



Министерство образования Республики Беларусь
Филиал Учреждения образования «Брестский
государственный технический университет»
Политехнический колледж

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по учебной работе

С.В. Маркина

«__» _____ 2023

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ
СТАНКОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения домашних контрольных работ
для учащихся специальности

2-36 01 31 «Металлорежущие станки и инструменты (по направлениям)»
(код и название специальности)

заочная

(форма обучения)

Разработал: Н.И. Тухто, преподаватель Филиала Учреждения образования «Брестский государственный технический университет» Политехнический колледж

Методические указания разработаны на основании учебной программы, утвержденной первым проректором Учреждения образования «Брестский государственный технический университет» 14.07.2022 г.

Методические указания обсуждены и рекомендованы к использованию на заседании цикловой комиссии машиностроительных предметов

« _____ » _____ 20 ____ Протокол № _____

Председатель цикловой комиссии _____ Е.А. Василевская

Содержание

Введение	4
1. Требования к оформлению домашней контрольной работы	5
2. Тематический план	6
3. Содержание программы	7
4. Контрольная работа	15
5. Варианты заданий для выполнения контрольной работы	31
6. Образец титульного листа	32
7. Показатели оценки домашней контрольной работы	33
Список использованных источников	33

Введение

Программой учебного предмета «Конструирование и расчет металлорежущих станков» предусматривается изучение основ конструирования и расчета приводов главного движения, приводов подачи, тяговых механизмов и других устройств современных металлорежущих станков и станочных комплексов.

Изучение дисциплины «Конструирование и расчет металлорежущих станков» основывается на знаниях, полученных учащимися по предметам «Металлорежущие станки», «Электрооборудование металлорежущих станков», «Техническое обслуживание и ремонт станков с программным управлением и робототехнических комплексов».

Преподавание предмета должно иметь практическую направленность и осуществляться с учетом современного состояния науки и техники. При изложении учебного материала необходимо строго соблюдать единство терминологии и обозначения технических величин согласно действующим стандартам и международной системе единиц (СИ).

В результате изучения дисциплины учащийся должен знать на уровне представления:

- основные направления и перспективы развития металлорежущего оборудования;

- номенклатуру и технологические возможности каждого вида металлорежущих станков;

- общие вопросы конструирования и обеспечения технико-экономических показателей и критериев работоспособности металлорежущих станков;

- знать на уровне понимания:

- устройство, технологические возможности, наладку и правила эксплуатации металлорежущих станков;

- конструкции типовых узлов металлорежущих станков;

- уметь:

- конструировать и рассчитывать типовые узлы металлорежущих станков;

- составлять спецификацию станочных узлов.

Основная форма изучения предмета «Конструирование и расчет металлорежущих станков» - самостоятельная работа учащегося над рекомендуемой учебной литературой.

При изучении конструирования и расчета металлообрабатывающих станков учащиеся выполняют одну контрольную работу. В контрольной работе предлагается один теоретический вопрос и для решения три задачи.

1. Требования к оформлению домашней контрольной работы

При изучении учебного предмета «Конструирование и расчет металлорежущих станков» учащиеся выполняют одну контрольную работу.

Вариант контрольного задания определяется по двум последним цифрам шифра (номера зачётной книжки) учащегося. Например, учащийся, имеющий шифр 1234, выполняет вариант 34 (см. таблицу вариантов контрольной работы).

При оформлении работ следует придерживаться следующих требований:

1. Контрольная работа выполняется на стандартных листах формата А4 с пронумерованными страницами одним из следующих способов:

- машинописным; текст печатается на одной стороне листа через 1 (один) интервал, шрифт 14,

- рукописным чертёжным шрифтом по ГОСТ 2.304 с высотой букв и цифр не менее 2,5 мм; следует писать чётко, чёрной пастой, тушью или чернилами;

- машинным, с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ. Текст печатается через один интервал, размер шрифта 14.

2. Контрольная работа включает:

- титульный лист;

- содержание;

- основную часть;

- список использованных источников.

