



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный  
технический университет

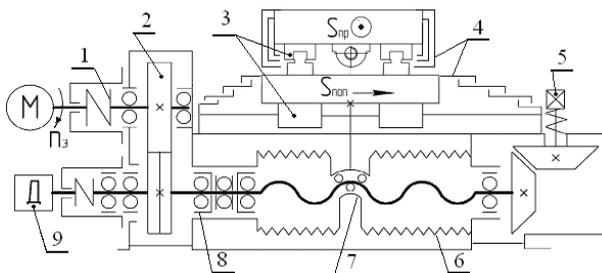
Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

В.И. Глубокий  
А.М. Якимович  
И.В. Макаревич

## КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СТАНКОВ

КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДОВ ПОДАЧ  
И БАЗОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

*Учебно-методическое пособие*



Минск  
БНТУ  
2014

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

В. И. Глубокий  
А. М. Якимович  
И. В. Макаревич

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СТАНКОВ  
КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДОВ ПОДАЧ  
И БАЗОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

Учебно-методическое пособие к лабораторным занятиям

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию  
в области машиностроительного оборудования и технологий  
для студентов технических специальностей высших учебных заведений*

Минск  
БНТУ  
2014

УДК 621.9.06-025.13(076.5)(075.8)

ББК 34.63-5я7

Г55

**Рецензенты:**

д-р техн. наук, заведующий лабораторией ОИМ НАН Беларуси

*М. А. Белоцерковский;*

д-р техн. наук, заместитель директора ФТИ НАН Беларуси

*А. П. Ласковнев*

**Глубокий, В. И.**

Г55      Конструирование и расчет станков. Конструкции приводов подач и базовых деталей : учебно-методическое пособие к лабораторным занятиям / В. И. Глубокий, А. М. Якимович, И. В. Макаревич. – Минск : БНТУ, 2014. – 92 с.

ISBN 978-985-550-379-9.

Учебно-методическое пособие по дисциплине «Конструирование и расчет станков» предназначено для лабораторных занятий студентов машиностроительных специальностей. Пособие содержит описание конструкций приводов подач и их основных элементов, применяемых в металлорежущих станках с ЧПУ, тяговых механизмов винт-гайка качения и предохранительных муфт, а также направляющих скольжения и качения и базовых деталей.

К каждой теме занятия приводится теоретическая часть, где даются основные положения и особенности изучаемых вопросов по данной теме, кроме того излагаются последовательность выполнения лабораторных работ, а также структура и содержание отчета о работе и перечень контрольных вопросов.

Данное учебно-методическое пособие также может быть использовано студентами при самостоятельной подготовке и выполнении курсовых проектов по проектированию приводов подач и направляющих металлорежущих станков с ЧПУ.

УДК 621.9.06-025.13(076.5)(075.8)

ББК 34.63-5я7

**ISBN 978-985-550-379-9**

© Глубокий В. И.,

Якимович А. М.,

Макаревич И.В., 2014

© Белорусский национальный  
технический университет, 2014

## Введение

С появлением новых твердосплавных и быстрорежущих инструментов и многооперационных станков стало возможным расширение технологических возможностей и проведение на одном станке различных технологических операций типа токарных, сверлильных, расточных и фрезерных. В связи с этим приводы подач станков, имеющих конструкцию с *механическим ступенчатым регулированием подачи коробкой подач*, не могут обеспечивать требуемые режимы обработки и производительность.

В настоящее время в современных токарных и сверлильно-фрезерно-расточных металлорежущих станках с ЧПУ применяется конструкция станочных приводов подач с *электрическим бесступенчатым регулированием рабочих подач и скоростей быстрых перемещений рабочих органов регулируемым электродвигателем*. Основными преимуществами конструкции бесступенчатых приводов подач являются их значительно меньшие механическая часть и габаритные размеры, а также обеспечение равномерного хода перемещений при малых частотах вращения двигателя и способность изменять величину подачи в процессе обработки, т. е. не прерывая рабочий ход. Рабочие органы приводов подач перемещаются по направляющим базовых деталей станка, и точность обработки деталей зависит главным образом от конструкции и точности как направляющих, так и базовых деталей и станка в целом.

*Направляющие* рабочих органов приводов подач и базовых деталей имеют различные конструкции и в зависимости от вида трения между их рабочими поверхностями могут быть *скольжения* или *качения*. Конструкции направляющих скольжения обычно имеют прямоугольные, треугольные и трапецеидальные виды профилей поперечных сечений, а направляющих качения – открытый и замкнутый профиль и циркуляцию тел качения. Это зависит от типа станка и вида выполняемых технологических операций. К конструкциям направляющих предъявляется комплекс конструкторских требований, необходимых для обеспечения высокого качества обработанных поверхностей.

*Базовые детали* станков отличаются большим разнообразием по конструкции и назначению. Основными базовыми деталями станков являются *станины* и *стойки*, на которых размещаются силовые

рабочие органы движений формообразования и ряд вспомогательных механизмов смены инструментов и заготовок. Станины и стойки могут иметь различные конструкции и виды профилей поперечных сечений в зависимости от компоновки станка, вида выполняемых операций, действующих нагрузок и условий отвода стружки. Конструкции станин и стоек должны обеспечивать точное взаимное расположение формообразующих органов станка, чтобы получить высокую точность обработки деталей, и к ним предъявляется ряд конструкторских и технологических требований.

## **1. КОНСТРУКЦИИ ПРИВодОВ ПОДАЧ СТАНКОВ С ЧПУ**

### **1.1. Цель лабораторной работы**

В процессе выполнения лабораторной работы по изучению конструкций приводов подач ставится цель:

а) изучить конструкцию и кинематику приводов подач различных станков, а также назначение их основных элементов;

б) научиться составлять структурные и кинематические схемы приводов подач станков с ЧПУ по сборочным чертежам и реальным объектам;

в) уметь проектировать и оптимизировать структуру кинематических схем и разрабатывать компоновки приводов подач различных станков с ЧПУ;

г) знать типовые конструкции приводов подач станков с ЧПУ и их основных элементов, чтобы получить навыки их конструирования.

В данной лабораторной работе предлагается изучить компоновки и конструкции приводов подач токарно-винторезного, вертикально-сверлильного и горизонтального консольно-фрезерного станка, составить их структурные схемы и описать особенности; по реальным образцам и плакатам приводов подач токарных станков с ЧПУ моделей 16А20Ф3 и 16К20Ф3 описать их кинематические и конструктивные особенности, виды приводных передач, типы подшипников ходовых винтов, способы создания предварительного натяга в передачах винт-гайка качения; составить кинематические схемы с оптимизацией структуры, записать уравнения кинематического баланса и рассчитать предельные значения подач.

## 1.2. Назначение и особенности приводов подач

Приводы подач металлорежущих станков предназначены для сообщения движений подачи рабочему органу в виде суппорта, стола, каретки и салазок с целью распространения процесса резания на всю обрабатываемую поверхность заготовки. Кроме того, они должны обеспечивать требуемый диапазон скоростей рабочих подач и высокие скорости быстрых перемещений при холостых и установочных движениях и развивать необходимые тяговые усилия.

Подачи могут быть относительными на оборот шпинделя –  $s_0$ , мм/об; на зуб многолезвийного инструмента –  $s_z$ , мм/зуб; на двойной ход рабочего органа –  $s_{дв.х}$ , мм/дв.х, и абсолютными в единицу времени, обычно в минуту, –  $s_M$ , мм/мин, при этом между ними имеются следующие зависимости:

$$s_0 = s_z \cdot z; \quad s_M = s_0 \cdot n; \quad s_M = s_z \cdot z \cdot n,$$

где  $z$  – число зубьев многолезвийного режущего инструмента;

$n$  – частота вращения шпинделя главного привода, об/мин.

Приводы подач по сравнению с главными приводами имеют следующие особенности:

- а) они менее скоростные, т. е. сравнительно тихоходные;
- б) имеют большую редукцию, т. е. значительное снижение частот вращения;
- в) обладают более высокой точностью передач, которая влияет на качество обработанных поверхностей;
- г) имеют более разветвленную кинематику и сложную конструкцию при ступенчатом регулировании подач на универсальных станках.

## 1.3. Структурные схемы приводов подач

### *1.3.1. Схема привода подач со ступенчатым регулированием при общем электродвигателе для главного движения резания и подачи*

Схема привода подач при общем электродвигателе для главного движения и подачи применяется в группах универсальных токарных (рис. 1.1) и сверлильных станков, при этом конечными звеньями являются: шпиндель–суппорт для токарного станка или шпиндель–пиноль для сверлильного.

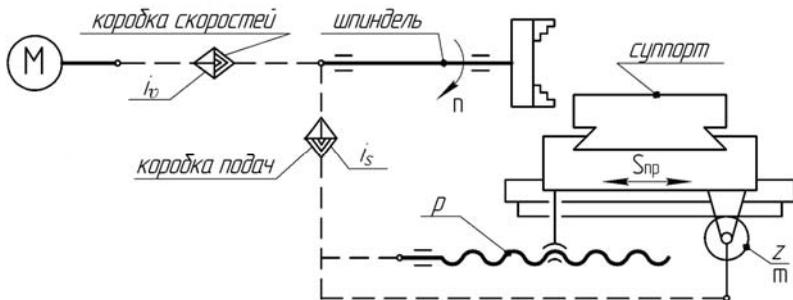


Рис. 1.1. Структурная схема привода продольной подачи суппорта  $s_{пр}$  токарного станка со ступенчатым регулированием с общим электродвигателем для главного движения и подачи

Подача суппорта задается в миллиметрах на оборот шпинделя  $s_0$  при токарной обработке или  $p$  – при нарезании резьбы. Расчетными перемещениями для цепи подач и винторезной цепи будут соответственно:

1 оборот шпинделя  $\rightarrow s_0$  или  $p$ , мм, горизонтальной подачи суппорта.

Регулирование подачи в таких приводах ступенчатое  $s_{oi}$  и осуществляется с помощью коробки подач. Уравнения кинематического баланса при тяговых механизмах в виде реечной передачи для цепи подач или передачи винт-гайка для винторезной цепи (см. рис. 1.1) соответственно будут иметь вид

$$1 \cdot i_n \cdot i_s \cdot \pi \cdot m \cdot z = s_{oi} \quad \text{или} \quad 1 \cdot i_n \cdot i_s \cdot p_{х.в} = p_i,$$

где  $i_n$  и  $i_s$  – передаточные отношения постоянных передач и коробки подач;

$m$  и  $z$  – модуль и число зубьев шестерни реечной передачи;

$p_{х.в}$  и  $p_i$  – шаг ходового винта передачи винт-гайка и нарезаемой резьбы.

Подача суппорта при токарной обработке осуществляется в результате плоскопараллельного движения реечной шестерни по неподвижной рейке, при этом ее ось закреплена в салазках суппорта и при своем горизонтальном движении сообщает им перемещение, т. е. подачу. При нарезании резьбы перемещение суппорта осуществляется гайкой, закрепленной в его салазках, которая перемещается при вращении ходового винта и сообщает им движение подачи.

### 1.3.2. Схема автономного привода подачи со ступенчатым регулированием общей коробкой подачи всех координатных перемещений

Схема автономного привода подачи с общей коробкой подачи для всех координатных перемещений и электродвигателем применяется, например, в группе универсальных фрезерных станков (рис. 1.2).

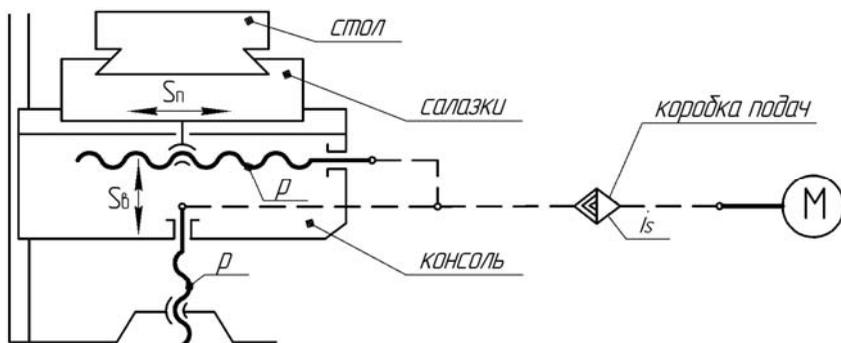


Рис. 1.2. Структурная схема приводов поперечной подачи салазок стола  $s_{п}$  и вертикальной – консоли  $s_{в}$  консольно-фрезерного станка со ступенчатым регулированием с общей коробкой подачи и электродвигателем для всех координатных перемещений

В этих приводах имеется общий для всех координатных перемещений рабочего органа электродвигатель и конечными звеньями приводов подачи, например консольно-фрезерного станка, являются:

электродвигатель–консоль, салазки или стол.

Подача в этих приводах задается абсолютная, т. е. минутная  $s_{м}$ , с размерностью миллиметры в минуту, и расчетные перемещения будут соответственно

$n_{э}$ ,  $\text{мин}^{-1}$ , электродвигателя  $M \rightarrow s_{м}$ , мм/мин, вертикального перемещения консоли  $s_{в}$ , поперечного салазок  $s_{п}$  или продольного стола  $s_{пр}$ .

Регулирование всех подач  $s_{Mi}$  ступенчатое и осуществляется общей коробкой подач для перемещений рабочего органа по всем координатам. Уравнения кинематического баланса для привода подачи при тяговом механизме винт-гайка будут иметь вид, одинаковый для всех подач:

$$n_3 \cdot i_n \cdot i_s \cdot p = s_{Mi}.$$

### 1.3.3. Схема автономных приводов подач станков с ЧПУ с бесступенчатым электрическим регулированием с автономным механическим редуктором

Схема автономных приводов подач с автономным механическим редуктором с бесступенчатым электрическим регулированием применяется в группах токарных и многооперационных станков с ЧПУ (рис. 1.3) с высокими тяговыми усилиями. При этом для каждого координатного перемещения имеется свой автономный привод подачи с автономным регулируемым электродвигателем с предельными частотами вращения  $n_{3 \min} - n_{3 \max}$ , обеспечивающим бесступенчатое регулирование величины подач  $s_{M \min} - s_{M \max}$ .

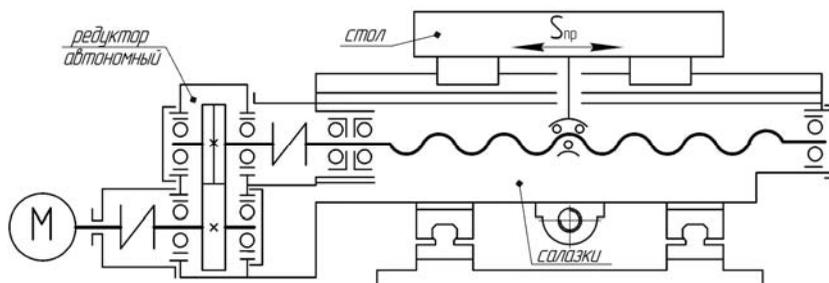


Рис. 1.3. Структурно-кинематическая схема автономного привода продольной подачи стола  $s_{пр}$  с автономным механическим редуктором и бесступенчатым регулированием многооперационного станка с ЧПУ

Кроме того, в каждом приводе имеется свой автономный механический редуктор, соединяемый с валом электродвигателя и входным концом ходового винта с помощью специальных присоединительных муфт. Механический редуктор обеспечивает повышение

крутящих моментов  $T$  на ходовом винте и увеличение тягового усилия привода  $F_a$ . В этих приводах используется минутная подача  $s_M$ , мм/мин, и уравнение кинематического баланса имеет вид

$$(n_{\text{э min}} - n_{\text{э max}}) \cdot i_p \cdot p = s_{M \text{ min}} - s_{M \text{ max}},$$

где  $n_{\text{э min}} - n_{\text{э max}}$  – предельные частоты вращения электродвигателя;  
 $i_p$  – передаточное отношение механического редуктора;  
 $p$  – шаг ходового винта передачи винт-гайка качения;  
 $s_{M \text{ min}} - s_{M \text{ max}}$  – предельные значения минутных подач рабочего органа.

#### **1.3.4. Схема автономных приводов подачи станков с ЧПУ с бесступенчатым электрическим регулированием со встроенным механическим редуктором**

В схемах автономных приводов подачи со встроенным механическим редуктором с бесступенчатым регулированием станков с ЧПУ ведущая шестерня механического редуктора устанавливается непосредственно на вал электродвигателя, а ведомое колесо – на входной конец ходового винта (рис. 1.4).

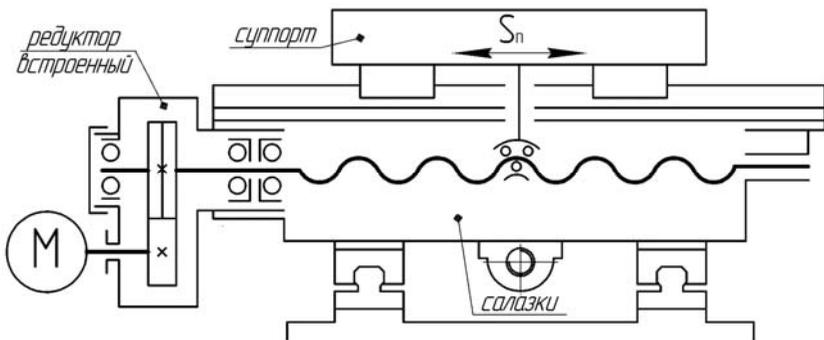


Рис. 1.4. Структурно-кинематическая схема автономного привода поперечной подачи суппорта  $s_n$  со встроенным механическим редуктором и бесступенчатым регулированием токарного станка с ЧПУ

При этом уменьшаются осевые габариты и упрощается конструкция привода подач. Регулирование минутных подач  $s_{M \text{ min}} - s_{M \text{ max}}$

осуществляется бесступенчато регулируемым электродвигателем с частотами вращения  $n_{э \min} - n_{э \max}$ , как в предыдущем приводе. Применяются такие приводы в токарных и многооперационных станках с ЧПУ, в основном при средних тяговых усилиях.

### 1.3.5. Схема привода подачи станков с ЧПУ с бесступенчатым регулированием с прямым соединением вала электродвигателя и ходового винта

В схемах автономных приводов подачи без механического редуктора с бесступенчатым электрическим регулированием подачи станков с ЧПУ вал регулируемого электродвигателя соединяется напрямую с входным концом ходового винта с помощью специальной присоединительной муфты (рис. 1.5).

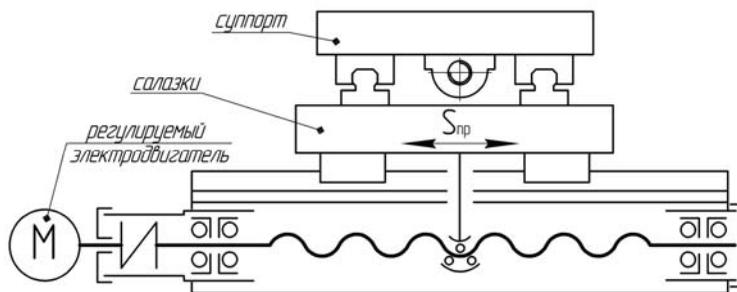


Рис. 1.5. Структурно-кинематическая схема автономного привода с бесступенчатым регулированием продольной подачи суппорта  $s_{пр}$  без механического редуктора с прямым соединением вала электродвигателя и ходового винта токарного станка с ЧПУ

Такие приводы подачи имеют простую кинематику, меньшие осевые размеры и оптимальную конструкцию, так как исключается механический редуктор, и применяются в станках с ЧПУ при небольших и средних тяговых усилиях. В этих приводах, так же как и в предыдущих, рассчитывается минутная подача, но по более простому выражению уравнения кинематического баланса:

$$(n_{э \min} - n_{э \max}) \cdot p = s_{\min} - s_{\max}$$



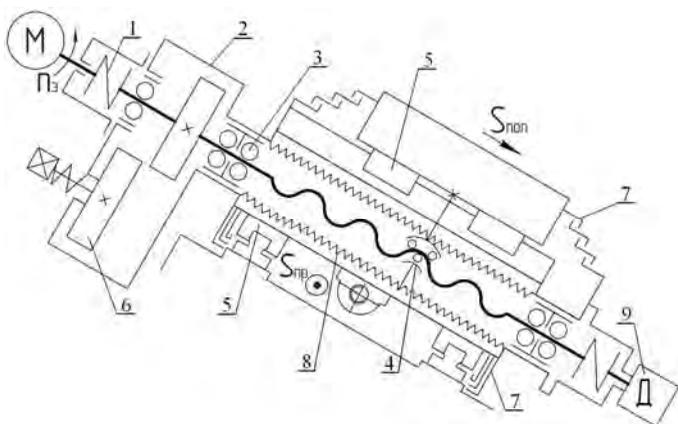


Рис. 1.7. Кинематическая схема привода поперечной подачи суппорта токарного станка с ЧПУ с наклонной компоновкой

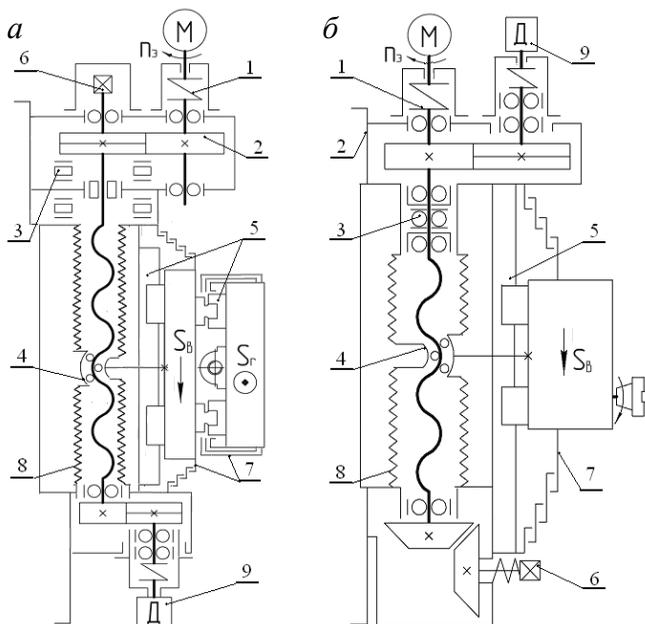


Рис. 1.8. Кинематические схемы приводов вертикальной подачи салазок суппорта токарного вертикального станка с ЧПУ (а) и центральной шпиндельной бабки горизонтального многооперационного станка с ЧПУ (б)

Основными типовыми элементами приводов подач станков с ЧПУ, которые в общем случае определяют кинематику и компоновку привода, являются присоединительные муфты, механические редукторы, типы подшипников опор ходового винта, передачи винт-гайка качения, направляющие качения, редукторы ручных перемещений, варианты подключения датчиков обратной связи, защиты направляющих и ходовых винтов и другие. В приводах подач (см. рис. 1.6, 1.7 и 1.8) обычно применяются специальные присоединительные муфты 1, механические редукторы с безззорными передачами или с соединением напрямую электродвигателя и ходового винта 2, комплекты шариковых подшипников или комбинированные роликовые подшипники в опорах винта 3 и передачи винт-гайка качения с регулированием натяга 4. Кроме того, часто в приводах используются рельсовые направляющие качения с циркуляцией тел качения 5, цилиндрические или конические редукторы ручных перемещений 6, телескопические 7 или гармоникообразные 8 защиты направляющих и ходовых винтов и датчики с подключением со стороны приводного электродвигателя или около задней опоры винта 9.

Подача рабочего органа (см. рис. 1.6, 1.7 и 1.8) осуществляется регулируемым электродвигателем, вращение от которого передается через специальную муфту 1 и далее через зубчатую безззорную передачу механического редуктора 2 или напрямую на ходовой винт передачи винт-гайка качения 4. При вращении ходового винта, установленного на подшипниках качения 3, гайка, закрепленная в рабочем органе, перемещается и сообщает ему движение подачи по рельсовым направляющим с циркуляцией тел качения 5. Линейная скорость движения рабочего органа измеряется датчиком обратной связи 9, а его ручное перемещение при наладке осуществляется редуктором 6.

