



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

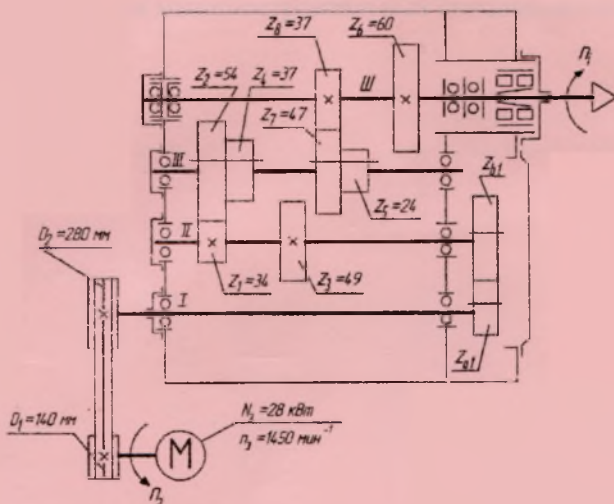
Белорусский национальный
технический университет

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

В.И. Глубокий
В.И. Туромша

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СТАНКОВ КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДОВ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ

Методическое пособие



Минск
БНТУ
2012

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

В.И. Глубокий
В.И. Туромша

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СТАНКОВ
КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДОВ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ

Методическое пособие
по лабораторным занятиям
для студентов машиностроительных специальностей

М и н с к
Б Н Т У
2 0 1 2

УДК 621.9.06-025.13(076.5)(075.8)

~~ББК 34.63-5я7-~~

Г55

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. *И. Л. Баршай*;
д-р техн. наук, проф. *Н. В. Спиридонов*

Глубокий, В.И.

Г55 **Конструирование и расчет станков. Конструкции приводов главного движения : методическое пособие по лабораторным занятиям для студентов машиностроительных специальностей / В. И. Глубокий, В.И. Туромша. – Минск : БНТУ, 2012. – 72 с. ISBN 978-985-525-848-4.**

Методическое пособие по дисциплине «Конструирование и расчет станков» предназначено для лабораторных занятий студентов машиностроительных специальностей.

В пособии к каждой теме занятия приводится теоретическая часть, где описываются основные положения и особенности изучаемых вопросов по данной теме. Кроме того, излагается последовательность выполнения лабораторных работ, а также структура и содержание отчета о лабораторной работе и приводится перечень контрольных вопросов.

Данное методическое пособие также может быть использовано студентами при теоретической самостоятельной подготовке и при выполнении курсовых проектов по проектированию главных приводов металлорежущих станков.

УДК 621.9.06-025.13(076.5)(075.8)

ББК 34.63-5я7

ISBN 978-985-525-848-4

© Глубокий В. И.,
Туромша В. И., 2012
© Белорусский национальный
технический университет, 2012

Введение

Приводы металлорежущих станков имеют различное функциональное назначение и, соответственно, особенности структуры. По видам движений, которые должны обеспечить процесс обработки, они подразделяются на приводы главного движения, подачи и вспомогательных движений.

Приводы главного движения сообщают шпинделю главное вращательное движение резания, частота вращения которого в общем случае может регулироваться электродвигателем и коробкой скоростей. При этом каждый из них может обеспечить регулирование частот вращения в отдельности, например, электрическое бесступенчатое регулирование мотор-шпинделем или механическое ступенчатое коробкой скоростей, а также совместно электромеханическое с определенным числом диапазонов бесступенчатого регулирования.

Коробка скоростей главных приводов представляет собой множительную или сложенную структуру с определенным числом ступеней. Она обеспечивает ступенчатое изменение значений частот вращения шпинделя в приводах с нерегулируемым электродвигателем и определенное число электрических диапазонов бесступенчатого регулирования частот вращения шпинделя с регулируемым электродвигателем.

Шпиндель станка предназначен для сообщения главного вращательного движения резания инструменту, например, на сверлильных и фрезерных станках или заготовке на токарных станках. В целом работа шпиндельного узла влияет на точность и шероховатость обработанных поверхностей и производительность станка.

1. КОМПОНОВКИ ШПИНДЕЛЬНЫХ БАБОК СТАНКОВ

1.1. Цель лабораторной работы

В процессе выполнения лабораторной работы по изучению компоновок шпиндельных бабок ставится цель:

- а) изучить типы и особенности компоновок и конструкции базовых элементов шпиндельных бабок различных станков;
- б) научиться для соответствующих видов станков выбирать варианты конструкций базовых элементов с жестким или подвижным базированием;

в) уметь подбирать оптимальное число видов и наносить габаритные размеры бабки, установочные и присоединительные размеры базовых элементов при разработке чертежей общего вида шпиндельных бабок;

г) знать особенности компоновок шпиндельных бабок и конструкции их базовых элементов при их жестком фиксированном базировании и при подвижной установке на направляющих скольжения или качения.

В данной лабораторной работе на реальных токарном, вертикально-сверлильном и широкоуниверсально-фрезерном инструментальном станках предлагается изучить особенности компоновок шпиндельных бабок, конструкций их базовых элементов и видов установки на базовые детали станков.

1.2. Особенности компоновок шпиндельных бабок

Шпиндельные бабки могут иметь горизонтальную, наклонную или вертикальную компоновку в зависимости от типа станка и выполняемых операций соответственно с горизонтальным, наклонным или вертикальным расположением оси вращения шпинделя. Горизонтальную шпиндельную бабку обычно имеют токарные, горизонтально-расточные, горизонтальные многооперационные, шлифовальные и другие станки. Наклонные шпиндельные бабки применяются наряду с горизонтальными и вертикальными бабками в агрегатных станках. Вертикальные шпиндельные бабки имеют станки вертикального исполнения типа вертикально- и радиально-сверлильные, координатно-расточные, бесконсольно-фрезерные, вертикальные многооперационные и другие.

1.3. Варианты установки шпиндельных бабок на базовые детали станка

Шпиндельные бабки могут располагаться на станине в токарных и широкоуниверсальных консольно-фрезерных станках, на стойке в вертикально-сверлильных, горизонтально-расточных, бесконсольно-фрезерных и многооперационных сверлильно-фрезерно-расточных станках, на траверсе в радиально-сверлильных и продольно-фрезерных станках и на силовых столах агрегатных станков.

Они могут быть неподвижными с жесткой фиксацией на базовой детали станка, например в токарных станках, и подвижными со вспомогательным и установочным движением или с движением рабочей подачи, например, в сверлильных, горизонтально-расточных, вертикальных бесконсольно-фрезерных, горизонтальных и вертикальных многооперационных сверлильно-фрезерно-расточных и других станках. При этом направление перемещения шпиндельных бабок может быть как параллельным, так и перпендикулярным оси шпинделя.

Горизонтальные шпиндельные бабки токарных станков в общем случае устанавливаются и закрепляются на горизонтальную станину, например в универсальных токарных станках (рис. 1.1, а), или на наклонную станину в токарных станках с ЧПУ и гидрокопировальных полуавтоматах (рис. 1.1, б).

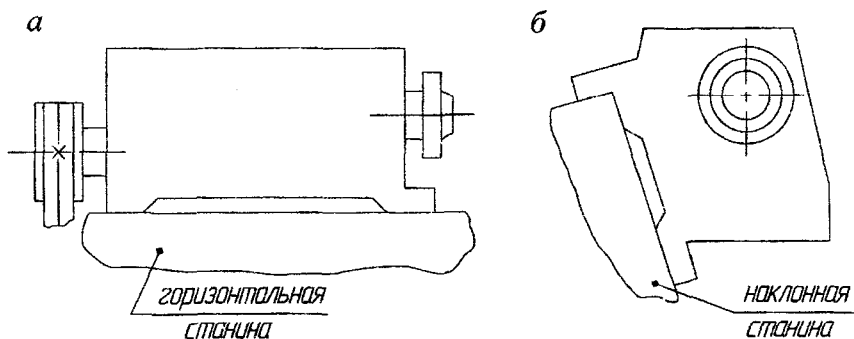


Рис. 1.1. Компоновки горизонтальных шпиндельных бабок токарных станков с расположением на горизонтальной (а) и наклонной (б) станине

В горизонтальных многооперационных сверлильно-фрезерно-расточных станках шпиндельные бабки могут иметь консольную (рис. 1.2, а) или центральную (рис. 1.2, б) установку на вертикальную стойку, при этом направление их перемещения перпендикулярно оси шпинделя. В вертикальных многооперационных сверлильно-фрезерно-расточных станках шпиндельная бабка устанавливается на вертикальную стойку (рис. 1.3, а, б) и имеет направление перемещения, параллельное оси шпинделя.

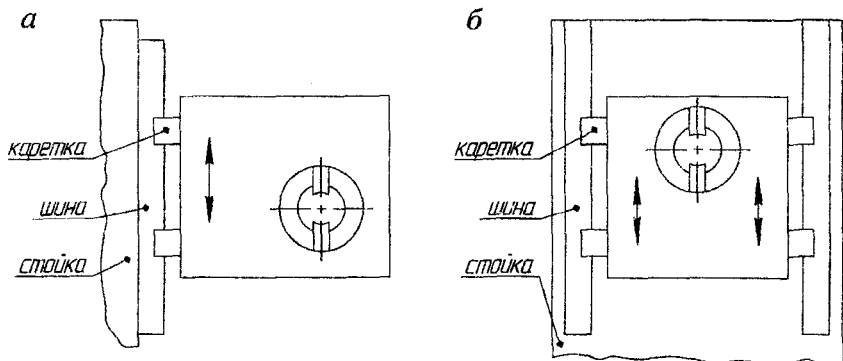


Рис. 1.2. Компоненты шпиндельных бабок с их консольным (а) и центральным (б) расположением горизонтальных многооперационных сверлильно-фрезерно-расточных станков

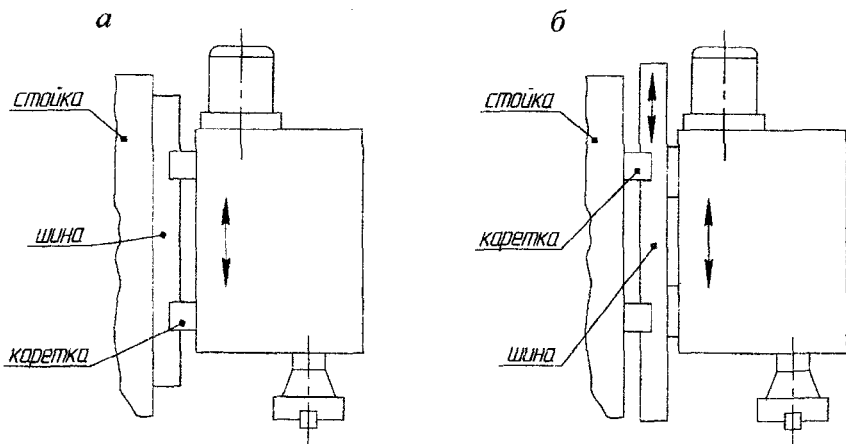


Рис. 1.3. Компоненты шпиндельных бабок с подвижными каретками (а) и с подвижными пинами (б) направляющих качения вертикальных многооперационных сверлильно-фрезерно-расточных станков

1.4. Базирование шпиндельных бабок и виды направляющих

Для установки шпиндельных бабок на базовые детали станка их корпус имеет точно обработанные базовые поверхности. Ими они устанавливаются и фиксируются в определенном положении на базовой детали, как в токарном станке (рис. 1.4).

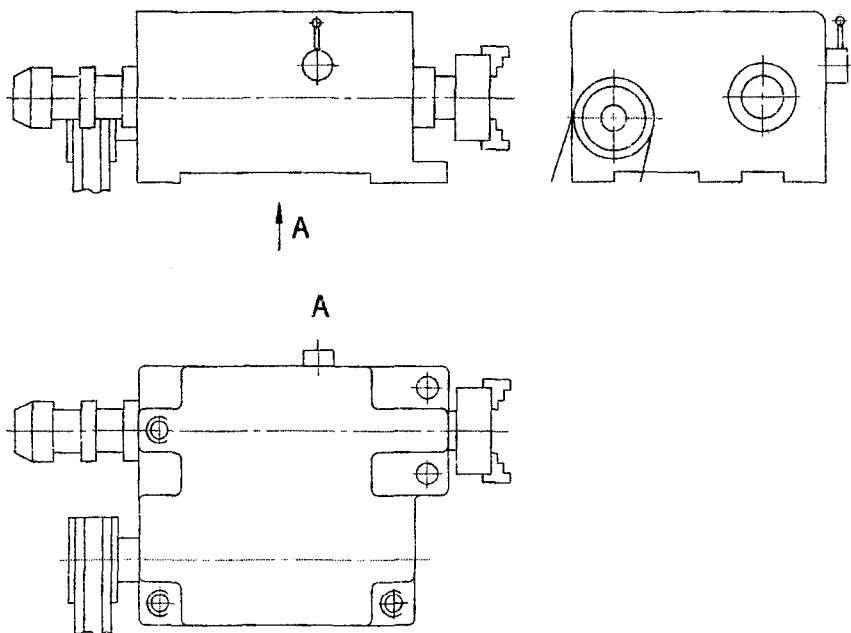


Рис. 1.4. Компоновка шпиндельной бабки токарного станка с ЧПУ

Кроме того, бабки могут устанавливаться и перемещаться по направляющим базовой детали. Направляющие бабки могут иметь поперечное сечение с внутренним профилем в корпусе (рис. 1.5, б), охватывающим направляющие базовой детали, как в вертикально-сверлильном станке (рис. 1.6).

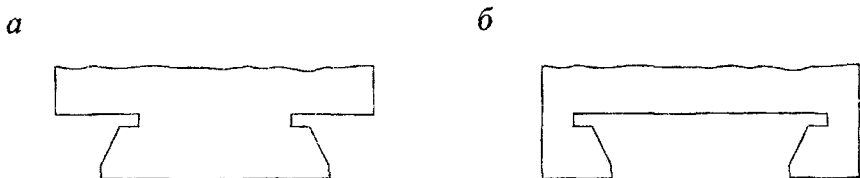


Рис. 1.5. Трапециевидные направляющие скольжения шпиндельных бабок типа ласточкин хвост с наружным охватываемым (а) и внутренним охватывающим (б) профилем

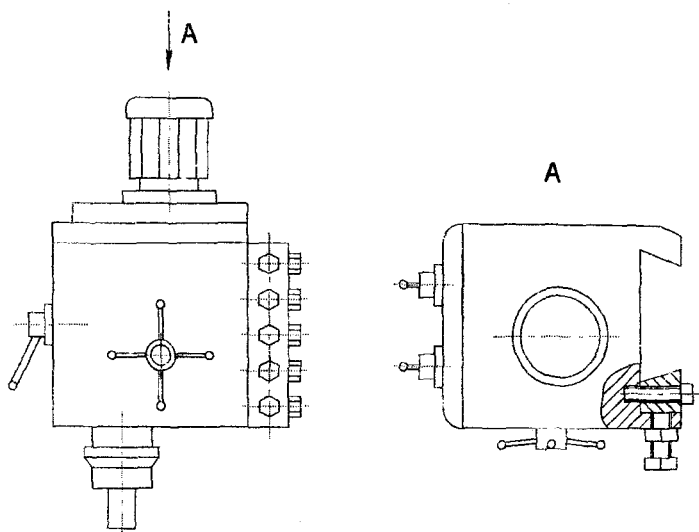


Рис. 1.6. Компоновка шпиндельной бабки вертикально-сверлильного станка

Они также могут иметь наружный элемент с выпуклым профилем, выступающим за корпус (рис. 1.5, а) и охватываемым направляющими базовой детали, как в широкоуниверсально-фрезерном инструментальном станке (рис. 1.7).

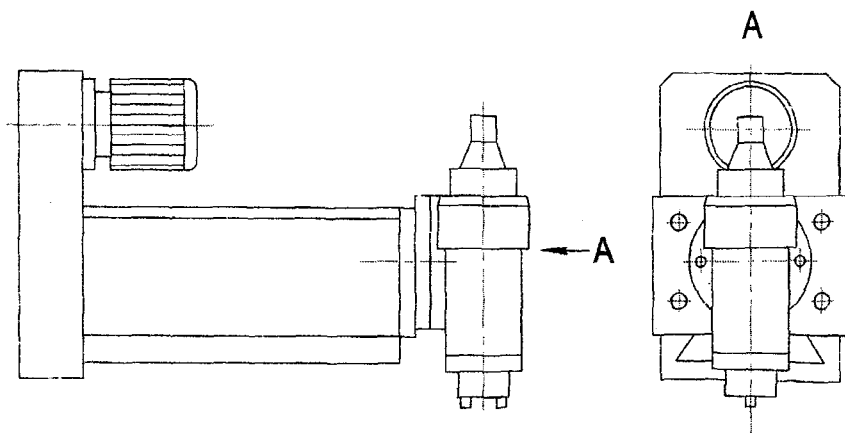


Рис. 1.7. Компоновка шпиндельной бабки широкоуниверсально-фрезерного инструментального станка

Подвижные шпиндельные бабки имеют направляющие скольжения или качения. Направляющие скольжения чаще применяются в универсальных станках и бывают плоскими прямоугольными и трапециевидными типа ласточкин хвост. Направляющие скольжения шпиндельных бабок обычно имеют устройство регулирования зазоров между рабочими поверхностями корпуса бабки и базовой детали в виде прижимных и регулировочных планок (см. рис. 1.6) и регулировочных клиньев.

Направляющие качения обычно применяются в станках с ЧПУ. В последнее время используются направляющие с циркуляцией тел качения типа фирмы Rexroth с каретками и шинами. Каретки могут крепиться к корпусу подвижной шпиндельной бабки, а шины – к базовой детали в виде станины, стойки, траверсы и т. д. (см. рис. 1.3, а), или наоборот (см. рис. 1.3, б). Таким образом, шпиндельная бабка может перемещаться вместе с каретками относительно шин или с шинами относительно кареток.

1.5. Оформление чертежей общего вида и нанесение размеров

В соответствии с госстандартом на оформление чертежей видов изделия установлены следующие названия основных видов: вид спереди (главный вид) и виды сверху, слева, справа, снизу и сзади. На чертежах общего вида шпиндельных бабок необходимо давать минимальное число видов и если какой-либо вид не находится в проекционной связи с главным видом, то он обозначается прописной буквой А, Б, В и т. д. На общем виде должны наноситься габаритные размеры бабки, установочные и присоединительные размеры базовых элементов и другие компоновочные размеры.