3. Титульный лист является первым листом и оформляется в соответствии с приложением Д Стандарта предприятия СТО ТУПК 001-2017.

4. Текстовая часть домашней контрольной работы также оформляется в соответствии со Стандартом предприятия СТО ТУПК 001-2017.

5. Последовательность заполнения листов домашней контрольной работы должна выдерживаться в соответствии с заданием. Условие каждого задания должно быть приведено полностью.

6. Все рисунки и таблицы должны быть пронумерованы сквозной нумерацией.

7. После выполнения последнего задания должен быть приведен список использованных источников.

8. Домашняя контрольная работа помещается в папку с верхним прозрачным листом, либо в папку-скоросшиватель, либо листы работы могут быть скреплены с помощью степлера или ниток.

2. Тематический план

Раздел, тема	Количество часов	
	Всего	В том числе на практиче- ские работы
Введение	2	
1. Методика конструирования металлорежущих станков	4	
2. Приводы главного движения со ступенчатым регулированием для металлорежущих станков. Конструирование. Расчет	14	2
3. Приводы главного движения с бесступенчатым регулированием для металлорежущих станков. Конструирование. Расчет	6	2
4. Шпиндельные узлы с опорами качения. Конструирование. Расчет	13	2
<i>Обязательная контрольная работа № 1</i>	1	
5. Шпиндельные узлы с опорами скольжения. Конструирование. Расчет	4	
6. Тяговые устройства привода подачи. Конструирование. Расчет	20	6
7. Электромеханические приводы подачи с бесступенчатым регулированием. Конструирование. Расчет	8	2
8. Электромеханические приводы подачи со ступенчатым регулированием. Конструирование. Расчет	6	2
9. Базовые детали и направляющие металлорежущих станков. Конструирование. Расчет	7	
<i>Обязательная контрольная работа № 2</i>	1	
10. Типовые механизмы металлорежущих станков. Конструирование. Расчет	14	4
Курсовое проектирование	20	
Итого	120	20

3. Содержание программы

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
<p>Ознакомить с целями, задачами и предметом дисциплины, ее связями с другими дисциплинами учебного плана, структурой.</p>	<p align="center">Введение</p> <p>Цели и задачи дисциплины, ее предмет и взаимосвязь с другими дисциплинами учебного плана. Структура дисциплины. Перспективные задачи станкостроения на современном этапе.</p>	<p>Называет цели, задачи и предмет дисциплины, высказывает общее суждение о ее связи с другими дисциплинами учебного плана.</p>
<p>Дать понятие о методике конструирования металлорежущих станков, в том числе станков с ЧПУ, компоновке и порядке расчета основных узлов.</p>	<p align="center">Тема 1. Методика конструирования металлорежущих станков</p> <p>Компоновка станков, в том числе станков с ЧПУ. Определение параметров станков для конструирования. Процесс конструирования станков. Этапы конструирования: модульный, агрегатирование. Порядок расчета основных параметров станка и основных узлов.</p>	<p>Объясняет методику конструирования металлорежущих станков, в том числе станков с ЧПУ, их компоновку и порядок расчета основных узлов.</p>
<p>Дать понятие о структуре привода главного движения, последовательности кинематического</p>	<p align="center">Тема 2. Приводы главного движения со ступенчатым регулированием для металлорежущих станков. Конструирование. Расчет</p> <p>Структура привода главного движения. Классификация приводов. Требования, предъявляемые к приводам главного движения. Ряды частот вращения шпинделя при ступенчатом регулировании скорости. Диапазон регулирования привода. Знаменатель ряда частот.</p>	<p>Описывает структуру привода главного движения, последовательность расчета и компоновки</p>