### **1.5. Конструкции приводов подач станков с ЧПУ**

В современных сверлильно-фрезерно-расточных и токарных металлорежущих станках с ЧПУ применяются конструкции станочных приводов подач с *электрическим бесступенчатым регулированием* рабочих подач и скоростей быстрых перемещений рабочих органов. При этом в приводе подач регулируемый электродвигатель через *простой силовой одноступенчатый редуктор* или через *присоеди-*

*нительную муфту* может подключаться *непосредственно к ходовому винту*, что определяет его конструкцию и компоновку. Эти приводы обеспечивают сокращение времени переходных процессов работы, способность выдерживать большие токовые нагрузки в кратковременном и повторно-кратковременном режимах и повышение быстродействия всей электромеханической системы привода подач.

Приводы подач станков с ЧПУ, как следует из примеров обобщенных проектных конструкций приводов подач многоцелевых и токарных станков (рис. 1.9–1.17), могут иметь различные конструкции и компоновки в зависимости от типа станка, выполняемых операций, вида и направлений подачи.

Многоцелевые станки имеют крестовый стол с горизонтальными продольной и поперечной подачами, при этом продольная подача сообщается непосредственно столу (см. рис. 1.11), а поперечная – через его салазки (см. рис. 1.9 и 1.10). Также эти станки имеют шпиндельную бабку с вертикальной подачей, которая может перемещаться самостоятельно по направляющим базовой детали или с помощью салазок (см. рис. 1.12).

Токарные станки с ЧПУ имеют крестовый суппорт, обычно несущий револьверную головку, устанавливающийся на салазки и перемещающийся по их направляющим, а сами салазки устанавливаются на направляющие базовой детали. Эти станки могут иметь горизонтальную, наклонную и вертикальную компоновку, и их компоновке соответствует расположение приводов подач суппорта, салазок и каретки. Приводы подач обеспечивают продольные подачи, а также поперечные горизонтальные, наклонные и вертикальные. Продольная подача сообщается суппорту салазками по направляющим базовой детали (см. рис. 1.13, 1.14 и 1.15), а поперечная и наклонная подача – в отличие от многоцелевых станков (см. рис. 1.16 и 1.17) непосредственно суппорту по направляющим салазок.

Каждый привод подач станков с ЧПУ кроме определенного вида компоновки также имеет свои конструктивные особенности, которые описываются на приведенных рисунках их проектных конструкций (см. рис. 1.9–1.17). Этот ряд особенностей конструкций приводов подач в общем случае зависит от вида компоновки, а также типа и места расположения их основных составных элементов с учетом оптимизации габаритных размеров и кинематических и динамических характеристик.

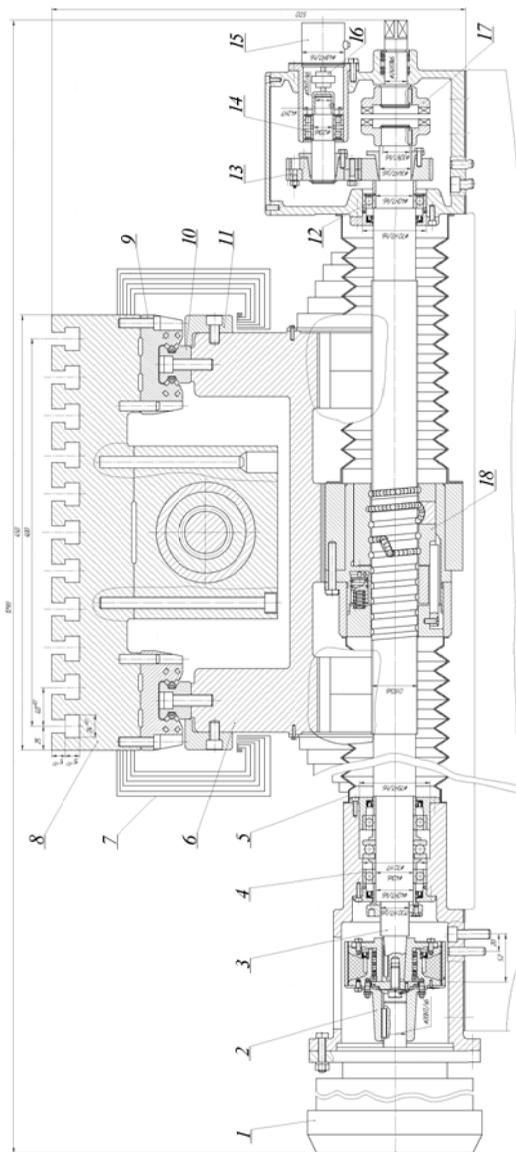


Рис. 1.9. Крестовый стол 8 с горизонтальным приводом поперечной подачи салазок 6 многоцелевого станка с ЧПУ;

- со специальной муфтой 2 соединения вала регулируемого электродвигателя 1 и ходового винта 3;
- передней фиксирующей опорой ходового винта 3 с комплектом из двух радиальных и одного упорного шариковых подшипников 4 и задней плавающей - с одним радиальным шариковым подшипником 12;
- гармоникообразной защитой ходового винта 5 и телескопической - направляющих 7;
- рельсовыми роликовыми направляющими с циркуляцией тел качения с кареткой 9, шиной 10 и прижимной планкой 11;
- безззорной цилиндрической зубчатой передачей 13 датчика обратной связи 15 на радиальных подшипниках 14 и с муфтой 16;
- редуктором ручных перемещений с кулачковой муфтой 17 со стороны задней опоры ходового винта;
- передачей винт-гайка качения с двумя гайками со специальным механизмом создания предварительного натяга 18



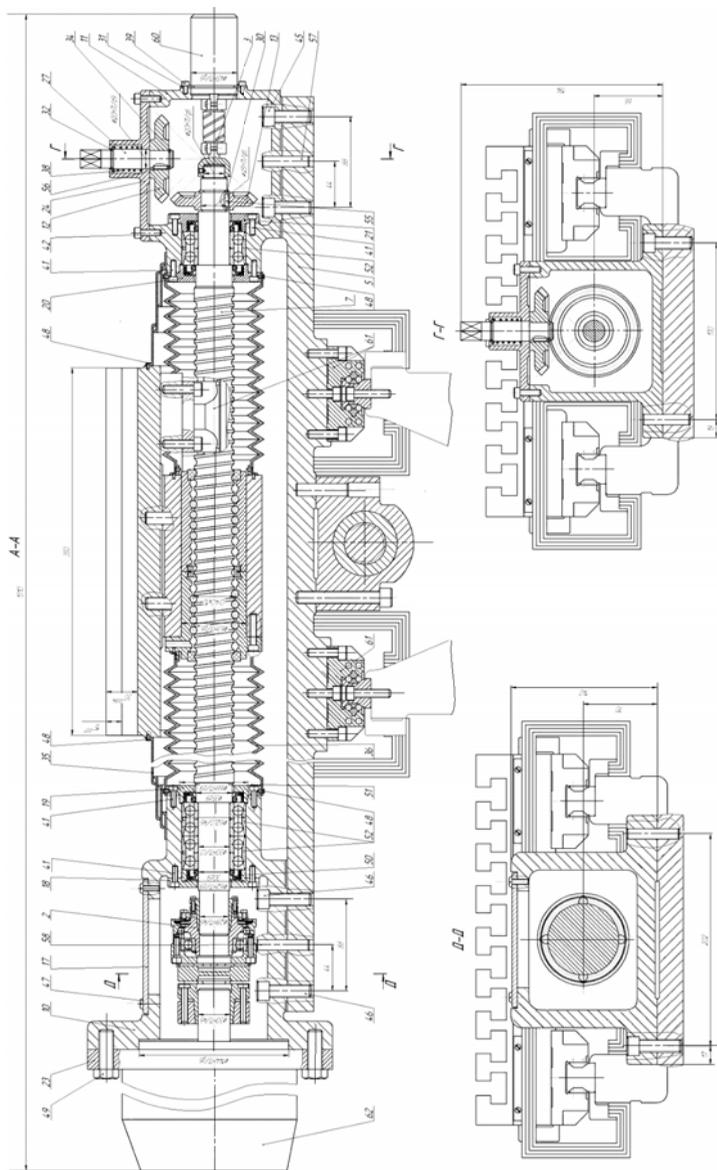


Рис. 1.11. Крестовый стол с горизонтальным приводом продольной подачи многоцелевого сверлильно-фрезерно-расточного станка с ЧПУ с продольным разрезом по ходовому винту и с поперечными разрезами по механическим редукторам

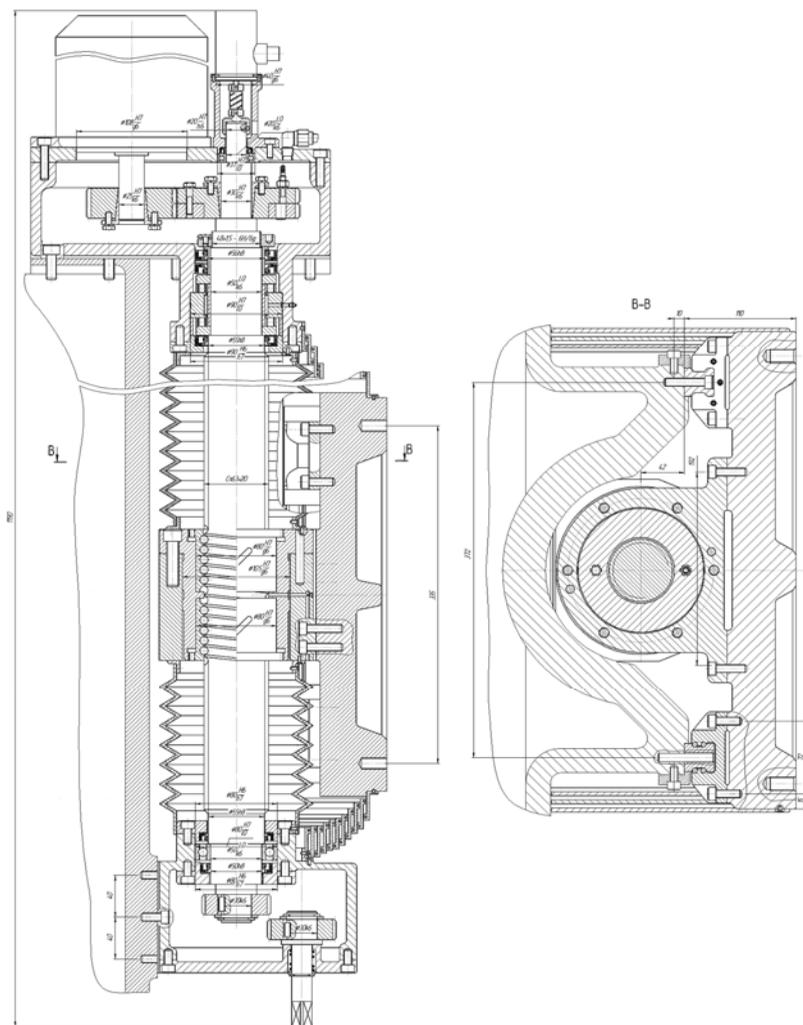


Рис. 1.12. Привод вертикальной подачи шпиндельной бабки многоцелевого станка: с редуктором с беззорной цилиндрической зубчатой передачей; одной фиксирующей опорой ходового винта с комбинированным радиально-упорным роликовым и второй плавающей опорой с радиальным шариковым подшипником; цилиндрическим зубчатым редуктором ручных перемещений; передачей винт-гайка качения с двумя гайками; телескопической защитой направляющих и гармоникообразной ходового винта

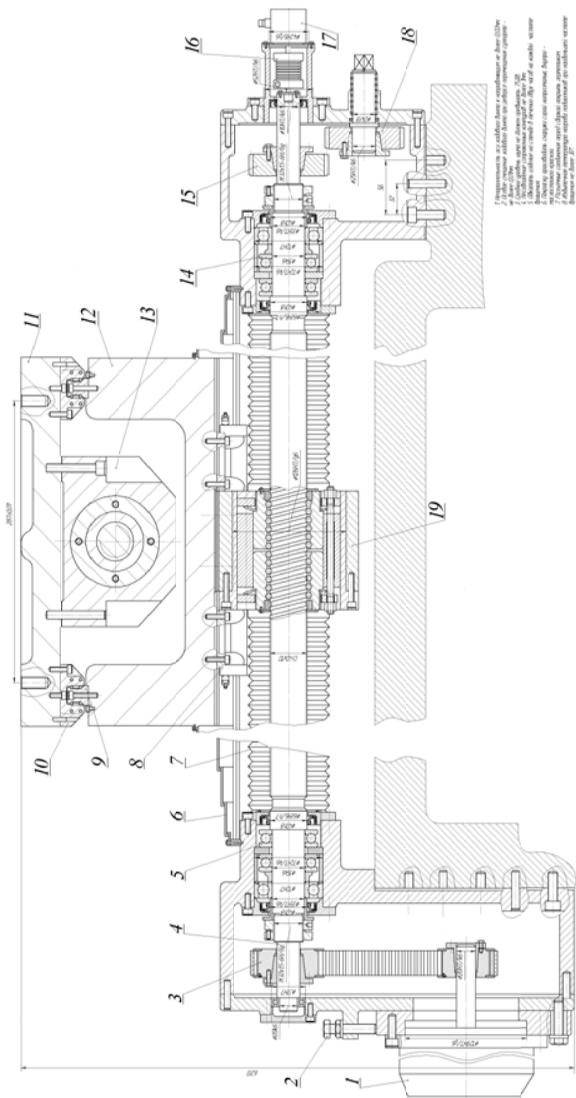


Рис. 1.13. Крестовый суппорт 11 с горизонтальным приводом продольной подачи салазок 12 токарного станка с ЧПУ: с механическим редуктором с электродвигателем 1, ременной зубчатой передачей 3 и регулировочным винтом 2 натяжения ремня; обемными фиксирующими опорами ходового винта 4 с комплектом из двух упорных и радиального шариковых подшипников 5 и 14; телескопической защитой направляющих 6 и гармоникообразной – ходового винта 7; рельсовыми шариковыми направляющими с циркуляцией тел качения с каретками 8 и 9 и шинами 10; тяговым механизмом привода поперечной подачи 13 суппорта; цилиндрическим зубчатым редуктором ручных перемещений с колесами 15 и 18 и муфтой 16 датчика обратной связи 17; передачей винт-гайка качения с двумя гайками со специальным механизмом создания предварительного натяга 19

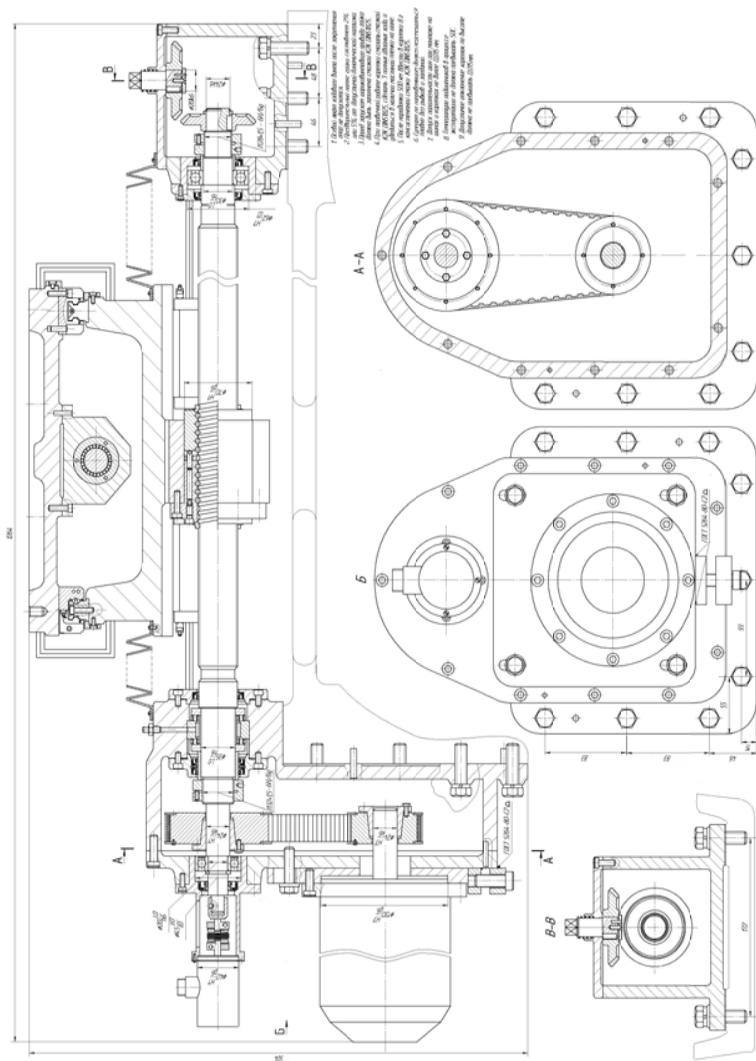


Рис. 1.14. Крестовый суппорт с горизонтальным приводом продольной подачи салазок токарного станка с ЧПУ с продольным разрезом по ходовому винту и поперечными разрезами по механическим редукторам

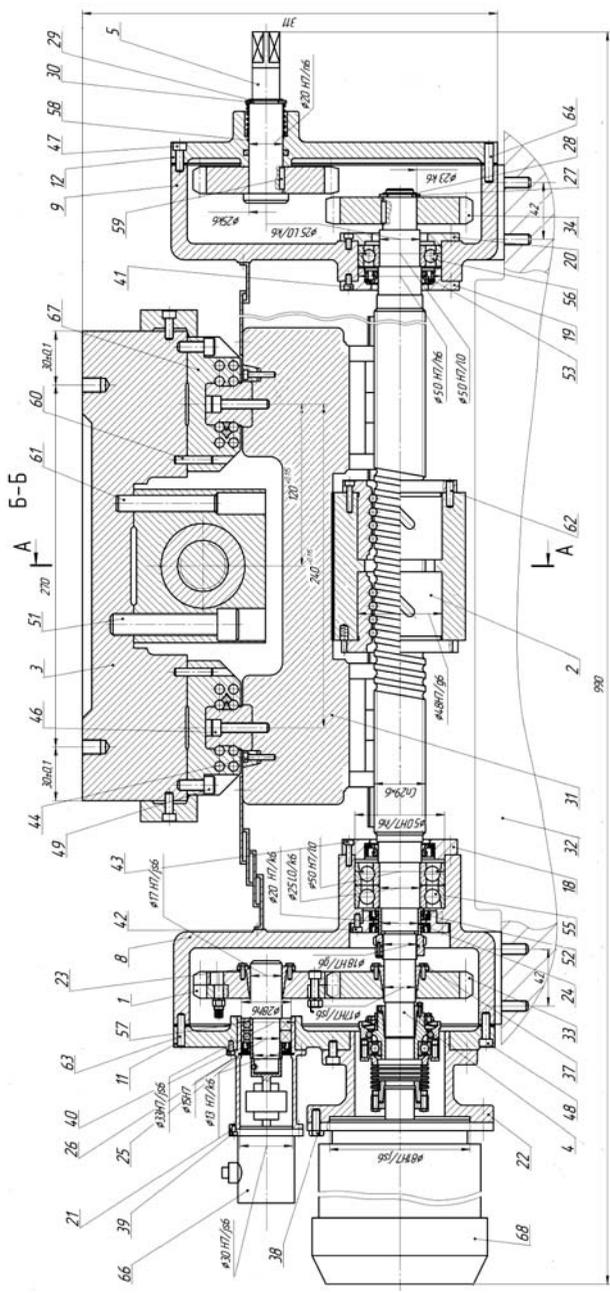


Рис. 1.15. Крестовый суппорт с горизонтальным приводом продольной подачи салазок токарного станка с ЧПУ :

- с шариковой предохранительной муфтой прямого соединения двигателя и ходового винта;
- передней фиксирующей опорой ходового винта с радиально-упорными шариковыми подшипниками и задней плавающей опорой с радиальным шариковым подшипником;
- цилиндрическим зубчатым редуктором ручных перемещений;
- передачей винт-гайка качения с двумя гайками со специальным механизмом создания натяга



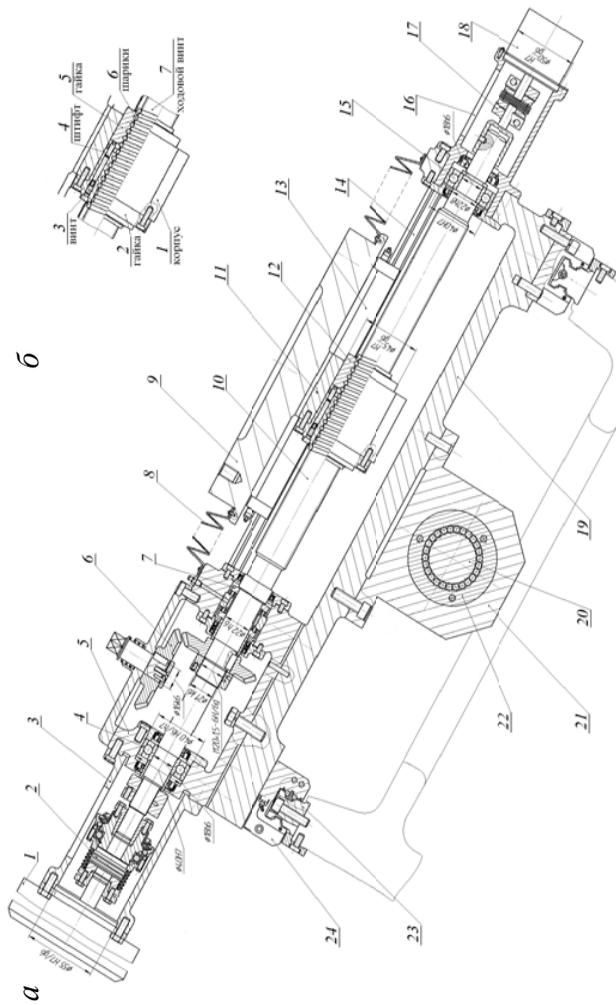


Рис. 1.17. Крестовый суппорт (а) с наклонным приводом поперечной подачи каретки 9 по салазкам 19 токарного станка с ЧПУ и передачей винт-чайка качения (б):  
 с редуктором 3 предохранительной муфты 2 прямого соединения вала электродвигателя 1 и ходового винта 10; фиксирующей 7 и плавающими – 4 и 15 опорами ходового винта; редуктором ручных перемещений 5 с коническими колесами 6; передней винт-гайка качения 11 с двумя гайками 12; рельсовыми направляющими с каретками 13, 24, шинами 14, 23 и защитой 8; редуктором 16 датчика обратной связи 18 с муфтой 17; ходовым винтом 20, гайкой 22 и корпусом 21 передачи продольной подачи

В приводах подач станков с ЧПУ в общем случае могут применяться различные конструкции следующих составных элементов:

а) специальных присоединительных и предохранительных муфт от вала электродвигателя к валу редуктора или ходовому винту;

б) механических встроенных или автономных редукторов с беззазорными зубчатыми передачами и центрирующими коническими втулками для передачи крутящих моментов или вообще с прямым соединением вала электродвигателя с ходовым винтом;

в) передач винт-гайка качения с различными способами регулирования зазора и создания натяга между рабочими поверхностями резьбы винта и гайки и телами качения с одной или двумя гайками;

г) опор ходового винта в виде фиксирующей, плавающей и опоры со свободным концом с различными комплектами шариковых радиальных, радиально-упорных и упорных подшипников и со специальными комбинированными радиально-упорными роликовыми подшипниками и видами их установки;

д) цилиндрических и конических редукторов ручных перемещений с их расположением со стороны передней или задней опоры ходового винта;

е) рельсовых шариковых и роликовых направляющих с циркуляцией тел качения с различными способами установки и крепления шин и кареток на рабочий орган и базовую деталь;

ж) присоединительных стаканов датчиков обратной связи и вариантами их расположения со стороны передней или задней опоры ходового винта и соединением датчиков через цилиндрический зубчатый редуктор или напрямую с ходовым винтом;

з) гармоникообразной и телескопической защиты от загрязнений шин рельсовых направляющих и ходовых винтов передач винт-гайка качения.

