\omega_i = \frac{\pi \cdot n_i \cdot D}{30 \cdot d}$               | $y(\omega)$                               | $j_{\omega_i} = \frac{P_{дин}(\omega)}{y(\omega)_i}$ |                                        |
| 1                          |                                                     |                                                                     |                                           |                                                      |                                        |
| 2                          |                                                     |                                                                     |                                           |                                                      |                                        |
| 3                          |                                                     |                                                                     |                                           |                                                      |                                        |
| 4                          |                                                     |                                                                     |                                           |                                                      |                                        |
| ...                        |                                                     |                                                                     |                                           |                                                      |                                        |
| $k$                        |                                                     |                                                                     |                                           |                                                      |                                        |

Динамическую жесткость ТС определяют по формуле (7.1) с учетом результатов измерений.

Величина радиального биения  $y(\omega)$  обработанной шейки 2 фактически равна амплитуде относительных упругих колебаний детали 1 и резца 3, возникающих в ТС под действием динамической силы  $P_{дин}(\omega)$ . Так как все шейки 2 эталонной детали 1 обрабатывают на различных исследуемых частотах вращения шпинделя, то есть возможность построить амплитудно-частотную характеристику ТС.

*Амплитудно-частотной характеристикой* ТС называют зависимость амплитуды упругих колебаний системы от частоты изменения динамической силы 3, действующей на систему (рисунок 7.3).

Частота динамической силы  $P_{дин}(\omega)$  связана с частотой вращения шпинделя станка следующей зависимостью:

$$\omega_i = \frac{\pi \cdot n_i \cdot D}{30 \cdot d}, \quad (7.4)$$

где  $\omega_i$  – частота изменения динамической силы, с<sup>-1</sup>;

$n_i$  – частота вращения шпинделя станка, мин<sup>-1</sup>;

$D$  – диаметр упрочняемой поверхности детали, мм;

$d$  – диаметр деформирующего ролика, мм.



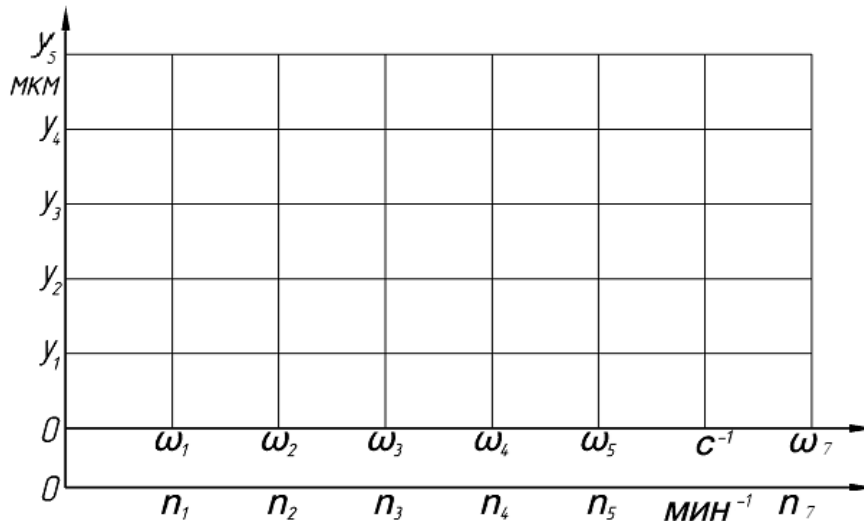


Рисунок 7.3 – Экспериментальная амплитудно-частотная характеристика ТС

Полученная амплитудно-частотная характеристика ТС позволяет определить рациональную частоту вращения шпинделя, при которой обеспечиваются минимальные относительные колебания детали и режущего инструмента и, как следствие, повышение точности геометрической формы в продольном и поперечном сечениях обрабатываемой детали.

### ***Порядок выполнения работы***

1 Установить эталонную деталь в патроне станка и поджать центром пиноли задней бабки.

2 Деформирующий инструмент закрепить в резцедержателе станка (см. рисунок 7.2).

3 Деформирующий ролик инструмента повернуть вокруг оси вращения, обеспечив максимальное удаление его рабочего профиля от упрочняемой поверхности эталонной детали.

4 Перемещением резцедержателя ввести рабочий профиль деформирующего ролика в контакт с упрочняемой поверхностью эталонной детали, обеспечив зазор  $\delta = 1,5 \dots 2$  мм между боковой поверхностью державки 5 и упором 16 корпуса 4 (см. рисунок 7.1).

5 Посредством динамометра нагрузить ТС силой деформирования 200 Н.