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
<p>расчета и компоновке приводов главного движения.</p> <p>Выработать умение осуществлять кинематический расчет привода главного движения со ступенчатым регулированием.</p>	<p>Принципы множительной структуры. Групповая передача. Методы определения передаточных отношений.</p> <p>Последовательность кинематического расчета коробок скоростей.</p> <p>Построение структурной сетки и графика частот вращения.</p> <p>Выбор электродвигателя для главного привода станка. Компоновка приводов главного движения.</p> <p style="text-align: center;"><i>Практическая работа № 1</i></p> <p>Выполнение кинематического расчета привода главного движения со ступенчатым регулированием.</p>	<p>приводов главного движения.</p> <p>Выполняет кинематический расчет привода главного движения со ступенчатым регулированием.</p>
<p>Тема 3. Приводы главного движения с бесступенчатым регулированием для металлорежущих станков. Конструирование. Расчет</p>		
<p>Сформировать понятие о структуре привода главного движения с бесступенчатым регулированием, о его конструкции и расчете.</p>	<p>Типовые структуры приводов. Выбор конструкции приводов. Расчет приводов. Определение нагрузок.</p>	<p>Излагает структуру привода главного движения с бесступенчатым регулированием, объясняет конструкцию и порядок его расчета.</p>

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
<p>Выработать умение осуществлять кинематический расчет привода главного движения с бесступенчатым регулированием.</p>	<p style="text-align: center;"><i>Практическая работа № 2</i></p> <p>Выполнение кинематического расчета привода главного движения с бесступенчатым регулированием.</p>	<p>Рассчитывает привод главного движения с бесступенчатым регулированием.</p>
<p>Дать понятие о шпиндельном узле станка, конструктивных особенностях, конструкции и расчете узлов с опорами качения.</p>	<p style="text-align: center;">Тема 4. Шпиндельные узлы с опорами качения. Конструирование. Расчет</p> <p>Составные элементы шпиндельного узла. Конструкции. Требования, предъявляемые к шпиндельным узлам.</p> <p>Приводы шпинделей. Конструкции.</p> <p>Подшипники качения для опор шпинделей. Конструкции. ВыбФр.</p> <p>Способы смазывания подшипников качения. Выбор смазочного материала. Уплотнение шпиндельных узлов.</p> <p>Типовые компоновки шпиндельных узлов с подшипниками качения и рекомендации по их конструированию.</p> <p>Расчет шпиндельных узлов на точность, жесткость и виброустойчивость. Выбор конструкции шпиндельного узла.</p> <p>Автоматизация процессов при проектировании и изготовлении шпиндельных узлов.</p>	<p>Объясняет устройство шпиндельного узла станка, его конструктивные особенности и порядок расчета шпиндельных узлов с опорами качения.</p>

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
<p>Выработать умение выполнять расчет жесткости опор шпинделя и шпиндельного узла с опорами качения.</p>	<p style="text-align: center;"><i>Практическая работа № 3</i></p> <p>Расчет жесткости опор шпинделя и шпиндельного узла с опорами качения.</p> <p style="text-align: center;"><i>Обязательная контрольная работа № 1</i></p>	<p>Рассчитывает жесткость опор шпинделя и шпиндельного узла с опорами качения.</p>
Тема 5. Шпиндельные узлы с опорами скольжения. Конструирование. Расчет		
<p>Дать понятие о шпиндельных узлах с опорами скольжения, их конструкции, компоновке и расчете.</p>	<p>Шпиндельные узлы с гидростатическими опорами. Принцип работы радиального, упорного и радиально-упорного подшипников. Системы питания опор. Конструкции опор. Определение конструктивных параметров, нагрузочной способности, жесткости подшипников.</p> <p>Шпиндельные узлы с гидродинамическими опорами. Принцип работы подшипников. Определение конструктивных параметров, нагрузочной способности, жесткости подшипников.</p> <p>Воздушные, магнитные подшипники. Мотор-шпиндели.</p>	<p>Описывает конструкцию шпиндельного узла с опорами скольжения. Объясняет порядок расчета шпиндельных узлов с опорами скольжения.</p>
Тема 6. Тяговые устройства привода подачи. Конструирование. Расчет		
<p>Дать понятие о передачах в приводе подачи металлорежущих станков, о</p>	<p>Основные виды тяговых устройств, предъявляемые к ним требования.</p> <p>Привод подачи от отдельного двигателя и от шпинделя. Конструкции привода.</p>	<p>Объясняет передачи в приводе подачи станков, сущность конструирования передач и методику расчета</p>