## **1.6. Беззазорные зубчатые передачи приводов подач**

В приводах подач станков с ЧПУ для обеспечения точного позиционирования положения рабочего органа, с учетом реверсивного процесса его работы, применяются беззазорные передачи, которые обеспечивают исключение зазора в зубчатом зацеплении колес. Эти передачи имеют различные конструкции и принципы работы, однако обычно в передачах для выбора зазора в зубчатом зацеплении

применяется зубчатое колесо с двумя венцами. Для выбора зазора в зубчатом зацеплении зубчатые венцы поворачиваются друг относительно друга в разные стороны с помощью специальных устройств и исключается зазор в зацеплении. Устройства поворота венцов зубчатых колес могут иметь разные конструкции, в которых применяются эксцентриковые пальцы и втулки или различные конструкции пружин. Для относительного поворота зубчатых венцов могут применяться, например, эксцентриковый палец с фиксирующей гайкой (рис. 1.18, *а*), а также пружины с креплением их на элементах, обращенных вовнутрь (рис. 1.18, *б*), и с креплением на штифтах, установленных на разных венцах зубчатых колес (рис. 1.18, *в*).

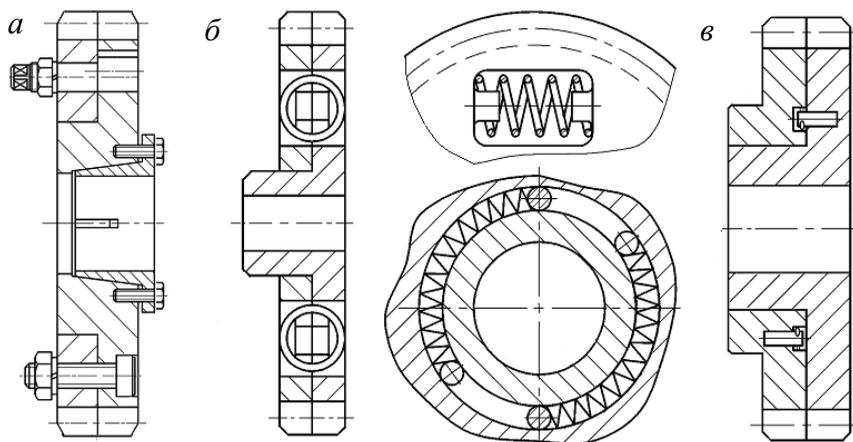


Рис. 1.18. Зубчатые колеса беззазорных передач с двумя венцами с их относительным поворотом эксцентриковым пальцем (*а*) и пружинами (*б*) и (*в*)

Беззазорная передача с двумя взаимосвязанными зубчатыми колесами 2 и 3 (рис. 1.19, *а*) имеет эксцентриковую втулку 1 и крепежный винт 4. Для регулирования зазоров в зубчатом зацеплении эксцентриковая втулка 1 поворачивается на определенный угол и поворачивает колесо 2 относительно колеса 3, при этом после регулировки колеса закрепляются винтом 4.

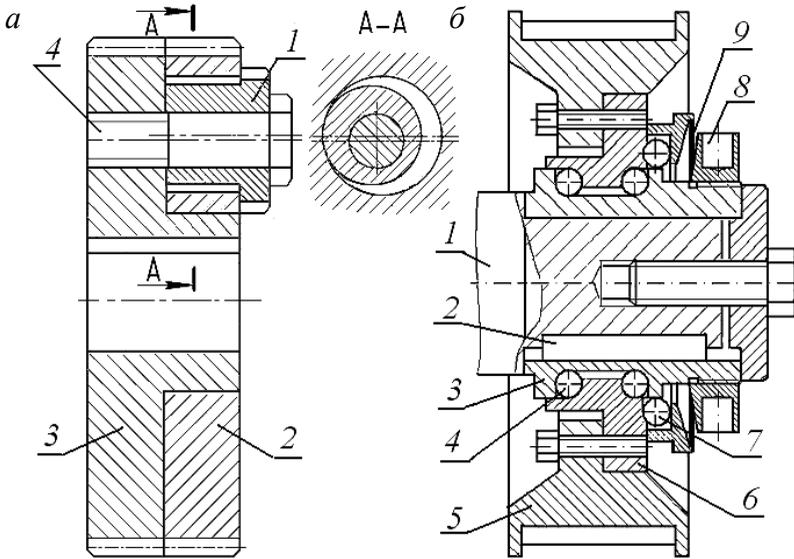


Рис. 1.19. Безззорная передача с двумя зубчатыми колесами с эксцентриковой втулкой (а) и шариковая предохранительная муфта для зубчатых ременных передач (б)

Зубчатые ременные передачи приводов подач могут иметь шариковую предохранительную муфту (рис. 1.19, б) с зубчатым шкивом 5, который приводится во вращение от вала 1 через шпонку 2, полумуфту 3, рабочие шарики 7 и полумуфту 6. В случае перегрузки привода полумуфта 6 затормаживается и рабочие шарики 7, преодолевая усилие тарельчатой пружины 9, отрегулированной гайкой 8, отжимаются и проскальзывают. При этом полумуфта 3 свободно вращается на шариках 4 относительно полумуфты 6 со шкивом 5.

### 1.7. Предохранительные муфты приводов подач

Чтобы исключить аварийные ситуации с приводом при перегрузке рабочего органа, в приводах подач станков с ЧПУ применяются специальные предохранительные муфты. В качестве предохранительных муфт обычно применяются шариковые, принцип работы которых заключается в том, что при перегрузке привода шарики, находящиеся между полумуфтами и передающие крутя-

щий момент, отжимаются и проскальзывают относительно полумуфт. Для регулирования величины передаваемого крутящего момента имеется специальная пружина, усилие которой задается фиксируемой регулировочной гайкой. Полумуфты обычно устанавливаются на валы на конических втулках, обеспечивающих передачу крутящих моментов и хорошее центрирование. В приводах подач применяются, например, шариковые сальфонные (рис. 1.20) и упругие (рис. 1.21 и 1.22) предохранительные муфты, которые обеспечивают соединение вала электродвигателя с входным валом механического редуктора или с ходовым винтом.

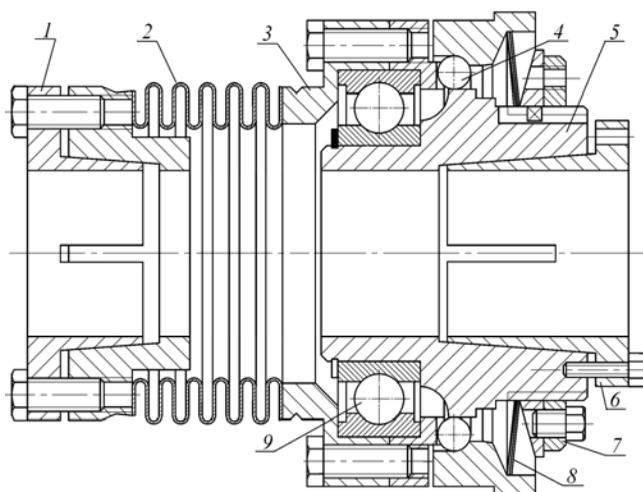


Рис. 1.20. Предохранительная шариковая сальфонная муфта с коническими втулками

Сальфонная шариковая предохранительная муфта (см. рис. 1.20) имеет конические втулки 1 и 6, сальфон 2, полумуфты 3 и 5, рабочие шарики 4, регулировочную гайку 7, тарельчатую пружину 8 и радиальный шариковый подшипник 9, установленный между полумуфтами 3 и 5. В процессе работы муфты крутящий момент с ведущего вала через центрирующую коническую втулку 1 передается на сальфон 2 и далее на полумуфту 3 и через рабочие шарики 4, находящиеся в канавках, на полумуфту 5, коническую втулку 6 и на выходной вал. В случае перегрузки привода подач полумуфта 3 вра-

щается, а 5 – тормозится и рабочие шарики 4 выдвигаются из канавок в осевом направлении, преодолевая усилие тарельчатой пружины 8, отрегулированное гайкой 7. При этом полумуфта 1 будет свободно вращаться на подшипнике 9 относительно заторможенной полумуфты 5 в связи с проскальзыванием шариков 4 относительно канавок и привод предохраняется от перегрузки и поломки.

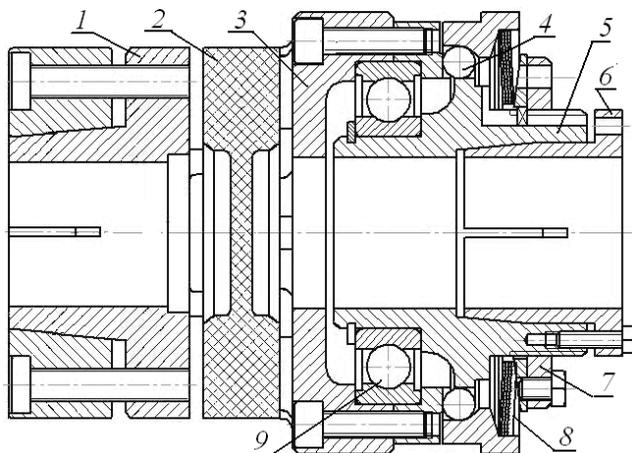


Рис. 1.21. Предохранительная шариковая упругая муфта с коническими втулками

Предохранительная упругая шариковая муфта (рис. 1.21) имеет такую же конструкцию и принцип работы, как и сильфонная шариковая (см. рис. 1.20), только вместо сильфона в ней устанавливается упругий элемент 2. Упругие элементы в общем случае могут быть металлические или резиновые с высокой эластичностью и большим внутренним трением. Они имеют возможность амортизировать толчки и удары, демпфировать колебания и компенсировать неточности взаимного расположения соединяемых валов.

Предохранительная шариковая муфта с упругим элементом с комплектом тарельчатых пружин 6 (рис. 1.22) имеет полумуфту 1, которая через упругие элементы 2 передает крутящий момент на полумуфту 3 и далее через рабочие шарики 4 – на полумуфты 5 и 7. При перегрузках рабочие шарики 4 выдвигаются из канавок, преодолевая усилие комплекта тарельчатых пружин, настроенное регу-

лировочной гайкой 8. При этом полумуфта 3 свободно вращается на шариках 9 относительно неподвижной полумуфты 5, а рабочие шарики проскальзывают относительно канавок на полумуфтах 3 и 5.

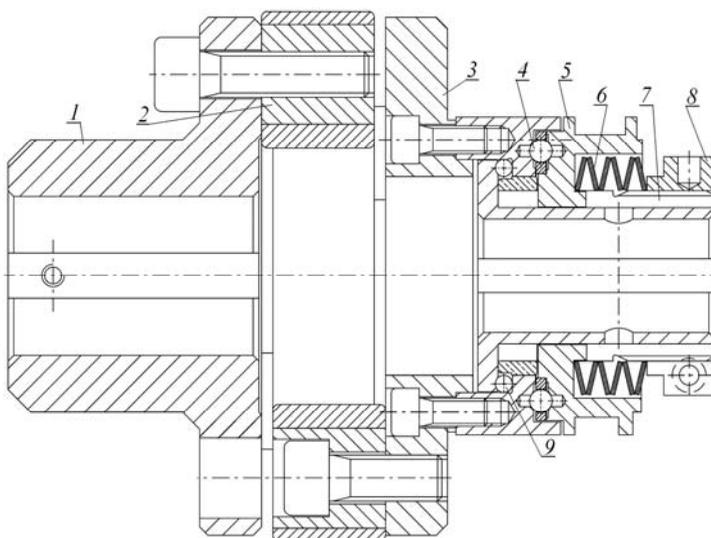


Рис. 1.22. Предохранительная шариковая муфта с упругим элементом и комплектом тарельчатых пружин

## 1.8. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с особенностями конструкции и кинематикой приводов подач с токарных, вертикально-сверлильных и горизонтальных консольно-фрезерных станков лаборатории.

2. Записать расчетные перемещения и в общем виде – уравнение кинематического баланса приводов подач указанных станков.

3. Изучить конструкции и кинематику приводов подач станков с ЧПУ по сборочным чертежам (см. рис. 1.9–1.17) и реальным образцам.

4. Составить кинематические схемы приводов подач станков с ЧПУ (см. рис. 1.9–1.17), обозначить основные элементы, описать их назначение и особенности конструкции.

5. Изучить конструкцию и структуру реальных приводов подач токарных станков с ЧПУ моделей 16А20Ф3 и 16К20Ф3 (рис. 1.23–1.26).

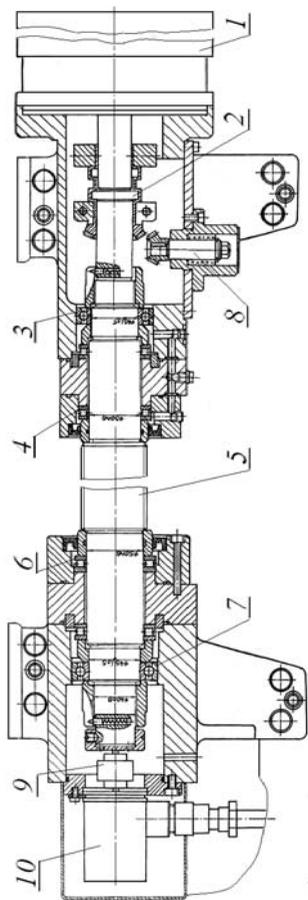


Рис. 1.23. Привод продольной подачи салазок суппорта токарного станка с ЧПУ модели 16A20Ф3

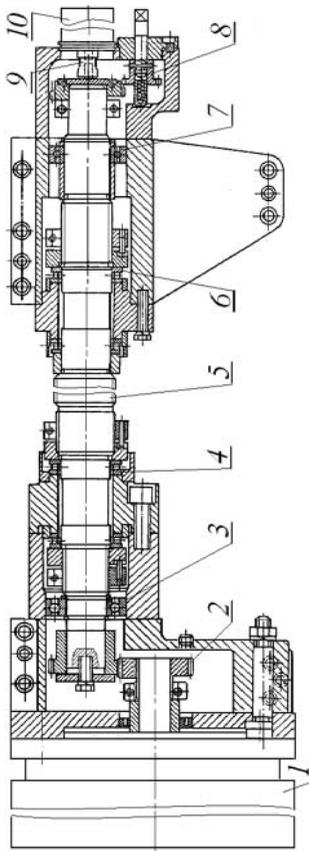


Рис. 1.24. Привод продольной подачи салазок суппорта токарного станка с ЧПУ модели 16K20Ф3

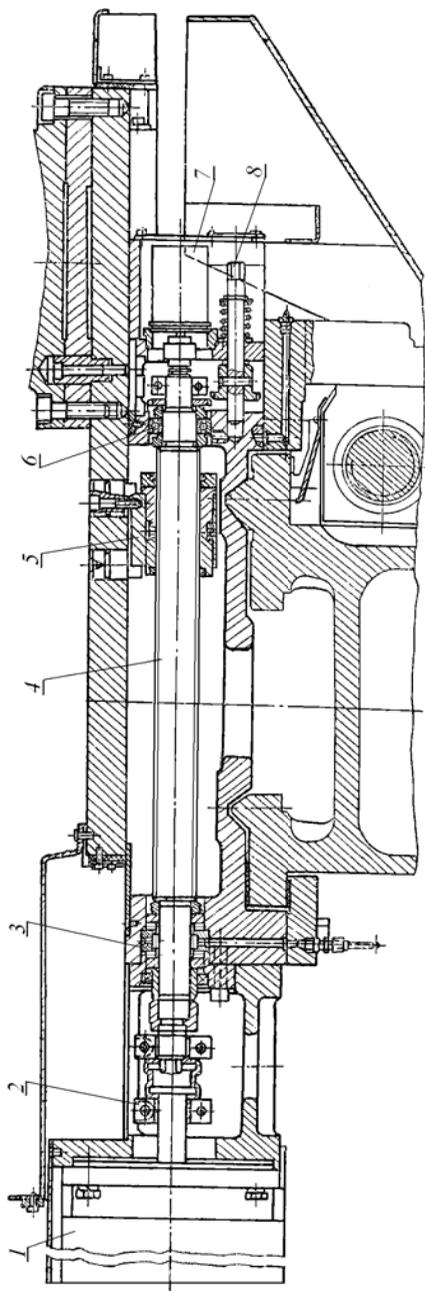


Рис. 1.25. Привод поперечной подачи суппорта токарного станка с ЧПУ модели 16A20Ф3 :

- с регулируемым электродвигателем 1;
- специальной присоединительной муфтой 2;
- фиксирующей опорой ходового винта с комбинированным радиально-упорным роликовым подшипником 3;
- ходовым винтом 4;
- передачей винт-гайка 5;
- плавающей опорой ходового винта с радиальным шариковым подшипником 6;
- датчиком обратной связи 7;
- цилиндрическим зубчатым редуктором ручных перемещений суппорта 8

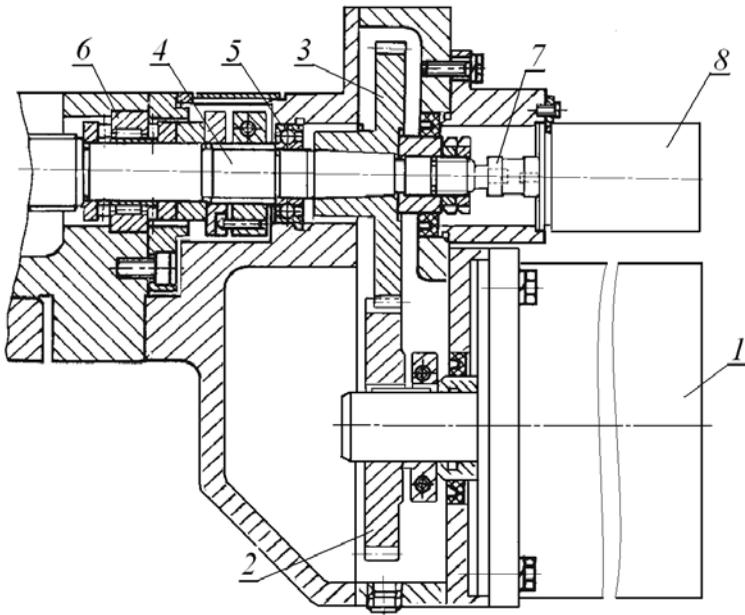


Рис. 1.26. Привод поперечной подачи суппорта токарного станка с ЧПУ модели 16К20Ф3

с электродвигателем 1, зубчатой цилиндрической передачей 2 и 3, ходовым винтом 4, радиальным шариковым подшипником 5 и радиально-упорным роликовым 6, присоединительной муфтой 7 и датчиком обратной связи 8

Тяговые механизмы приводов продольной подачи указанных токарных станков имеют следующие элементы: регулируемый электродвигатель 1; редуктор с цилиндрической зубчатой передачей или присоединительной муфтой 2; радиальные шариковые подшипники 3 и 7 в опорах ходового винта комплекты упорных роликовых подшипников 4 и 6 в опорах ходового винта; ходовой винт 5 передачи винт-гайка качения; цилиндрический или конический редуктор 8 ручных перемещений рабочего органа; присоединительную муфту 9 датчика; датчик 10 обратной связи.

6. Составить кинематические схемы приводов подач указанных токарных станков с ЧПУ и описать структуру их приводов (рис. 1.27, 1.28).

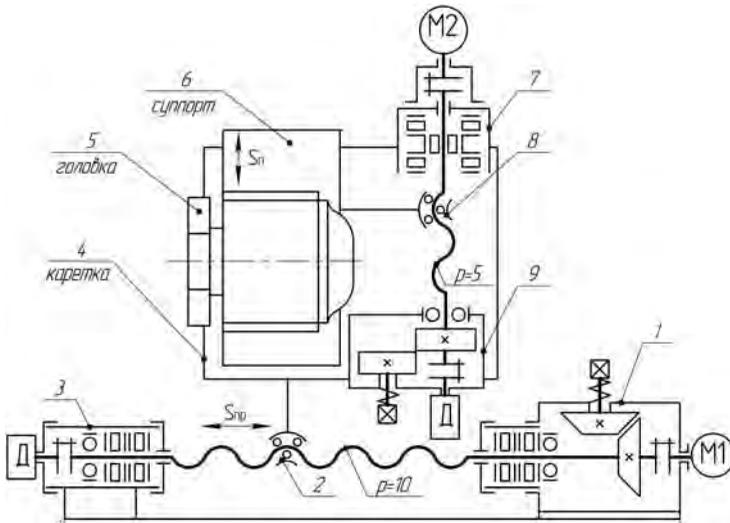


Рис. 1.27. Кинематические схемы автономных приводов продольной и поперечной подач крестового суппорта токарного станка с ЧПУ модели 16A20Ф3

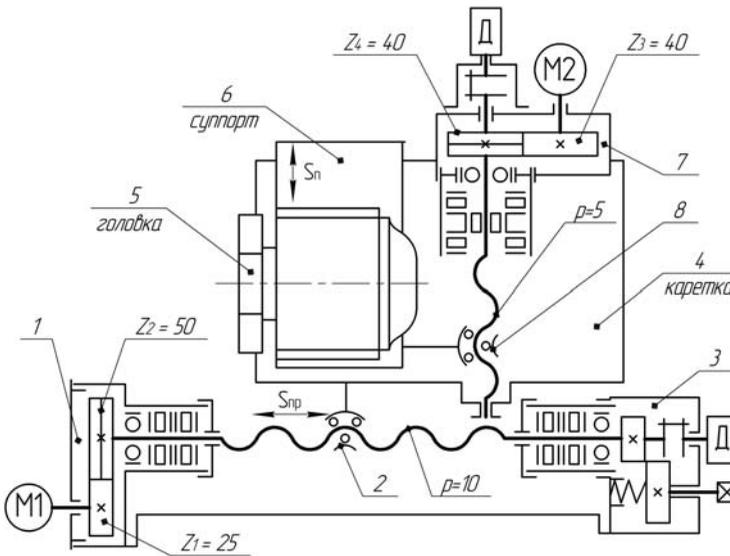


Рис. 1.28. Кинематические схемы автономных приводов продольной и поперечной подачи крестового суппорта токарного станка с ЧПУ модели 16K20Ф3

Приводы продольной и поперечной подачи токарного станка с ЧПУ модели 16К20Ф3 (см. рис. 1.28) имеют следующие основные составные части: редуктор 1 с приводным двигателем М1, беззазорной зубчатой передачей и комплектом подшипников левой опоры ходового винта продольной подачи; передачу винт-гайка качения 2 продольной подачи; редуктор с датчиком обратной связи, присоединительной муфтой, зубчатой передачей ручных перемещений и комплектом подшипников правой опоры ходового винта 3; каретку продольной подачи суппорта по направляющим станины 4; инструментальную автоматическую головку 5; суппорт поперечной подачи головки по направляющим каретки 6; редуктор с приводным двигателем М2, беззазорной зубчатой передачей, датчиком обратной связи, присоединительной муфтой и комплектом подшипников передней опоры ходового винта поперечной подачи 7; передачу винт-гайка качения поперечной подачи 8.

7. Составить уравнения кинематического баланса приводов продольной и поперечной подачи и рассчитать фактические предельные частоты вращения электродвигателя для получения рекомендуемых минимальных и максимальных значений подач и скорости быстрого перемещения (см. рис. 1.27, 1.28).