1.6. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с особенностями компоновок шпиндельных бабок токарных и многооперационных металлорежущих станков.
2. Изучить компоновки шпиндельных бабок токарного, вертикально-сверлильного и широкоуниверсально-фрезерного инструментального станка.

3. Ознакомиться с особенностями конструкции базовых элементов и принципов базирования шпиндельных бабок указанных станков, соответственно на станину или стойку.

4. Вычертить компоновки шпиндельных бабок:

а) токарного станка в трех проекциях с главным видом, видом слева и видом снизу на базовые поверхности;

б) вертикально-сверлильного станка в двух проекциях с главным видом с изображением крайних положений перемещающегося шпинделя с пинолью и с видом сверху на базовые элементы с местным разрезом по устройству регулирования зазоров направляющих;

в) широкоуниверсально-фрезерного инструментального станка в двух проекциях с главным видом и видом справа, в том числе на базовый наружный элемент трапецевидного сечения.

5. Нанести на рисунки компоновок шпиндельных бабок их габаритные размеры, установочные и присоединительные размеры базовых элементов, а также размеры, определяющие положение выступающих частей:

а) для токарного станка – размеры базовых поверхностей, присоединительных отверстий и координат их осей, расстояний между осями, взаимосвязанных отверстий;

б) для вертикально-сверлильного станка – присоединительные размеры базовых элементов направляющих с трапецевидным внутренним профилем и их длины, а также хода шпинделя с пинолью;

в) для широкоуниверсально-фрезерного инструментального станка – присоединительные размеры базовых элементов направляющих с трапецевидным наружным профилем и их длину.

6. Описать вид компоновок шпиндельных бабок токарного, вертикально-сверлильного и широкоуниверсально-фрезерного инструментального станков, особенности их установки на базовые детали станка и виды нанесенных размеров.

1.7. Содержание отчета

1. Описание возможных вариантов компоновок шпиндельных бабок и особенностей их установки на базовые детали станка.

2. Чертежи установки на станину шпиндельных бабок токарных станков с горизонтальной и наклонной станиной.

3. Рисунки установки на станину шпиндельных бабок многооперационных сверлильно-фрезерно-расточных станков с указанием направлений движения шпиндельных бабок.

4. Рисунки и описание особенностей компоновок шпиндельных бабок токарного, вертикально-сверлильного и широкоуниверсально-фрезерного инструментального станка с основными размерами.

5. Описание габаритных размеров шпиндельных бабок, соединительных и установочных размеров базовых элементов и других компоновочных размеров.

1.8. Контрольные вопросы

1. Виды компоновок шпиндельных бабок, их особенности и примеры применения в металлорежущих станках.

2. Каковы возможные варианты установки шпиндельных бабок на базовые детали для различных станков?

3. Каковы особенности компоновок подвижных шпиндельных бабок с направляющими скольжения?

4. Особенности шпиндельных бабок с направляющими качения и варианты их движения.

5. Компоновки и базирование на станину шпиндельной бабки токарного станка и их особенности.

6. Особенности компоновки и базирования на стойку шпиндельной бабки вертикально-сверлильного станка.

7. Особенности компоновки и базирования на станину шпиндельной бабки широкоуниверсально-фрезерного инструментального станка.

8. Какие виды размеров наносятся на чертежи компоновок шпиндельных бабок металлорежущих станков?

2. КОНСТРУКЦИИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ

2.1. Цель лабораторной работы

В процессе выполнения лабораторной работы по изучению конструкции подшипников качения шпиндельных опор ставится цель:

- а) изучить типы подшипников, воспринимаемые ими нагрузки и особенности конструкции;
- б) научиться выбирать из возможных вариантов соответствующие подшипники для передней и задней опоры шпиндельного узла;
- в) уметь подбирать оптимальные комплекты подшипников для соответствующей опоры шпинделя;
- г) знать особенности способов регулирования зазора и создания предварительного натяга для различных типов подшипников.

В данной лабораторной работе предлагается по реальным образцам шариковых и роликовых радиально-упорных подшипников изучить их конструкцию и возможности регулирования и смазывания.

2.2. Особенности подшипников качения шпиндельных опор

В станкостроении широко применяются как обычные подшипники общего машиностроения, так и специально предназначенные для установки в опорах шпиндельных узлов металлорежущих станков. Подшипники качения, применяемые в станкостроительном производстве, должны обеспечивать высокую точность вращения шпинделя и необходимую виброустойчивость, надежно работать при изменении частоты вращения и нагрузок в широком диапазоне и быть удобными в эксплуатации. Основными критериями работоспособности подшипников шпиндельных опор являются радиальная и осевая жесткость, несущая способность, быстроходность и небольшие температурные деформации. Несущая способность подшипников качения характеризуется динамической и статической грузоподъемностью, а быстроходность – предельной частотой вращения и параметрами быстроходности. Для каждого подшипника качения существует предельная частота вращения, превышение которой приводит к появлению сил инерции тел качения, нарушению

равномерности вращения подшипника, ухудшению условий смазывания, росту износа рабочих поверхностей и перегреву спор. Подшипники качения выходят из строя вследствие усталостного выкрашивания дорожек качения и износа тел качения, приводящих к увеличению зазоров. Если частота вращения подшипника превышает предельное значение, то следует обеспечить хороший отвод тепла от опоры и оптимальный способ их смазывания.

2.3. Типы подшипников шпиндельных опор

Наибольшее распространение в опорах шпиндельных узлов получили следующие типы подшипников:

- а) роликовые радиальные двухрядные цилиндрические с коническим посадочным отверстием;
- б) роликовые радиально-упорные однорядные конические с упорным бортом;
- в) роликовые радиально-упорные однорядные конические с мягкой выборкой зазора подпружиненным наружным кольцом;
- г) роликовые радиально-упорные двухрядные конические с опорным бортом;
- д) шариковые радиальные, радиально-упорные и упорные;
- е) шариковые упорно-радиальные сдвоенные с углом контакта 60° .

2.4. Типы роликовых подшипников шпиндельных опор

В передних или задних опорах шпиндельных узлов получили применение следующие типы роликовых подшипников:

- а) роликовые радиальные двухрядные цилиндрические с коническим посадочным отверстием типа 3182100 (рис. 2.1, а) в передних или задних опорах;
- б) роликовые радиально-упорные однорядные конические с упорным бортом типа 67000 (рис. 2.1, б) в передних опорах;
- в) роликовые радиально-упорные однорядные конические с мягкой выборкой зазоров с подпружиненным наружным кольцом типа 17000 (рис. 2.1, в) в задних опорах;
- г) роликовые радиально-упорные двухрядные конические с опорным бортом типа 69700 (рис. 2.1, г) в передних опорах.

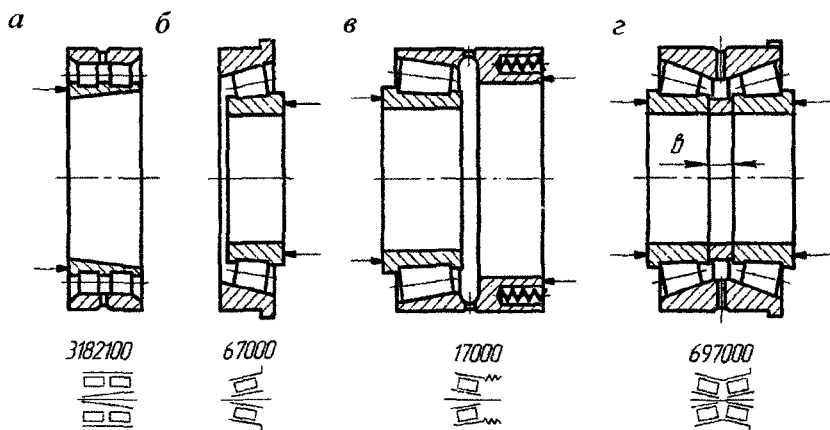


Рис. 2.1. Типы роликовых радиальных (а) и радиально-упорных (б, в, г) подшипников для опор шпиндельных узлов

2.4.1. Роликовые радиальные двухрядные цилиндрические подшипники с коническим посадочным отверстием

Роликовые радиальные двухрядные цилиндрические подшипники с коническим посадочным отверстием типа 3182100 (см. рис. 2.1, а) воспринимают только радиальные нагрузки и характеризуются высокой грузоподъемностью. Эти подшипники могут устанавливаться в передней и задней опорах шпинделя (рис. 2.2).

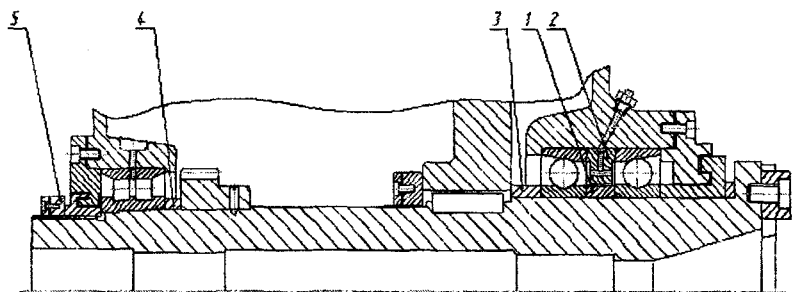


Рис. 2.2. Шпиндельный узел с роликовым радиальным двухрядным цилиндрическим подшипником с коническим посадочным отверстием типа 3182100 в задней опоре

При этом в передней опоре они устанавливаются как самостоятельно, так и в комплекте с радиально-упорными (рис. 2.3), упорно-радиальными и упорными шариковыми подшипниками, а в задней — только самостоятельно.

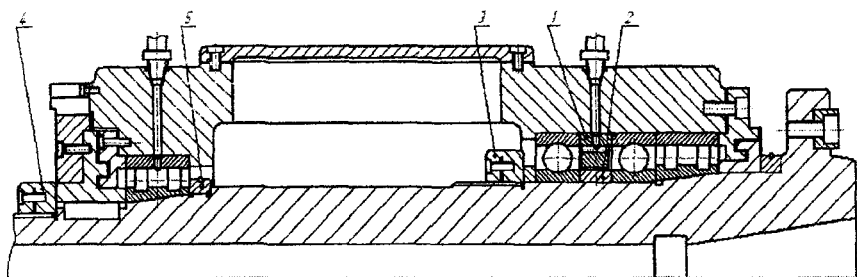


Рис. 2.3. Шпиндельный узел с роликовыми радиальными двухрядными цилиндрическими подшипниками с коническим посадочным отверстием типа 3182100 в передней опоре в комплекте с шариковыми радиально-упорными подшипниками и в задней — самостоятельно

Если подшипник устанавливается самостоятельно в опоре, то такая опора будет являться плавающей, а если в комплекте с вышеперечисленными подшипниками — то фиксирующей. Для регулирования зазора и создания натяга между рабочими поверхностями дорожек внутреннего и наружного колец и телами качения внутреннее кольцо подшипника имеет коническое посадочное отверстие. При осевом смещении этого кольца с помощью регулировочных гаек 5 (см. рис. 2.2) или 3 и 4 (см. рис. 2.3) относительно конической шейки шпинделя, как указано стрелками (см. рис. 2.1, а), оно деформируется в радиальном направлении. При этом выбирается радиальный зазор и создается натяг в контакте рабочих поверхностей колец подшипника и тел качения, величина которого определяется шириной регулировочного кольца 4 (см. рис. 2.2) или полуколец 5 (см. рис. 2.3). Позициями 1, 2 и 3 обозначены элементы для регулирования шариковых радиально-упорных подшипников.

2.4.2. Роликовые радиально-упорные однорядные конические подшипники с упорным бортом на наружном кольце

Роликовые радиально-упорные однорядные конические подшипники с упорным бортом на наружном кольце (см. рис. 2.1, б) воспринимают радиальные и осевые нагрузки. Эти подшипники обычно устанавливаются в передней опоре шпинделя с применением схемы установки подшипников в растяжку. В этом случае регулирование натяга осуществляется одновременно в передней и задней опорах шпинделя регулировочной гайкой 4 (рис. 2.4), расположенной на консольной его части со стороны задней опоры.

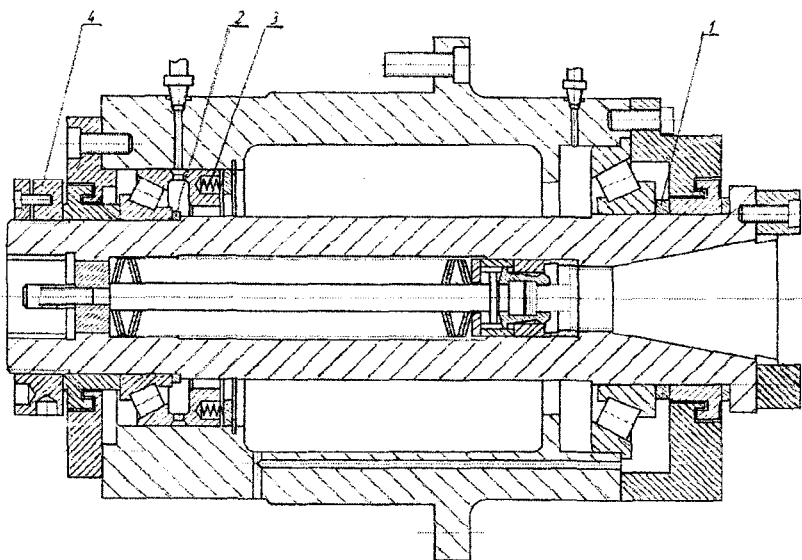


Рис. 2.4. Шпиндельный узел с роликовыми радиально-упорными однорядными коническими подшипниками с упорным бортом на наружном кольце типа 67000 в передней опоре и с мягкой выборкой зазоров типа 17000 в задней

При этом во время вращения регулировочной гайки внутреннее кольцо подшипника вместе с роликами смещается, как указано стрелками, влево (см. рис. 2.1, б), в направлении рабочей дорожки конического отверстия наружного зафиксированного кольца и вы-

бирается зазор между роликами и коническими рабочими поверхностями дорожек колец подшипника. Борт на наружном кольце используется для его базирования по торцу корпуса шпиндельной бабки. Позициями 1 и 2 (см. рис. 2.4) обозначены распорные втулки на шпинделе перед внутренними кольцами подшипников, а позицией 3 – пружина мягкой выборки зазора в задней опоре.

2.4.3. Роликовые радиально-упорные однорядные конические подшипники с мягкой выборкой зазоров

Роликовые радиально-упорные однорядные конические подшипники с мягкой выборкой зазоров (см. рис. 2.1, в) воспринимают радиальную и осевую нагрузки. Они предназначены для установки в задней опоре шпинделя, при этом могут устанавливаться в виде плавающей опоры, если передняя фиксирующая, или с применением схемы установки подшипников вращающую (рис. 2.5).

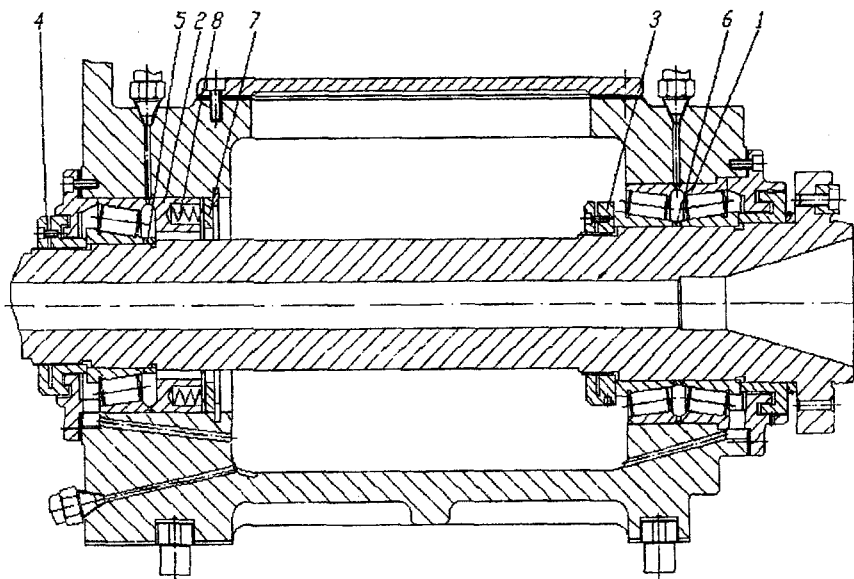


Рис. 2.5. Шпиндельный узел с роликовым радиально-упорным двухрядным коническим подшипником с упорным бортом на наружном кольце типа 697000 в передней опоре и с однорядным – с мягкой выборкой зазоров типа 17000 в задней

Эти подшипники имеют мягкую регулировку зазоров с помощью пружин 3 (см. рис. 2.4), расположенных в осевых отверстиях наружного кольца, которые его смещают, как указано стрелками, влево (см. рис. 2.1, в) и за счет этого обеспечивают постоянный предварительный натяг в процессе эксплуатации подшипника. Жесткий натяг в подшипнике создается регулировочной гайкой 4 (см. рис. 2.4), при вращении которой внутреннее кольцо вместе с роликами смещается, как указано стрелками, вправо (см. рис. 2.1, в) в направлении конической рабочей дорожки наружного кольца и выбирается зазор в контакте рабочих дорожек и тел качения.

2.4.4. Роликовые радиально-упорные двухрядные конические подшипники с упорным бортом на наружном кольце

Роликовые радиально-упорные двухрядные конические подшипники с упорным бортом на наружном кольце (рис. 2.1, з) воспринимают радиальную и осевую нагрузки. Эти подшипники обычно устанавливаются в передней опоре шпинделя, и опора является фиксирующей (см. рис. 2.5). Регулирование зазора и создание требуемого натяга в подшипнике обеспечивается регулировочным кольцом между внутренними кольцами подшипника с соответствующей шириной b , которое поставляется в комплекте с подшипником. При вращении регулировочной гайки 3 (см. рис. 2.5) внутренние кольца подшипника смещаются навстречу друг к другу, как указано стрелками (см. рис. 2.1, з), в сторону конических рабочих дорожек наружного кольца 1 на определенную величину. В соответствии с шириной регулировочного кольца b создается требуемый предварительный натяг в контакте тел качения и рабочих поверхностей колец подшипника. Позициями 4 и 5 обозначены регулировочные гайка и втулка для жесткой регулировки натяга в задней опоре и позицией 8 – пружина мягкой регулировки зазора, действующая на наружное кольцо подшипника 2 и кольцо 7.