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
<p>конструкции передач и методике расчета различных тяговых устройств привода подачи.</p> <p>Развить умение выполнять расчет передачи винт-гайка качения.</p> <p>Развить умение выполнять расчет передачи винт-гайка скольжения.</p> <p>Выработать умение рассчитывать привод резьбонарезных цепей.</p>	<p>Передача винт-гайка качения. Конструкция передачи. Материалы для изготовления ходового винта, гайки, тел качения. Способы циркуляции тел качения. Регулирование натяга, смазывание, защита от загрязнений. Методика расчета передачи.</p> <p>Передача винт-гайка скольжения. Конструкция передачи. Материалы для изготовления ходового винта и гайки. Методика расчета передачи.</p> <p>Кинематика привода резьбонарезных цепей. Расчет привода. Передача червяк-рейка качения. Гидростатическая червячно-реечная передача. Конструкция и методика расчета передачи.</p> <p style="text-align: center;"><i>Практическая работа № 4</i></p> <p>Расчет передачи винт-гайка качения.</p> <p style="text-align: center;"><i>Практическая работа № 5</i></p> <p>Расчет передачи винт-гайка скольжения.</p> <p style="text-align: center;"><i>Практическая работа № 6</i></p> <p>Расчет привода резьбонарезных цепей.</p>	<p>различных тяговых устройств привода подачи.</p> <p>Рассчитывает передачу винт-гайка качения.</p> <p>Рассчитывает передачу винт-гайка скольжения.</p> <p>Рассчитывает привод резьбонарезных цепей.</p>

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
<p>Тема 7. Электромеханические приводы подачи с бесступенчатым регулированием. Конструирование. Расчет</p> <p>Сформировать понятие о конструкции и расчете электромеханических приводов с бесступенчатым регулированием.</p> <p>Закрепить умение осуществлять выбор электродвигателя для привода подачи с бесступенчатым регулированием, рассчитывать его.</p>	<p>Структура приводов подачи с бесступенчатым регулированием. Состав исполнительного механизма электромеханического привода подачи. Линейные электрические двигатели. Конструкции. Методика расчета механизма привода подачи.</p> <p style="text-align: center;"><i>Практическая работа № 7</i></p> <p>Выбор электродвигателя для привода подачи с бесступенчатым регулированием. Расчет привода подачи.</p>	<p>Поясняет конструкцию и порядок расчета электромеханического привода подачи с бесступенчатым регулированием.</p> <p>Выбирает электродвигатель для привода подачи, выполняет его расчет.</p>
<p>Тема 8. Электромеханические приводы подачи со ступенчатым регулированием. Конструирование. Расчет</p> <p>Сформировать понятие о конструкции, выборе и расчете электромеханических приводов подачи со ступенчатым регулированием.</p>	<p>Структура и механизмы приводов подачи. Конструкции. Методика расчета механизма привода подачи.</p>	<p>Объясняет конструкцию и порядок расчета электромеханического привода подачи со ступенчатым регулированием.</p>