Уравнения кинематического баланса приводов подач токарных станков с ЧПУ моделей 16К20Ф3 и 16А20Ф3 в общем случае будут иметь вид

$$(n_{э \min} - n_{э \text{н}}) \cdot i \cdot p = s_{э \min} - s_{э \max} \quad \text{и} \quad n_{э \max} \cdot i \cdot p = v_э$$

$$\text{или} \quad (n_{э \text{ s min}} - n_{э \text{ s max}}) \cdot i \cdot p = s_{\min} - s_{\max} \quad \text{и} \quad n_{э \text{ v}} \cdot i \cdot p = v,$$

Где  $n_{э \min} - n_{э \text{н}}$ ,  $n_{э \max}$  и  $n_{э \text{ s min}} - n_{э \text{ s max}}$ ,  $n_{э \text{ v}}$  – возможные и требуемые для данного привода подач частоты вращения регулируемого электродвигателя;

$i$  – передаточное отношение механического редуктора;

$p$  – шаг ходового винта передачи винт-гайка качения;

$s_{э \min} - s_{э \max}$ ,  $v_э$  и  $s_{\min} - s_{\max}$ ,  $v$  – возможные и рекомендуемые рабочие подачи и скорости быстрого перемещения рабочего органа для данного станка. При этом должно выполняться условие выбора электродвигателя по частотам

$$n_{э \text{ s min}} \geq n_{э \min}, \quad n_{э \text{ s max}} \leq n_{э \text{н}}, \quad n_{э \text{ s max}} \leq n_{э \text{ v}} \quad \text{и} \quad n_{э \text{ v}} \leq n_{э \max}.$$

Уравнения кинематического баланса приводов продольной и поперечной подачи токарного станка с ЧПУ модели 16К20Ф3 будут иметь вид

$$\left(n_{\text{э } 1 \text{ s min}} - n_{\text{э } 1 \text{ s max}}\right) \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot p_{\text{пр}} = s_{\text{пр min}} - s_{\text{пр max}}; \quad n_{\text{э } 1 \text{ в}} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot p_{\text{пр}} = v_{\text{пр}}$$

и

$$\left(n_{\text{э } 2 \text{ s min}} - n_{\text{э } 2 \text{ s max}}\right) \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot p_{\text{п}} = s_{\text{п min}} - s_{\text{п max}}; \quad n_{\text{э } 2 \text{ в}} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot p_{\text{п}} = v_{\text{п}},$$

а для приводов подач токарного станка модели 16А20Ф3 с прямым соединением вала электродвигателя и ходового винта, т. е. без редукторов, имеют вид

$$\left(n_{\text{э } 1 \text{ s min}} - n_{\text{э } 1 \text{ s max}}\right) \cdot p_{\text{пр}} = s_{\text{пр min}} - s_{\text{пр max}}; \quad n_{\text{э } 1 \text{ в}} \cdot p_{\text{пр}} = v_{\text{пр}}$$

и

$$\left(n_{\text{э } 2 \text{ s min}} - n_{\text{э } 2 \text{ s max}}\right) \cdot p_{\text{п}} = s_{\text{п min}} - s_{\text{п max}}; \quad n_{\text{э } 2 \text{ в}} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot p_{\text{п}} = v_{\text{п}},$$

Где  $n_{\text{э } 1 \text{ s min}}$ ,  $n_{\text{э } 1 \text{ s max}}$ ,  $n_{\text{э } 1 \text{ в}}$  и  $n_{\text{э } 2 \text{ s min}}$ ,  $n_{\text{э } 2 \text{ s max}}$ ,  $n_{\text{э } 2 \text{ в}}$  – частоты вращения регулируемого электродвигателя, требуемые для продольного и поперечного привода подач;

$z_1$ ,  $z_2$  и  $z_4$  – числа зубьев колес редуктора продольной и поперечной подачи:  $z_1 = 25$ ,  $z_2 = 50$  и  $z_3 = 40$ ,  $z_4 = 40$ ;

$p_{\text{пр}}$  и  $p_{\text{п}}$  – шаг ходового винта передачи винт-гайка качения продольной и поперечной подачи:  $p_{\text{пр}} = 10$  мм и  $p_{\text{п}} = 5$  мм;

$s_{\text{пр min}}$ ,  $s_{\text{пр max}}$ ,  $v_{\text{пр}}$  и  $s_{\text{п min}}$ ,  $s_{\text{п max}}$ ,  $v_{\text{п}}$  – рекомендуемые по техническим характеристикам токарного станка модели 16К20Ф3 рабочие подачи и скорости быстрого перемещения продольного и поперечного привода подач рабочего органа:  $s_{\text{пр min}} = 10$ ;  $s_{\text{пр max}} = 2000$ ;  $v_{\text{пр}} = 7500$  и  $s_{\text{п min}} = 5$ ;  $s_{\text{п max}} = 1000$ ;  $v_{\text{п}} = 5000$  мм/мин;

$n_{\text{э min}}$ ,  $n_{\text{э н}}$  и  $n_{\text{э max}}$  – возможные частоты вращения регулируемого электродвигателя для данного привода подач:  $n_{\text{э min}} = 1,0$ ;  $n_{\text{э н}} = 500$  и  $n_{\text{э max}} = 2000 \text{ мин}^{-1}$ .

## 1.9. Содержание отчета

1. Структурные схемы приводов подач с различной кинематикой согласно заданию.

2. Конечные звенья, расчетные перемещения и в общем виде – уравнения кинематического баланса приводов с коробкой подач, механическим редуктором и с прямым соединением через муфту вала регулируемого электродвигателя и ходового винта указанных станков.

3. Кинематические схемы приводов подач станков с ЧПУ, составленные по сборочным чертежам и реальным образцам, с обозначенными основными элементами и описание их конструктивных особенностей.

4. Кинематические схемы приводов продольной и поперечной подачи токарных станков с ЧПУ модели 16А20Ф3 и 16 К20Ф3 и описание основных элементов их структуры.

5. Уравнения кинематического баланса приводов подач указанных токарных станков с ЧПУ и расчет фактических предельных частот вращения электродвигателя для получения рекомендуемых минимальных и максимальных значений подач и скорости быстрого перемещения.

## 1.10. Контрольные вопросы

1. Как в приводах станков конструктивно обеспечивается ступенчатое и бесступенчатое регулирование значений подач?

2. Какие бывают размерности подач рабочего органа и от чего они зависят?

3. Каковы основные составляющие элементы конструкций приводов подач различных станков и чем отличаются их структуры?

4. Кинематические схемы приводов подач станков с ЧПУ и конструктивные особенности всех составляющих элементов.

5. Чем отличаются структура и кинематика приводов продольной и поперечной подачи токарных станков с ЧПУ моделей 16А20Ф3 и 16К20Ф3?

6. Как по предельным частотам вращения и крутящим моментам выбирается регулируемый электродвигатель для привода подач станков с ЧПУ?

## **2. КОНСТРУКЦИИ ТЯГОВЫХ МЕХАНИЗМОВ ПРИВОДОВ ПОДАЧ**

### **2.1. Цель лабораторной работы**

В процессе выполнения лабораторной работы по изучению конструкций тяговых механизмов приводов подач ставится цель:

а) изучить типовые тяговые механизмы приводов подач и особенности их конструкций;

б) научиться по конструкциям и реальным образцам передачи винт-гайка качения составлять схемы регулирования зазоров и создания натяга в зоне контакта тел качения и рабочих поверхностей резьбы винта и гайки;

в) уметь подбирать оптимальные конструкции передачи винт-гайка качения и способы регулирования зазоров в этих передачах;

г) знать виды тяговых механизмов приводов подач, принципы их работы и различные способы регулирования зазоров и создания натяга передачи винт-гайка качения.

В данной лабораторной работе на реальном токарно-винторезном, токарном с ЧПУ, вертикально-сверлильном и зубодолбежном станке предлагается ознакомиться с особенностями конструкций тяговых механизмов приводов подач и вычертить их схемы, по сборочным чертежам и реальным образцам изучить конструкции передач винт-гайка качения и составить схемы регулирования зазоров и создания натяга согласно заданию.

### **2.2. Виды тяговых механизмов**

#### ***2.2.1. Назначение тяговых механизмов приводов подач***

Тяговые механизмы непосредственно обеспечивают движение подачи рабочего органа, при этом они обычно преобразуют вращательное движение в поступательное. В приводе подач чаще применяются реечные передачи, передачи винт-гайка скольжения и качения, кулачковые механизмы и др.

### 2.2.2. Реечные тяговые механизмы приводов подач

Реечные передачи могут быть с вращающейся реечной шестерней и с поступательно перемещаемой рейкой, закрепленной на рабочем органе (рис. 2.1, *а*). При вращении реечная шестерня через зубчатое зацепление сообщает поступательное перемещение рейке (см. рис. 2.1, *а*), которая обеспечивает движение подачи  $s$  рабочему органу. Такие передачи используются в токарно-револьверных станках для подачи суппорта и вертикальных и радиально-сверлильных станках – для подачи пиноли со шпинделем. Кроме того, реечные передачи могут быть с совершающей плоское движение реечной шестерней, ось которой крепится к рабочему органу, а обкатывается шестерня по неподвижно закрепленной рейке (рис. 2.1, *б*). При вращении реечного колеса и обкатывании его по неподвижной рейке ось колеса получает поступательное движение и сообщает движение подачи рабочему органу (см. рис. 2.1, *б*). Такие реечные передачи используются в токарных винторезных и револьверных станках.

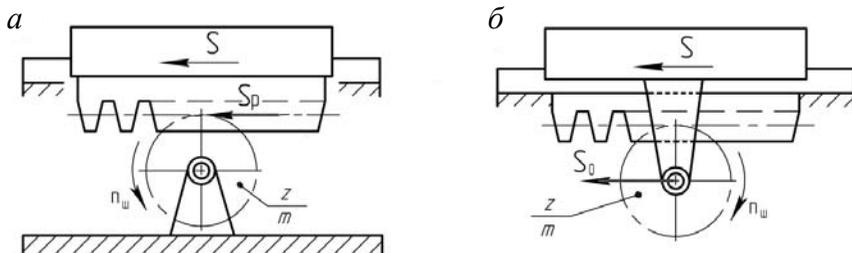


Рис. 2.1. Схемы реечных тяговых механизмов с вращательным (*а*) или плоскопараллельным относительно неподвижной рейки (*б*) движением реечной шестерни и с подачей  $s$  рабочего органа поступательно перемещаемой рейкой (*а*) или опорой шестерни (*б*)

Реечные тяговые механизмы развивают большие тяговые усилия, но не обеспечивают плавность перемещения, высокие скорости и самоторможение. Ход  $H$  этих механизмов определяется по формуле

$$H = \pi \cdot t \cdot z,$$

где  $t$  и  $z$  – модуль и число зубьев реечного колеса.

### 2.2.3. Тяговые механизмы приводов подач винт-гайка

В тяговых механизмах приводов подач применяются передачи винт-гайка скольжения (рис. 2.2 и 2.3) и качения (рис. 2.4). Эти тяговые механизмы могут быть с вращающимся ходовым винтом и поступательно перемещаемыми гайкой (рис. 2.2, *a* и 2.4, *a*) или самим винтом (рис. 2.2, *б*) и с вращающейся гайкой и поступательно перемещающимися самой гайкой (рис. 2.3, *a*) или ходовым винтом (рис. 2.3, *б* и 2.4, *б*).

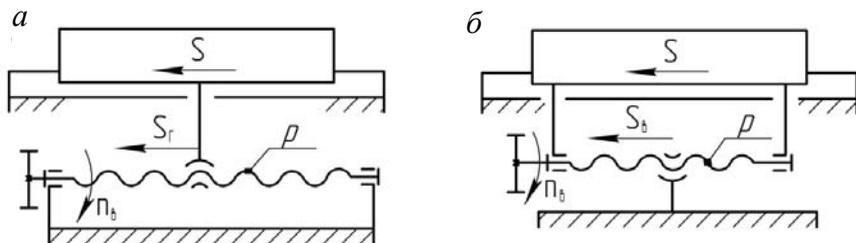


Рис. 2.2. Схемы тяговых механизмов винт-гайка скольжения с вращающимся ходовым винтом и подачей  $s$  рабочего органа поступательно перемещаемой гайкой (*a*) или ходовым винтом с осевым движением относительно неподвижной гайки (*б*)

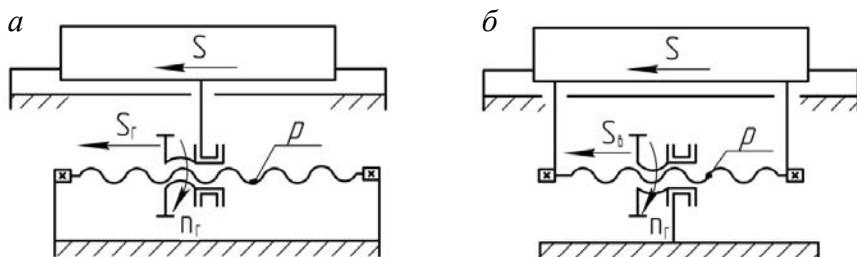


Рис. 2.3. Схемы тяговых механизмов винт-гайка скольжения с вращающейся гайкой и подачей  $s$  рабочего органа гайкой с осевым движением (*a*) или поступательно перемещаемым ходовым винтом (*б*)

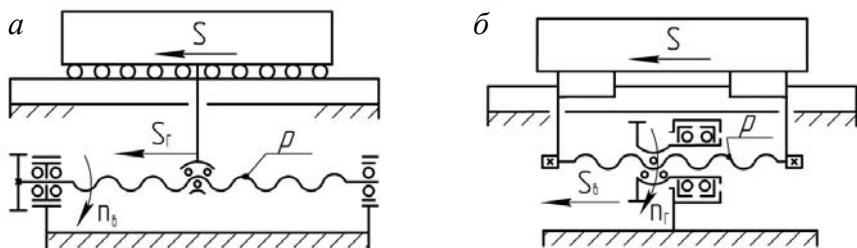


Рис. 2.4. Схемы тяговых механизмов винт-гайка качения с вращающимся ходовым винтом (а) или гайкой (б) и подачей  $s$  рабочего органа поступательно перемещаемыми гайкой (а) или ходовым винтом (б)

При вращении ходового винта гайка, прикрепленная к рабочему органу, перемещается поступательно и сообщает ему движение подачи (см. рис. 2.2, а и 2.4, а). Если ходовой винт, опоры которого закреплены на рабочем органе, вращается и перемещается относительно неподвижной гайки, то через них ему сообщается движение подачи (см. рис. 2.2, б).

Передачи винт-гайка скольжения обеспечивают хорошую плавность перемещения и самоторможение, но имеют низкий КПД и склонность к износу. Обычно они применяются в токарных и фрезерных станках.

Передачи винт-гайка качения дают высокую плавность перемещения, долговечность и высокий КПД, но имеют сложную конструкцию и сравнительно высокую стоимость. Применяются эти передачи в токарных и многооперационных станках с ЧПУ. Ход  $H$  передач винт-гайка

$$H = k \cdot p,$$

где  $k$  и  $p$  – число заходов и шаг ходового винта.

#### 2.2.4. Кулачковые тяговые механизмы приводов подач

В приводах подач могут применяться дисковые (рис. 2.5, а) и цилиндрические (рис. 2.5, б) кулачковые тяговые механизмы. Для обеспечения плавного движения рабочего органа профиль дискового кулачка выполняется по спирали Архимеда, а цилиндрического – по винтовой линии.

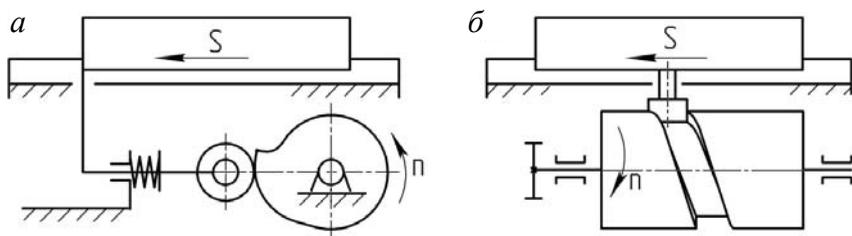


Рис. 2.5. Схемы кулачковых тяговых механизмов с вращающимися дисковым (а) или цилиндрическим (б) кулачками и с подачей  $s$  рабочего органа поступательно перемещаемыми толкателями

Ход  $H$  дискового кулачкового тягового механизма равен подъему на кулачке  $h$ , а цилиндрического – шагу винтовой линии  $p$ , т. е.  $H = h$  и  $H = p$ . Эти механизмы обеспечивают высокую надежность работы и применяются в токарных автоматах и полуавтоматах и зубообрабатывающих станках.

### 2.3. Назначение и принцип работы передачи винт-гайка качения

Передача винт-гайка качения широко применяется в приводах подач станков с ЧПУ в качестве тягового механизма для перемещения рабочего органа. Шариковинтовой механизм представляет собой замкнутую кинематическую цепь (рис. 2.6 и 2.7), в которой между рабочими винтовыми поверхностями винта 1 и гайки 2 помещены стальные шарики 3 и для обеспечения непрерывной циркуляции шариков концы рабочей части резьбы соединены каналом возврата 4 этих шариков.

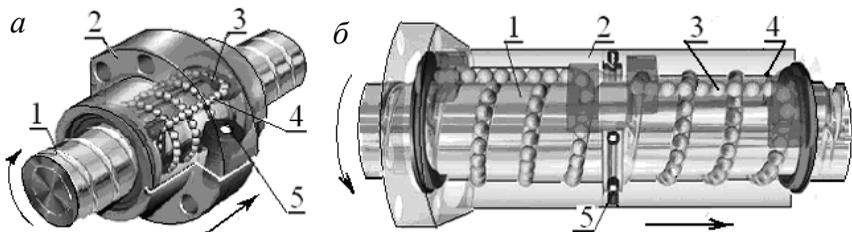


Рис. 2.6. Схемы работы передачи винт-гайка качения с циркуляцией шариков с одной (а) и двумя гайками (б)

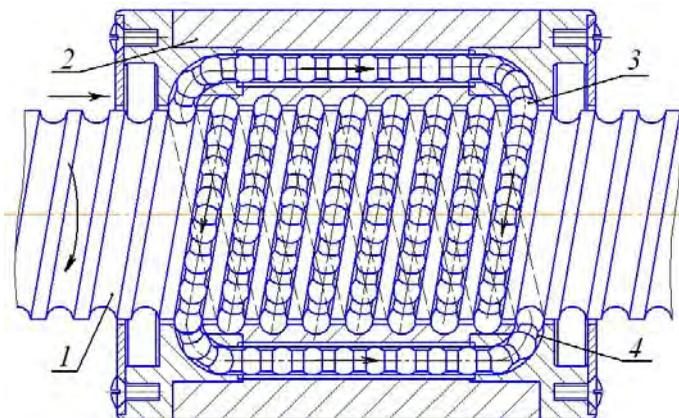


Рис. 2.7. Схема работы передачи винт-гайка качения с двумя каналами циркуляции шариков

Замкнутая кинематическая цепь имеет активную рабочую часть и пассивную в виде канала возврата тел качения. При вращении ходового винта тела качения, расположенные между рабочими поверхностями резьбы винта и гайки, через канал возврата будут циркулировать по всей замкнутой цепи. Эти тела качения будут сообщать гайке осевое перемещение и, соответственно, подачу рабочему органу. Кроме того передачи винт-гайка качения имеют регулировочные винты 5 для создания натяга в резьбовом шариковом соединении (см. рис. 2.6). Передачи винт-гайка качения могут иметь одну гайку (см. рис. 2.6, а и 2.7) или состоять из двух гаек (см. рис. 2.6, б), при этом может быть несколько каналов возврата тел качения, например два канала (см. рис. 2.7). Винтовые пары качения имеют низкие потери на трение, достаточно высокую жесткость и технологическую надежность.

#### 2.4. Конструкции передач и регулирование натяга в передачах винт-гайка качения

Для повышения точности привода подач при реверсах и его жесткости производится регулирование зазоров в резьбовом шариковом соединении передачи винт-гайка качения и создается натяг между телами качения и рабочими поверхностями резьбы ходового

винта и гайки. Предварительный натяг в передаче винт-гайка качения обеспечивает повышение жесткости передачи, но уменьшает ее долговечность из-за увеличения нагрузки на шарики и рабочие поверхности дорожек качения резьбы винта и гайки. Создание и регулирование натяга в передаче винт-гайка качения может осуществляться за счет изменения ее конструктивных параметров, таких как шаг резьбы, диаметр шариков при одной гайке, или специальными, предназначенными для этого устройствами, при двух гайках. Эти регулировочные устройства имеют разные принципы и схемы работы и процессы создания натяга за счет взаимного сближения гаек при их осевом перемещении или взаимном повороте.

Регулирование натяга может осуществляться при регулировании относительного осевого расположения гаек на ходовом винте при неизменном их угловом положении (рис. 2.8, *a* и *б*). При этом может иметь место осевое смещение одной из двух гаек при неподвижной второй (см. рис. 2.8, *a*) или обе гайки могут смещаться в осевом направлении как навстречу друг к другу, так и в противоположные стороны (см. рис. 2.8, *б*).

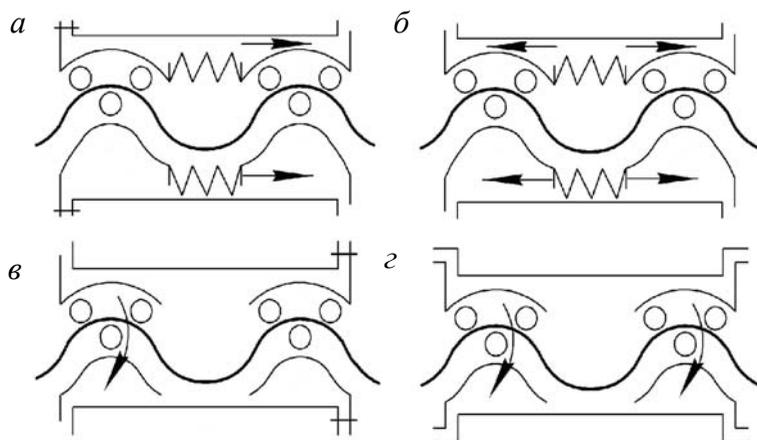


Рис. 2.8. Схемы регулирования натяга в передачах винт-гайка качения при осевом смещении одной (*a*) или двух (*б*) гаек или при относительном вращении одной (*в*) или двух (*г*) гаек

Также регулирование натяга может производиться при регулировании относительного углового расположения гаек угловым поворотом одной из гаек относительно неподвижной другой (рис. 2.8, в) или взаимным поворотом обеих гаек при неизменном их осевом положении (рис. 2.8, з).

Передачи винт-гайка качения могут иметь различные конструкции устройств регулирования зазоров и создания предварительного натяга в контакте тел качения и винтовых рабочих поверхностей резьбы винта и гайки. Ниже приведены примеры конструкций передач винт-гайка качения с различными видами устройств регулирования зазоров и создания натяга в шариковом резьбовом соединении винта и гайки.

Передача винт-гайка качения с осевым смещением гаек при регулировании натяга (рис. 2.9) имеет гайки 1 и 3, находящиеся в корпусе 8 под действием тарельчатых пружин 2. При этом гайка 1 фиксируется в корпусе винтами, а гайка 3 имеет подвижное шпоночное соединение 6 для осевого перемещения.

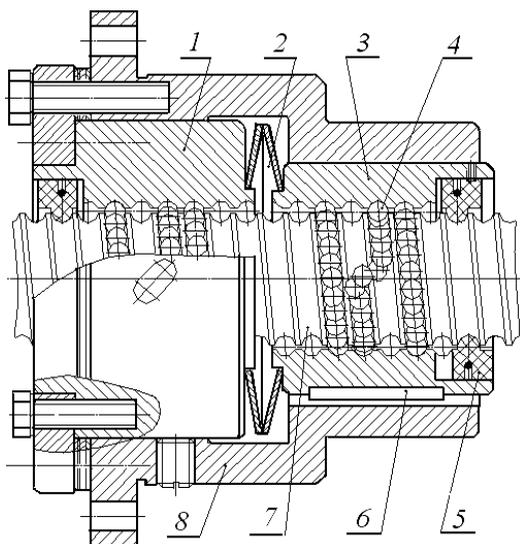


Рис. 2.9. Передача винт-гайка качения с осевым смещением гайки 3 под действием пружины 2 для регулирования натяга при фиксированной второй гайке 1 в корпусе 8

Тарельчатые пружины 2 предназначены для мягкой выборки зазора и создания постоянного натяга в контакте шариков 4 и резьбовом соединении гаек 1 и 3 и ходового винта 7 при осевом смещении гайки 3 в процессе работы передачи. Для защиты винтовой передачи от загрязнений применяются уплотнения 5, установленные в торцевой части гаек.