2.5. Типы шариковых подшипников шпиндельных опор

В передних и задних опорах шпиндельных узлов получили применение следующие типы шариковых подшипников:

а) шариковые радиальные, радиально-упорные и упорные типа 300, 400; 36000, 46000, 66000; 8200, 8300, 38200 и др.;

б) комплекты дуплекс шариковых радиально-упорных типа 36000, 46000, 66000 (рис. 2.6, а, б, в) в передних и задних опорах;

в) комплекты триплекс шариковых радиально-упорных типа 36000, 46000, 66000 (рис. 2.7, а, б) в передних опорах;

г) шариковые упорно-радиальные сдвоенные с углом контакта 60° типа 178800 (рис. 2.7, е) в передних опорах в комплекте с радиальными роликовыми.

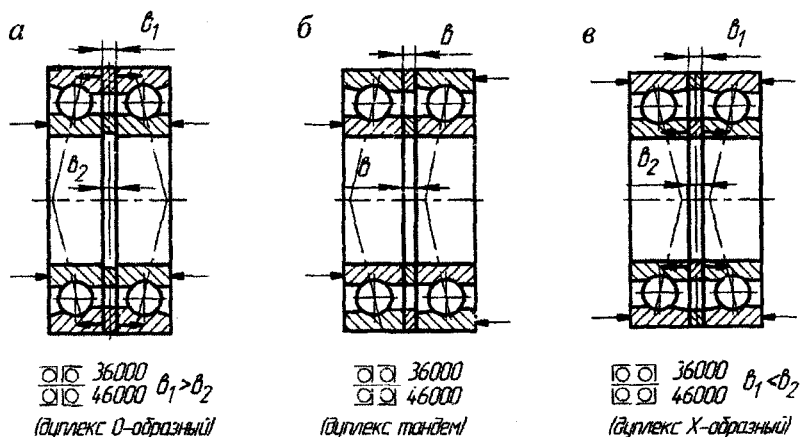


Рис. 2.6. Типы комплектов дуплекс шариковых радиально-упорных подшипников для опор шпиндельных узлов

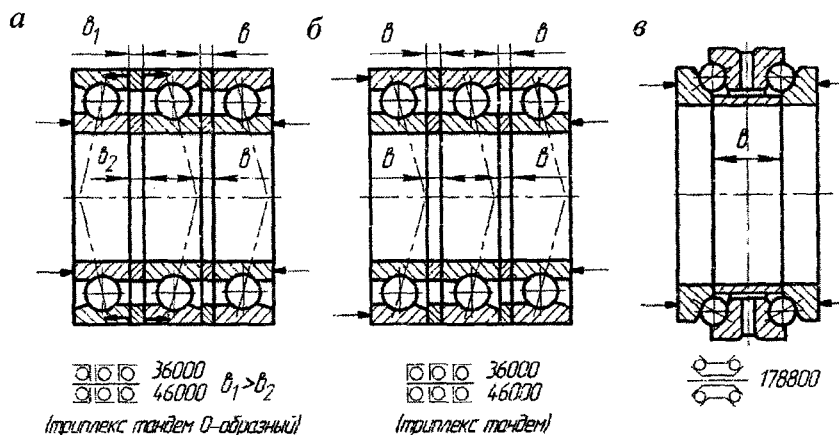


Рис. 2.7. Типы комплектов триплекс шариковых радиально-упорных подшипников (а, б) и упорно-радиальный подшипник (в) для опор шпиндельных узлов

2.5.1. Шариковые радиально-упорные подшипники и их комплекты

Шариковые радиально-упорные подшипники воспринимают радиальную и осевую нагрузки и могут быть одно- и двухрядными. Эти подшипники устанавливаются в передних и задних опорах как самостоятельно, так и комплектами из двух, трех и четырех подшипников. При этом в передней опоре они могут комплектоваться с роликовым радиальным двухрядным цилиндрическим подшипником.

В шпиндельных опорах эти подшипники могут устанавливаться комплектом по два по схеме дуплекс О-образный (см. рис. 2.6, а), тандем (см. рис. 2.6, б), Х-образный (см. рис. 2.6, в) или по три по схеме триплекс тандем О-образный (см. рис. 2.7, а) и тандем (см. рис. 2.7, б). Опоры с указанными подшипниками могут быть фиксирующими, плавающими или с установкой по схеме враспор и врастажку.

Регулирование натяга в таких подшипниках имеет свои особенности в зависимости от схемы установки. Так, для подшипников, установленных по схемам дуплекс О-образный (см. рис. 2.6, а), Х-образный (см. рис. 2.6, в) и триплекс тандем О-образный (см. рис. 2.7, а), для регулирования натяга имеются два регулировочных кольца соответственно между наружными и внутренними кольцами подшипников с разной шириной b_1 и b_2 .

При этом для схемы дуплекс О-образный и триплекс тандем О-образный необходимо, чтобы ширина регулировочного кольца между наружными кольцами подшипников b_1 была больше, чем между внутренними b_2 (см. рис. 2.6, а и 2.7, а), т. е. $b_1 > b_2$. Это связано с тем, что для создания натяга при вращении регулировочной гайки наружные кольца подшипников должны перемещаться в противоположные стороны, а внутренние – навстречу друг другу, как указано стрелками (см. рис. 2.6, а и 2.7, а). Ниже приведена конструкция шпиндельного узла (рис. 2.8) с комплектом шариковых радиально-упорных подшипников типа 36000 со схемой триплекс тандем О-образный в передней опоре и дуплекс О-образный – в задней, с регулировочными гайками 1, 4 и регулировочными втулками 2, 3 и 5, 6.

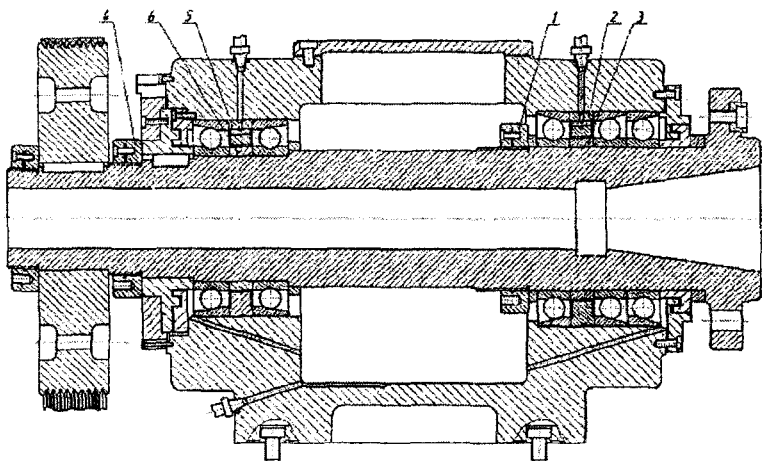


Рис. 2.8. Шпиндельный узел с комплектом шариковых радиально-упорных подшипников типа 36000 со схемой триплекс тандем О-образный в передней опоре и дуплекс О-образный – в задней

Для Х-образной схемы, наоборот, необходимо, чтобы ширина регулировочного наружного кольца b_1 была меньше внутреннего b_2 (см. рис. 2.6, в), т. е. $b_1 < b_2$, так как для создания натяга при вращении регулировочной гайки в данном случае наружные кольца подшипников должны перемещаться навстречу друг другу, а внутренние – в противоположные стороны, как указано стрелками (см. рис. 2.6, в).

Комплект подшипников дуплекс тандем (см. рис. 2.6, б) устанавливается в передней и задней опорах шпинделя (рис. 2.9), а триплекс тандем (см. рис. 2.7, б) – только в передней, при этом по схеме вращающему. Натяг регулируется в обеих опорах одновременно одной регулировочной гайкой 1 со стороны задней опоры, и ширина регулировочных колец между наружными 3, 5 и 8, 9 и внутренними кольцами 2, 4 и 7, 10 подшипников не имеет значения, так как они равны, т. е. $b_1 = b_2 = b$. Это связано с тем, что наружные кольца подшипников фиксируются в передней (см. рис. 2.7, б) и задней (см. рис. 2.6, б) опорах и для создания натяга при вращении регулировочной гайки внутренние кольца подшипников обеих опор должны перемещаться навстречу друг другу. При этом внутренние кольца подшипников вместе с шариками смещаются в направлении ра-

бочих дорожек наружных колец одновременно в обоих опорах, как указано стрелками (см. рис. 2.6, б и 2.7, б), и выбирается зазор между шариками и рабочими поверхностями дорожек наружных и внутренних колец подшипников обоих опор.

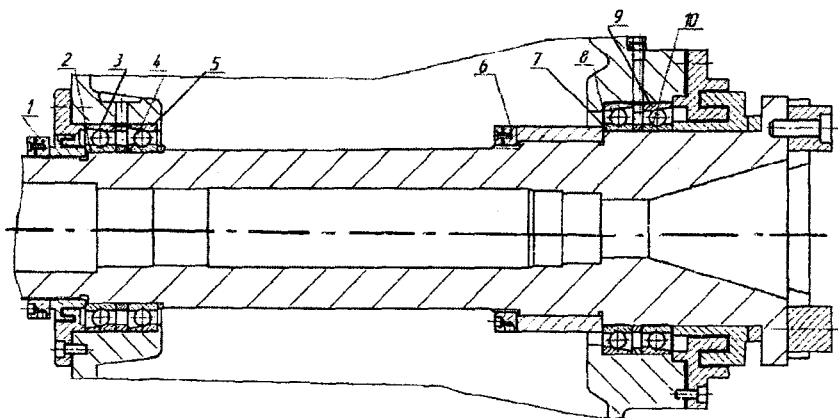


Рис. 2.9. Шпиндельный узел с комплектом шариковых радиально-упорных подшипников типа 36000 со схемой дулекс тандем в передней и задней опорах с установкой в растяжку

2.5.2. Шариковые упорно-радиальные двухрядные подшипники с углом контакта 60°

Шариковые упорно-радиальные двухрядные подшипники с углом контакта 60° (см. рис. 2.7, в) в большей степени воспринимают осевую нагрузку и имеют быстроходность значительно выше, чем в обычных упорных подшипниках. Эти подшипники устанавливаются только в передней опоре в комплекте с роликовым радиальным цилиндрическим подшипником и вместе являются фиксирующей опорой (рис. 2.10).

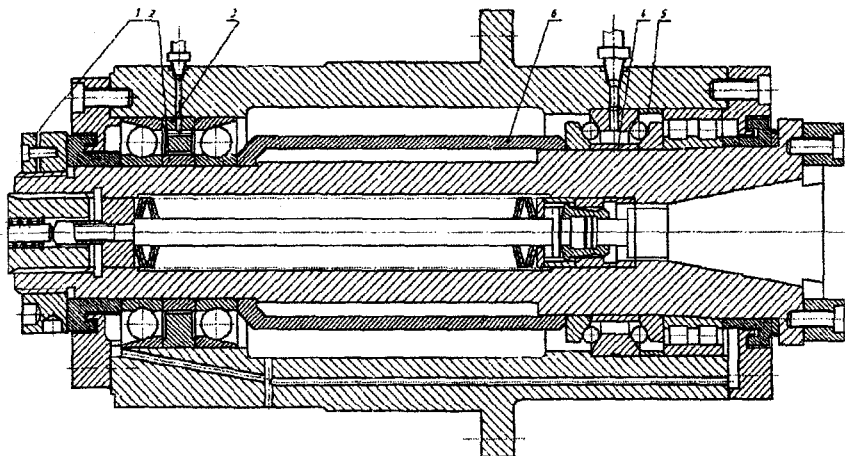


Рис. 2.10. Шпиндельный узел с комплектом шарикового упорно-радиального подшипника с углом контакта 60° типа 178800 и роликового радиального цилиндрического типа 3182100 в передней опоре и с шариковыми радиально-упорными подшипниками со схемой дуплекс О-образный – в задней

Для регулирования предварительного натяга в комплект упорно-радиального подшипника входит регулировочная проставочная втулка определенной ширины b , устанавливаемая между внутренними кольцами подшипника. Ширина регулировочной втулки обеспечивает величину предварительного натяга, поэтому при сборке шпиндельного узла нет необходимости производить регулировку натяга. Однако в процессе эксплуатации в подшипнике могут появиться зазоры, поэтому регулировочная втулка может быть подшлифована до определенной ширины и отрегулирован предварительный натяг. При вращении регулировочной гайки 1 (см. рис. 2.10) внутренние кольца подшипника смещаются навстречу друг другу на определенную величину, как указано стрелками (см. рис. 2.7, в), в соответствии с шириной b регулировочной втулки 4 (см. рис. 2.10). В результате этого выбирается зазор и создается определенный предварительный натяг в контакте шариков и рабочих поверхностей дорожек колец подшипников. Позициями 1, 2 и 3 соответственно обозначены регулировочные гайка и втулки шариковых радиально-упорных подшипников, а 5 и 6 – распорные втулки.

2.6. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с особенностями подшипников качения, применяемых в станкостроении, и критериями их работоспособности, в том числе с несущей способностью и быстроходностью.

2. Изучить конструкции и типы подшипников качения шпиндельных опор, возможности применения подшипников в передних и задних опорах шпиндельных узлов и возможные схемы их установки в виде фиксирующей или плавающей опоры, враспор или врасстяжку.

3. Изучить способы регулирования зазора и создания предварительного натяга для различных типов подшипников с применением регулировочных колец или втулок определенной ширины.

4. Изучить конструкции шариковых и роликовых радиальных, радиально-упорных и упорных подшипников качения шпиндельных опор по реальным образцам лаборатории, принципы регулировки зазора и создания предварительного натяга, а также возможности подачи смазки в их рабочую зону.

5. Вычертить конструктивные схемы лабораторных образцов подшипников качения шпиндельных опор с обозначением ширины регулировочных колец в виде b , b_1 и b_2 и стрелками указать направление смещений наружных и внутренних колец подшипника для создания предварительного натяга.

6. Записать название, тип и область применения указанных подшипников и вычертить их условное обозначение.

7. Описать процесс возможного регулирования предварительного натяга между телами качения и рабочими поверхностями дорожек внутренних и наружных колец реальных образцов подшипников.

8. Описать особенности смазывания подшипников качения через специальные каналы в наружном кольце подшипника и стрелками указать поток подачи смазки через его рабочую зону.

2.7. Содержание отчета

1. Описание критериев работоспособности подшипников качения шпиндельных опор.

2. Название, тип, условное обозначение и область применения реальных лабораторных образцов подшипников качения шпиндельных опор.

3. Конструктивные схемы подшипников качения с обозначением размеров регулировочных втулок и колец и с указанием стрелками

направлений смещений наружных и внутренних колец реальных подшипников при регулировании зазора и создании предварительного натяга.

4. Описание принципа возможного регулирования зазора и создания предварительного натяга в зоне контакта тел качения и рабочих поверхностей колец в реальных подшипниках качения шпиндельных опор.

5. Описание особенностей смазывания подшипников качения через специальные каналы в наружном кольце подшипника с указанием потока подачи смазки через его рабочую зону.

2.8. Контрольные вопросы

1. Каковы особенности подшипников качения, применяемых в станкостроении?

2. Основные критерии работоспособности подшипников качения шпиндельных опор.

3. Название подшипников качения в зависимости от воспринимаемой нагрузки и варианты схем их установки в опорах шпиндельных узлов.

4. Какие из изученных подшипников могут применяться только в передних и задних опорах шпинделя, а какие – в любой опоре?

5. Какие имеются возможные варианты комплектования подшипников качения, устанавливаемых в опорах шпиндельных узлов?

6. Какие из подшипников качения могут устанавливаться в опорах шпинделя по схеме «фиксирующая и плавающая опора», враспор или врастяжку?

7. Как осуществляется регулировка предварительного натяга в роликовых радиальных двухрядных цилиндрических подшипниках с коническим посадочным отверстием?

8. Как осуществляется регулировка предварительного натяга в роликовых радиально-упорных однорядных конических подшипниках и шариковых радиально-упорных подшипниках со схемой установки дуплекс тандем?

9. Как осуществляется регулировка предварительного натяга в роликовых радиально-упорных двухрядных конических подшипниках и шариковых упорно-радиальных двухрядных подшипниках с углом контакта 60° ?

10. Как осуществляется регулировка предварительного натяга в шариковых радиально-упорных подшипниках со схемой установки дуплекс О-образный и дуплекс Х-образный?

3. КОНСТРУКЦИИ И КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ГЛАВНЫХ ПРИВОДОВ

3.1. Цель лабораторной работы

В процессе выполнения лабораторной работы по изучению конструкций и составлению кинематических схем главных приводов металлорежущих станков ставится цель:

- а) изучить структурные схемы, конструкцию и кинематику главных приводов и коробок скоростей;
- б) научиться составлять структурные формулы и уравнения кинематического баланса для расчета фактических частот вращения шпинделя;
- в) уметь разрабатывать и оптимизировать структуру кинематических схем и компоновок главных приводов;
- г) знать методику составления кинематических схем по сборочным чертежам и реальным объектам главных приводов, чтобы получить навыки их расчета и конструирования.

В данной работе предлагается составить оптимальные кинематические схемы с оптимизацией структуры и габаритных размеров главных приводов в лабораторных условиях токарного гидрокопировального полуавтомата модели 1722, горизонтального консольно-фрезерного станка модели 6М82 и токарного станка с ЧПУ 16К20Ф3, записать структурные формулы и уравнения кинематического баланса и рассчитать частоты вращения шпинделя.

3.2. Назначение главных приводов

Главные приводы предназначены для сообщения главного вращательного движения резания шпинделю или возвратно-поступательного движения ползуну, столу и т. д. в зависимости от типа станка. По характеру переключения частот вращения шпинделя они могут быть с дискретным или непрерывным переключением частот и называются *ступенчатыми* и *бесступенчатыми* приводами.

3.3. Типовые структурные схемы главных приводов

3.3.1. Структура приводов главного движения

В общем случае главные приводы имеют электродвигатель, коробку скоростей и шпиндельную группу, а в станках с ЧПУ – также датчик скорости и механизм зажима-разжима заготовок или инструментов. Они могут иметь различные структурные, компоновочные и кинематические схемы.

3.3.2. Структурная схема главного привода со шпиндельной бабкой с фланцевым электродвигателем и встроенной коробкой скоростей

Привод имеет компактную компоновку (рис. 3.1, а), удобное управление и среднескоростные режимы работы. Однако на точности обработки деталей сказывается воздействие на шпиндель вибрации и тепла, возникающих при работе коробки скоростей, т. е. зубчатых передач и подшипников качения. Такой привод применяется в сверлильных, фрезерных, многооперационных сверлильно-фрезерно-расточных, а иногда в токарных с ЧПУ и токарно-револьверных станках.