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
<p>Закрепить умение осуществлять выбор электродвигателя для привода подачи со ступенчатым регулированием, рассчитывать его.</p>	<p align="center"><i>Практическая работа № 8</i></p> <p>Выбор электродвигателя для привода подачи со ступенчатым регулированием. Расчет привода подачи</p>	<p>Выбирает электродвигатель для привода подачи. Выполняет его расчет привода подачи.</p>
<p>Тема 9. Базовые детали и направляющие металлорежущих станков. Конструирование. Расчет</p>		
<p>Дать понятие о базовых деталях и направляющих металлорежущих станков, их конструировании и расчете.</p>	<p>Несущая система станка. Материалы для изготовления деталей системы.</p> <p>Конструктивные формы базовых деталей: станин, стоек, плит, суппортов, столов. Требования к ним. Конструирование базовых деталей.</p> <p>Направляющие станин и подвижных деталей. Направляющие с полужидкостной смазкой. Конструирование. Методика расчета.</p> <p>Направляющие качения. Комбинированные направляющие. Конструирование. Методика расчета.</p> <p>Гидростатические направляющие. Конструирование. Методика расчета.</p> <p align="center"><i>Обязательная контрольная работа № 2</i></p>	<p>Объясняет конструкцию и порядок расчета базовых деталей станков.</p>
<p>Тема 10. Типовые механизмы металлорежущих станков. Конструирование. Расчет</p>		
<p>Дать понятие о типовых механизмах металлорежущих станков, о конструкции-</p>	<p>Типовые передачи металлорежущих станков. Конструктивные элементы зубчатых передач. Нерегулируемые асинхронные электродвигатели. Выбор конструкции. Регулируемые электродвигатели для приводов подачи. Выбор типа двигателя.</p>	<p>Излагает конструктивные особенности типовых механизмов металло-</p>

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
<p>ях манипулирующих устройств и смазочных систем.</p> <p>Выработать умение рассчитывать манипулирующие устройства станков.</p>	<p>Манипулирующие устройства станков: устройства поворота и фиксации, делительные головки, поворотные столы, устройства автоматической смены инструментов и заготовок. Конструирование. Методика расчета манипулирующих устройств, применяемых в автоматизированном оборудовании.</p> <p>Смазочные системы металлорежущих станков. Их выбор.</p> <p style="text-align: center;"><i>Практическая работа № 9</i></p> <p>Выполнение проектного и проверочного расчета манипулирующих устройств станков.</p>	<p>режущих станков, методику их конструирования и расчета.</p> <p>Выполняет проектный и проверочный расчет механизмов манипулирующих устройств станков.</p>

4. Контрольная работа

Вопросы 1 - 30

1. Процесс конструирования станков. Этапы конструирования.
2. Структура привода главного движения. Классификация приводов. Требования, предъявляемые к приводам главного движения.
3. Ряды частот вращения шпинделя при ступенчатом регулировании. Диапазон регулирования. Знаменатель ряда частот.
4. Последовательность кинематического расчета коробок скоростей. Групповая передача.
5. Построение структурной сетки и графика частот вращения.
6. Определение по графику частот вращения передаточных отношений и чисел зубьев коробок скоростей.
7. Выбор электродвигателя для привода главного движения со ступенчатым регулированием.
8. Типовые структуры приводов главного движения с бесступенчатым регулированием.
9. Составные элементы шпиндельного узла. Конструкции. Требования, предъявляемые к шпиндельным узлам. Приводы шпинделей.
10. Подшипники качения для опор шпинделей. Конструкции. Выбор.
11. Способы смазывания подшипников качения. Выбор смазочного материала. Уплотнение шпиндельных узлов.
12. Типовые компоновки шпиндельных узлов с подшипниками качения и рекомендации по их конструированию.
13. Расчет шпиндельных узлов на жесткость.
14. Шпиндельные узлы с гидростатическими опорами. Принцип работы радиального, упорного и радиально-упорного подшипников.
15. Шпиндельные узлы с гидродинамическими опорами. Принцип работы гидродинамических подшипников.
16. Передача винт-гайка качения. Конструкция передачи. Методика расчета передачи.
17. Передача винт-гайка скольжения. Конструкция передачи. Методика расчета передачи.
18. Передача червяк-рейка качения. Конструкция и методика расчета передачи.
19. Гидростатическая червячно-реечная передача. Конструкция и методика расчета передачи.
20. Структура приводов подачи с бесступенчатым регулированием. Состав исполнительного механизма электромеханического привода подачи. Методика расчета механизма привода подачи.
21. Структура и механизмы приводов подачи со ступенчатым регулированием. Конструкции. Методика расчета механизма привода подачи.
22. Конструктивные формы базовых деталей: станин, стоек, плит, суппортов, столов. Требования к ним. Конструирование базовых деталей.