Передача винт-гайка качения с осевым смещением может иметь жесткую и мягкую выборку зазоров и регулировку натяга в передаче (рис. 2.10) соответственно регулировочной гайкой 3 и тарельчатыми пружинами 6 при осевом смещении обеих гаек 1 и 10 в корпусе 9 относительно ходового винта 2. При этом тарельчатые пружины 6 в шариковом резьбовом соединении винта и гайки при работе передачи обеспечивают постоянный мягкий натяг. Циркуляция шариков 5 и 7 осуществляется через специальные вкладыши 4 и 8 с каналами возврата тел качения, установленные в гайках 1 и 10.

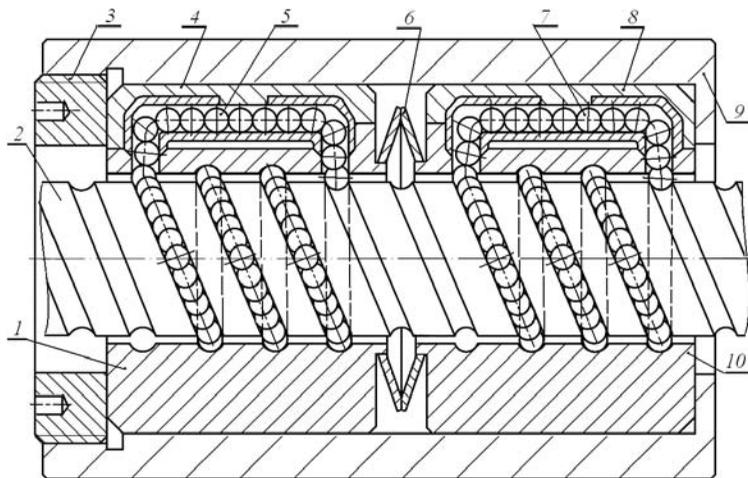


Рис. 2.10. Передача винт-гайка качения с осевым смещением обеих гаек 1 и 10 под действием тарельчатых пружин 6 для регулирования натяга

Передача винт-гайка качения с угловым поворотом гаек при регулировании натяга (рис. 2.11) имеет две гайки: 2 и 6. При этом гайка 2 может поворачиваться в корпусе 1 относительно ходового винта 5 и фиксироваться после регулировки подпружиненным штиф-

том 3, входящим в полукруглую выкружку в виде впадины на фланце гайки 2. Вторая гайка 6 жестко крепится к корпусу 1 винтами и, для исключения зазора, штифтом. При повороте гайки 2 фиксатор 3 отжимается, и она получает угловое перемещение, создавая натяг в зоне контакта шариков 4 и винтовых поверхностей резьбы гаек 2 и 6 и винта 5.

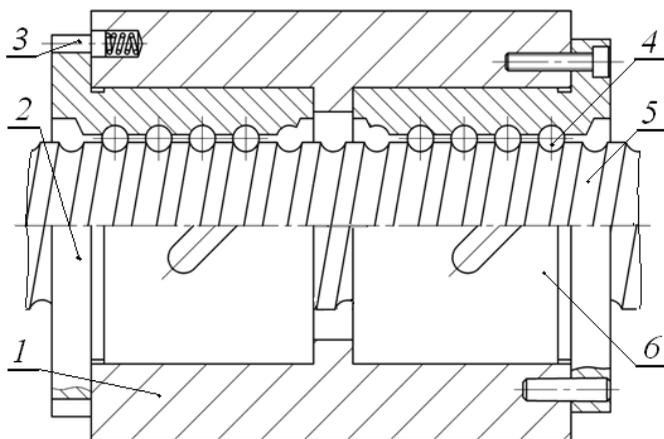


Рис. 2.11. Передача винт-гайка качения с поворотом одной гайки 2 в корпусе 1 относительно винта 5 для регулирования натяга при фиксированной второй гайке 6

В передаче винт-гайка качения с угловым поворотом гаек при регулировке зазора создание натяга осуществляется поворотом гаек 1 и 6 (рис. 2.12), которые на своих венцах имеют различное число полукруглых выкружек для их фиксации. В эти выкружки входят подпружиненные фиксирующие штифты 3, находящиеся в корпусе 4. При регулировании натяга фиксирующие штифты 3 отжимаются и гайки 1 и 6 поворачиваются на необходимое количество выкружек до входа штифтов 3 в соответствующие выкружки фланцев гаек, которые фиксируют их после регулировки. При повороте гаек 1 и 6 относительно ходового винта 2 на одинаковое число выкружек углы их поворота будут разные из-за разного числа выкружек на гайках. При этом происходит их угловое смещение и создается натяг в контакте шариков 5 и резьбовых рабочих поверхностей ходового винта 2 и гаек 1 и 6.

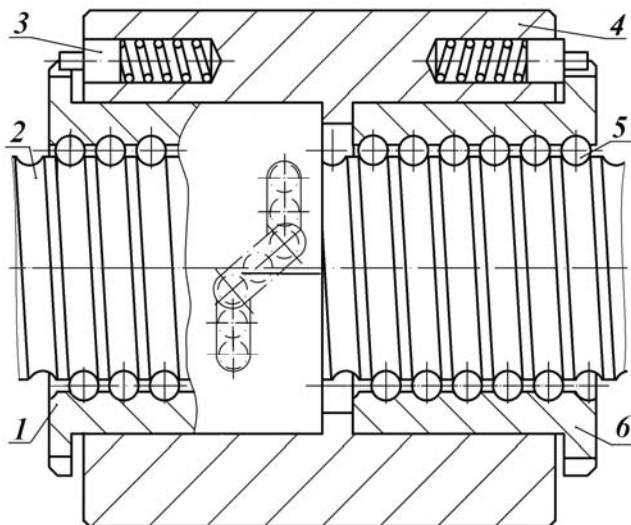


Рис. 2.12. Передача винт-гайка качения с поворотом обеих гаек 4 и 6 в корпусе 4 относительно винта 1 для регулирования натяга с фиксацией их фиксаторами 3

Передачи винт-гайка качения могут иметь и другие различные конструкции устройств регулирования зазоров и создания предварительного натяга в контакте тел качения и винтовых рабочих поверхностей резьбы винта и гайки.

Винтовая передача имеет ходовой винт 1, гайки 4 и 5 и шариковые тела качения 6 (рис. 2.13). Для регулирования натяга имеются осевые регулировочные винты 2 и штифты 3 с наклонными рабочими поверхностями, входящими в пазы на торце гайки 6. При вращении регулировочных винтов 2 штифты 3 смещаются в осевом направлении и своими наклонными поверхностями воздействуют на наклонные поверхности торцовых пазов гайки 5, в результате чего она поворачивается и создает натяг в винтовой передаче.



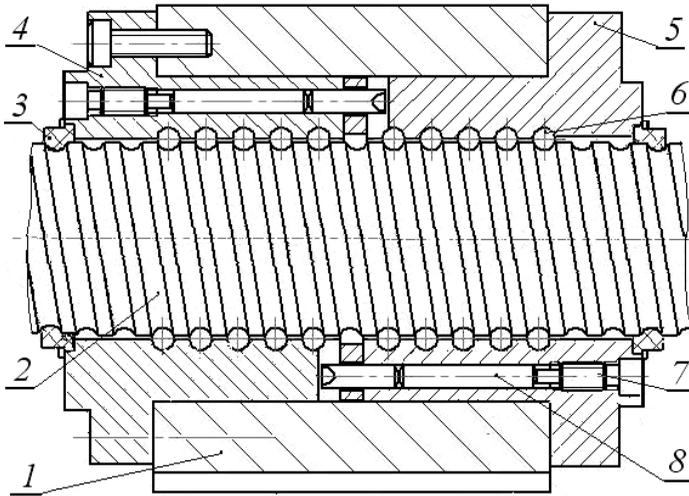


Рис. 2.14. Передача винт-гайка качения с поворотом гайки 5 для регулирования натяга регулировочными штифтами 8, расположенными в обеих гайках

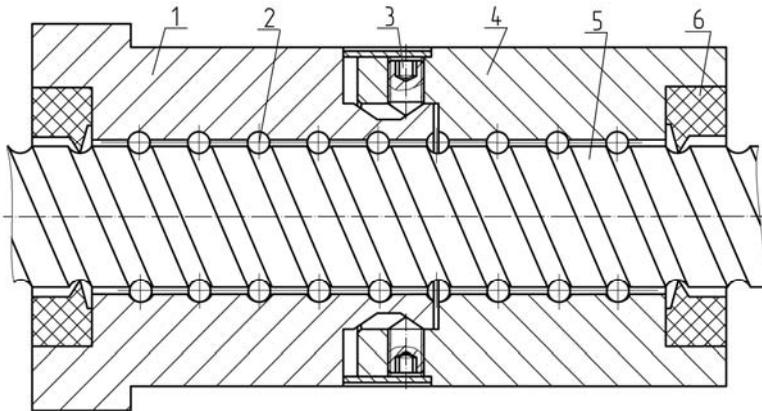


Рис. 2.15. Передача винт-гайка качения с осевым смещением обеих гаек 1 и 4 для регулирования натяга радиальными регулировочными винтами 3

Для регулирования натяга в винтовых передачах может использоваться одна гайка 3 с упругой перемычкой между ее двумя частями (рис. 2.16), установленная на ходовой винт 4 и имеющая каналы возврата 2 шариков 1 и уплотнения 5. Упругая перемычка обеспе-

чивает осевое упругое смещение обеих частей гайки 3 в разные стороны относительно винта, мягкую постоянную выборку зазора и создание натяга в передаче в процессе ее работы.

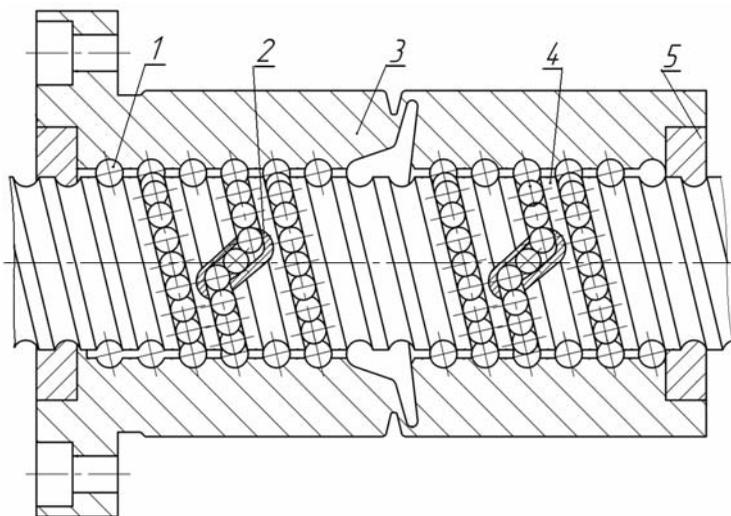


Рис. 2.16. Передача винт-гайка качения с одной гайкой 3 с упругой перемычкой для регулирования натяга и с осевым упругим смещением обеих частей гайки

Передача винт-гайка качения с угловым поворотом гаек (рис. 2.17) имеет гайки 1 и 6 со шлицевыми канавками, ходовой винт 2, шариковые тела качения 7 и боковые крышки 4. Кроме того, имеются тарельчатые пружины 3 с зубом, входящим в одну из шлицевых канавок гаек и с наружными диаметральными пазами для регулировочных элементов 8, установленных в корпус 5. Для создания предварительного натяга с одной стороны отворачивается крепежная гайка 9 регулировочного винта 8, снимаются крышка 4 и тарельчатая пружина 3 и поворачивается гайка 1, в результате чего устанавливается натяг. Затем тарельчатая пружина 3 ставится таким образом, чтобы регулировочный элемент 8 вошел в один из ее пазов, а зуб – в одну из шлицевых канавок гайки 1. При вращении крепежных гаек 9 регулировочных элементов 8 тарельчатые пружины 3 сжимаются и создают постоянный натяг, в том числе при износе шариков и рабочих поверхностях резьбы винта 2 и гаек 1 и 6.



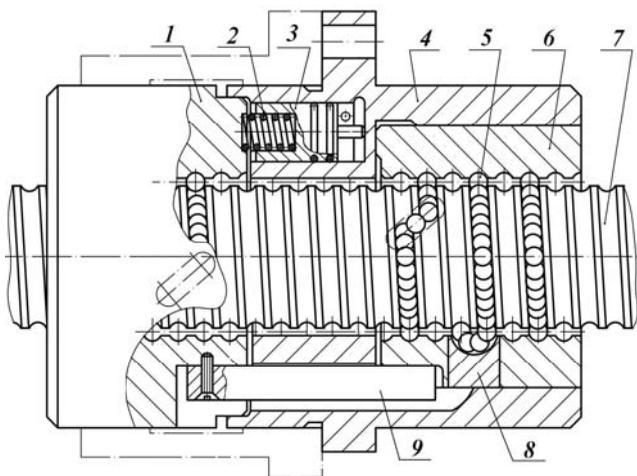


Рис. 2.18. Передача винт-гайка качения с осевым смещением для регулирования натяга обеих гаек 1 и 4 под действием усилия пружины 2 и давления в подпоршневой полости 3

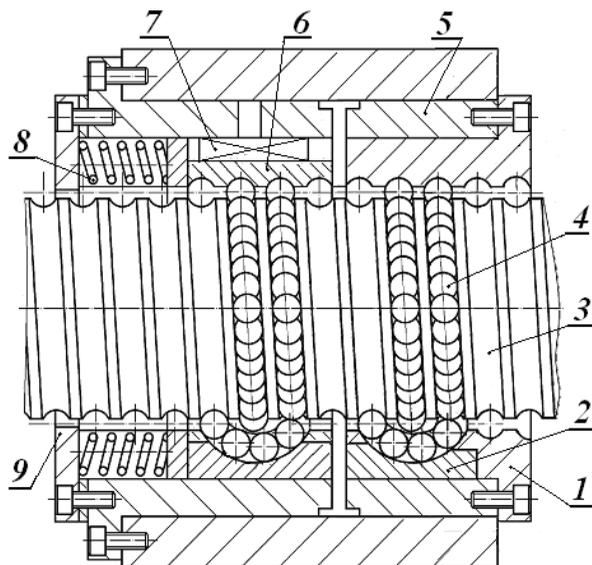


Рис. 2.19. Передача винт-гайка качения с осевым смещением гайки 6 для регулирования натяга под действием усилия комплекта пружин 8

Передачу винт-гайка качения необходимо защитить от абразивных загрязнений, снижающих ее долговечность. Защита может быть общей для передачи винт-гайка и направляющих качения или индивидуальная телескопическая и гофрированная с гармоникообразными мехами только для передачи.

## **2.5. Порядок выполнения лабораторной работы**

1. Ознакомиться с видами тяговых механизмов, их кинематическими схемами и принципом работы.

2. Изучить конструкции тяговых механизмов приводов подач токарно-винторезного, токарного с ЧПУ, вертикально-сверлильного и зубодолбежного станка и вычертить их схемы.

3. Ознакомиться с конструкцией и описать принцип работы передачи винт-гайка качения.

4. Изучить, вычертить и описать способы регулирования зазора и создания натяга в контакте между телами качения и рабочими поверхностями резьбы винта и гайки для различных типов передач винт-гайка качения.

5. Вычертить конструктивные и кинематические схемы образцов передач винт-гайка качения и стрелками указать направление движений обеих гаек для регулирования предварительного натяга.

6. Описать процесс регулирования зазора и создания натяга передачи винт-гайка качения согласно заданию.

## **2.6. Содержание отчета**

1. Кинематические схемы типовых тяговых механизмов с описанием принципа их работы.

2. Кинематические схемы тяговых механизмов приводов подач токарно-винторезного, токарного с ЧПУ, вертикально-сверлильного и зубодолбежного станка с описанием их назначения и особенностей конструкции.

3. Схемы и описание принципов возможного регулирования зазора и натяга в передачах винт-гайка качения.

4. Конструктивные и кинематические схемы образцов передач винт-гайка качения со стрелками, указывающими направление движения обеих гаек при регулировании натяга, согласно заданию.

5. Описание процесса регулирования зазора и создания предварительного натяга в зоне контакта тел качения и рабочих поверхностей резьбы винта и гайки для реальных передач винт-гайка качения.

## **2.7. Контрольные вопросы**

1. Типовые тяговые механизмы приводов подач и принцип их работы.

2. Каковы особенности конструкций тяговых механизмов приводов подач токарно-винторезного, токарного с ЧПУ, вертикально-сверлильного и зубодолбежного станков?

3. Основные конструктивные элементы передачи винт-гайка качения и принцип ее работы.

4. Что такое предварительный натяг и где в передачах винт-гайка качения он создается?

5. Каковы способы осуществления регулировки зазора и предварительного натяга в передачах винт-гайка качения?

6. Конструкции передач винт-гайка качения с различными способами регулировки зазора, принципы создания предварительного натяга и кинематические схемы этих передач.

## **3. КОНСТРУКЦИИ НАПРАВЛЯЮЩИХ СКОЛЬЖЕНИЯ**

### **3.1. Цель лабораторной работы**

В процессе выполнения лабораторной работы по изучению конструкций направляющих скольжения ставится цель:

а) изучить конструкции направляющих скольжения различных станков и их особенности;

б) для соответствующих видов станков научиться выбирать варианты конструкций направляющих с различными профилями поперечных сечений и типы устройств для регулирования зазоров;

в) уметь составлять расчетные схемы направляющих скольжения на износостойкость с приложением действующих нагрузок для различных реальных станков;

г) знать типовые виды профилей поперечных сечений направляющих, их достоинства, недостатки и способы регулирования зазоров.

В данной лабораторной работе на реальном токарно-винторезном, токарном гидрокопировальном, зубодолбежном и зубофрезерном станке предлагается изучить особенности конструкций направляющих и их поперечных сечений, а также способы и устройства регулирования зазоров. Кроме того, необходимо составить расчетные схемы направляющих скольжения на износостойкость для данных станков.

### 3.2. Конструктивные особенности направляющих скольжения

Направляющие рабочих органов приводов подач и базовых деталей могут быть *скольжения* в зависимости от вида трения между их рабочими поверхностями и иметь различные варианты *профилей поперечных сечений* рабочих элементов. Это связано с возможными расположениями приводов в различных плоскостях (горизонтальных, наклонных или вертикальных), видами выполняемых технологических операций (токарных, фрезерных и др.), различными направлениями и значениями величины действующих нагрузок на рабочий орган в процессе резания и с другими факторами. Профили поперечных сечений направляющих скольжения бывают прямоугольными плоскими (рис. 3.1, *а* и *б*), треугольными призматическими (рис. 3.1, *в*), V-образными (рис. 3.1, *г*) и трапецеидальными в виде ласточкина хвоста (рис. 3.2).

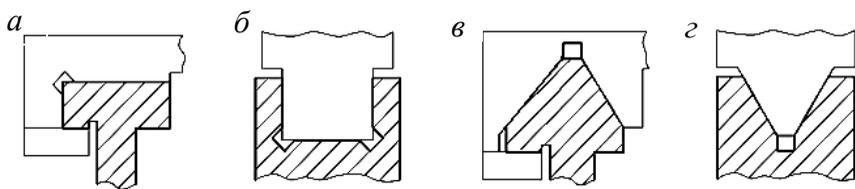


Рис. 3.1. Типы направляющих скольжения базовых деталей с прямоугольным плоским (*а*, *б*) и с треугольным призматическим (*в*) и V-образным (*г*) профилем и с охватываемыми (*а*, *в*) и охватывающими (*б*, *г*) поперечными сечениями

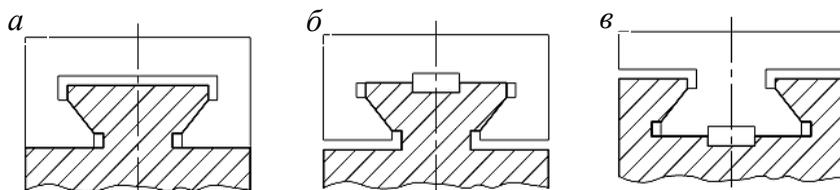


Рис. 3.2. Типы направляющих скольжения базовых деталей с трапецидальным профилем, типа ласточкина хвоста, с охватываемыми (а, б) и охватывающими (в) поперечными сечениями

При этом направляющие базовых деталей могут быть охватываемые с выпуклым внешним профилем со сравнительно небольшой склонностью к загрязнениям (см. рис. 3.1, а, в и 3.2, а, б). Также направляющие бывают охватывающими с внутренним профилем, хорошо удерживающим смазку (см. рис. 3.1, б, г и 3.2, в). Плоские направляющие (см. рис. 3.1, а и б) хорошо удерживают смазку благодаря горизонтальной грани и чаще применяются в токарных станках для перемещения салазок суппорта. Треугольные направляющие (см. рис. 3.1, в и г) обеспечивают самоцентрирование наклонных базовых граней рабочего органа, поэтому нет необходимости применять устройства регулирования зазоров, и используются, например, в токарных станках для перемещения салазок суппорта и в зубофрезерных для перемещения стола. Трапецидальные направляющие (см. рис. 3.2) отличаются возможностью воспринимать опрокидывающий момент и компактностью и обычно применяются во фрезерных станках для перемещения стола, салазок и консоли и даже в вертикально-сверлильных станках для перемещения шпиндельной бабки и стола по стойке.

К конструкциям направляющих скольжения, которые должны обеспечивать точность перемещения рабочих органов станка, предъявляется комплекс конструкторских и технологических требований, обеспечивающих высокое качество обработанных поверхностей. Направляющие скольжения должны обладать *геометрической точностью, плавностью перемещения, высокой износостойкостью*, а также *жесткостью* поверхностей рабочих граней. Направляющие могут выполняться как одно целое с базовыми деталями или в виде планок, привариваемых к ним или закрепленных механически.

### 3.3. Устройства регулирования зазоров в направляющих скольжения

Регулирование зазоров в направляющих упрощает технологию их изготовления и позволяет периодически устранять последствия износа. Для регулирования зазора могут применяться прижимные и регулировочные планки, а также регулировочные клинья.

Прижимные планки могут выбирать зазор в горизонтальной плоскости (рис. 3.3, *а*). При вращении винта 1 прижимная планка 2 смещается и выбирает зазор между верхней основной и нижней вспомогательной рабочими поверхностями направляющих рабочего органа и станины.

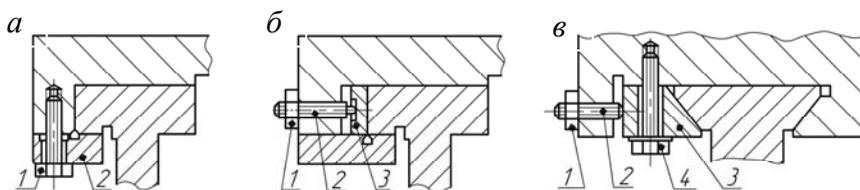


Рис. 3.3. Способы регулирования зазоров в направляющих скольжения прижимной планкой (*а*), регулировочной незакрепляемой (*б*) и закрепляемой (*в*) после регулирования планками

Регулировочные планки обеспечивают хорошую выборку зазоров и применяются обычно в прямоугольных и трапецидальных направляющих. Они устанавливаются со стороны менее нагруженной грани направляющей и могут быть без фиксации (рис. 3.3, *б*) и с фиксацией (рис. 3.3, *в*) после регулировки. Для регулировки зазора контргайка 1 освобождается, после чего регулировочный винт 2 вращается и смещает регулировочную планку 3, при этом зазор выбирается по двум базовым поверхностям обеих направляющих (см. рис. 3.3, *б* и *в*). После регулировки производится фиксация винта 2 контргайкой 1, а регулировочная планка 3 может фиксироваться крепежным винтом 4.

Регулировочные клинья 1 (рис. 3.4) обычно применяются в станках с тяжелыми условиями работы и устанавливаются на грани направляющих с меньшей действующей на нее нагрузкой. Регулировочные винты 2 могут быть с упорными бортами (рис. 3.4, *а*) без

фиксации или с контргайками 5 (рис. 3.4, б) для фиксации винта после регулировки. При вращении регулировочного винта 2 он получает осевое движение и сообщает перемещение регулировочному клину 1, который за счет наклонной поверхности выбирает зазор между направляющими рабочего органа 3 и базовой детали 4.