6 Вставить резец в паз резцедержателя станка и установить его (по отношению к шейкам эталонной детали) на глубину резания  $t = 0,5 \dots 1$  мм.

7 Обеспечить на станке продольную подачу инструмента  $S = 0,15$  мм/об.

8 Установить на станке первую из исследуемых частот вращения шпинделя.

9 Детали сообщить вращение, а режущему и деформирующему инструментам – осевую подачу. Обработать первую шейку эталонной детали.

10 Аналогично обработать остальные шейки эталонной детали на исследуемых частотах вращения шпинделя станка.

11 Измерить радиальное биение  $y(\omega)$  обработанных шеек эталонной детали. Данные измерений занести в таблицу 7.1.

12 Рассчитать величину динамической силы  $P_{дин}(\omega)$  по формуле (7.1).

13 Вычислить частоты  $\omega_i$  изменения динамической силы деформирования для исследуемых частот  $n_i$  вращения шпинделя станка, используя зависимость (7.3).

14 Рассчитать динамическую жесткость ТС для исследуемых частот вращения шпинделя станка по формуле (7.1) и найти среднюю величину динамической жесткости ТС.

15 Построить амплитудно-частотную характеристику ТС (см. рисунок 7.3).

16 Построить зависимость динамической жесткости ТС от частоты изменения динамической силы.

17 Составить отчет.

**Содержание отчета:** название работы; цель работы; используемое оборудование и технологическая оснастка; эскиз установки для определения динамических характеристик ТС; таблица результатов измерений и расчета динамической жесткости ТС (см. таблицу 7.1); графики зависимостей (см. рисунок 7.3); выводы.

### **Контрольные вопросы**

1 Что называется динамической жесткостью технологической системы (ТС)?

2 Как определяется динамическая жесткость ТС?

3 Как получить амплитудно-частотную характеристику ТС?

4 Зависит ли динамическая жесткость ТС от частоты изменения динамической силы, действующей на систему?

5 Как зависит динамическая жесткость ТС от величины действующих на ТС сил?

## **8 Исследование упругосилового метода комбинированной обработки шейки вала**

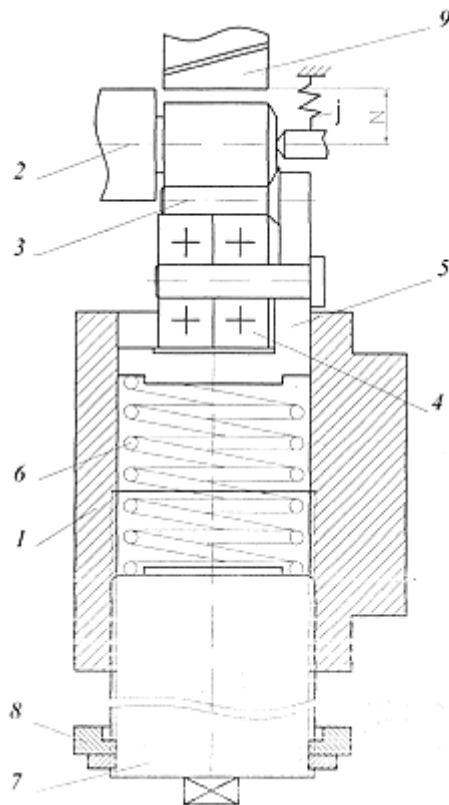
**Цель работы** – анализ существующих схем совмещенной обработки резанием и ППД. Ознакомление с новым упругосиловым методом комбинированной обработки. Выявление технологических возможностей упругосилового метода комбинированной обработки. Рекомендации по усовершенствованию упругосилового метода комбинированной обработки резанием и ППД применительно к упрочнению шеек вала, под подшипники, а также одновременной обработке двух шеек по краям вала.

**Перечень используемого оборудования:** токарно-винторезный станок 16Д25; специальный деформирующий инструмент для упрочняющей обработки;

резец специальный Т15К6; заготовки для проведения эксперимента: диаметр – 60 мм, длина – 200 мм, диаметр обрабатываемых шеек вала – 41 мм, длина шеек – 25 мм, количество заготовок: первая партия – 10 шт. (сталь 40Х); вторая партия – 10 шт. (Д16Т); стойка магнитная; индикатор часового типа ИЧ-02 кл. 0 ГОСТ 577–68, цена деления – 0,002 мм; режимы обработки:  $V = 80$  м/мин,  $P_{\text{Деф.н}} = 800$  Н, диаметр деформирующего элемента – 6 мм.

### Методика проведения эксперимента.

1 Закрепить корпус *1* инструмента в резцедержателе, а деталь *2* – в центрах станка (рисунок 8.1).