23. Направляющие станин и подвижных деталей. Направляющие с полужидкостной смазкой. Конструирование. Методика расчета.

24. Направляющие качения. Комбинированные направляющие. Конструирование. Методика расчета.

25. Гидростатические направляющие. Конструирование. Методика расчета.

26. Типовые передачи металлорежущих станков. Конструктивные элементы зубчатых передач.

27. Нерегулируемые асинхронные электродвигатели. Выбор конструкции.

28. Регулируемые электродвигатели для приводов подачи. Выбор типа двигателя.

29. Манипулирующие устройства станков: устройства поворота и фиксации, делительные головки, поворотные столы, устройства автоматической смены инструментов и заготовок. Конструирование.

30. Смазочные системы металлорежущих станков. Их выбор.

Задачи 31-60

Составить кинематическую схему коробки скоростей. Определить геометрический ряд частот вращения шпинделя и диапазон регулирования. Произвести построение структурных сеток и графика частот вращения шпинделя. По графику определить передаточные отношения. Определить числа зубьев колес.

Исходные данные для решения задачи представлены в таблице 1

Таблица 1 - Исходные данные для расчета

Вариант	Знаменатель ряда частот вращения φ	Число частот вращения шпинделя z	Минимальная частота вращения шпинделя n_{\min} , мин ⁻¹
31	1,12	8	250
32	1,26	8	160
33	1,41	6	180
34	1,58	6	160
35	1,78	4	180
36	2,0	4	125
37	2,0	6	63
38	1,78	6	180
39	1,58	4	250
40	1,41	4	355
41	1,26	8	250
42	1,12	8	355
43	1,12	6	400
44	1,26	6	250
45	1,41	4	250

46	1,58	6	100
47	1,78	6	56
48	2,0	6	125
49	2,0	6	31,5
50	1,78	4	100
51	1,58	6	25
52	1,41	8	16
53	1,26	8	50
54	1,12	8	125
55	1,12	8	31,5
56	1,26	6	100
57	1,41	6	45
58	1,58	4	100
59	1,78	4	31,5
60	2,0	4	31,5

Частота вращения электродвигателя для всех вариантов $n_{дв} = 1000 \text{ мин}^{-1}$

Методические указания

Последовательность решения и оформления задачи.

1. Выбрать исходные данные для расчетов согласно своему варианту по таблице 1.

2. Определить геометрический ряд частот вращения и в соответствии с таблицей 2 принять предпочтительные числа.

$$n_1 = n_{\min}$$

$$n_2 = n_1 \cdot \varphi$$

$$n_3 = n_2 \cdot \varphi = n_1 \cdot \varphi^2$$

...

$$n_z = n_{z-1} \cdot \varphi = n_1 \cdot \varphi^{z-1}$$

Так как $n_z = n_{\max}$, то $n_{\max} = n_{\min} \cdot \varphi^{z-1}$

3. Определить диапазон регулирования:

$$R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}$$

4. Вычертить кинематическую схему коробки скоростей. При этом следует учитывать, что число передач в группе $p \leq 4$.

5. Записать 3 – 4 варианта структурных формул.

6. Для всех структурных формул построить структурные сетки.

7. Произвести анализ структурных сеток и принять наиболее приемлемый вариант. Для последней переборной группы должно выполняться условие:

$$\varphi^{(p-1)X_{\max}} \leq 8,$$

где p – число передач в последней переборной группе;

X_{\max} – характеристика последней переборной группы.

8. Для выбранного варианта построить график частоты вращения. При этом передаточные числа должны быть в допустимых пределах ($i_{\min} \geq 1/4$; $i_{\max} \leq 2$), т.е., чтобы число интервалов, перекрываемых лучами, не превышало значений, указанных в таблице 3.