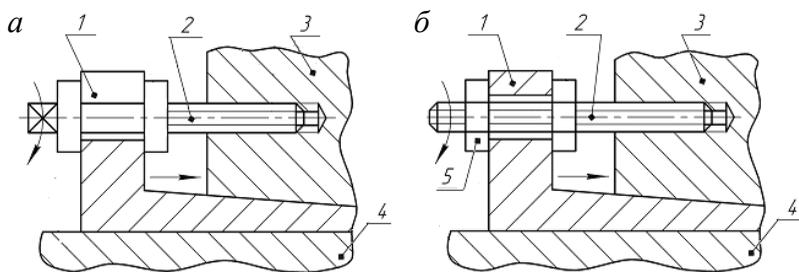


Рис. 3.4. Способы регулирования зазоров в направляющих скольжения регулировочным клином и регулировочным винтом с упорными буртами (а) и с контргайками (б)

### 3.4. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с конструкцией направляющих скольжения и видами профиля их поперечного сечения.
2. Изучить типы устройств регулирования зазоров и принцип их работы.
3. Изучить особенности конструкций и профилей поперечных сечений направляющих токарно-винторезного, токарного гидрокопировального, зубодолбежного и зубофрезерного станка и устройств регулирования зазоров.
4. Вычертить рабочие зоны указанных станков с движениями формообразования и с поперечным разрезом направляющих рабочего органа и базовой детали (рис. 3.5–3.8).
5. Вычертить расчетную схему направляющих скольжения на износостойкость, приложив действующие на рабочий орган привода подачи составляющие силы резания, три реакции направляющих и силу тяжести подвижных частей (см. рис. 3.5–3.8), при этом особое внимание необходимо обратить на правильное направление реакций направляющих и составляющих сил резания.

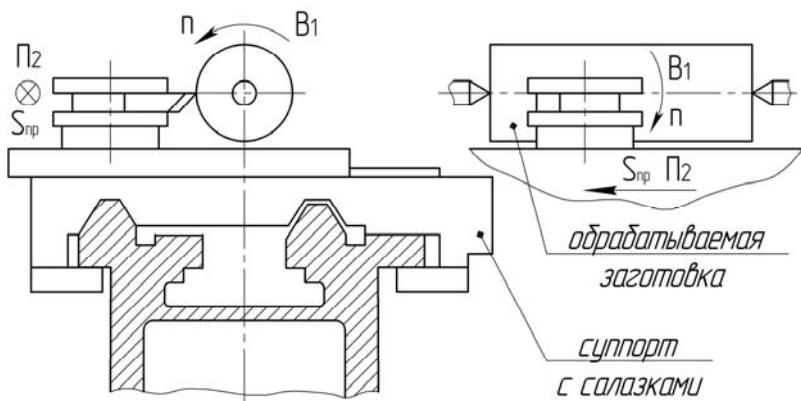


Рис. 3.5. Рабочая зона токарно-винторезного станка и формообразующие движения при обработке цилиндрической поверхности с продольной подачей суппорта

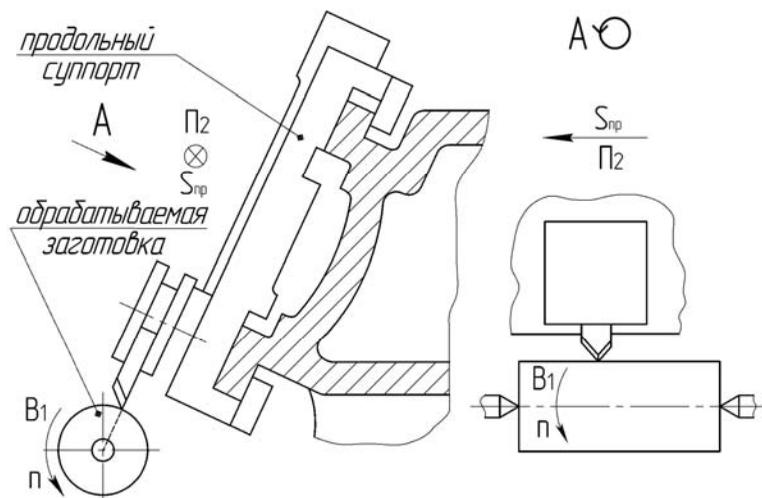


Рис. 3.6. Рабочая зона токарного гидрокопировального полуавтомата и формообразующие движения при обработке участка заготовки с цилиндрической поверхностью с продольной подачей продольного копировального суппорта

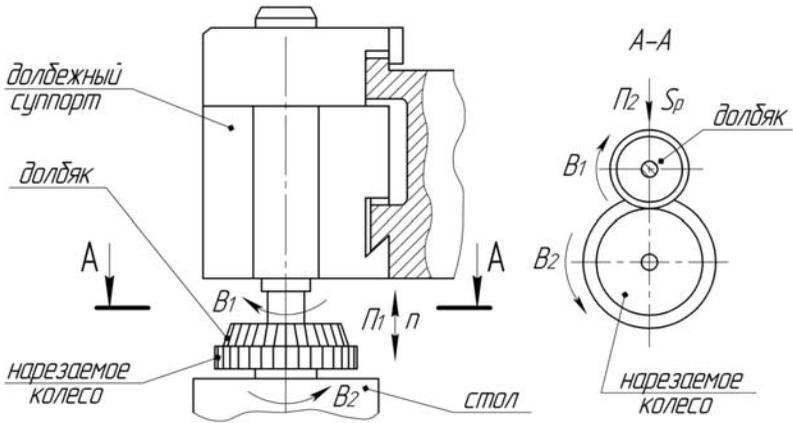


Рис. 3.7. Рабочая зона зубодолбежного станка и формообразующие движения при нарезании цилиндрического зубчатого колеса в процессе врезания с радиальной подачей долбежного суппорта

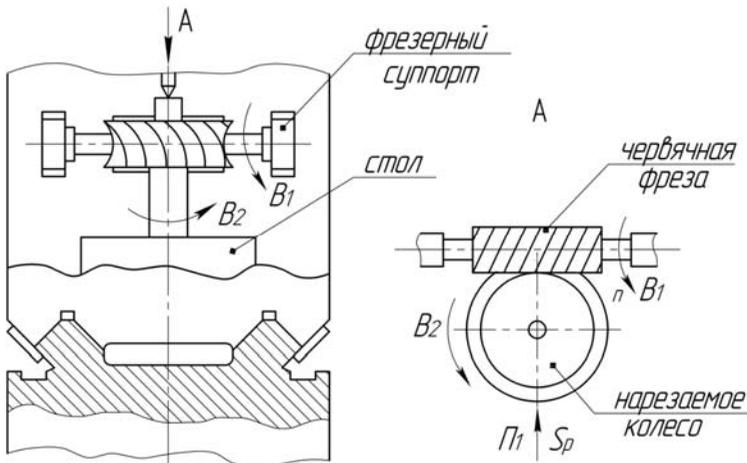


Рис. 3.8. Рабочая зона зубофрезерного станка и формообразующие движения при нарезании червячного колеса с радиальной подачей стола

6. Записать в общем виде расчетные формулы средних и максимальных давлений на рабочих гранях направляющих и описать особенности их конструкций.

### **3.5. Содержание отчета**

1. Схемы и описание принципа работы устройств регулирования зазоров в контакте рабочих поверхностей направляющих рабочего органа и базовой детали.

2. Расчетные схемы направляющих скольжения на износостойкость токарно-винторезного, токарного гидрокопировального, зубодолбежного и зубофрезерного станка с движениями формообразования и нагрузками на рабочие органы.

3. Описание конструкций и профилей поперечных сечений направляющих скольжения указанных станков.

4. Описание применяемых методов регулирования зазоров в направляющих изучаемых станков.

5. Расчетные формулы в общем виде средних и максимальных давлений на рабочей грани направляющих этих же станков.

### **3.6. Контрольные вопросы**

1. Какие имеются виды конструкций и профилей поперечных сечений направляющих скольжения рабочего органа и базовой детали?

2. В чем суть регулирования зазоров в направляющих скольжения?

3. Виды устройств регулирования зазоров в направляющих.

4. Каково назначение направляющих соответственно токарно-винторезного, токарного гидрокопировального, зубодолбежного и зубофрезерного станка?

5. Каковы особенности конструкций направляющих указанных станков?

6. Расчетные схемы направляющих скольжения на износостойкость изучаемых станков и принципы направления сил резания и реакций на гранях направляющих на рабочий орган приводов подачи.

## 4. КОНСТРУКЦИИ НАПРАВЛЯЮЩИХ КАЧЕНИЯ

### 4.1. Цель лабораторной работы

В процессе выполнения лабораторной работы по изучению конструкций направляющих качения ставится цель:

а) изучить конструкции различных типов направляющих качения по сборочным чертежам и реальным образцам;

б) научиться выбирать из возможных вариантов соответствующие способы фиксации шин и кареток рельсовых направляющих с циркуляцией тел качения;

в) уметь подбирать оптимальные способы установки шин и кареток рельсовых направляющих с циркуляцией тел качения на рабочий орган и базовую деталь;

г) знать типовые конструкции направляющих открытых, замкнутых и с циркуляцией тел качения и способы фиксации и установки шин и кареток рельсовых направляющих.

В данной лабораторной работе согласно заданию по сборочным чертежам и реальным образцам шариковых и роликовых направляющих с циркуляцией тел качения предлагается изучить их конструкцию и составить схемы фиксации и установки шин и кареток рельсовых направляющих для определенного типа станка.

### 4.2. Конструктивные особенности направляющих качения

*Направляющие* рабочих органов приводов подач и базовых деталей могут быть *качения* в соответствии с видом трения между их рабочими поверхностями, а по виду тел качения бывают *шариковые* и *роликовые*. Они могут иметь различные варианты *профилей поперечных сечений* и *открытую* или *замкнутую конструкцию*, а также с *циркуляцией тел качения*. Это связано с возможными расположениями приводов в горизонтальных, наклонных или вертикальных плоскостях, различными видами выполняемых токарных, фрезерных и сверлильно-расточных технологических операций, величиной хода рабочего органа, значением и направлением действующих нагрузок на рабочий орган в процессе резания. Направляющие качения имеют высокие КПД и долговечность при хорошей защите, длительное сохранение точности, равномерность и плавность движений, точность перемещений и

позиционирования. Однако для них характерны сложность конструкции и высокая стоимость, трудоемкость при изготовлении и повышенная чувствительность к загрязнениям.

К конструкциям направляющих предъявляется комплекс конструкторских и технологических требований, обеспечивающих высокое качество обработанных поверхностей. Направляющие качения должны обладать *геометрической точностью, плавностью перемещения*, высокой *долговечностью*, а также *жесткостью* поверхностей рабочих граней. Направляющие могут выполняться как одно целое с базовыми деталями или в виде планок, которые к ним крепятся.

Открытые направляющие качения не могут воспринимать опрокидывающий момент и применяются только для горизонтальных приводов. Отрыву направляющих рабочего органа от направляющих базовой детали препятствуют только сила тяжести рабочего органа и вертикальная составляющая силы резания, при этом направляющие рабочего органа и базовой детали могут иметь различные варианты сочетания профилей их поперечных сечений.

Открытые шариковые двухдорожечные направляющие качения (рис. 4.1, *а*) имеют левую плавающую направляющую с прямоугольным плоским профилем поперечного сечения направляющей рабочего органа и с треугольным V-образным профилем направляющей базовой детали и правую фиксирующую направляющую с двумя треугольными V-образными профилями. Эти направляющие обладают сравнительно простой конструкцией, однако не могут воспринимать больших нагрузок.

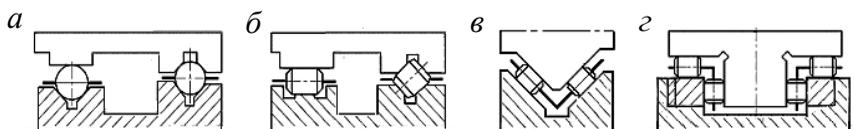


Рис. 4.1. Типы открытых шариковых (*а*) и роликовых (*б, в, з*) направляющих качения с прямоугольным плоским (*а, б, з*), с треугольным V-образным (*а, б, в*) профилем поперечного сечения и с треугольным призматическим профилем (*в*)

Открытые роликовые двухдорожечные направляющие качения (рис. 4.1, *б*) имеют левую плавающую направляющую с прямоугольными плоскими профилями поперечных сечений направляю-

ших рабочего органа и базовой детали и правую фиксирующую направляющую с двумя треугольными V-образными профилями. Эти роликовые направляющие обладают большей жесткостью и допускают значительно большие нагрузки, чем шариковые.

Открытая роликовая фиксирующая направляющая качения (рис. 4.1, *в*) имеет треугольный призматический профиль сечения направляющей рабочего органа и V-образный профиль направляющей базовой детали. Работоспособность этой направляющей зависит от точности изготовления угла призматического и V-образного профиля, а также может происходить повышение сил трения из-за проскальзывания роликов при малых их диаметрах.

Открытые роликовые четырехдорожечные направляющие качения (рис. 4.1, *г*) имеют прямоугольные плоские профили поперечных сечений направляющих рабочего органа и базовой детали. При этом правая направляющая воспринимает основную нагрузку по двум граням, а со стороны левой направляющей имеется регулировочная планка для регулирования зазора, воспринимающая нагрузку по горизонтальной грани. Прямоугольные роликовые направляющие обладают высокой жесткостью, но имеют большие габариты.

Замкнутые направляющие качения позволяют регулировать зазор и создавать предварительный натяг между рабочими поверхностями направляющих и телами качения, поэтому они обладают высокой жесткостью и точностью и хорошо воспринимают опрокидывающий момент и могут применяться для горизонтальных, наклонных и вертикальных приводов подачи. Вместе с тем замкнутые направляющие качения имеют более сложную конструкцию с различными профилями поперечных сечений.

Замкнутые шариковые (рис. 4.2, *а*) и роликовые (рис. 4.2, *б*) двухдорожечные направляющие качения имеют треугольные V-образные профили поперечных сечений обеих направляющих, а четырехдорожечные роликовые направляющие (рис. 4.2, *в*) имеют треугольные призматические профили направляющих рабочего органа и V-образные профили направляющих базовой детали. Для регулирования зазора в рабочей зоне и создания натяга между рабочими поверхностями направляющих и телами качения рабочие планки направляющих базовой детали смещаются навстречу друг другу с помощью регулировочных винтов, которые создают силу предварительного натяга.

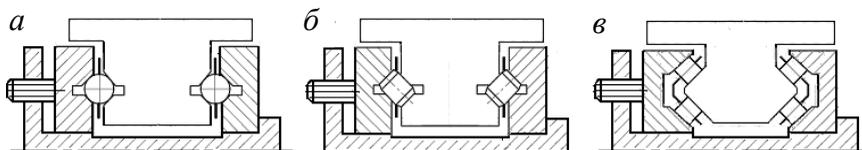


Рис. 4.2. Типы замкнутых шариковых (*а*) и роликовых (*б, в*) направляющих качения с треугольным V-образным (*а, б, в*) и призматическим (*в*) профилем поперечного сечения

Замкнутые шариковые направляющие со встречными призмами не могут воспринимать больших нагрузок и применяются в средних станках со средними действующими нагрузками, а роликовые воспринимают большой опрокидывающий момент и применяются в станках с высокими нагрузками.

Также в приводах подач применяются замкнутые четырехдорожечные роликовые направляющие качения с прямоугольным плоским (рис. 4.3, *а*) и трапецидальным типа ласточкина хвоста (рис. 4.3, *б* и *в*) профилем поперечного сечения направляющих. Для регулирования зазора в направляющих рабочего органа и базовой детали со стороны менее нагруженной левой направляющей (рис. 4.3, *а* и *б*) устанавливаются регулировочные планка и винт или прижимные планки (рис. 4.3, *в*).

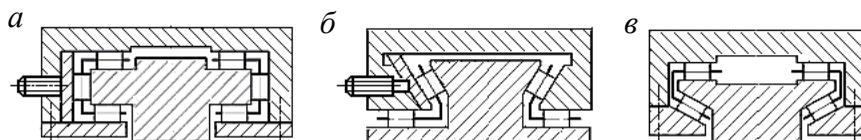


Рис. 4.3. Типы замкнутых роликовых направляющих качения с прямоугольным плоским (*а*) и с трапецидальным типа ласточкина хвоста (*б, в*) профилем поперечного сечения

### 4.3. Конструкции направляющих с циркуляцией тел качения

Направляющие с циркуляцией тел качения применяются в станках для обеспечения большого хода привода подач и при высоких нагрузках на рабочий орган. При этом циркуляция шариков или роликов чаще осуществляется через каналы возврата. Наиболее распространенными направляющими качения в последнее время в станках с ЧПУ являются рельсовые направляющие с замкнутыми кинематическими цепями циркуляции тел качения.

Основными составными элементами рельсовых направляющих являются (рис. 4.4) каретки 2, несущие тела качения 5 и имеющие каналы 4 для их циркуляции, и шины с рабочими дорожками 1, по которым перемещаются каретки, при этом по дорожкам обкатываются тела качения. Таким образом, при движении кареток 2 тела качения 5 обкатываются по рабочим поверхностям кареток 2 и шин 1 и циркулируют по каналам возврата 5. Для крепления кареток 2 и шин 1 на базовые поверхности рабочего органа и базовой детали имеются специальные отверстия 3 и 6.

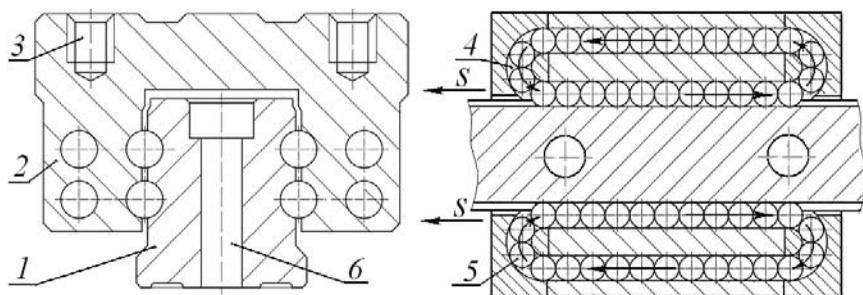


Рис. 4.4. Шариковые замкнутые рельсовые направляющие с циркуляцией тел качения

Рельсовые направляющие могут быть с шариковыми (рис. 4.5, *а*) или роликовыми (рис. 4.5, *б*) телами качения. Роликовые направляющие обладают более высокой жесткостью и несущей способностью, чем шариковые, но более сложны по конструкции и технологическому обеспечению их работоспособности.

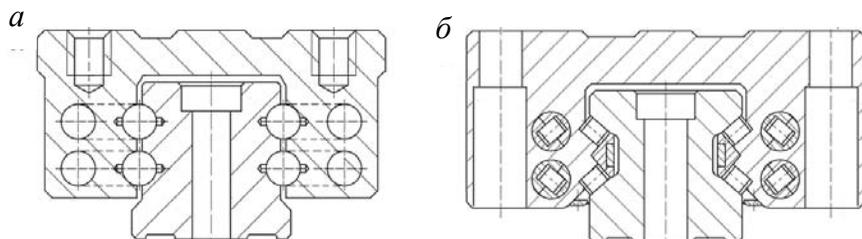


Рис. 4.5. Шариковые (*а*) и роликовые (*б*) замкнутые четырехрядные рельсовые направляющие с циркуляцией тел качения в параллельных (*а*) и взаимно перпендикулярных (*б*) плоскостях

Рельсовые направляющие могут иметь два (рис. 4.6), четыре (рис. 4.7, *а*) и шесть (рис. 4.7, *б*) рядов циркуляции шариковых тел качения, при этом с их увеличением повышаются жесткость и несущая способность, однако несколько усложняется их конструкция. Обычно роликовые направляющие имеют четыре ряда циркуляции роликовых тел качения (см. рис. 4.5, *б*). При этом плоскости циркуляции тел качения шариковых направляющих могут быть горизонтальными (см. рис. 4.6, *а* и 4.7, *б*), наклонными (см. рис. 4.7, *а*) и вертикальными (см. рис. 4.6, *б*), а роликовых направляющих – взаимно перпендикулярными между собой (см. рис. 4.5, *б*).

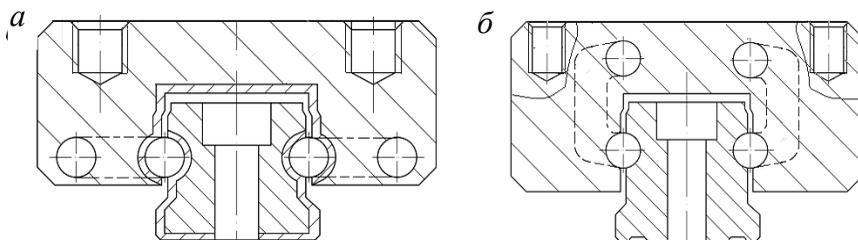


Рис. 4.6. Шариковые замкнутые двухрядные рельсовые направляющие с циркуляцией тел качения в горизонтальной (*а*) и вертикальной (*б*) плоскостях

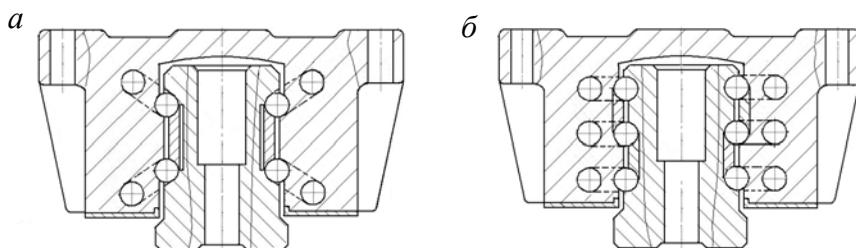


Рис. 4.7. Шариковые замкнутые четырехрядные (*а*) и шестирядные (*б*) рельсовые направляющие с циркуляцией тел качения в наклонных (*а*) и в горизонтальных (*б*) плоскостях

#### 4.4. Типовые конструкции фиксации и установки рельсов и кареток рельсовых направляющих с циркуляцией тел качения

Рельсовые направляющие с циркуляцией тел качения имеют различные виды крепления и способы установки кареток и шин на базовые поверхности рабочего органа и базовой детали. Это зависит

от направления подачи рабочего органа привода, величины и направлений действующих нагрузок на направляющие, конструктивных особенностей базовых поверхностей и характеристик технологического оборудования. Фиксация кареток и шин может осуществляться с помощью прижимных планок (рис. 4.8, *а*) и регулировочных прижимных винтов (рис. 4.8, *б*), а также клиновых планок (рис. 4.9, *а*) и крепежных штифтов, и их крепление может быть без боковой фиксации (рис. 4.9, *б*).

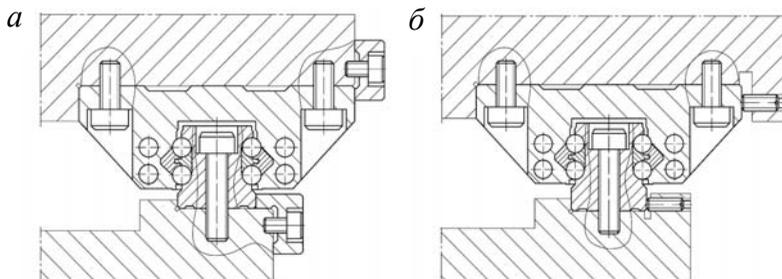


Рис. 4.8. Шариковые рельсовые направляющие с циркуляцией тел качения с фиксацией рельсов и кареток прижимными планками (*а*) или регулировочными винтами (*б*)

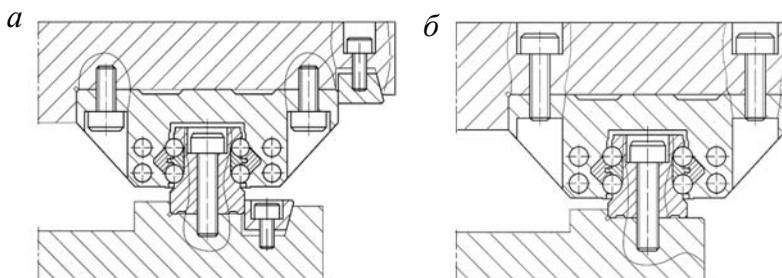


Рис. 4.9. Шариковые рельсовые направляющие с циркуляцией тел качения с фиксацией рельса и каретки регулировочными клиньями (*а*) или без их боковой фиксации (*б*)

Установка кареток и шин на базовые поверхности рабочего органа и базовой детали может быть различной в зависимости от требуемого уровня точности и жесткости. При этом для получения высокой точности и жесткости применяется установка с полной фиксацией

(рис. 4.10), когда основная и вспомогательная направляющие имеют боковые базовые поверхности кареток и шин и их фиксацию согласно приведенным выше вариантам, например с помощью прижимных планок, и с применением специальной проставки для повышения точности установки.