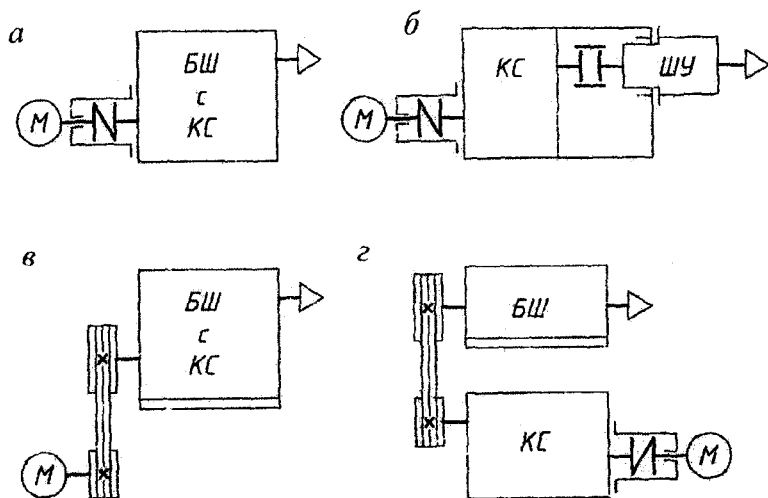


Рис. 3.1. Типовые структурные схемы приводов главного движения

3.3.3. Структурная схема главного привода в виде шпиндельной бабки с автономным шпиндельным узлом

Шпиндельный узел привода изготавливается в автономном корпусе и соединяется с коробкой скоростей шпиндельной бабки с помощью шлицевого соединения или зубчатой муфты (рис. 3.1, б). При этом точность обработки увеличивается, так как на шпиндель от приводного элемента действует только крутящий момент и исключается влияние работы коробки скоростей. Такой привод обычно применяется в многооперационных сверлильно-фрезерно-расточных станках.

3.3.4. Структурная схема главного привода с ременной передачей между электродвигателем и шпиндельной бабкой

Привод обеспечивает более высокие скорости вращения шпинделя благодаря наличию ременной передачи (рис. 3.1, в). Однако такой привод имеет большие габариты и необходимо наличие устройства натяжения ремня. В настоящее время такой привод обычно применяется в группе токарных станков.

3.3.5. Структурная схема главного привода с автономной шпиндельной бабкой и коробкой скоростей

Привод имеет автономную шпиндельную бабку и коробку скоростей, соединенных ременной передачей (рис. 3.1, г). Он обеспечивает высокую точность обработки, так как на работу шпиндельного узла не оказывают влияние вибрации и тепловыделения коробки скоростей, однако несколько усложняются эксплуатация и обслуживание. Такой привод чаще применяется в токарных станках с ЧПУ.

3.4. Структура коробок скоростей

Коробки скоростей состоят из элементарных и групповых двухваловых передач и имеют множительные или сложенные структуры. Групповая передача представляет собой совокупность передач, связывающих вращение двух соседних валов, и имеет определенное число ступеней z_i , характеристику x_i и диапазон регулирования частот вращения R_i .

Множительные структуры представляют собой совокупность групповых передач, которые соединяются последовательно, и общее число ступеней равно произведению числа ступеней отдельных групповых передач. Сложенные структуры имеют хотя бы одну групповую передачу, с параллельным присоединением, и общее число ступеней равно произведению числа ступеней групповых передач, соединенных последовательно, на сумму числа ступеней групповых передач, имеющих параллельное соединение.

Структура коробок скоростей описывается структурной формулой, которая определяет ее конструктивный и кинематический вариант, т. е. порядок расположения групповых передач и последовательность их переключения. Ниже приведены структурные формулы множительных и сложенных структур:

$$z = 12 = 3_1 \cdot 2_3 \cdot 2_6; \quad z = 16 = 4_1 \cdot 2_4 \cdot 2_8;$$

$$z = 12 = 3_1 \cdot (1 \cdot 2_3 + 2_3); \quad z = 14 = 2_1 \cdot (2_2 \cdot 2_4 + 3_2).$$

3.5. Кинематическая схема главного привода

Оптимальный вариант кинематической схемы привода определяется типом станка и предъявляемыми условиями к его компоновке. В соответствии с этим выбирается оптимальная множительная или сложенная структура с рациональным расположением и компоновкой передач на валах, с использованием связанных колес, перебора и т. д. с целью уменьшения осевых и радиальных размеров шпиндельной бабки.

Коробка скоростей обычно переключается передвижными блоками при прямозубых передачах или зубчатыми муфтами при использовании косозубых передач. Расположение зубчатых передач должно обеспечивать возможность перемещения передвижных блоков зубчатых колес или зубчатых полумуфт. При этом необходимо исключить одновременное зацепление двух колес или полумуфт блока в процессе переключения соответственно с неподвижными колесами соседнего вала или с соседними зубчатыми полумуфтами колес, свободно установленных на валу на подшипниках качения. Для этого при переключении должен быть момент нейтрального положения и блок может включаться в новое зацепление только по-

сле полного выхода из предыдущего. Поэтому расстояние между соседними зубчатыми колесами B_2 должно быть больше ширины блока B_1 , т. е. $B_2 > B_1$ или $B_2 \approx B_1 + 5$ мм.

На рис. 3.2 представлены варианты оптимальных компоновок с оптимальными осевыми размерами для групповых передач с числом ступеней:

а) $z = 2$ с двухступенчатым передвижным блоком z_1-z_3 (а) и с двухсторонней зубчатой муфтой для колес z_2-z_4 (б);

б) $z = 3$ с трехступенчатым блоком $z_1-z_5-z_3$ при $z_5 - z_3 > 5$ (в) и блоком $z_1-z_3-z_5$ при $z_3 - z_5 < 5$ и $z_5 > z_3$ (г);

в) $z = 4$ с двумя двухступенчатыми блоками z_1-z_3 и z_5-z_7 (д).

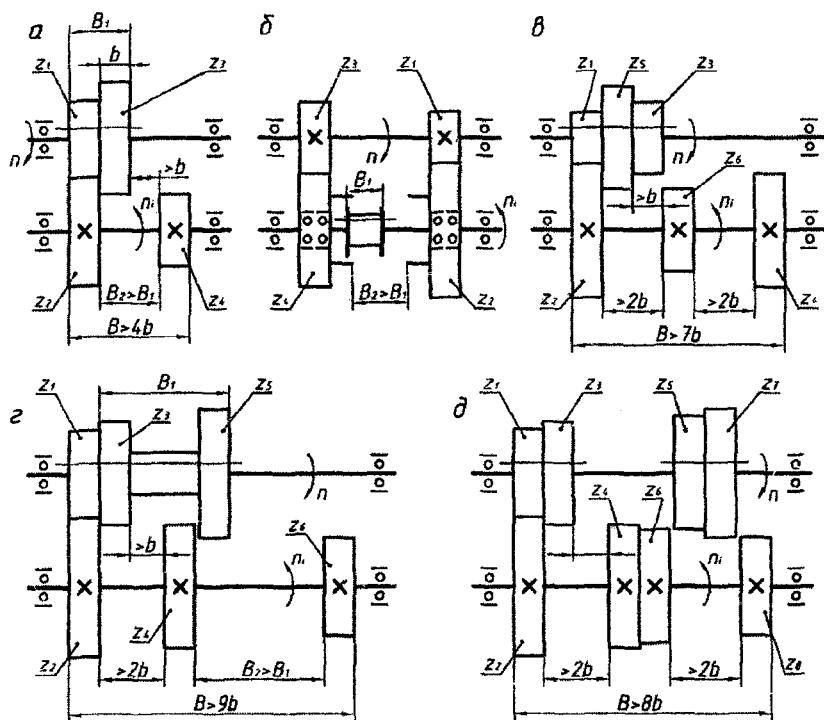


Рис 3.2. Варианты оптимальных компоновок групповых передач с числом ступеней $z = 2$ (а, б), $z = 3$ (в, г) и $z = 4$ (д)

Для оптимизации компоновок и осевых габаритов множительных структур рабочие зоны передвигжных блоков должны перекрываться, как показано, например, для четырехступенчатой структуры с двумя двухступенчатыми блоками z_1-z_3 и z_6-z_8 (рис. 3.3, а) и для девятиступенчатой структуры с двумя трехступенчатыми блоками $z_1-z_5-z_3$ и $z_{12}-z_8-z_{10}$ (рис. 3.3, б).

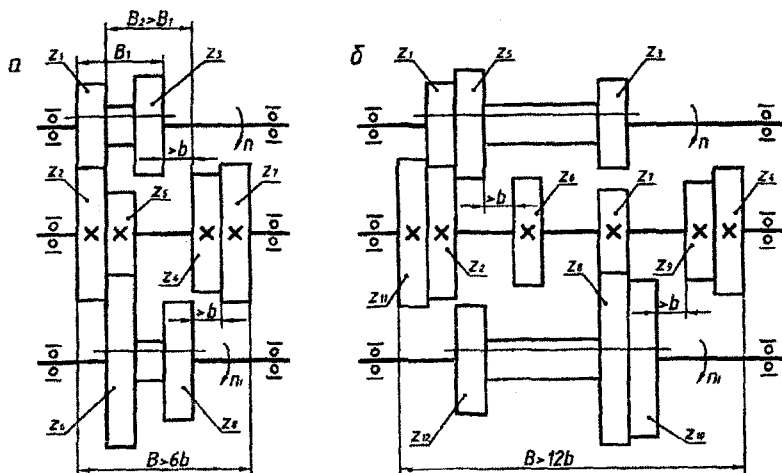


Рис 3.3. Варианты оптимальных компоновок множительных структур с числом ступеней $z = 4$ (а) и $z = 9$ (б)

3.6. Пример кинематической схемы главного привода токарно-револьверного станка

Главный привод токарно-револьверного станка имеет коробку скоростей с восемью ступенями частот вращения шпинделя с множительной структурой с оптимальной структурной формулой с *постепенным повышением характеристик групповых передач* $x_j = 1; 2; 4$:

$$z = 8 = 2_1 \cdot 2_2 \cdot 2_4.$$

Этой структурной формуле соответствует оптимальный график частот вращения (рис. 3.4) с *плавным изменением передаточных отношений*, т. е.

$$i_1 = \varphi^{-1,5}; i_3 = \varphi^{-2}; i_4 = \varphi^{-2} \text{ и } i_6 = \varphi^{-3},$$

что обеспечивает *постепенное уменьшение расчетных частот вращения* $n_j = 2850; 2000; 1250; 800 \text{ мин}^{-1}$ и *плавное повышение крутящих моментов на валах* T_j в соответствии с формулой

$$T_j = 9,55 \cdot 10^3 \cdot \frac{N_э \cdot \eta_{эj}}{n_j},$$

где $N_э$ и $\eta_{эj}$ – мощность электродвигателя и КПД участка привода от электродвигателя до j -го вала.

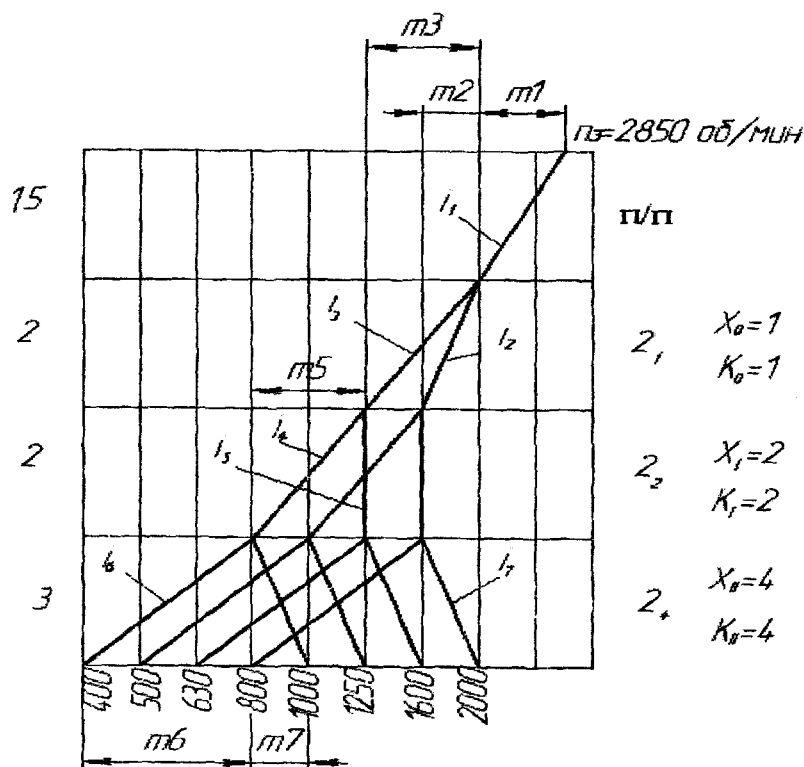


Рис. 3.4. График частот вращения главного привода токарно-револьверного станка

В результате оптимизации нагрузки этот привод имеет оптимальную конструкцию и габаритные размеры.

Кинематическая схема главного привода токарно-револьверного станка (рис. 3.5) имеет структуру с оптимальным расположением групповых передач с передвижными блоками z_1-z_3 , z_6-z_8 , которое обеспечивает уменьшение осевых габаритных размеров. Вращение от электродвигателя M через ременную передачу передается на входной вал I коробки скоростей, а далее через три двухступенчатых передвижных блока z_1-z_3 , z_6-z_8 и z_9-z_{11} на шпиндель III.

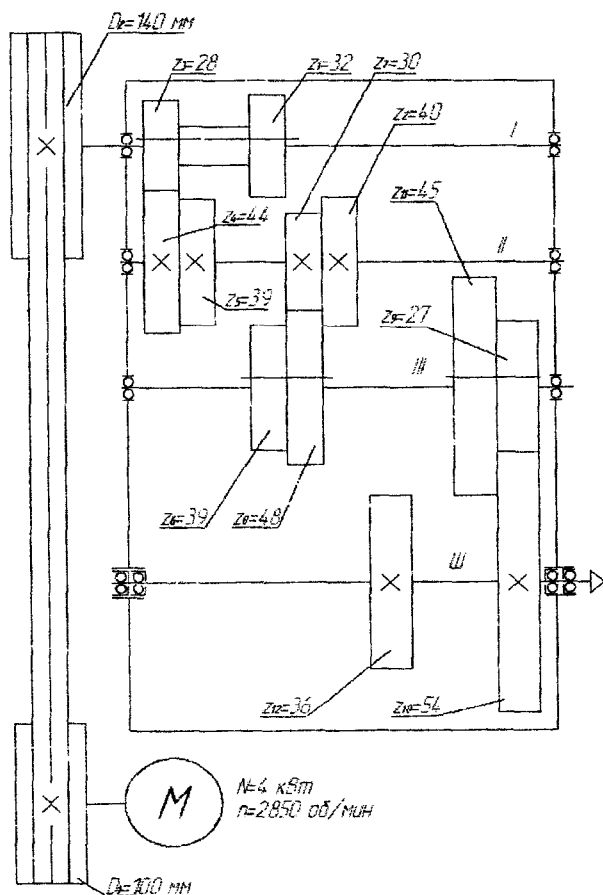


Рис. 3.5. Кинематическая схема главного привода токарно-револьверного станка

В результате на шпинделе получается восемь значений частот вращения согласно уравнению кинематического баланса

$$n_3 \cdot i_1 \cdot i_2 (i_3) \cdot i_4 (i_5) \cdot i_6 (i_7) = n_i \text{ или}$$

$$n_3 \cdot \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{z_1}{z_2} \left(\frac{z_3}{z_4}\right) \cdot \frac{z_5}{z_6} \left(\frac{z_7}{z_8}\right) \cdot \frac{z_9}{z_{10}} \left(\frac{z_{11}}{z_{12}}\right) = n_1; n_2; n_3; n_4; n_5; n_6; n_7; n_8,$$

где n_3 – частота вращения электродвигателя; $n_3 = 2850 \text{ мин}^{-1}$;

$i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6, i_7, i_8$ – передаточные отношения передач;

n_i и $n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6, n_7, n_8$ – частоты вращения шпинделя, мин^{-1} ;

D_1 и D_2 – диаметры шкивов ременной передачи: $D_1 = 100 \text{ мм}$ и $D_2 = 140 \text{ мм}$;

$z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7, z_8, z_9, z_{10}, z_{11}, z_{12}$ – числа зубьев зубчатых колес:

$z_1 = 28, z_2 = 44, z_3 = 32, z_4 = 40, z_5 = 30, z_6 = 48, z_7 = 39, z_8 = 39, z_9 = 27,$
 $z_{10} = 54, z_{11} = 45, z_{12} = 36.$

Из уравнения кинематического баланса рассчитываются значения частот вращения шпинделя:

$$2850 \cdot \frac{100}{140} \cdot \frac{28}{44} \left(\frac{32}{40}\right) \cdot \frac{30}{48} \left(\frac{39}{39}\right) \cdot \frac{27}{54} \left(\frac{45}{36}\right) = 405; 509; 647; 814;$$

$$1011; 1272; 1618; 2035$$

и округляются до ряда предпочтительных чисел: 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000 мин^{-1} .

3.7. Порядок выполнения лабораторной работы

3.7.1. Токарный гидрокопировальный полуавтомат модели 1722

1. Ознакомиться с конструкцией и структурой привода главного движения токарного гидрокопировального полуавтомата модели 1722.

Структура главного привода указанного полуавтомата модели 1722 соответствует структурной схеме с ременной передачей между электродвигателем и шпиндельной бабкой (см. рис. 3.1, в).

2. Изучить кинематику главного привода с множительной структурой со ступенчатым регулированием частот вращения шпинделя коробкой скоростей токарного гидрокопировального полуавтомата

модели 1722 с использованием плаката и реального станка. На полуавтомате модели 1722 применяется четырехступенчатая коробка скоростей с двумя двух ступенчатыми блоками и с дополнительным комплектом сменных колес.

3. Изучить структуру коробки скоростей и соответствующую ей структурную формулу. Токарный полуавтомат может иметь структурную формулу коробки скоростей как для множительной структуры в виде

$$z = 4 \cdot z_c = z_{c|1|} \cdot 2_{|z_c|} \cdot 2_{|2z_c|},$$

где z — общее число ступеней частот вращения шпинделя; $z = 4 \cdot z_c$;

z_c — число ступеней частот вращения, получаемых парами сменных колес;

$z_{c|1|}$; $2_{|z_c|}$; $2_{|2z_c|}$ — число ступеней частот вращения;

$|1|$; $|z_c|$; $|2z_c|$ — характеристики соответственно основной, первой и второй переборных групповых передач.