9. Определить передаточные отношения всех передач по формуле:

$$i = \varphi^m,$$

где m – число интервалов, перекрываемых лучом.

Если луч направлен вверх, то m необходимо взять со знаком «плюс»; если горизонтально, то $m = 0$; если вниз, то m необходимо взять со знаком «минус».

10. Произвести расчет чисел зубьев колес. Для облегчения расчетов чисел зубьев приведена таблица 4, в которой по горизонтали отложены суммы чисел зубьев Σz , а по вертикали – передаточные отношения i , кратные 1,06. Пустые клетки означают, что для данного значения Σz передаточное отношение не может быть выдержано в требуемых пределах $\pm 10(\varphi - 1) \%$, в остальных клетках указано число зубьев меньшего колеса.

Пример:

Определить числа зубьев трех пар колес, которые должны обеспечивать передаточные отношения $i_1 = 1$; $i_2 = 1,41$ и $i_3 = 2,0$. Если по таблице 4 принять $\Sigma z = 74$, то при $i_1 = 1,26$ $\frac{z_1}{z_2} = \frac{74-33}{33} = \frac{41}{33}$, а для $i_2 = 1,41$ и $i_3 = 2,0$ – клетки пустые. Тогда следует найти такое значение Σz , которое удовлетворяло бы всем передаточным отношениям. Приемлемым значением будет $\Sigma z = 75$:

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{75-33}{33} = \frac{42}{33} = 1,26;$$

$$i_2 = \frac{z_3}{z_4} = \frac{75-31}{31} = \frac{44}{31} = 1,41;$$

$$i_3 = \frac{z_5}{z_6} = \frac{75-25}{25} = \frac{50}{25} = 2,0;$$

$$\Sigma z = z_1 + z_2 = z_3 + z_4 = z_5 + z_6 = 42 + 33 = 44 + 31 = 50 + 25 = 75.$$

11. Произвести проверку (достаточно записать уравнение кинематического баланса для n_{\min}).

Таблица 2 - Система предпочтительных чисел

Значение ϕ							Значение ϕ							Значение ϕ						
1,06	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2,0	1,06	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2,0	1,06	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2,0
1	1	1	1	1	1	1	10	10	10		10	10		100	100	100		100	100	
1,06							10,6							106						
1,12	1,12						11,2	11,2		11,2				112	112					
1,18							11,8							118						
1,25	1,25	1,25					12,5	12,5	12,5					125	125	125	125			125
1,32							13,2							132						
1,4	1,4		1,4				14	14						140	140					
1,5							15							150						
1,6	1,6	1,6		1,6			16	16	16	16	16		16	160	160	160		160		
1,7							17							170						
1,8	1,8				1,8		18	18				18		180	180		180		180	
1,9							19							190						
2,0	2,0	2,0	2,0			2,0	20	20	20					200	200	200				
2,12							21,2							212						
2,24	2,24						22,4	22,4		22,4				224	224					
2,36							23,6							236						
2,5	2,5	2,5		2,5			25	25	25		25			250	250	250	250	250		250
2,65							26,5							265						
2,8	2,8		2,8				28	28						280	280					
3,0							30							300						
3,15	3,15	3,15			3,15		31,5	31,5	31,5	31,5		31,5	31,5	315	315	315			315	
3,35							33,5							335						
3,55	3,55						35,5	35,5						355	355		355			
3,75							37,5							375						
4,0	4,0	4,0	4,0	4,0		4,0	40	40	40		40			400	400	400		400		
4,25							42,5							425						
4,5	4,5						45	45		45				450	450					
4,75							47,5							475						
5,0	5,0	5,0					50	50	50					500	500	500	500			500
5,3							53							530						
5,6	5,6		5,6		5,6		56	56				56		560	560				560	
6,0							60							600						
6,3	6,3	6,3		6,3			63	63	63	63	63		63	630	630	630		630		
6,7							67							670						
7,1	7,1						71	71						710	710		710			
7,5							75							750						
8,0	8,0	8,0	8,0			8,0	80	80	80					800	800	800				
8,5							85							850						
9,0	9,0						90	90		90				900	900					
9,5							95							950						