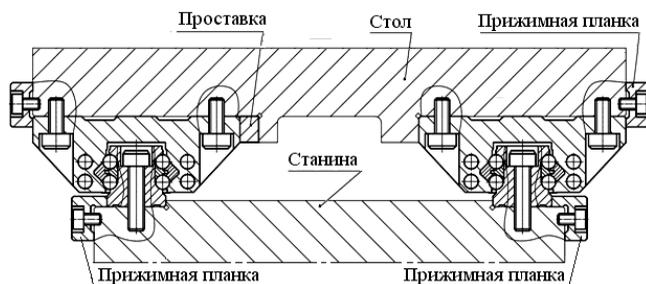


Рис. 4.10. Шариковые рельсовые направляющие с циркуляцией тел качения с боковой фиксацией прижимными планками рельсов и кареток обеих направляющих

В случаях с менее высокими требованиями к жесткости и точности основная направляющая может иметь каретки и шину с боковыми базовыми поверхностями и с фиксацией, например, регулировочными винтами или клиновыми планками (рис. 4.11 и 4.12). Вспомогательная направляющая может иметь каретки без боковых базовых поверхностей и без их фиксации, а шину с базовой поверхностью и с ее фиксацией (см. рис. 4.11 и 4.12).

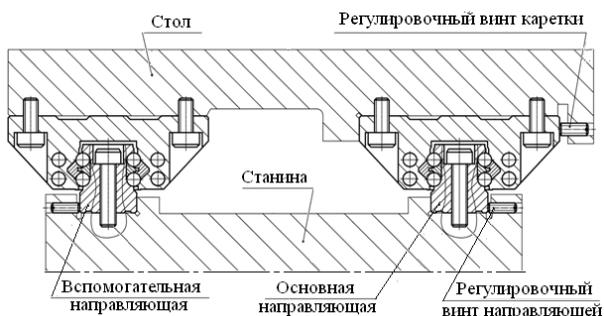


Рис. 4.11. Шариковые рельсовые направляющие с циркуляцией тел качения с фиксацией регулировочными винтами рельса и каретки основной и рельса вспомогательной направляющих и без боковой фиксации каретки вспомогательной направляющей

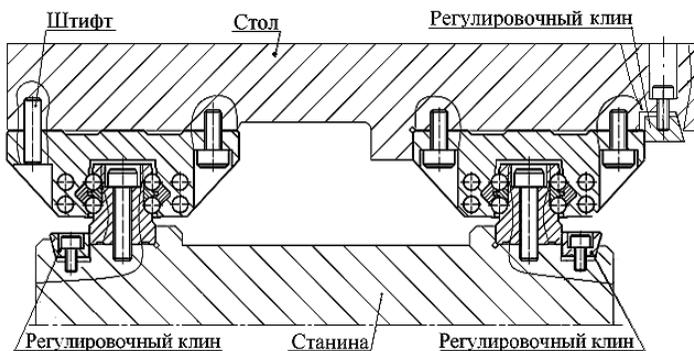


Рис. 4.12. Шариковые рельсовые направляющие с циркуляцией тел качения с боковой фиксацией рельсов обеих направляющих и одной каретки регулировочными клиньями, а другой каретки – штифтами

В некоторых случаях основная направляющая может иметь каретки и шину с боковыми базовыми поверхностями и с фиксацией, например, прижимной и клиновой планками (рис. 4.13). При этом вспомогательная направляющая может иметь каретки и шины без боковых базовых поверхностей и без их фиксации. Также применяются схемы с фиксацией только кареток основной направляющей, но без боковой фиксации шин, а также кареток вспомогательной направляющей.

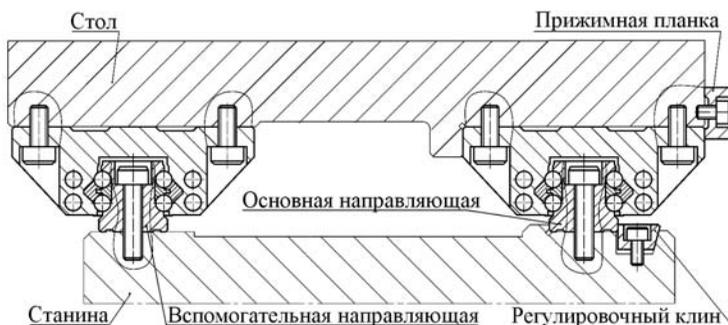


Рис. 4.13. Шариковые рельсовые направляющие с циркуляцией тел качения с боковой фиксацией регулировочным клином рельса и прижимной планкой каретки основной направляющей и без боковой фиксации рельса и каретки вспомогательной направляющей



Рис. 4.14. Шариковые рельсовые направляющие с циркуляцией тел качения с боковой фиксацией прижимной планкой кареток основной направляющей и без боковой фиксации обоих рельсов и кареток вспомогательной направляющей

#### 4.5. Телескопическая защита направляющих

Для предохранения рабочих поверхностей направляющих от загрязнений в виде абразивной пыли и мелкой стружки применяются специальные защитные устройства. Это необходимо для уменьшения изнашивания направляющих скольжения и повышения долговечности направляющих качения. Применение определенного вида защитных устройств направляющих с соответствующей конструкцией зависит от вида выполняемых технологических операций и срезаемой стружки, конструкции направляющих и компоновки станка.

Так, например, может применяться гофрированная защита направляющих станков в виде гармоникообразных мехов (рис. 4.15, *а*), изготовленных из полимерных материалов и покрытых с внешней поверхности металлической фольгой. Эта защита имеет высокую герметичность и долговечность и рекомендуется для применения в станках, при работе которых отсутствует острая и горячая стружка.



Рис. 4.15. Схемы гофрированной (*а*) и телескопической (*б*) защиты направляющих

Наиболее широкое распространение получила защита с телескопическими щитками и уплотнениями между ними (рис. 4.15, *б*). Телескопические щитки взаимосвязаны между собой, при этом один

крайний из них крепится к подвижной части рабочего органа, а второй крайний – к неподвижной базовой детали. Остальные щитки одной стороной опираются друг на друга, а второй – на рабочую грань направляющих через подвижную прокладку.

Подвижные щитки охватывают рабочие грани направляющих со всех сторон и могут быть с горизонтальными (рис. 4.16) или скругленными (рис. 4.17) боковыми торцами и защищать одновременно обе направляющие привода. Телескопическая защита применяется в станках с большим ходом рабочего органа, имеет хорошие эксплуатационные свойства и высокую надежность в работе.

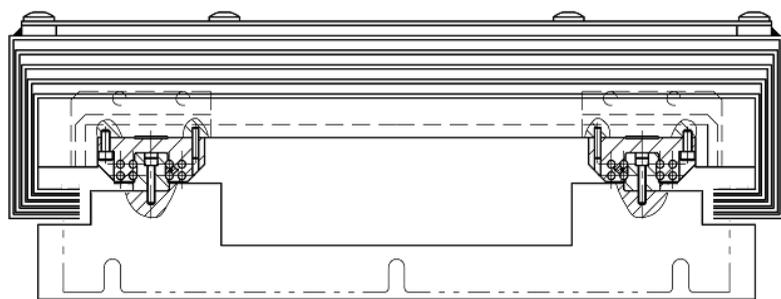


Рис. 4.16. Телескопическая защита с горизонтальными боковыми торцами щитков для рельсовых направляющих с циркуляцией тел качения

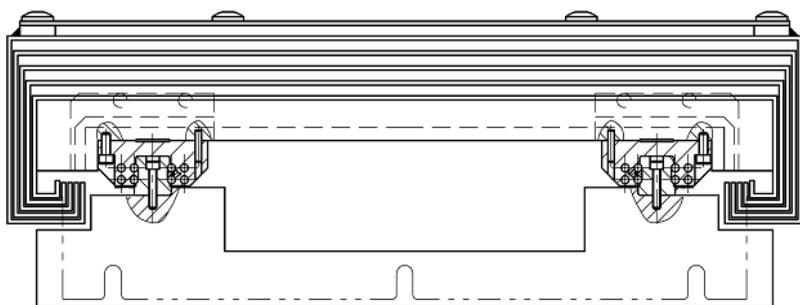


Рис. 4.17. Телескопическая защита со скругленными боковыми торцами щитков для рельсовых направляющих с циркуляцией тел качения

#### **4.6. Порядок выполнения лабораторной работы**

1. Ознакомиться с особенностями конструкций открытых и замкнутых направляющих качения и областью их применения.

2. Изучить конструкции и принцип работы шариковых и роликовых рельсовых направляющих с циркуляцией тел качения по реальным образцам и вычертить их рисунки.

3. По сборочным чертежам изучить особенности конструкций рельсовых направляющих с различным числом рядов циркуляции тел качения.

4. Ознакомиться со способами фиксации шин и кареток рельсовых направляющих с циркуляцией тел качения.

5. Изучить различные варианты установки шин и кареток рельсовых направляющих с циркуляцией тел качения на базовую деталь и рабочий орган.

6. Согласно заданию составить и описать схемы фиксации и установки кареток и шин рельсовых направляющих качения на рабочие органы и базовые детали определенных типов станков.

#### **4.7. Содержание отчета**

1. Конструкции открытых и замкнутых направляющих качения и их особенности.

2. Рисунки реальных образцов шариковых и роликовых рельсовых направляющих с циркуляцией тел качения и описание их конструкций.

3. Конструкции рельсовых направляющих с различным числом рядов циркуляции тел качения и их описание.

4. Примеры различных способов фиксации кареток и шин рельсовых направляющих с циркуляцией тел качения на рабочий орган и базовую деталь.

5. Схемы фиксации и установки шин и кареток рельсовых направляющих качения на базовые детали и рабочие органы приводов подачи заданных станков и их описание.

## **4.8. Контрольные вопросы**

1. Какие имеются виды конструкций направляющих качения и каковы их особенности?
2. Каков принцип работы рельсовых направляющих с циркуляцией тел качения и каковы основные элементы их конструкций?
3. Каковы особенности конструкций шариковых и роликовых рельсовых направляющих качения и каковы возможности их применения?
4. Назовите виды рельсовых направляющих с различным числом рядов циркуляции тел качения и область их применения.
5. Какие существуют способы крепления и фиксации кареток и шин рельсовых направляющих качения?
6. Каковы схемы установки кареток и шин рельсовых направляющих качения на рабочие органы приводов подач и базовые детали станков и каковы их особенности?

## **5. КОНСТРУКЦИИ БАЗОВЫХ ДЕТАЛЕЙ**

### **5.1. Цель лабораторной работы**

В процессе выполнения лабораторной работы по изучению конструкций базовых деталей станков ставится цель:

- а) изучить конструкции базовых деталей различных станков, типовые расчетные схемы и методику расчета их собственной и контактной жесткости;
- б) научиться составлять расчетные схемы действующих нагрузок на базовые детали для соответствующих типов станков;
- в) научиться подбирать оптимальное поперечное сечение станин и стоек, исходя из компоновки станка и условия его работы;
- г) знать виды типовых базовых деталей, особенности их конструкций и расчетных схем, разновидности поперечных сечений станин и стоек и область их применения.

## 5.2. Назначение и виды базовых деталей

*Базовые детали* станков отличаются большим разнообразием по конструкции и назначению. Совокупность базовых деталей и узлов между заготовкой и инструментом образует несущую систему станка. К базовым деталям относятся станины, основания, стойки и колонны, траверсы и поперечины, салазки и каретки, суппорты и столы, корпуса шпиндельных бабок и планшайбы и др.

Основными базовыми деталями станков являются *станины* и *стойки*, которые предназначены для размещения силовых рабочих органов движений формообразования и вспомогательных механизмов смены инструментов и заготовок и т. д. (рис 5.1 и 5.2).

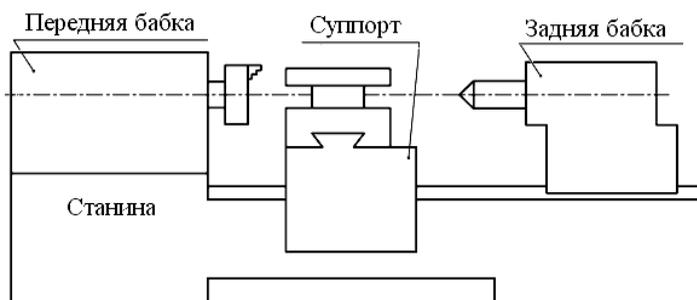


Рис. 5.1. Типовые базовые детали и упрощенная компоновка токарного станка

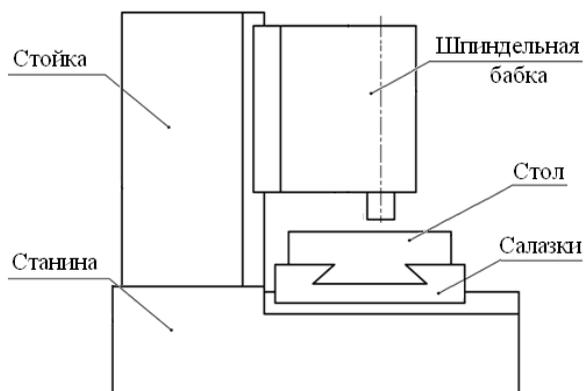


Рис. 5.2. Типовые базовые детали и упрощенная компоновка вертикального бесконсольно-фрезерного станка

### 5.3. Основные требования к базовым деталям

К конструкциям станин и стоек предъявляется ряд конструкторских и технологических требований, обеспечивающих точное взаимное расположение силовых органов станка и высокую точность обработанных деталей. Эти конструкции должны гарантировать *сохранность формы и размеров, высокую жесткость, хорошие демпфирующие свойства, малые температурные деформации и долговечность* конструкции. В общем, к базовым деталям и узлам станка предъявляется ряд требований с целью обеспечения:

- 1) геометрической точности с сохранением формы и размеров при различных режимах работы и точного взаимного расположения узлов;
- 2) высокой жесткости, определяемой деформацией самих базовых деталей и контактными деформациями стыков подвижных и неподвижных узлов;
- 3) высоких демпфирующих свойств, т. е. хорошей способности гасить возникающие колебания в процессе работы;
- 4) малых температурных деформаций для исключения относительного смещения основных силовых узлов и, соответственно, инструмента и заготовки при работе станка;
- 5) долговечности с сохранением формы в процессе эксплуатации до нормативного срока службы.

### 5.4. Расчетные схемы базовых деталей

Работоспособность станин и стоек определяется их жесткостью, которая оценивается деформациями при действии на них рабочих нагрузок. Расчет базовых деталей на жесткость в связи со сложностью конструкции аналитически затруднен и может быть только приближенным. Для расчета составляется схема базовой детали с приложенными действующими нагрузками в виде балок или рам. Для горизонтальных станин обычно принимается схема двухопорной балки (рис. 5.3, а), а для некоторых горизонтальных базовых деталей – схема консольной защемленной балки (рис. 5.3, б). Для вертикальных станин, стоек и других базовых деталей могут приниматься расчетные схемы в виде защемленной обычной (рис. 5.3, в) и Г-образной (рис. 5.3, г) балки или П-образной рамы (рис. 5.3, д), например, для радиально-сверлильного и продольно-фрезерного станка.

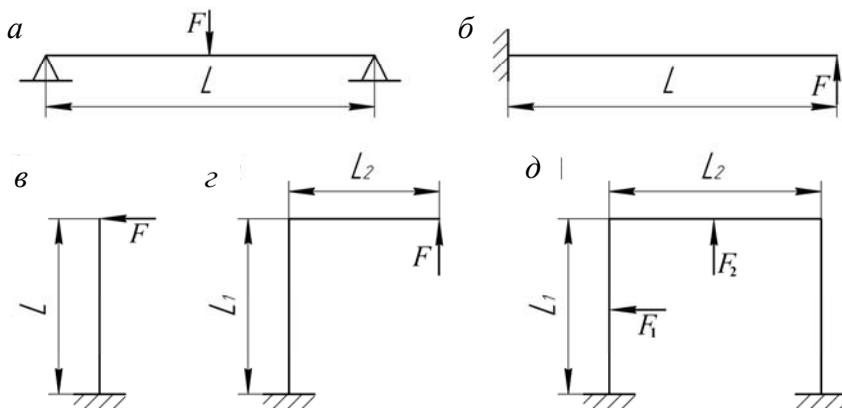


Рис. 5.3. Типовые расчетные схемы основных базовых деталей станков

Жесткость станин и стоек определяется изгибной  $j_{и}$  и крутильной  $j_{к}$  собственной жесткостью базовой детали и контактной линейной и угловой жесткостью подвижных и неподвижных стыков  $j_{л}$  и  $j_{у}$  присоединяемых элементов. Эти жесткости определяются через линейные и угловые деформации

$$j_{и} = \frac{F}{f}, \quad j_{к} = \frac{T}{\theta} \quad \text{и} \quad j_{л} = \frac{F}{\delta}, \quad j_{у} = \frac{M}{\varphi},$$

где  $F$  и  $T$  – действующие на базовую деталь сила и крутящий момент;

$f$  и  $\theta$  – упругая деформация и угол закручивания базовой детали;

$F$  и  $M$  – действующие в плоском стыке центральная сила и момент;

$\delta$  и  $\varphi$  – линейная деформация и угол поворота в плоском стыке.

Линейные деформации базовых деталей  $f$  с расчетными схемами в виде двухопорной (рис. 5.4, а) и консольной балки (рис. 5.4, б) могут определяться по известным формулам

$$f = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot (E \cdot J)_{пр}} \quad \text{и} \quad f = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot (E \cdot J)_{пр}},$$

где  $F$  – поперечная сила в середине или на свободном конце балки;

$L$  – длина рабочего участка балки;

$(E \cdot J)_{\text{пр}}$  – приведенная изгибная жесткость;  
 $E$  – модуль упругости материала;  
 $J$  – момент инерции сечения базовой детали.

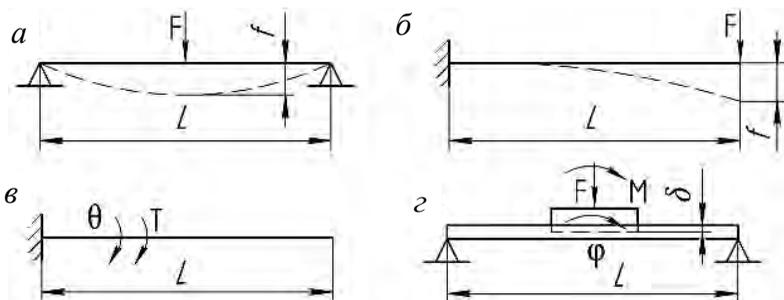


Рис. 5.4. Расчетные схемы основных базовых деталей станков на изгибную (а, б), крутильную (в) и контактную (з) жесткость

Угловая деформация базовой детали в виде угла поворота балки  $\theta$  под действием крутящего момента (рис. 5.4, в) определяется по формуле

$$\theta = \frac{T \cdot L}{(G \cdot J_p)_{\text{пр}}},$$

где  $T$  – крутящий момент;  
 $L$  – длина рабочего участка балки;  
 $(G \cdot J_p)_{\text{пр}}$  – приведенная крутильная жесткость;  
 $G$  – модуль сдвига материала;  
 $J_p$  – полярный момент сечения базовой детали.

Линейная деформация  $\delta$  и угол поворота  $\varphi$  в плоском стыке (рис. 5.4, з) определяются по действующим центральной силе  $F$  и моменту  $M$ :

$$\delta = k_d \cdot \left(\frac{F}{S}\right)^m \quad \text{и} \quad \varphi = \frac{k_y \cdot M}{J},$$

где  $k_n$  и  $k_y$  – коэффициенты линейной и угловой контактной податливости;

$S$  и  $J$  – площадь и момент инерции сечения контакта;

$m$  – показатель степени, учитывающий подвижность стыка.

При расчете жесткости базовых деталей токарного станка станину можно рассматривать как двухопорную балку (рис. 5.5), а суппорт и переднюю и заднюю бабки соответственно как защемленную обычную и Г-образную балки (см. рис. 5.5).

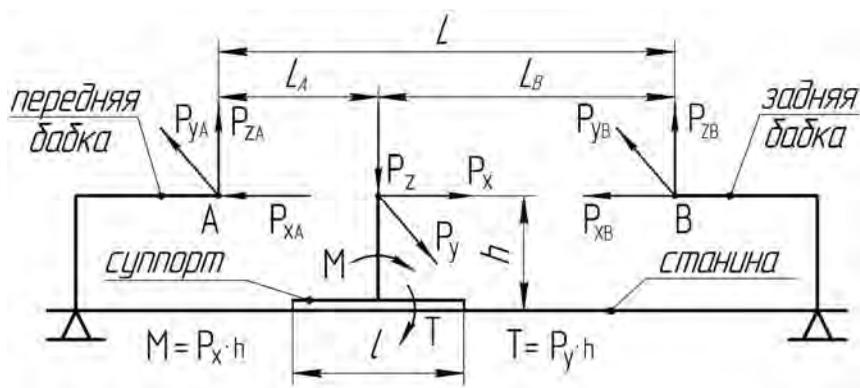


Рис. 5.5. Расчетная схема действующих нагрузок на базовые детали токарного станка

На базовые детали действуют силы резания  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$ , в частности, на станину они воздействуют через суппорт и через переднюю и заднюю бабки. При этом возникают действующие на станину поперечная сила  $P_z$  в подвижном стыке суппорта и станины, а также крутящий момент  $T$ , создаваемый силой резания  $P_y$  и изгибающий момент в вертикальной плоскости  $M$  – силой  $P_x$ :

$$T = P_y \cdot h \text{ и } M = P_x \cdot h ,$$

где  $h$  – расстояние между линией центров и осью станины.

## 5.5. Виды поперечных сечений станин и стоек

Станины и стойки в зависимости от типа станка и его компоновки, вида выполняемых операций и действующих нагрузок, условий отвода стружки и т. д. могут иметь различные конструкции и *профили поперечных сечений*.

В зависимости от типа станка станины могут быть горизонтальными и вертикальными в виде стоек. На выбор формы поперечных сечений станка и стоек влияют предъявляемые требования жесткости, направление и величина действующих нагрузок, расположение направляющих, необходимость повышения демпфирующих свойств, объем и условия удаления стружки, размещение в станинах различных механизмов и резервуаров. Формы профилей поперечных сечений горизонтальных станин в основном могут быть открытыми, полуоткрытыми и замкнутыми.

Форма поперечного сечения с открытым профилем (рис. 5.6, *а*) имеет особенность, заключающуюся в том, что между боковыми стенками станины отсутствует горизонтальная полка. Поэтому такие профили не обеспечивают высокой жесткости и применяются, например, в группе легких токарных станков. Поперечное сечение станины с полуоткрытым профилем имеет горизонтальную (рис. 5.7, *а*) или наклонную (рис. 5.7, *б*) полку между боковыми стенками, что повышает ее жесткость и может применяться в средних токарных станках. Сечения с наклонной полкой обычно применяются в станках, в которых требуется отвод большого количества стружки, осуществляющийся через специальное окно в задней боковой стенке станины (см. рис. 5.7, *б*).