4. Составить кинематическую схему главного привода токарного гидрокопировального полуавтомата модели 1722 (рис. 3.6) с оптимальными осевыми размерами коробки скоростей (см. рис. 3.3, а). При этом учитывается необходимость исключить одновременное зацепление двух колес блока с неподвижными колесами соседнего вала в процессе переключения коробки скоростей. На схеме указать расстояния B_1 и B_2 , а в опорах валов и шпинделя должны изображаться подшипники качения.

5. Обозначить на кинематической схеме диаметры шкивов D_1 и D_2 ременной передачи и числа зубьев зубчатых колес в порядке передачи вращения z_1 , z_2 , z_3 и т. д., направление и частоту вращения вала электродвигателя n_3 и шпинделя n_i и мощность электродвигателя N_3 .

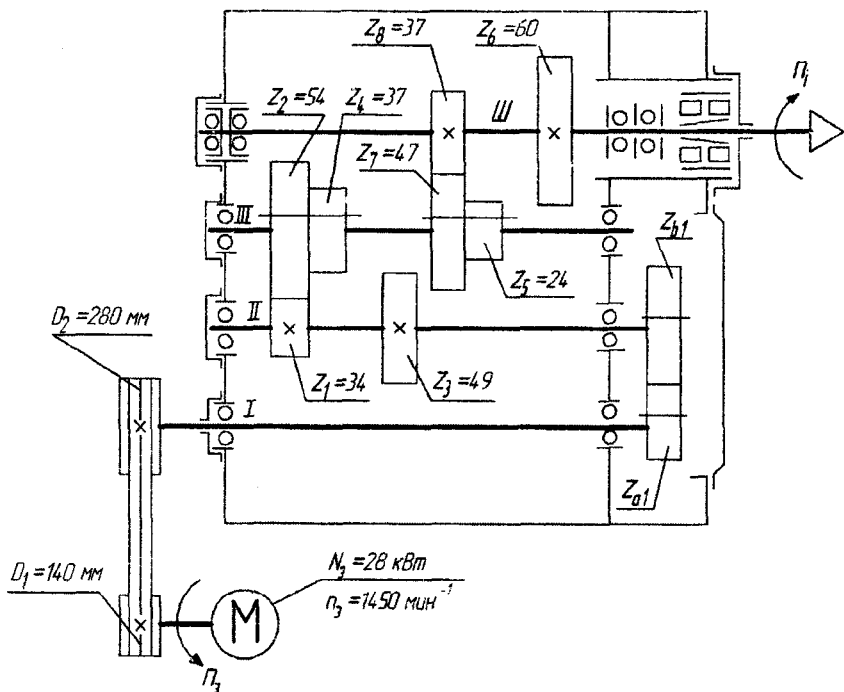


Рис. 3.6. Кинематическая схема главного привода гидрокопировального полуавтомата модели 1722

6. Записать уравнения кинематического баланса в виде зависимости частоты вращения шпинделя n_4 от частоты вращения вала электродвигателя n_3 через передаточные отношения передач i_j . Уравнение кинематического баланса для токарного копировального полуавтомата модели 1722 может быть представлено в следующем виде (см. рис. 3.6):

$$n_3 \cdot i_p \cdot i_{1c} (i_{2c}, \dots, i_{2c}) \cdot i_3 (i_4) \cdot i_5 (i_6) = n_1; n_2; n_3; n_4; \dots; n_{4 \text{ Zc}}$$

где n_3 — постоянная частота вращения вала нерегулируемого электродвигателя; мин^{-1} ; $n_3 = 1450 \text{ мин}^{-1}$;

$i_p, i_{1c}, i_{2c}, \dots, i_{2c}$ — передаточные отношения ременной передачи и соответствующих пар сменных колес;

$$i_p = \frac{D_1}{D_2}; \quad i_{1c} = \frac{z_{a1}}{z_{b1}}; \quad \frac{z_{a2}}{z_{b2}} \text{ и т. д.};$$

$i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6, \dots$ – передаточные отношения зубчатых передач;
 $n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, \dots, n_{4z_c}$ – значения частот вращения шпинделя при ступенчатом регулировании.

7. Для главного привода токарного гидрокопировального полуавтомата модели 1722 рассчитать частоты вращения шпинделя n_i по уравнению кинематического баланса

$$n_3 \cdot i_p \cdot i_{1c} (i_{2c}, \dots, i_{z_c}) \cdot i_3 (i_4) \cdot i_5 (i_6) = n_1; n_2; n_3; n_4; \dots; n_{4z_c} = n_i,$$

в котором записать выражение передаточных отношений передач i_j через диаметры шкивов D_1 и D_2 и числа зубьев зубчатых колес z_1, z_2, \dots, z_i в общем виде и через их значения. Определить также диапазон регулирования R_n , знаменатель геометрического ряда частот φ и промежуточные значения частот вращения n_i , имея число ступеней коробки скоростей z и предельные частоты вращения шпинделя n_{\min} – n_{\max} по формулам

$$R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}, \quad \varphi = \sqrt[z]{R_n} \quad \text{и} \quad n_i = n_{\min} \cdot \varphi^{i-1}.$$

Полученные результаты расчета частот вращения шпинделя округлить до ряда предпочтительных чисел.

3.7.2. Горизонтальный консольно-фрезерный станок модели 6М82

1. Ознакомиться с конструкцией и структурой привода главного движения горизонтального консольно-фрезерного станка модели 6М82.

Структура главного привода указанного станка модели 6М82 соответствует структурной схеме с фланцевым электродвигателем, соединенным с помощью присоединительной муфты с коробкой скоростей (см. рис. 3.1, а).

2. Изучить кинематику главного привода с множительной структурой со ступенчатым регулированием частот вращения шпинделя коробкой скоростей горизонтального консольно-фрезерного станка модели 6М82 с использованием плаката (рис. 3.7) и реального станка. На станке модели 6М82 применяется восемнадцатиступенчатая коробка скоростей с двумя трехступенчатыми и одним двухступенчатым передвижными блоками зубчатых колес.

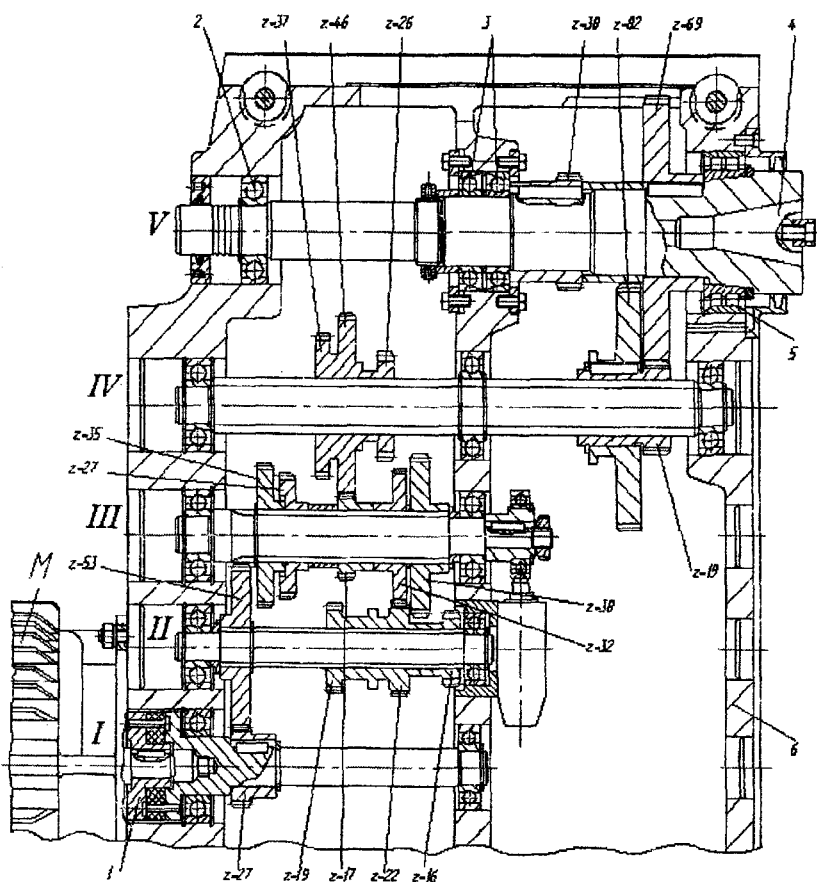


Рис. 3.7. Главный привод горизонтального консольно-фрезерного станка модели 6М82

3. Изучить структуру коробки скоростей и соответствующую ей структурную формулу. Горизонтальный консольно-фрезерный станок может иметь структурную формулу коробки скоростей, как для множительной структуры, в виде

$$z = 18 = 3_1 \cdot 3_3 \cdot 2_9,$$

где z – общее число ступеней частот вращения шпинделя; $z = 18$;

3_1 ; 3_3 ; 2_9 – число ступеней частот вращения;

1, 3, 9 – характеристики соответственно основной, первой и второй переборных групповых передач.

4. Составить кинематическую схему главного привода горизонтального консольно-фрезерного станка модели 6М82 (рис. 3.8) с оптимальными осевыми размерами коробки скоростей (см. рис. 3.3, б). При этом необходимо исключить одновременное зацепление двух колес каждого блока с неподвижными колесами соседнего вала в процессе переключения коробки скоростей и указать расстояния B_1 и B_2 между соответствующими колесами.

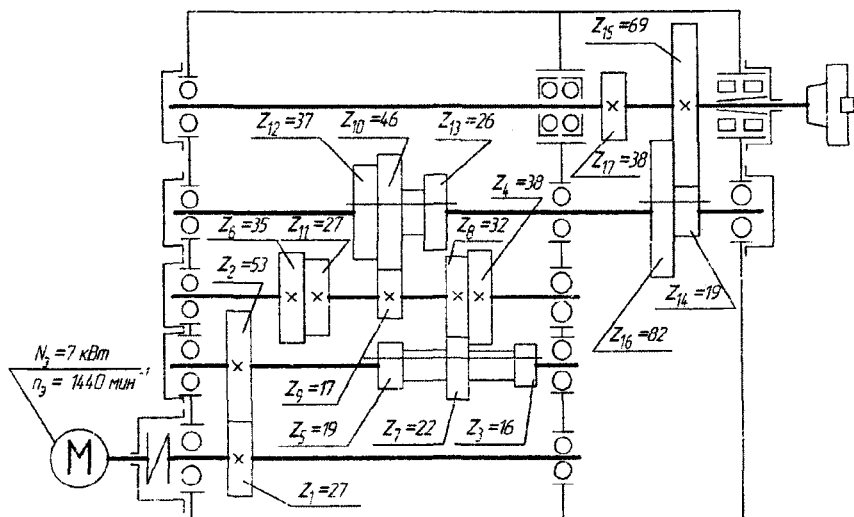


Рис. 3.8. Кинематическая схема главного привода горизонтального консольно-фрезерного станка модели 6М82

5. На кинематической схеме главного привода горизонтального консольно-фрезерного станка модели 6М82 (см. рис. 3.8) обозначить числа зубьев зубчатых колес всех постоянных и групповых передач в порядке передачи вращения z_1, z_2, z_3 и т. д. и указать направление и частоту вращения вала электродвигателя n_3 и шпинделя n_i и мощность электродвигателя N_3 .

6. Записать уравнения кинематического баланса в виде зависимости частоты вращения шпинделя n_i от частоты вращения вала электродвигателя n_3 через передаточные отношения передач i_j (см. рис. 3.8). Уравнения кинематического баланса главного привода горизонтального консольно-фрезерного станка модели 6М82 может быть представлено в следующем общем виде:

$$n_3 \cdot i_1 \cdot i_2 (i_3; i_4) \cdot i_5 (i_6; i_7) \cdot i_8 (i_9) = n_1; n_2; n_3; n_4; \dots; n_{18},$$

где n_3 — постоянная частота вращения вала нерегулируемого электродвигателя; мин^{-1} ; $n_3 = 1440 \text{ мин}^{-1}$;

$i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6, i_7, i_8, i_9$ — передаточные отношения зубчатых передач;

$n_1, n_2, n_3, n_4, \dots, n_{18}$ — значения частот вращения шпинделя при ступенчатом регулировании.

7. Для главного привода горизонтального консольно-фрезерного станка модели 6М82 рассчитать частоты вращения шпинделя n_i по уравнению кинематического баланса

$$n_3 \cdot i_1 \cdot i_2 (i_3; i_4) \cdot i_5 (i_6; i_7) \cdot i_8 (i_9) = n_1; n_2; n_3; n_4; \dots; n_{18} = n_i,$$

в котором выражение передаточных отношений передач i_j через числа зубьев зубчатых колес z_1, z_2, \dots, z_i записать в общем виде и через их значения. Также определить диапазон регулирования R_n , знаменатель геометрического ряда частот φ и промежуточные значения частот вращения n_i , имея число ступеней коробки скоростей z и предельные частоты вращения шпинделя $n_{\min} - n_{\max}$, по формулам

$$R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}, \quad \varphi = \sqrt[z]{R_n} \quad \text{и} \quad n_i = n_{\min} \cdot \varphi^{i-1}.$$

Полученные результаты расчета частот вращения шпинделя округлить до ряда предпочтительных чисел.

3.7.3. Токарный станок с ЧПУ модели 16К20Ф3

1. Ознакомиться с конструкцией и структурой привода главного движения токарного станка с ЧПУ модели 16К20Ф3.

Структура главного привода указанного токарного станка с ЧПУ модели 16К20Ф3 соответствует структурной схеме с ременной передачей между электродвигателем и шпиндельной бабкой (см. рис. 3.1, в).

2. Изучить кинематику главного привода токарного станка с ЧПУ модели 16К20Ф3 со сложной структурой с бесступенчатым электромеханическим регулированием частот вращения с помощью регулируемого электродвигателя и коробки скоростей с использованием плаката (рис. 3.9) и реального станка. На станке 16К20Ф3 в главном приводе применяется трехступенчатая коробка скоростей с двухступенчатым передвижным блоком и с дополнительным передвижным колесом, которые подключены параллельно и образуют сложную структуру.

3. Изучить структуру коробки скоростей и соответствующую ей структурную формулу (см. рис. 3.9). Токарный станок с ЧПУ модели 16К20Ф3 имеет структурную формулу коробки скоростей, как для сложной структуры, в виде

$$z = 3 = 1 \cdot (1 \cdot 1 \cdot 1 + 2_1),$$

где z – число диапазонов регулирования частот вращения шпинделя; $z = 3$;

1; 1; 1; 1 – число ступеней частот вращения постоянных передач;

2_1 – число ступеней частот вращения групповой передачи в дополнительной структуре и 1 – соответственно ее характеристика как основной групповой передачи.

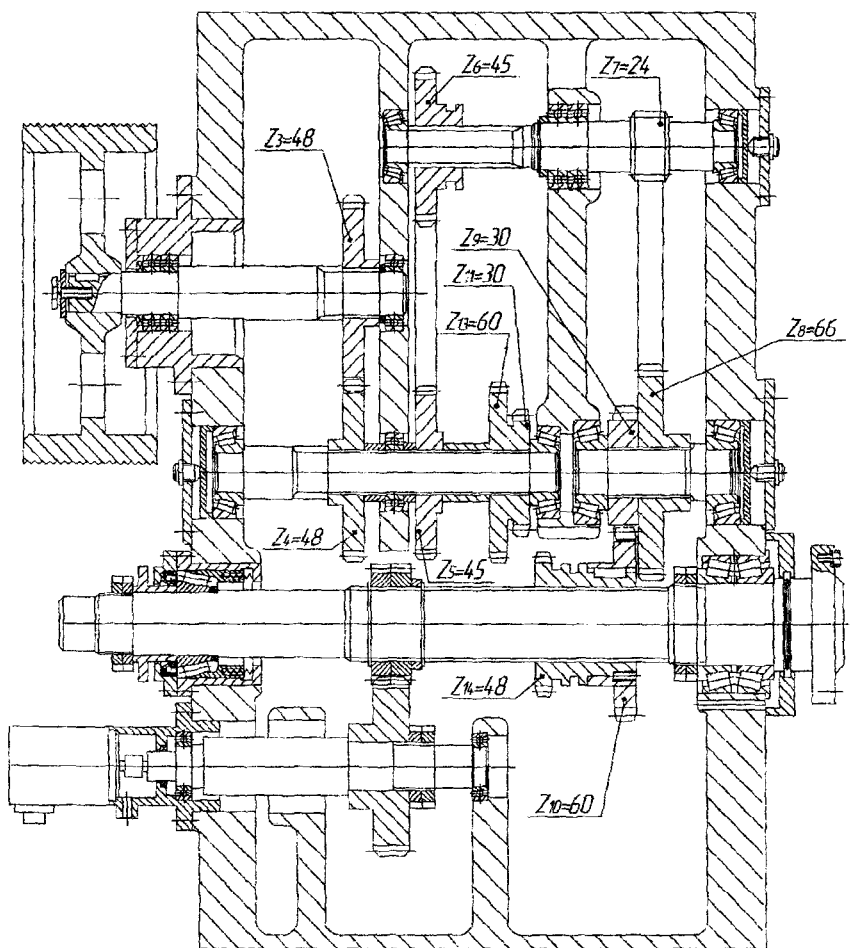


Рис. 3.9. Главный привод токарного станка с ЧПУ модели 16K20Ф3

4. Составить кинематическую схему главного привода токарного станка с ЧПУ модели 16K20Ф3 (рис. 3.10), при этом исключить одновременное зацепление двух колес блока, при его трехпозиционном положении, с неподвижными колесами соседнего вала и одиночного передвижного зубчатого колеса в процессе переключения коробки скоростей (см. рис. 3.2, а). На схеме указать расстояния B_1 и B_2 , а валы и шпиндель изображать на подшипниках качения.