*1* – корпус; *2* – деталь; *3* – деформирующий элемент; *4* – подшипниковая опора; *5* – ползун; *6* – силовая пружина; *7* – винт; *8* – упор; *9* – режущий инструмент

Рисунок 8.1 – Схема упругосилового метода комбинированной обработки

2 Подвести деформирующий элемент *3* в контакт с поверхностью шейки детали *2*.

3 С диаметрально противоположной стороны детали *2* установить магнитную стойку и ввести ножку индикатора в контакт с поверхностью шейки.

4 Нагрузить деталь последовательно силой деформирования 25, 50, 75, 100, 125, 150 Н посредством поворота винта *7* деформирующего устройства и соответствующего сжатия силовой пружины *5*. После каждого нагружения детали указанной силой деформирования индикатором фиксировать величину упругого смещения детали. Данные измерений внести в таблицу 8.1.

5 Рассчитать величину средней жесткости центров станка  $j$ .

Таблица 8.1 – Величины упругих отжатий под действием силы деформирования

| Сила нагружения, Н | Величина упругих отжатий, мкм | Средняя жесткость центров станка $j$ , Н/мкм |
|--------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|
| 25                 |                               |                                              |
| 50                 |                               |                                              |
| 75                 |                               |                                              |
| 100                |                               |                                              |
| 125                |                               |                                              |
| 150                |                               |                                              |

6 Рассчитать величину настроечного размера  $N$  режущего инструмента по формуле

$$N = \frac{D_{cp}}{2} + \frac{P_{Def.n}}{j},$$

где  $D_{cp}$  – средний диаметр обработки;

$D_{Def.n}$  – номинальная величина силы деформирования, Н;

$j$  – экспериментальное значение жесткости центров станка, Н/мкм.

$$D_{cp} = (D_{max} + D_{min}) / 2.$$

7 Закрепить режущий инструмент в специальном резцедержателе станка и обеспечить размер настройки  $N$ .

8 Заготовку установить в центрах станка и сообщить ей вращательное движение. Поворотом винта 7 ввести в контакт с поверхностью шейки деформирующий элемент 3 и нагрузить деталь силой деформирования  $P_{Def.n}$ . При этом упор 8 инструмента упирается в корпус 1. В процессе нагружения детали силой деформирования деталь с обрабатываемой поверхностью упруго смещаются на режущий инструмент 9. При этом резец 9 калибрует поверхность в размер, а деформирующий элемент 3 осуществляет окончательную отделочно-упрочняющую обработку.

9 Обработать аналогично шейки деталей первой и второй партий.

10 Выполненные замеры диаметральных размеров обработанных поверхностей снести в таблицу 8.2.

11 С помощью методов математической статистики определить поле рассеивания размеров обработанных поверхностей и сделать выводы по точностным возможностям разработанного метода.

12 Дать рекомендации по усовершенствованию упругосилового метода комбинированной обработки резанием и ППД применительно к упрочнению

шеек под подшипники длинных валов, а также одновременной обработке шеек по краям вала.

Таблица 8.2 – Результаты измерений диаметра обработанных шеек

| Номер партии  |     | $D$ , мм | $6\sigma$ |
|---------------|-----|----------|-----------|
| Партия первая | 1   |          |           |
|               | ... |          |           |
|               | 10  |          |           |
| Партия вторая | 1   |          |           |
|               | ... |          |           |
|               | 10  |          |           |

13 Из числа предложенных технических решений по усовершенствованию метода обработки выбрать наиболее значимое.

14 Совместно с преподавателем составить формулу изобретения патентуемого технического решения.

**Содержание отчета:** цель работы; применяемое оборудование и инструмент; схема экспериментальной установки; таблицы результатов измерения; графическое изображение результатов эксперимента; анализ полученных результатов и выводы по работе; формула изобретения патентуемого технического решения.

### **Контрольные вопросы**

1 Какие разновидности схем совмещенной обработки деталей резанием и ППД Вам известны?

2 В чем состоит сущность упругосилового метода комбинированной обработки резанием и ППД?

3 Назовите основное отличие упругосилового метода комбинированной обработки от традиционных схем совмещенной обработки резанием и ППД.

4 Какие преимущества обеспечивает упругосилового метод комбинированной обработки?

5 Выберите целесообразную область применения разработанного метода отделочно-упрочняющей обработки.

## 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 Способ исследования динамических характеристик технологической системы и комбинированный инструмент для его осуществления: а. с. SU 1738615 / А. М. Довгалев [и др.]. – Оpubл. 07.06.1992.

5 Станочное оборудование машиностроительных производств: учебник: в 2 ч. / А. М. Гаврилин [и др.]. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – Ч. 2. – 408 с.