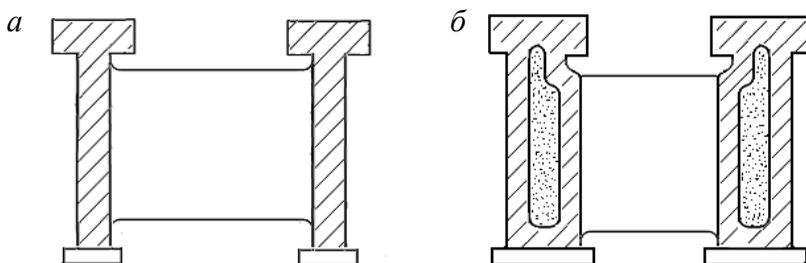


Рис. 5.6. Профили открытых поперечных сечений станин с обычными (*а*) и двойными стенками (*б*)

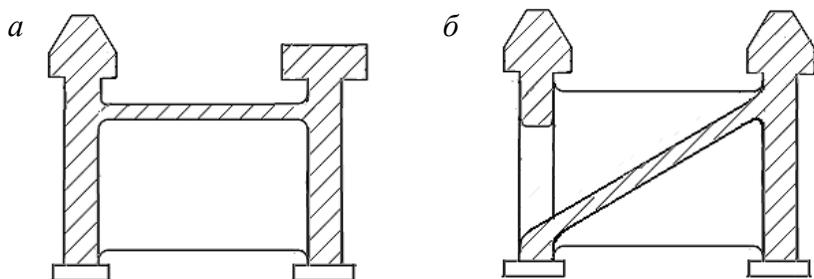


Рис. 5.7. Профили полуоткрытых поперечных сечений станин с горизонтальной (а) и наклонной полками (б)

Поперечные сечения станин могут быть с двойными стенками (рис. 5.8, б), обычно имеющими между собой замкнутые полости, заполненные сыпучим материалом. Такие сечения обеспечивают значительное повышение жесткости и демпфирующих свойств станины и могут применяться в станках для черновой обработки.

Профили поперечных сечений наклонных станин имеют расположение направляющих для рабочего органа на наклонной плоскости (рис. 5.8, а). Это улучшает отвод стружки, а также условие обслуживания и обзор зоны обработки. Такие профили обычно применяются в высокопроизводительных токарных станках с ЧПУ и токарных гидроконтролируемых полуавтоматах.

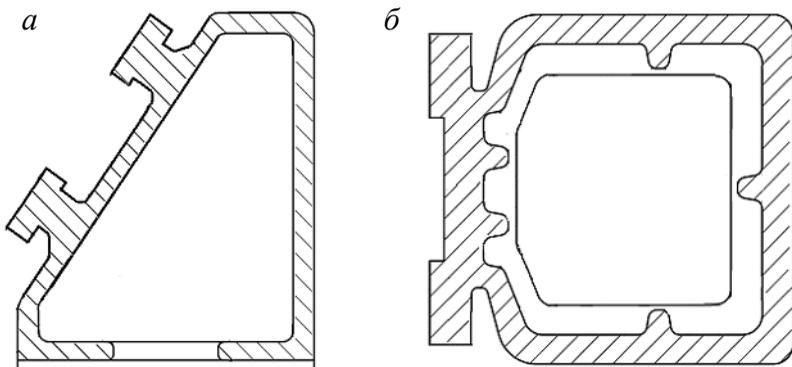


Рис. 5.8. Поперечные замкнутые сечения горизонтальной станины с наклонной компоновкой (а) и вертикальной стойки с квадратным профилем (б)

Поперечные сечения вертикальных станин и стоек обычно имеют замкнутый профиль, который может быть прямоугольным, квадратным или круглым. Для увеличения жесткости применяются поперечные и продольные ребра, повышающие момент инерции сечений на кручение и изгиб. Прямоугольные профили поперечных сечений стойки применяются в станинах с нагрузками в плоскости симметрии (рис. 5.9, *а*), например, в стойке вертикально-сверлильного станка. Квадратные профили сечений с высокой крутильной жесткостью применяются в станках с пространственной нагрузкой, например, в стойке вертикальных многооперационных и бесконсольных фрезерных станках (рис. 5.8, *б*). Круглые профили сечений (рис. 5.9, *б*) применяются в станках, имеющих узлы с движением поворота относительно стойки, например, в радиально-сверлильном станке.

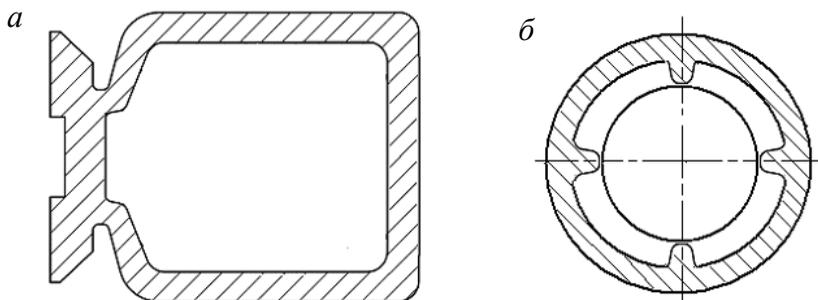


Рис. 5.9. Поперечные замкнутые сечения вертикальных стоек с прямоугольным (*а*) и круговым (*б*) профилем

## 5.6. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с видами базовых деталей станков, особенностями их конструкций и назначением.
2. Изучить типовые расчетные схемы базовых деталей и их применение для конкретных станков.
3. Ознакомиться с методикой составления расчетных схем действующих нагрузок на базовые детали и определения контактной, изгибной и крутильной жесткости и согласно заданию вычертить расчетную схему для станка.

4. Изучить типовые конструкции поперечных сечений станин и стоек и область их применения.

5. Изучить конструкции базовых деталей токарно-винторезного, токарного гидрокопировального, вертикально-сверлильного и зубофрезерного станка и вычертить их компоновки.

6. Вычертить профили поперечных сечений станин токарно-винторезного, токарного гидрокопировального, вертикально-сверлильного и зубофрезерного станка (рис. 5.10, 5.11 и 5.12) и описать особенности их конструкции, а также назначение их направляющих.

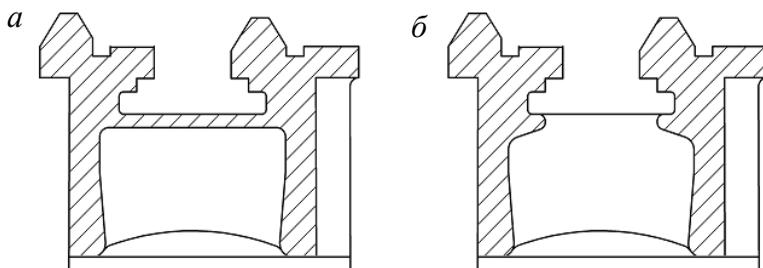


Рис. 5.10. Полуоткрытый (а) и открытый (б) профиль поперечного сечения станины токарно-винторезного станка

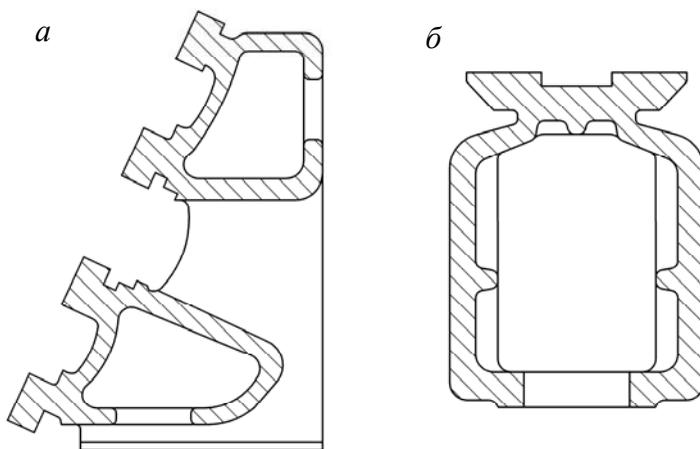


Рис. 5.11. Поперечные сечения станины с наклонным профилем токарного гидрокопировального полуавтомата (а) и стойки с замкнутым профилем вертикально-сверлильного станка (б)

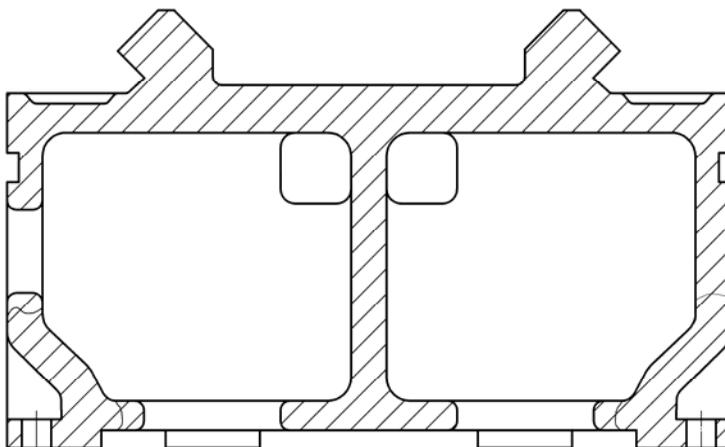


Рис. 5.12. Замкнутый профиль поперечного сечения станины зубофрезерного полуавтомата

### 5.7. Содержание отчета

1. Типовые компоновки горизонтальных и вертикальных станков и их базовые детали.
2. Примеры расчетных схем базовых деталей конкретных станков.
3. Расчетные схемы и формулы для определения контактной, изгибной и крутильной жесткости базовой детали.
4. Компоновки базовых деталей токарно-винторезного, токарно-гидрокопировального, вертикально-сверлильного и зубофрезерного станка.
5. Конструкции профилей поперечных сечений станин или стоек токарно-винторезного, токарного гидрокопировального, вертикально-сверлильного и зубофрезерного станка и описание их особенностей, а также вид и назначение их направляющих.

### 5.8. Контрольные вопросы

1. Каковы основные виды базовых деталей станков и их особенности?
2. Назначение основных базовых деталей, влияние их конструкций на точность обработки и предъявляемые к ним конструктивные и технологические требования.

3. Типовые компоновки горизонтальных и вертикальных станков и виды их расчетных схем.

4. Расчетные схемы действующих нагрузок на базовые детали заданных станков и особенности расчета жесткости их конструкций.

5. Типовые профили поперечных сечений станин и стоек станков, их достоинства и недостатки, а также возможности применения в зависимости от компоновки станка и выполняемого на нем технологического процесса.

6. Каковы особенности конструкций профилей поперечных сечений станин и стоек токарно-винторезного, токарного гидрокопировального, вертикально-сверлильного и зубофрезерного станка, а также вид и назначение их направляющих?

### Л и т е р а т у р а

1. Бушуев, В. В. Основы конструирования станков / В. В. Бушуев. – М. : Станкин, 1992. – 520 с.

2. Бушуев, В. В. Практика конструирования машин / В. В. Бушуев. – М. : Машиностроение, 2006. – 448 с.

3. Васильков, Д. В. Электромеханические приводы металлообрабатывающих станков / Д. В. Васильков, В. Л. Вейц, А. Г. Схиртладзе. – СПб. : Политехника, 2010. – 759 с.

4. Глубокий, В. И. Металлорежущие станки и промышленные роботы : Приводы станков с ЧПУ и агрегатных станков / В. И. Глубокий. – Минск : БПИ, 1986. – 48 с.

5. Глубокий, В. И. Металлорежущие станки и промышленные роботы : Проектирование приводов станка / В. И. Глубокий, А. И. Кочергин. – Минск : БПИ, 1987. – 120 с.

6. Глубокий, В. И. Металлорежущие станки и промышленные роботы : Конструирование металлорежущих станков / В. И. Глубокий. – Минск : БПИ, 1988. – 68 с.

7. Глубокий, В. И. Конструирование и расчет станков. Расчет приводов подачи и направляющих / В. И. Глубокий, А. М. Якимович, А. С. Глубокий. – Минск : БНТУ, 2013. – 96 с.

8. Дунаев, П. В. Конструирование узлов и деталей машин / П. В. Дунаев, О. П. Леликов. – М. : Высшая школа, 1985. – 416 с.

9. Ермаков, Ю. М. Металлорежущие станки / Ю. М. Ермаков, Б. А. Фролов. – М. : Машиностроение, 1985. – 320 с.

10. Конструкция и наладка станков с программным управлением и роботизированных комплексов / Л. И. Грачев [и др.]. – М. : Высшая школа, 1989. – 271 с.

11. Кочергин, А. И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов / А. И. Кочергин. – Минск : Вышэйшая школа, 1991. – 382 с.

12. Маеров, А. Г. Устройство, основы конструирования и расчет металлообрабатывающих станков и автоматических линий / А. Г. Маеров. – М. : Машиностроение, 1986. – 367 с.

13. Металлорежущие станки / под ред. В. Э. Пуша. – М. : Машиностроение, 1986. – 575 с.

14. Металлорежущие станки : в 2 т. / под ред. В. В. Бушуева. – М. : Машиностроение, 2011. – Т. 1. – 608 с.; Т. 2. – 584 с.

15. Металлорежущие станки и автоматы / под ред. А. С. Проникова. – М. : Машиностроение, 1981. – 479 с.

16. Металлорежущие станки / Н. С. Колев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1980. – 500 с.

17. Модзелевский, А. А. Многооперационные станки : Основы проектирования и эксплуатации / А. А. Модзелевский, А. В. Соловьев, В. А. Лонг. – М. : Машиностроение, 1981. – 365 с.

18. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем : в 3 т. / А. С. Проников [и др.]; под ред. А. С. Проникова. – М. : МГТУ, 1994. – Т. 1. – 444 с.; 1995. – Т. 2, ч. 1. – 368 с.; Ч. 2. – 319 с.

19. Рельсовые направляющие Hiwin : Техническая информация. – Минск : Дивимакс, 2011. – 148 с.

20. Роботизированные технологические комплексы и гибкие производственные системы в машиностроении / под ред. Ю. М. Соколенцева. – М. : Машиностроение, 1989. – 190 с.

21. Роликовые рельсовые направляющие Rexroth. – Варшава, 2010. – 148 с.

22. Шариковинтовые приводы Hiwin : Техническая информация. – Минск : Дивимакс, 2011. – 112 с.

23. Шариковинтовые приводы Rexroth. – Варшава, 2010. – 128 с.

24. Шариковые рельсовые направляющие Rexroth. – Варшава, 2011. – 172 с.

25. Справочник по автоматизированному электроприводу / под ред. В. А. Елисеева, А. В. Шинянского. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.

26. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. Е. Я. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 655 с.
27. Станки с числовым программным управлением / под ред. В. А. Лещенко. – М. : Машиностроение, 1988. – 568 с.
28. Станочное оборудование автоматизированного производств : в 2 т. / под ред. В. В. Бушуева. – М. : Станкин, 1994. – Т. 1. – 580 с.; Т. 2. – 656 с.
29. Тарзиманов, Г. А. Проектирование металлорежущих станков / Г. А. Тарзиманов. – М. : Машиностроение, 1980. – 288 с.
30. Трифонов, О. Н. Приводы автоматизированного оборудования / О. Н. Трифонов. – М. : Машиностроение, 1991. – 334 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Примеры кинематических схем многооперационных сверлильно-фрезерно-расточных станков с ЧПУ с автономными приводами подачи для каждого координатного перемещения с бесступенчатым электрическим регулированием

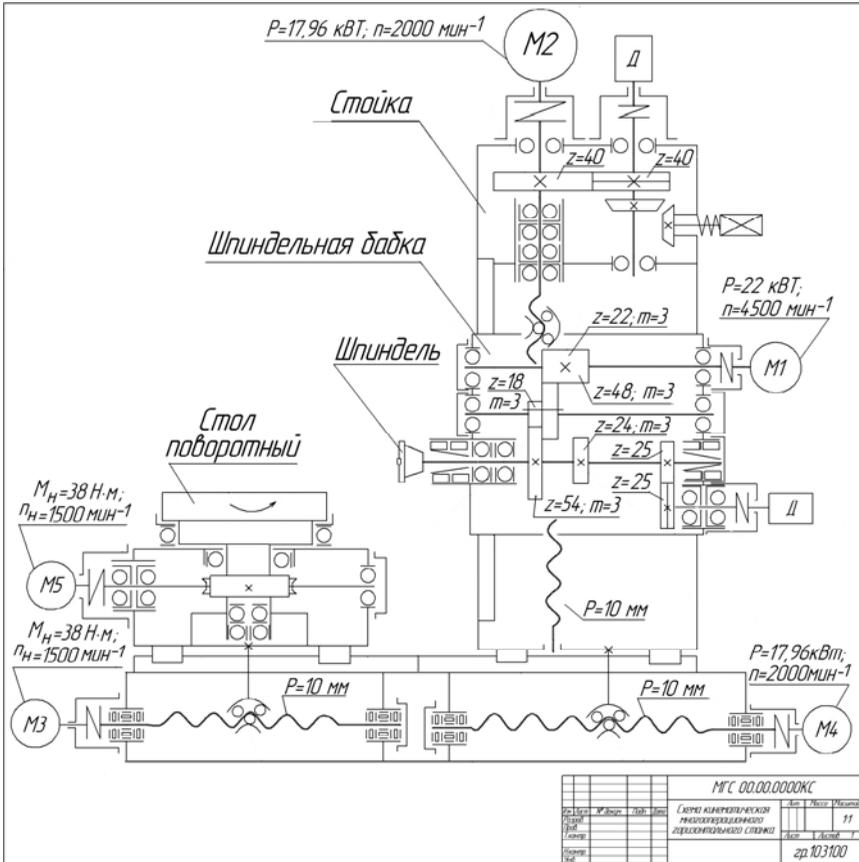


Рис. П1. Кинематическая схема горизонтального многооперационного сверлильно-фрезерно-расточного станка с ЧПУ с консольной шпиндельной бабкой с приводами подачи бабки, стола и вертикальной стойки



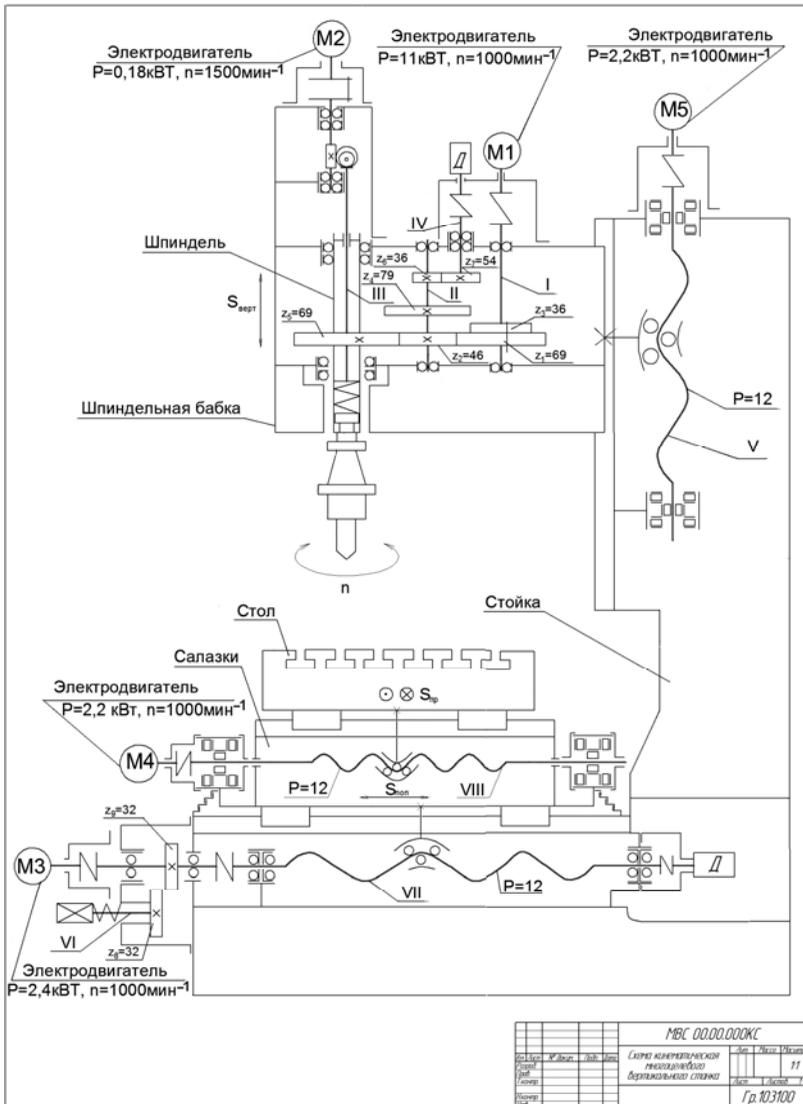


Рис. П3. Кинематическая схема вертикального многооперационного сверльно-фрезерно-расточного станка с ЧПУ с приводами подачи шпиндельной бабки, стола и салазок

## О г л а в л е н и е

Введение.....	3
1. КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДОВ ПОДАЧ СТАНКОВ С ЧПУ... ..	4
1.1. Цель лабораторной работы.....	4
1.2. Назначение и особенности приводов подач.....	5
1.3. Структурные схемы приводов подач.....	5
1.4. Кинематические схемы приводов подач станков с ЧПУ... ..	11
1.5. Конструкции приводов подач станков с ЧПУ.....	13
1.6. Беззазорные зубчатые передачи приводов подач.....	24
1.7. Предохранительные муфты приводов подач.....	26
1.8. Порядок выполнения лабораторной работы.....	29
1.9. Содержание отчета.....	36
1.10. Контрольные вопросы.....	36
2. КОНСТРУКЦИИ ТЯГОВЫХ МЕХАНИЗМОВ ПРИВОДОВ ПОДАЧ.....	37
2.1. Цель лабораторной работы.....	37
2.2. Виды тяговых механизмов.....	37
2.3. Назначение и принцип работы передачи винт-гайка качения.....	41
2.4. Конструкции передач и регулирование натяга в передаче винт-гайка качения.....	42
2.5. Порядок выполнения лабораторной работы.....	53
2.6. Содержание отчета.....	53
2.7. Контрольные вопросы.....	54
3. КОНСТРУКЦИИ НАПРАВЛЯЮЩИХ СКОЛЬЖЕНИЯ.....	54
3.1. Цель лабораторной работы.....	54
3.2. Конструктивные особенности направляющих скольжения.....	55
3.3. Устройства регулирования зазоров в направляющих скольжения.....	57
3.4. Порядок выполнения лабораторной работы.....	58
3.5. Содержание отчета.....	61
3.6. Контрольные вопросы.....	61
4. КОНСТРУКЦИИ НАПРАВЛЯЮЩИХ КАЧЕНИЯ.....	62
4.1. Цель лабораторной работы.....	62

4.2. Конструктивные особенности направляющих качения....	62
4.3. Конструкции направляющих с циркуляцией тел качения.....	65
4.4. Типовые конструкции фиксации и установки рельсов и кареток рельсовых направляющих с циркуляцией тел качения.....	67
4.5. Телескопическая защита направляющих.....	71
4.6. Порядок выполнения лабораторной работы.....	73
4.7. Содержание отчета.....	73
4.8. Контрольные вопросы.....	74
5. КОНСТРУКЦИИ БАЗОВЫХ ДЕТАЛЕЙ.....	74
5.1. Цель лабораторной работы.....	74
5.2. Назначение и виды базовых деталей.....	75
5.3. Основные требования к базовым деталям.....	76
5.4. Расчетные схемы базовых деталей.....	76
5.5. Виды поперечных сечений станин и стоек.....	80
5.6. Порядок выполнения лабораторной работы.....	82
5.7. Содержание отчета.....	84
5.8. Контрольные вопросы.....	84
Литература.....	85
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	88

Учебное издание

**ГЛУБОКИЙ** Владимир Игнатьевич  
**ЯКИМОВИЧ** Александр Максимович  
**МАКАРЕВИЧ** Игнат Владимирович

**КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СТАНКОВ**  
**КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДОВ ПОДАЧ**  
**И БАЗОВЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Учебно-методическое пособие к лабораторным занятиям

Редактор *Т. Н. Микулик*  
Компьютерная верстка *А. Г. Занкевич*

Подписано в печать 26.03.2014. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 5,35. Уч.-изд. л. 4,18. Тираж 200. Заказ 1070.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.