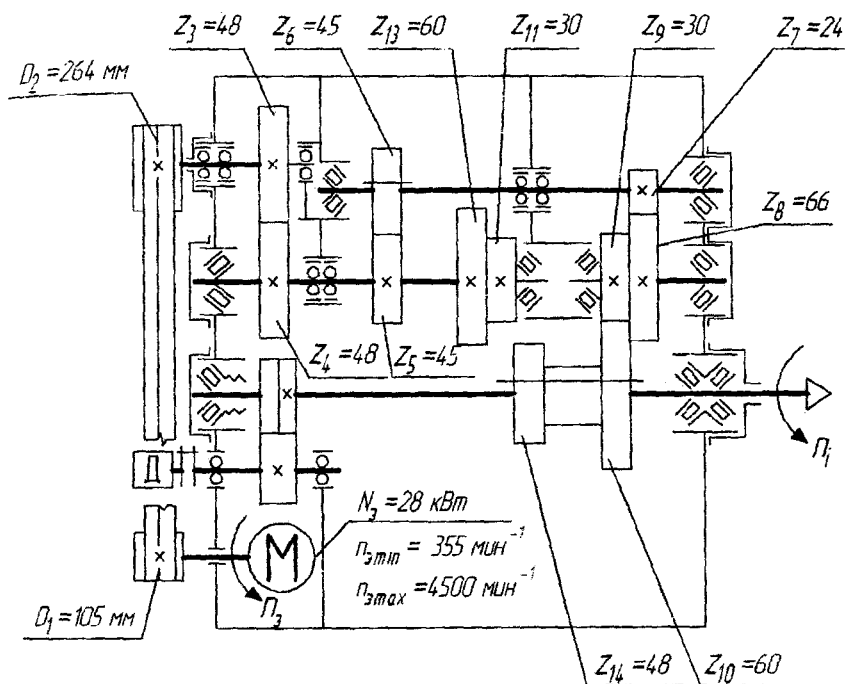


Рис. 3.10. Кинематическая схема главного привода токарного станка с ЧПУ модели 16К20Ф3

5. На кинематических схемах (см. рис. 3.10) обозначить диаметры шкивов D_1 и D_2 ременной передачи и числа зубьев зубчатых колес в порядке передачи вращения z_1, z_2, z_3 и т. д. и указать минимальную n_{\min} , номинальную $n_{\text{эн}}$ и максимальную частоту вращения вала, мощность N_3 электродвигателя и частоты вращения шпинделя n_i .

6. Записать уравнения кинематического баланса (см. рис. 3.10) в виде зависимости частоты вращения шпинделя n_i от частоты вращения вала электродвигателя n , через передаточные отношения передач i_j . Уравнение кинематического баланса для главного привода токарного станка с ЧПУ модели 16К20Ф3 может быть представлено в следующем виде:

$$(n_{\min} - n_{\max}) \cdot i_p \cdot i_1 \cdot (i_2 \cdot i_3 \cdot i_4); (i_5; i_6) =$$

$$= (n_{1\min} - n_{1\max}) = (n_{2\min} - n_{2\max}); (n_{3\min} - n_{3\max}),$$

где $n_{\text{эmin}}$ и $n_{\text{эmax}}$ – минимальная и максимальная частоты вращения регулируемого электродвигателя;

$i_p, i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6$ – передаточные отношения ременной передачи и зубчатых передач коробки скоростей:

$$i_p = \frac{D_1}{D_2};$$

$(n_{\text{э min}} - n_{\text{эmax}})$ и $(n_{1\min} - n_{1\max}); (n_{2\min} - n_{2\max}); (n_{3\min} - n_{3\max})$ – предельные значения частот вращения соответственно электродвигателя и диапазонов бесступенчатого регулирования частот вращения шпинделя.

7. Для главного привода токарного станка с ЧПУ модели 16К20Ф3 рассчитать предельные значения частот вращения трех диапазонов регулирования и значение расчетной частоты вращения шпинделя n_p по уравнениям кинематического баланса

$$(n_{\text{эmin}} - n_{\text{эmax}}) \cdot i_p \cdot i_1 \cdot (i_2 \cdot i_3 \cdot i_4); (i_5; i_6) = \\ = (n_{1\min} - n_{1\max}); (n_{2\min} - n_{2\max}); (n_{3\min} - n_{3\max});$$

$$n_{\text{эн}} \cdot i_p \cdot i_1 \cdot (i_2 \cdot i_3 \cdot i_4); (i_5; i_6) = n_p,$$

в которых записать выражение передаточных отношений передач i_j через диаметры шкивов D_1 и D_2 и числа зубьев зубчатых колес z_1, z_2, \dots, z_i ; в общем виде и через их значения, где $n_{\text{эmin}}$, $n_{\text{эн}}$ и $n_{\text{эmax}}$ – минимальная, номинальная и максимальная частоты вращения регулируемого электродвигателя; $n_{\text{эmin}} = 355 \text{ мин}^{-1}$, $n_{\text{эн}} = 1400 \text{ мин}^{-1}$ и $n_{\text{эmax}} = 4500 \text{ мин}^{-1}$.

8. Определить диапазоны регулирования частот вращения шпинделя R_n , электродвигателя $R_{\text{э}}$, коробки скоростей R_m , а также при постоянном моменте $= R_{nT}$ и $R_{\text{э}T}$, знаменатель геометрического ряда частот вращения коробки скоростей φ_m и значения предельных частот вращения диапазонов регулирования n_{min} и n_{max} и расчетной частоты n_p по формулам

$$R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}; \quad R_3 = \frac{n_{3\max}}{n_{3\min}}; \quad R_M = \frac{R_n}{R_3}; \quad R_{nT} = R_{3T} = \frac{n_{3н}}{n_{3\min}};$$

$$\Phi_M = z^{-1} \sqrt{R_M}; \quad n_{\min} = n_{\min 1} \Phi_M^{i-1}; \quad n_{\max} = n_{\max 1} \cdot \Phi_M^{i-1}; \quad n_p = n_{\min} \cdot R_{nT}.$$

Полученные результаты расчета частот вращения шпинделя округлить до ряда предпочтительных чисел.

9. Для главного привода токарного станка с ЧПУ модели 16K20ФЗ:

а) изучить график частот вращения шпинделя и диапазоны регулирования электродвигателя и шпинделя (рис. 3.11):

$$R_n = R_{nT} \cdot R_{nN} = R_3 \cdot R_M = R_{3T} \cdot R_{3N} \cdot R_M,$$

где R_n – диапазон регулирования частот вращения шпинделя;

R_{nT} и R_{3T} – диапазоны регулирования частот вращения шпинделя и электродвигателя при постоянном моменте, при этом $R_{nT} = R_{3T}$;

R_{nN} и R_{3N} – диапазоны регулирования частот вращения шпинделя и электродвигателя при постоянной мощности, при этом $R_{nN} = R_{3N} \cdot R_M$;

R_3 – диапазон бесступенчатого регулирования частот вращения электродвигателя, при этом $R_3 = R_{3T} \cdot R_{3N}$;

R_M – диапазон регулирования частот вращения механической коробки скоростей;

б) изучить зависимости между диапазонами регулирования и частотами вращения электродвигателя и шпинделя (см. рис. 3.11):

$$R_{nT} = \frac{n_p}{n_{\min}} = R_{3T} = \frac{n_{3н}}{n_{3\min}}; \quad R_{nN} = \frac{n_{\max}}{n_p}; \quad R_{3N} = \frac{n_{3\max}}{n_{3н}};$$

$$R_M = \frac{R_{nN}}{R_{3N}} = \frac{R_n}{R_3},$$

где n_{\min} , $n_{3н}$ и $n_{3\max}$ – минимальная фактическая для данного привода, номинальная и максимальная частоты вращения электродвигателя;

n_{\max} и n_p – максимальная и расчетная частоты вращения шпинделя;

в) определить расчетную частоту вращения шпинделя и сравнить с фактически принятой на станке:

$$n_{\min} \sqrt[4]{R_n} \leq n_p \leq n_{\min} \sqrt[3]{R_n},$$

где n_{\min} и R_n – минимальная частота и диапазон регулирования частот вращения шпинделя;

г) определить знаменатель геометрического ряда частот вращения шпинделя, переключаемых механической коробкой скоростей, φ_M через число ступеней z и диапазон регулирования R_M коробки скоростей, т. е.

$$\varphi_M = z^{-1} \sqrt[3]{R_M};$$

д) по графику частот определить возможные варианты значений частот вращения электродвигателя n_3 , например, при требуемой частоте вращения шпинделя $n_i = 224 \text{ мин}^{-1}$;

е) рассчитать крутящие моменты и мощности на валу электродвигателя и шпинделя, используя график частот вращения (см. рис. 3.11) и формулы

$$T_{3j} = 9,55 \cdot 10^3 \cdot \frac{N_3}{n_{3j}},$$

$$T_j = 9,55 \cdot 10^3 \cdot \frac{N_3 \cdot \eta_v}{n_j},$$

где T_{3j} и T_j – крутящие моменты на валу электродвигателя и на шпинделе, Н·м;

N_3 – мощность электродвигателя, кВт;

n_3 и n_j – частоты вращения электродвигателя и шпинделя, мин^{-1} ;

η_v – КПД привода главного движения: $\eta_v = \prod \eta_j$.

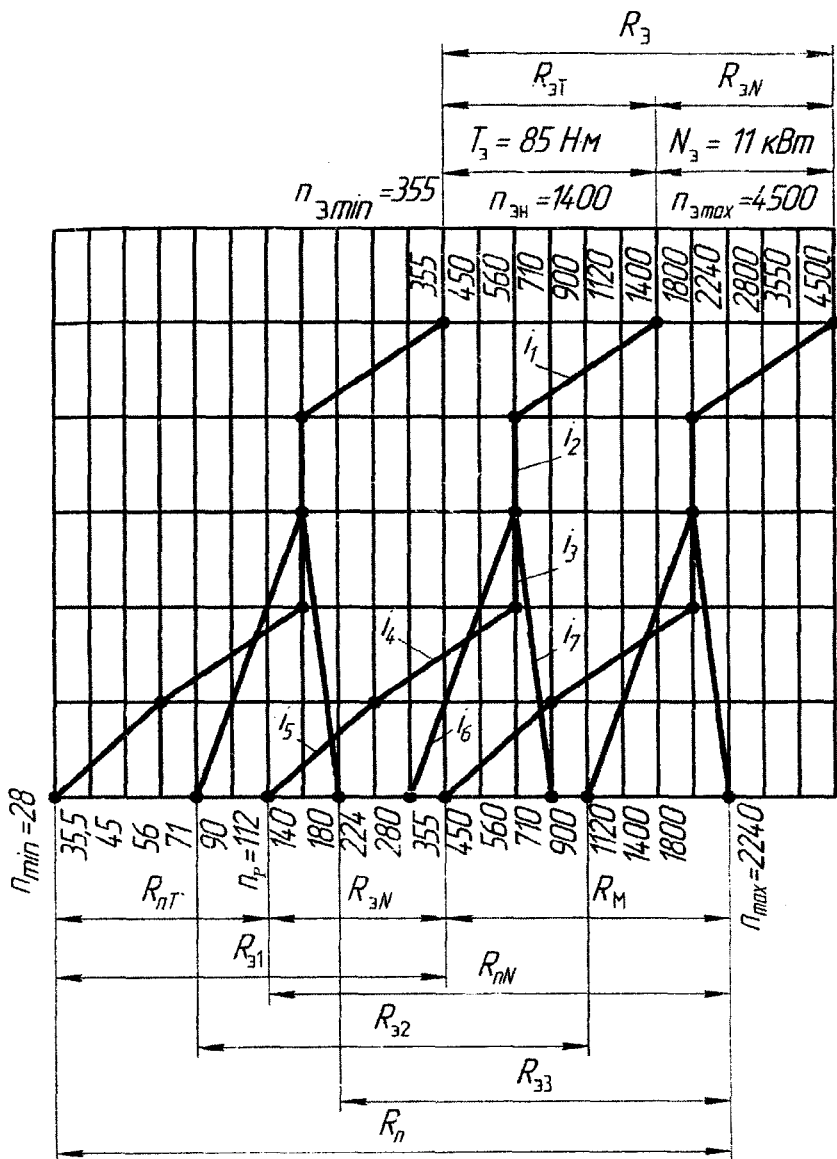


Рис. 3.11. График частоты вращения главного привода токарного станка с ЧПУ модели 16К20Ф3

3.8. Графические условные обозначения на кинематических схемах

При составлении кинематических схем приводов станков можно пользоваться следующими графическими условными обозначениями (рис. 3.12):

- 1 – электродвигатель;
- 2 – вал;
- 3 – передние концы шпинделей;
- 4 – ходовой винт и передачи винт-гайка скольжения и качения;
- 5 – подшипники без уточнения типа;
- 6 – подшипники скольжения;
- подшипники качения:
- 7 – шариковые и роликовые радиальные;
- 8 – шариковые радиально-упорные;
- 9 – шариковые упорно-радиальные с углом контакта 60° ;
- 10 – шариковые упорные;
- 11 – роликовые радиально-упорные;
- 12 – роликовые комбинированные радиально-упорные;
- муфты:
- 13 – нерасцепляемые;
- 14 – сцепляемые механические, электрические и гидравлические;
- 15 – автоматические предохранительные;
- 16 – ранее применяемые изображения муфт;
- 17 – шкивы;
- 18 – ременные передачи;
- 19 – передачи цепные;
- 20 – виды установки зубчатых колес на валы;
- 21 – передачи зубчатые цилиндрические;
- 22, 23 – передачи зубчатые конические;
- 24 – передачи зубчатые реечные;
- 25 – передачи зубчатые винтовые и червячные.

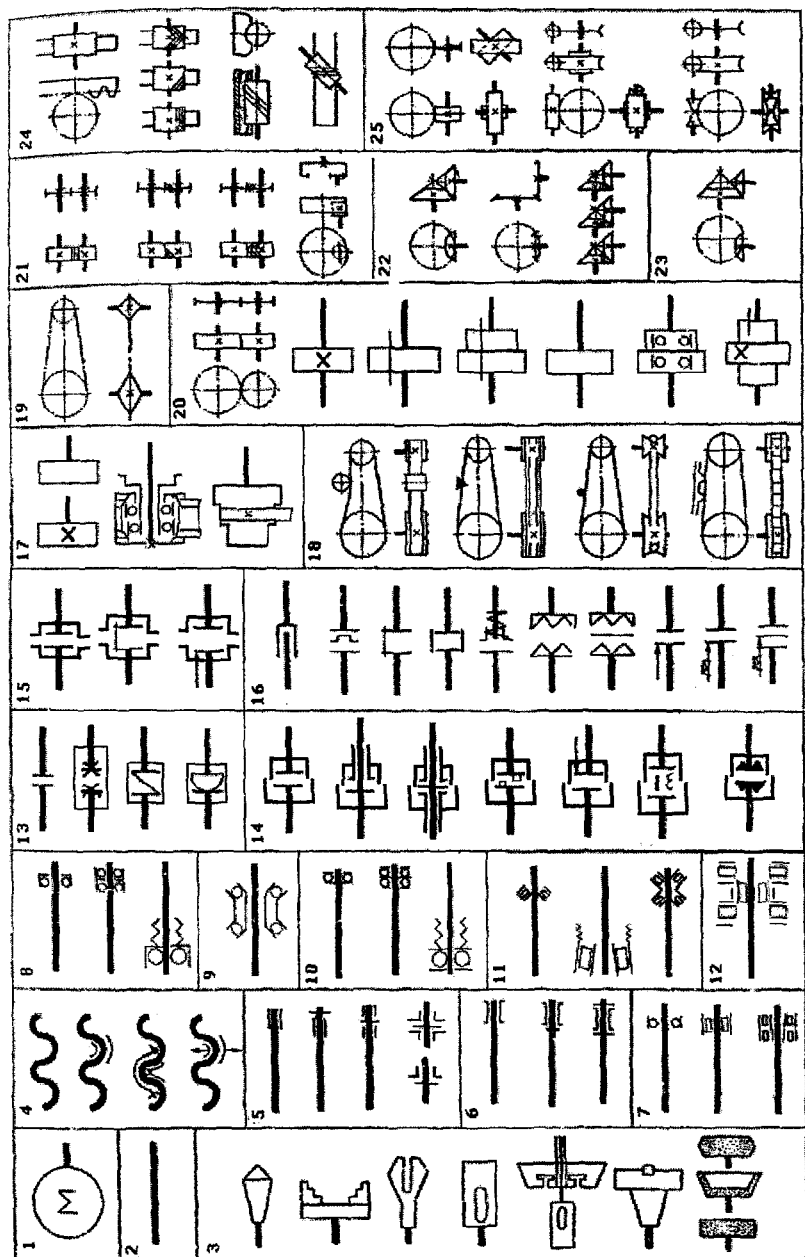


Рис. 3.12. Графические условные обозначения на кинематических схемах

3.9. Содержание отчета

1. Структурные формулы множительной и сложенной структуры коробок скоростей главных приводов.
2. Описание оптимальных типовых компоновок групповых передач и множительных структур.
3. Описание особенностей конструкций и кинематики главных приводов токарного гидроколировального полуавтомата модели 1722, горизонтального консольно-фрезерного станка модели 6М82 и токарного станка с ЧПУ модели 16К20Ф3.
4. Кинематические схемы главных приводов токарного полуавтомата модели 1722, горизонтального консольно-фрезерного станка модели 6М82 и станка с ЧПУ модели 16К20Ф3 с подшипниками качения в опорах валов и шпинделя и описанием их особенностей.
5. Уравнения кинематических балансов главных приводов полуавтомата модели 1722, горизонтального консольно-фрезерного станка модели 6М82 и токарного станка с ЧПУ модели 16К20Ф3.
6. График частот вращения главного привода токарного станка с ЧПУ модели 16К20Ф3 и описание его диапазонов регулирования.

3.10. Контрольные вопросы

1. Назначение, основные виды структурных схем главных приводов и их особенности.
2. Структура коробок скоростей главного привода и виды групповых передач.
3. Структурные формулы и понятия конструктивного и кинематического варианта структур коробок скоростей.
4. Множительные и сложенные структуры коробок скоростей и их структурные формулы.
5. Оптимизация компоновок групповых передач и множительных структур.
6. Структурная формула, особенности кинематики и уравнение кинематических балансов главного привода токарно-револьверного станка.
7. Каковы особенности конструкции и кинематики главных приводов токарного гидроколировального полуавтомата модели 1722 и горизонтального консольно-фрезерного станка модели 6М82?

8. Структурная формула множительной структуры коробки скоростей и уравнение кинематического баланса главного привода полуавтомата модели 1722 и горизонтального консольно-фрезерного станка модели 6М82 .

9. Каковы особенности конструкции и кинематики главного привода токарного станка с ЧПУ 16К20Ф3?

10. Структурная формула сложной структуры коробки скоростей, уравнение кинематического баланса, график частот вращения и диапазоны регулирования главного привода токарного станка с ЧПУ модели 16К20Ф3.

4. КИНЕМАТИКА И КОНСТРУКЦИИ ШПИНДЕЛЬНЫХ БАБОК

4.1. Цель лабораторной работы

В процессе выполнения лабораторной работы по изучению кинематики и конструкции шпиндельных бабок ставится цель:

а) изучить кинематические и конструктивные особенности шпиндельных бабок и их шпиндельных узлов различных станков;

б) научиться составлять и проектировать кинематические схемы шпиндельных бабок и структурно-кинематические схемы шпиндельных узлов по сборочным чертежам и реальным объектам;

в) уметь подбирать способ регулирования зазора и создания предварительного натяга, вид системы смазывания и вариант уплотнений для конкретных подшипников опор шпиндельных узлов;

г) знать типовые конструкции шпиндельных узлов, их основные конструктивные параметры, виды приводных передач шпинделя и способы регулирования предварительного натяга подшипников опор шпиндельных узлов, чтобы получить навыки их расчета и конструирования.

В данной лабораторной работе по реальным образцам шпиндельных бабок с разрезами по шпиндельным узлам предлагается изучить кинематические и конструктивные особенности шпиндельных бабок, виды приводных передач шпинделя, типы подшипников, способы регулирования зазора и создания предварительного натяга, виды системы смазывания и варианты уплотнений для конкретных подшипников шпиндельных опор.

4.2. Особенности кинематики шпиндельных бабок

Шпиндельные бабки станков имеют конструкцию и структуру со своими конструктивными особенностями, связанными с сообщением именно главного движения резания и с видом выполняемых операций, а также с технологическими возможностями и компоновкой станка. В общем случае шпиндельные бабки станка представляют собой совокупность электродвигателя, коробки скоростей и шпиндельной группы и могут иметь различные структурно-компоновочные схемы и кинематику.

4.3. Конструкция шпиндельных бабок токарных станков

Шпиндельная бабка токарных станков обычно имеет конструкцию со встроенным в общий корпус шпиндельным узлом и коробкой скоростей в виде сборочной единицы и кинематически соединяется с приводным электродвигателем на лапах с помощью ременной передачи. На рис. 4.1 представлена шпиндельная бабка токарного станка с ЧПУ с четырьмя диапазонами регулирования частот вращения шпинделя с двумя косозубыми и двумя прямозубыми передачами. При этом они переключаются соответственно двухсторонней зубчатой муфтой и двухступенчатым передвижным блоком. Шкив ременной передачи установлен на разгрузочной втулке и через штифт и фланцевое шлицевое соединение передает крутящий момент на входной вал. Для передачи крутящего момента на патрон передний конец шпинделя имеет торцовую цилиндрическую шпонку. Шпиндельный узел установлен на комплектах шариковых радиально-упорных подшипников по схеме дуплекс О-образный в передней и задней опорах и имеет лабиринтные уплотнения шпиндельных опор. Регулирование предварительного натяга в подшипниках обеспечивается с помощью регулировочных гаек и втулок.

Однако шпиндельная бабка токарных станков может быть автономной со шпиндельным узлом в отдельном корпусе и ременной передачей соединяется с автономной коробкой скоростей. На рис. 4.2 представлена автономная шпиндельная бабка со шпиндельным узлом, установленным на комплектах подшипников. При этом в передней опоре установлены роликовый радиальный цилиндрический с коническим посадочным отверстием и шариковый упорно-радиальный с углом контакта 60° подшипники, а в задней опоре – шариковые радиально-упорные – по схеме дуплекс О-образный. Приводной шкив ременной передачи устанавливается консольно со стороны задней опоры шпинделя.

Движение на шпиндельную бабку передается от двухступенчатой коробки скоростей (рис. 4.3) с прямозубыми передачами с передвижным двухступенчатым блоком и с фланцевым приводным электродвигателем.

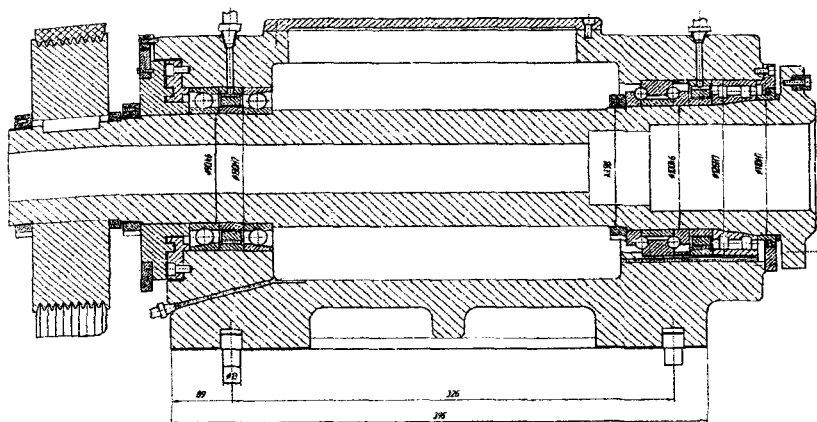


Рис. 4.2. Автономная шпиндельная бабка горизонтального токарного станка со шпиндельным узлом в отдельном корпусе

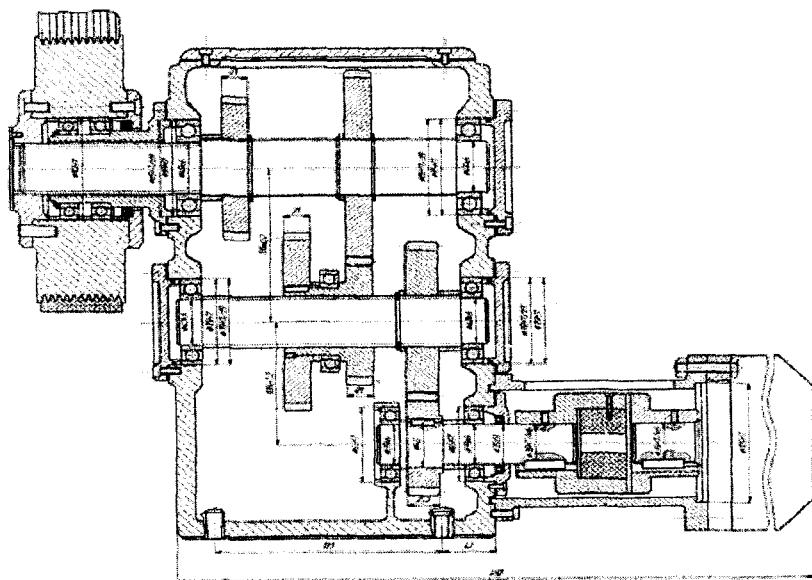


Рис. 4.3. Автономная коробка скоростей горизонтального токарного станка в виде отдельной сборочной единицы

4.4. Конструкции шпиндельных бабок сверлильных, фрезерных и многооперационных станков

Сверлильные шпиндельные бабки вертикально- и радиально-сверлильных станков имеют приводной фланцевый электродвигатель, соединительную муфту с упругим элементом и расположенные в ее корпусе коробки скоростей и подачи. Автономный шпиндельный узел располагается в пиноли сверлильной бабки вместе с приводом его вертикальной подачи.

Шпиндельные бабки вертикальных бесконсольно-фрезерных станков также обычно имеют шпиндельный узел, расположенный в пиноли, вместе с которой он получает вертикальную подачу.

Горизонтальные и вертикальные консольно-фрезерные станки не имеют шпиндельных бабок, и их шпиндельный узел и коробка скоростей располагаются в станине станка, а движение получают от приводного фланцевого электродвигателя через присоединительную муфту с упругим элементом.

Шпиндельные бабки горизонтальных и вертикальных многооперационных сверлильно-фрезерно-расточных станков с ЧПУ могут быть со встроенным шпиндельным узлом и коробкой скоростей в единый корпус и иметь приводной фланцевый электродвигатель с присоединительной муфтой.

На рис. 4.4 представлена горизонтальная шпиндельная бабка многооперационного станка с ЧПУ с двухступенчатой коробкой скоростей с косозубыми передачами с переключением с помощью двухсторонней зубчатой муфты. Шпиндельный узел установлен на комплектах подшипников по схеме вращающему. При этом в передней опоре установлены шариковые радиально-упорные подшипники триплекс тандем и дуплекс тандем – в задней опоре. Передний конец шпинделя имеет две призматические шпонки для передачи крутящего момента на оправку режущего инструмента. Для зажима-разжима инструмента в переднем конце шпинделя имеются тарельчатая пружина и гидравлический цилиндр.

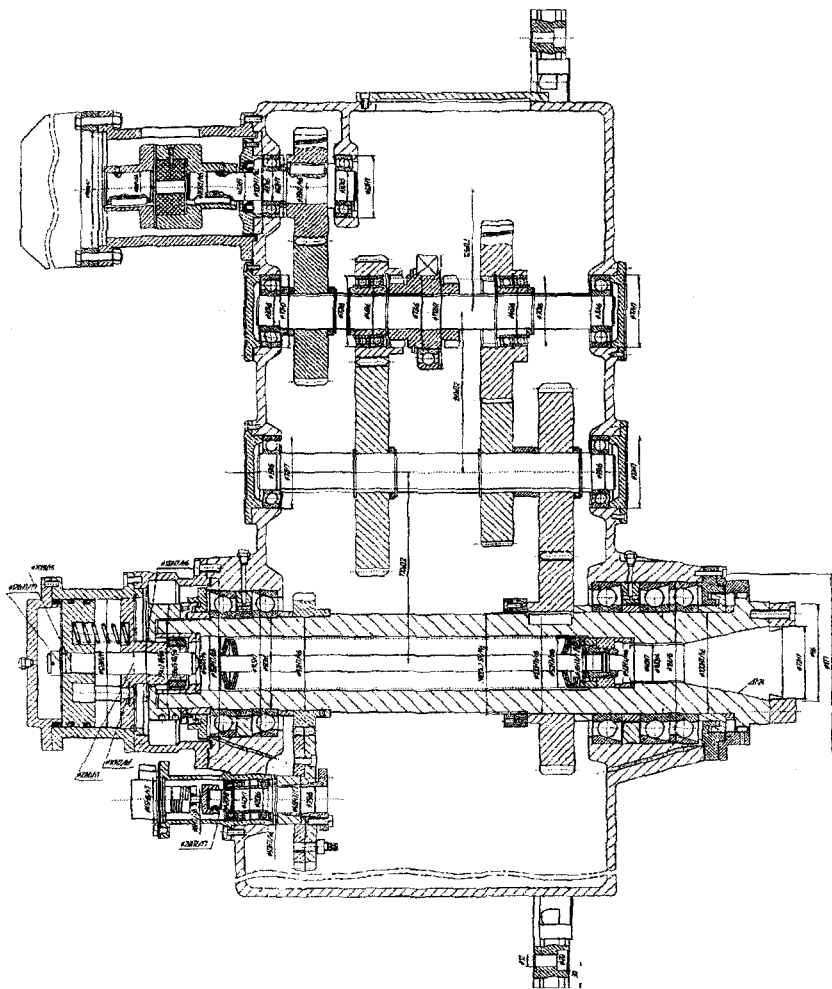


Рис. 4.4. Шпиндельная бабка горизонтального многооперационного станка со встроенным в общий корпус шпиндельным узлом и коробкой скоростей

Кроме того, шпиндельные бабки могут иметь шпиндельную группу в виде автономного шпиндельного узла в отдельном корпусе. Он устанавливается и закрепляется на корпусе бабки, а шпиндель кинематически соединяется с коробкой скоростей зубчатой муфтой или через шлицевое соединение.

На рис. 4.5 представлена вертикальная шпиндельная бабка с автономным шпиндельным узлом многооперационного сверлильно-фрезерно-расточного станка с ЧПУ. Шпиндель установлен на комплектах подшипников в отдельном корпусе. При этом в передней опоре установлены роликовый радиальный цилиндрический с коническим посадочным отверстием и шариковые радиально-упорные подшипники по схеме дуплекс О-образный, а в задней опоре – только шариковые радиально-упорные – по схеме дуплекс О-образный.

Коробка скоростей имеет двухступенчатую косозубую зубчатую передачу с переключением двухсторонней зубчатой муфтой и приводной фланцевый электродвигатель. Шпиндель получает вращение от выходного полого вала коробки скоростей через шлицевые соединения. Шпиндельная бабка имеет направляющие качения в виде кареток и шин, при этом каретки крепятся к корпусу бабки, а шины – к базовой детали.

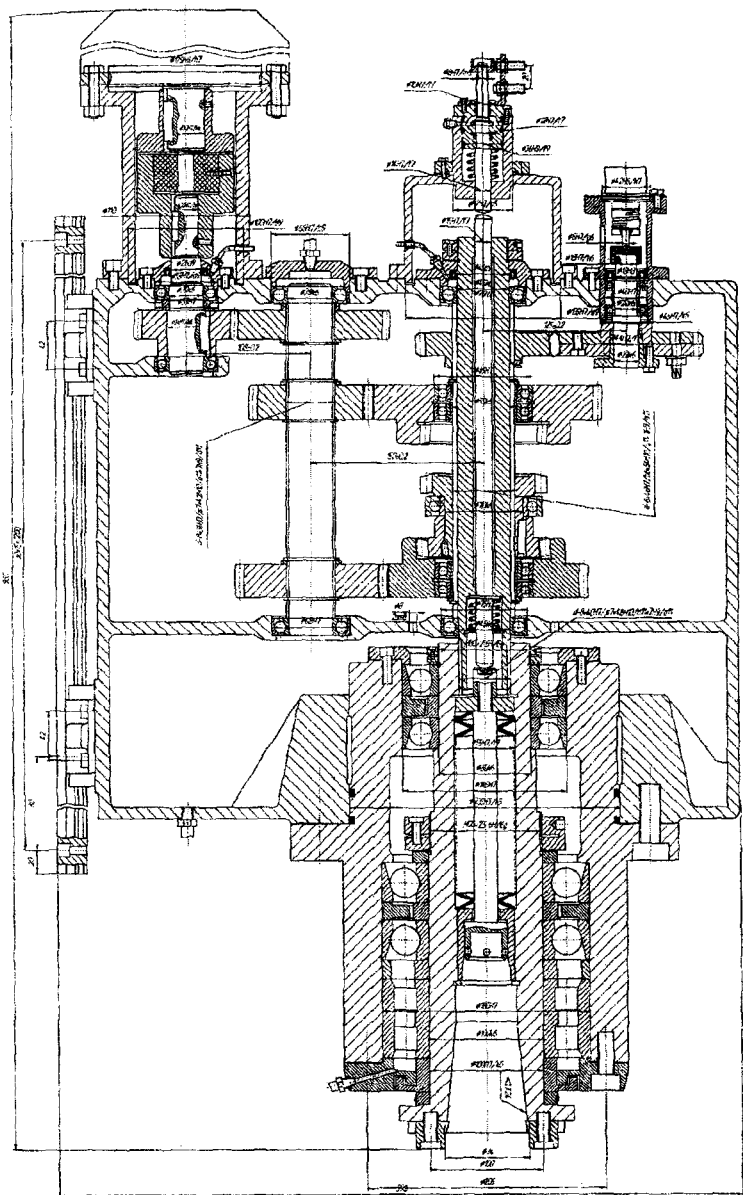


Рис. 4.5. Шпиндельная бабка вертикального многооперационного станка с автономным шпиндельным узлом

4.5. Конструкция коробок скоростей

Коробки скоростей шпиндельных бабок состоят из последовательно и параллельно расположенных элементарных и групповых двухваловых передач и имеют множительную или сложенную структуру. Переключение коробок скоростей может осуществляться передвижными блоками (см. рис. 4.1 и 4.3), зубчатыми муфтами (см. рис. 4.4 и 4.5) или сменными колесами, что обеспечивает получение требуемых частот вращения шпинделя и соответствующих скоростей резания.

Групповая передача представляет собой совокупность передач, связывающих вращение двух соседних валов, и имеет определенное число ступеней z_j , равное количеству передач в группе. Общее число ступеней коробки скоростей определяется при множительной структуре коробки произведением $\Sigma z_j = z_1 \cdot z_2 \cdot \dots$, а для сложенной структуры суммой

$$Pz_j = z_1 + z_2 + \dots \text{ или } Pz_j = z_1 \cdot z_2 \cdot \dots (z_3 + z_4 + \dots)$$

чисел ступеней групповых передач z_j , располагаемых последовательно или параллельно.

4.6. Конструкции шпиндельных узлов

Шпиндельный узел является ответственным узлом металлорежущих станков. В качестве шпиндельных опор используются подшипники качения, как обычные, так и специально предназначенные для установки в шпиндельных узлах. Для повышения точности работы подшипников качения в опорах шпинделя создается предварительный натяг, устраняющий зазоры между рабочими поверхностями дорожек колец и телами качения подшипника. Натяг шпиндельных подшипников регулируется с помощью регулировочных колец, размеры которых установлены заранее, в результате чего при сборке обеспечивается определенная сила предварительного натяга. Передняя опора шпиндельных узлов чаще выполняется фиксированной, чтобы ею воспринимались радиальные и осевые нагрузки, а задняя опора в этом случае — плавающей (см. рис. 4.1, 4.4 и 4.5), однако может быть наоборот. Кроме того, подшипники качения могут устанавливаться в шпиндельных опорах по схеме вращающему (см. рис. 4.4).

4.7. Виды приводных передач шпинделя

Приводная передача шпинделя, ее вид и расположение зависят от типа станка, требуемой точности, предельных частот вращения и величины передаваемого усилия и может быть зубчатой, ременной и др.

Зубчатые передачи отличаются простотой и компактностью конструкции, а также возможностью передавать большие крутящие моменты (рис. 4.6, а) и применяются в токарных, сверлильных, фрезерных и многооперационных станках. Однако в связи с погрешностью шага передач высокое качество обработанной поверхности не обеспечивается, поэтому их применение ограничивается частотой вращения до 35 с^{-1} . Зубчатые передачи не рекомендуется применять в прецизионных станках.

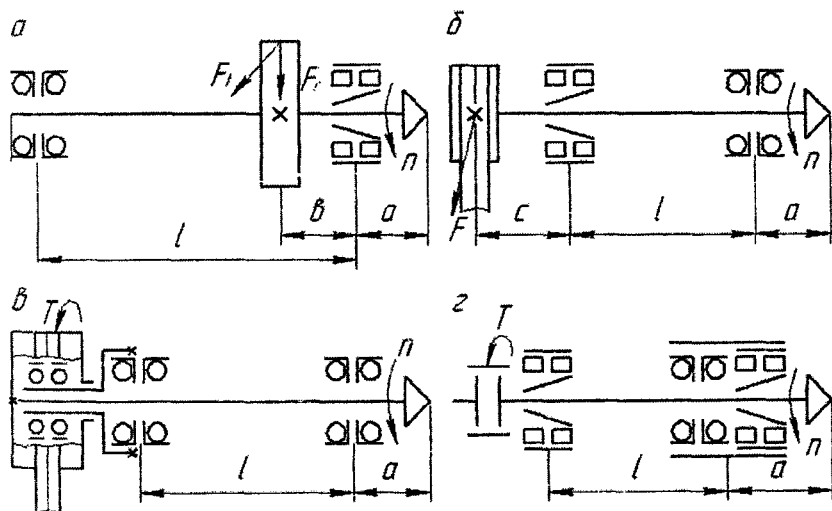


Рис. 4.6. Кинематические схемы привода шпинделя с различными видами приводных элементов и их расположение на шпинделе

Ременные передачи отличаются высокой плавностью вращения и уменьшением динамических нагрузок в приводе станка (рис. 4.6, б) и применяются в основном в токарных станках. Однако при этом несколько увеличиваются размеры привода и усложняется конструкция в связи с необходимостью наличия механизма натяжения ремня и в отдельных случаях – установки шкива на самостоятельные опоры для разгрузки шпинделя (рис. 4.6, в).

Кроме того, в многооперационных станках с автономным шпиндельным узлом для привода шпинделя могут применяться зубчатые муфты (рис. 4.6, з) или шлицевые соединения, что повышает точность обработки в связи с исключением действия на шпиндель вибраций и тепла от работы зубчатых передач коробки скоростей.

Расположение приводного элемента (шестерни, шкива, зубчатой полумуфты и др.) шпинделя влияет на схему его нагружения, а следовательно, на его прогиб и реакции опор, поэтому необходимо выбирать оптимальный вариант. В общем случае приводные элементы могут располагаться на межопорной части шпинделя (см. рис. 4.6, а) на расстоянии b от передней опоры или на консольной его части со стороны задней опоры на расстоянии c (см. рис. 4.6, б). Зубчатые колеса, располагающиеся на межопорном участке шпинделя, должны быть ближе к его передней опоре, т. е. b должно быть минимальным.

При применении разгрузочного устройства на подшипниках качения (см. рис. 4.6, в) и зубчатой муфты (рис. 4.6, з) или шлицевого соединения величина c не имеет значения.

При этом на шпиндель от приводного элемента действуют соответственно окружная F_t и радиальная F_r силы зубчатого зацепления (см. рис. 4.6, а), радиальная нагрузка ременной передачи F (см. рис. 4.6, б) и крутящий момент T при разгрузке шпинделя, передаваемый зубчатой муфтой (см. рис. 4.6, в, з), а также шлицевым соединением.

4.8. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с кинематическими и конструктивными особенностями шпиндельных бабок и шпиндельных узлов токарных и многооперационных металлорежущих станков с ЧПУ и описать их.

2. Изучить кинематику и конструкции реальных шпиндельных бабок и шпиндельных узлов токарного, многооперационного и аг-

регатных фрезерного и сверлильного станков, а также виды и расположение приводных элементов шпинделя. Главные особенности конструкций шпиндельных бабок, которые необходимо изучить, связаны с их компоновкой, видом приводного элемента шпинделя и привода в целом, типом подшипников шпиндельных опор, схемой их установки, способом регулирования предварительного натяга и методом смазывания.

Автономная шпиндельная бабка токарного станка имеет базовую поверхность для установки на базовую деталь. Привод бабки осуществляется ременной передачей с консольным расположением шкива на шпинделе со стороны задней опоры (рис. 4.7). Шпиндель установлен на шариковых радиально-упорных подшипниках дуплекс O-образный в передней и задней опорах.

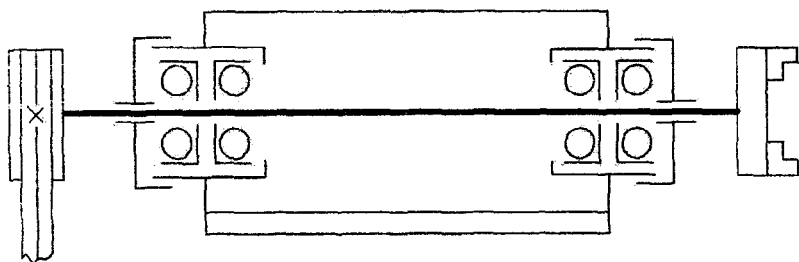


Рис. 4.7. Кинематическая схема автономной шпиндельной бабки токарного станка

Автономный шпиндельный узел многооперационного станка имеет базовые поверхности и фланец для установки и крепления к корпусу шпиндельной бабки (рис. 4.8). Вращение на шпиндель передается от коробки скоростей через зубчатую муфту. Шпиндель установлен на комплектах шариковых радиально-упорных подшипников триплекс тандем O-образный в передней опоре и дуплекс O-образный – в задней.

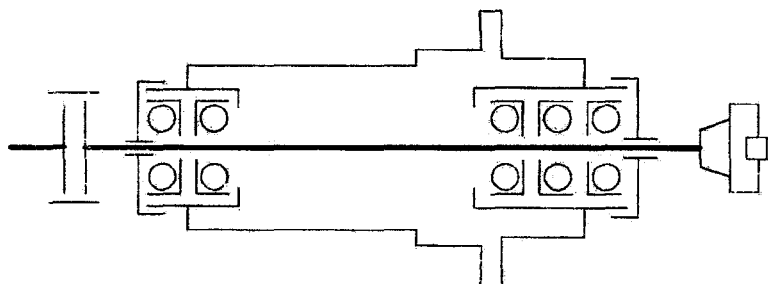


Рис. 4.8. Кинематическая схема автономного шпиндельного узла многооперационного станка

Горизонтальная фрезерная бабка агрегатного станка имеет приводной ременный редуктор и шкив, консольно установленный со стороны задней опоры (рис. 4.9). Привод с ременной передачей имеет специальный механизм для натяжения ремня, при этом регулировочный винт при своем вращении смещает плиту с электродвигателем и ведущим шкивом. Шпиндельный узел установлен на комплектах подшипников, воспринимающих радиальную и осевую нагрузки. При этом в передней опоре установлены роликовый радиальный цилиндрический с коническим посадочным отверстием и шариковые упорные с мягкой выборкой зазоров подшипники, а в задней опоре – шариковые радиально-упорные по схеме дуплекс X-образный.

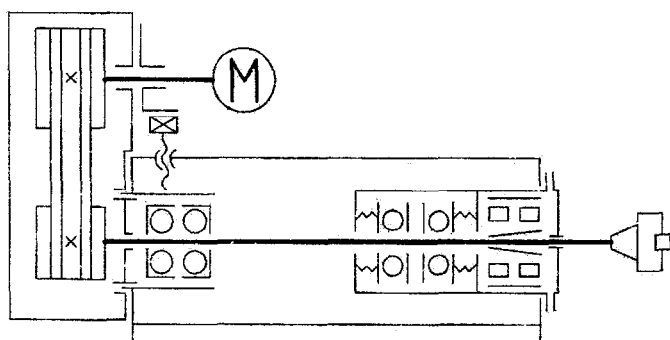


Рис. 4.9. Кинематическая схема горизонтальной фрезерной бабки агрегатного станка

Вертикальная фрезерная бабка агрегатного станка имеет привод с ременной передачей, и для исключения действия на вал усилия натяжения ремня приводной шкив располагается на разгрузочной втулке. Приводной передачей шпинделя является червячная передача, и приводное червячное колесо располагается на межопорной части шпинделя (рис. 4.10). Вертикальный шпиндельный узел установлен на комплектах шариковых и роликовых подшипников. В передней опоре установлены роликовый радиальный цилиндрический подшипник с коническим посадочным отверстием и шариковые упорные подшипники с мягкой выборкой зазоров, а в задней опоре – шариковые радиально-упорные по схеме дуплекс O-образный.

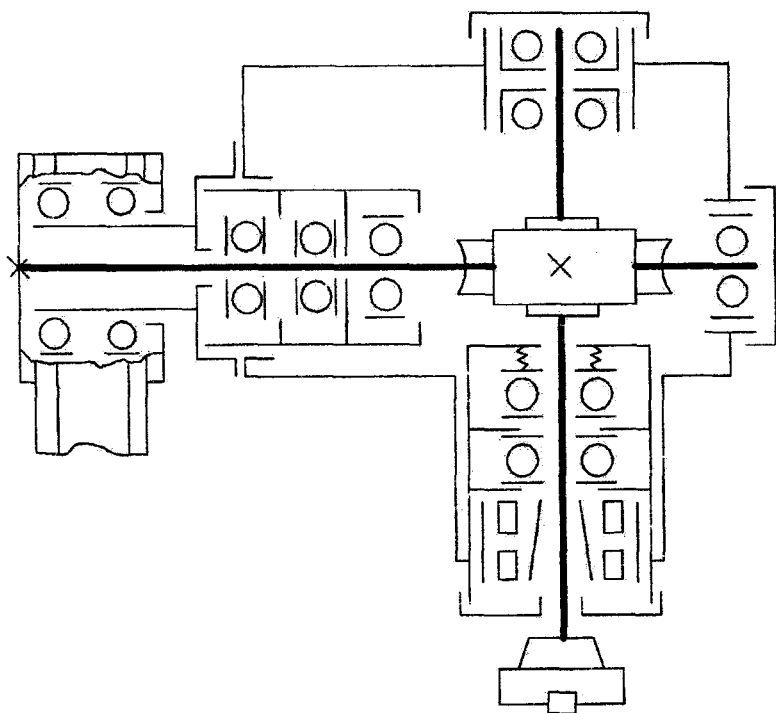


Рис. 4.10. Кинематическая схема вертикальной фрезерной бабки агрегатного станка

5. Изучить и описать способы регулирования зазора и создания предварительного натяга в подшипниках между телами качения и рабочими поверхностями дорожек внутренних и наружных колец с применением регулировочных колец или втулок определенной ширины.

6. Описать вид и особенности системы смазывания и варианты уплотнений подшипников качения в передней и задней опорах шпиндельного узла и стрелками указать поток подачи смазки через их рабочую зону.

7. Вычертить эскизную компоновку шпиндельного узла и обозначить его основные конструктивные параметры.

8. Вычертить схемы привода шпинделя с различными вариантами расположения их приводных элементов и приложить действующие нагрузки от приводного элемента и составляющие силы резания.

4.9. Содержание отчета

1. Описание особенностей кинематики шпиндельных бабок токарных и многооперационных металлорежущих станков с ЧПУ.

2. Кинематические схемы автономной шпиндельной бабки токарного и автономного шпиндельного узла многооперационных станков, шпиндельных бабок агрегатных фрезерных и сверлильного станков с указанием их названия и направления вращения входного вала и шпинделя и обозначением основных элементов.

3. Описание типов подшипников и схемы их установки в шпиндельных опорах и способов регулирования зазора и создания предварительного натяга в подшипниках между телами качения и рабочими поверхностями дорожек внутренних и наружных колец с применением регулировочных колец определенной ширины b .

4. Описание вариантов расположения приводных элементов шпинделя и их особенностей в зависимости от типа шпиндельной бабки, а также действующих нагрузок от приводного элемента и составляющих сил резания.

5. Описание вида системы смазывания и варианты уплотнений подшипников качения в передней и задней опорах шпиндельного узла с указанием стрелками потока подачи смазки через их рабочую зону.

6. Эскизная компоновка шпиндельного узла с обозначением его основных конструктивных параметров.

4.10. Контрольные вопросы

1. Структура шпиндельных бабок главного привода, типовые их конструкции и примеры применения в металлорежущих станках.
2. Кинематика шпиндельных бабок, виды их приводов и их особенности для станков с ЧПУ и обычных универсальных станков.
3. Виды приводных элементов шпинделя, варианты их расположения на шпинделе относительно опор и примеры применения в станках.
4. Каковы возможные варианты установки подшипников качения в передних и задних опорах шпиндельных узлов шпиндельных бабок станков?
5. Каковы основные конструктивные параметры шпиндельного узла и соотношения между ними?
6. Какие нагрузки действуют на шпиндельный узел при различных видах приводного элемента?
7. Примеры типовых структурно-кинематических схем шпиндельных узлов с различными типами шариковых и роликовых радиальных, радиально-упорных и упорных подшипников.
8. Как осуществляется регулировка зазора в подшипниках качения в передней и задней опорах шпиндельных узлов при установке по схеме «фиксирующая и плавающая», «враспор или враспяжку»?
9. Какие виды системы смазывания и варианты уплотнений подшипников качения применяются в передней и задней опорах шпиндельных узлов?
10. Типы подшипников и процесс регулирования предварительного натяга в опорах шпиндельных узлов токарного, многооперационного и агрегатных фрезерного и сверлильного станков.

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. Глубокий, В. И. Металлорежущие станки и промышленные роботы: Приводы станков с ЧПУ и агрегатных станков / В. И. Глубокий. – Минск : БПИ, 1986. – 48 с.
3. Глубокий, В.И. Металлорежущие станки и промышленные роботы: Проектирование приводов станка / В. И. Глубокий, А. И. Кочергин. – Минск : БПИ, 1987. – 120 с.
4. Глубокий, В. И. Металлорежущие станки и промышленные роботы: Конструирование металлорежущих станков / В. И. Глубокий. – Минск : БПИ, 1988. – 68 с.
5. Глубокий, В. И. Универсальные станки / В. И. Глубокий, А. И. Бачанцев, А.И. Белицкая. – Минск : БНТУ, 2003. – 80 с.
6. Глубокий, В. И. Расчет главных приводов станков с ЧПУ / В. И. Глубокий, В. И. Туромша. – Минск : БНТУ, 2011. – 176 с.
7. Дунаев, П. В. Конструирование узлов и деталей машин / П. В. Дунаев, О. П. Леликов. – М.: Высшая школа, 1985. – 416 с.
8. Конструкция и наладка станков с программным управлением и роботизированных комплексов / Л. И. Грачев [и др.]. – М.: Высшая школа, 1989. – 271 с.
9. Кочергин, А. И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов / А. И. Кочергин. – Минск : Вышэйшая школа, 1991. – 382 с.
10. Кочергин, А. И. Шпиндельные узлы с опорами качения / А. И. Кочергин, Т. В. Василенко. – Минск : БНТУ, 2007. – 124 с.
11. Маеров, А. Г. Устройство, основы конструирования и расчет металлообрабатывающих станков и автоматических линий / А. Г. Маеров. – М.: Машиностроение, 1986. – 367 с.
12. Металлорежущие станки / под ред. В. Э. Пуша. – М.: Машиностроение, 1986. – 575 с.
13. Металлорежущие станки и автоматы / под ред. А. С. Проникова. – М.: Машиностроение, 1981. – 479 с.
14. Металлорежущие станки / Н. С. Колев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1980. – 500 с.

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

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

17. Станочное оборудование автоматизированного производства: в 2 т. / под ред. В. В. Бушуева. – М.: Станкин, 1994. – Т. 1. – 580 с.; Т. 2. – 656 с.

18. Станки с числовым программным управлением (специализированные) / под ред. В. А. Лещенко. – М.: Машиностроение, 1979. – 592 с.

19. Тарзиманов, Г. А. Проектирование металлорежущих станков / Г. А. Тарзиманов. – М.: Машиностроение, 1980. – 288 с.

О г л а в л е н и е

Введение.	3
1. КОМПОНОВКИ ШПИНДЕЛЬНЫХ БАБОК СТАНКОВ.	3
1.1. Цель лабораторной работы.	3
1.2. Особенности компоновок шпиндельных бабок.	4
1.3. Варианты установки шпиндельных бабок на базовые детали станка.	4
1.4. Базирование шпиндельных бабок и виды направляющих.	6
1.5. Оформление чертежей общего вида и нанесение размеров.	9
1.6. Порядок выполнения лабораторной работы.	9
1.7. Содержание отчета.	10
1.8. Контрольные вопросы.	11
2. КОНСТРУКЦИИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ.	12
2.1. Цель лабораторной работы.	12
2.2. Особенности подшипников качения шпиндельных опор.	12
2.3. Типы подшипников шпиндельных опор.	13
2.4. Типы роликовых подшипников шпиндельных опор.	13
2.5. Типы шариковых подшипников шпиндельных опор.	18
2.6. Порядок выполнения лабораторной работы.	24
2.7. Содержание отчета.	24
2.8. Контрольные вопросы.	25
3. КОНСТРУКЦИИ И КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ГЛАВНЫХ ПРИВОДОВ.	26
3.1. Цель лабораторной работы.	26
3.2. Назначение главных приводов.	26
3.3. Типовые структурные схемы главных приводов.	27
3.4. Структура коробок скоростей.	28
3.5. Кинематическая схема главного привода.	29
3.6. Пример кинематической схемы главного привода токарно-револьверного станка.	31
3.7. Порядок выполнения лабораторной работы.	34
3.8. Графические условные обозначения на кинематических схемах.	48
3.9. Содержание отчета.	50
3.10. Контрольные вопросы.	50

4. КИНЕМАТИКА И КОНСТРУКЦИИ	
ШПИНДЕЛЬНЫХ БАБОК	52
4.1. Цель лабораторной работы.....	52
4.2. Особенности кинематики шпиндельных бабок.....	52
4.3. Конструкции шпиндельных бабок токарных станков.....	53
4.4. Конструкции шпиндельных бабок сверлильных, фрезерных и многооперационных станков.....	56
4.5. Конструкции коробок скоростей.....	60
4.6. Конструкции шпиндельных узлов.....	60
4.7. Виды приводных передач шпинделя.....	61
4.8. Порядок выполнения лабораторной работы.....	62
4.9. Содержание отчета.....	67
4.10. Контрольные вопросы.....	68
Литература.....	69

Учебное издание

ГЛУБОКИЙ Владимир Игнатьевич
ТУРОМША Вячеслав Иванович

**КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СТАНКОВ.
КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДОВ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ**

Методическое пособие
по лабораторным занятиям
для студентов машиностроительных специальностей

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

Подписано в печать 21.05.2012. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 4,24. Уч.-изд. л. 3,32. Тираж 200. Заказ 28.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.