Таблица 3 - Число интервалов, перекрываемых лучами графика частот вращения

Передача	Число перекрываемых интервалов при ϕ						
	1,06	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2
понижающая	24	12	6	4	3	2	2
повышающая	12	6	3	2	1	1	1

Таблица 4

$i \backslash \Sigma z$	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
1,00	20		21		22		23		24		25		26		24		28		29		30		31		32		33		34		35
1,06		20		21		22		23		24		25		26			27		28		29		30		31		32		33		34
1,12	19							22		23		24		25		26		27		28			29		30		31		32		33
1,19					20		21		22		23					25		26		27		28		29	29		30		31		32
1,26		18		19		20					22		23		24		25			26		27		28		29	29		30		31
1,33	17		18		19			20		21		22		23		24		25			26		27		28				29		30
1,41		17					19		20			21		22		23			24		25			26		27		28	28		29
1,50	16					18		19			20		21			22		23			24					26		27	26		28
1,58		16			17				19			20		21			22		23	23		24			25		26			27	
1,68	15			16					18			19			20		21			22			23		24			25		26	26
1,78			15					17		18			19			20		21			22			23			24		25	25	
1,88	14			15			16		17			18			19			20		21	21		22	22		23	23		24		
2,00			14			15			16			17			18			19			20			21			22			23	
2,11				14				15			16			17			18			19			20			21	21		22	22	
2,24			13			14			15			16			17			18			19	19			20			21			
2,37				13				14			15			16			17				18			19			20	20			
2,51			12				13		14			15			16			17			18			19	19			20			
2,66				12				13			14			15			16	16			17			18			19	19			
2,82																					16			17			18	18			
2,99								12				13				14				15				16			17	17			
3,16																										16	16				17
3,35																													16	16	
3,55																															
3,76																															
3,98																															
4,22																															
4,47																															
4,73																															

Таблица 4 (продолжение)

$i \backslash \Sigma z$	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	
1,00		36		37		38		39		40		41		42		43		44		45		46		47		48	49	49	50	50	51	
1,06		35		36		37		38		39		40	40	41	41	42	42	43	43	44	44	45	45	46	46	47	47		48		49	
1,12		34		35		36	36	37	37	38	38		39		40		41		42		43	43	44	44	45	45	46	46	47	47		
1,19		33		34	34	35	35		36		37		38		39	39	40	40	41	41		42		43		44	44	45	45	46	46	
1,26		32		33	33		34		35		36	36	37	37		38		39		40	40	41	41		42		43		44	44	45	
1,33		31			32		33		34	34	35	35		36		37	37	38	38		39		40	40	41	41		43		43	43	
1,41		30			31		32		33	33		34		35	35		36		37	37	38	38		39		40	40		41		42	
1,50		29	29		30		31	31		32		33	33		34		35	35		36		37	37	38	38		39	39	40	40		
1,58		28	28		29		30	30		31		32	32		33	33		34		35	35		36		37	37		38	38	39	39	
1,68		27	27		28		29	29		30	30		31		32	32		33	33		34		35	35		36	36		37	37	38	
1,78		26			27			28		29	29		30	30		31			32		33	33		34	34		35	35		36	36	
1,88		25			26			27		28	28		29	29		30	30		31	31		32	32		33	33		34	34	35	35	
2,00		24			25			26			27			28		29	29		30	30		31	31		32	32		32	33		34	
2,11	23	23		24	24			25			26			27		28	28		29	29		30	30		31	31		32	32			
2,24	22	22		23	23		24	24			25			26	26		27	27		28	28		29	29			30	30		31	31	
2,37	21			22			23	23			24			25	25		26	26			27	27		28	28		29	29			30	
2,51	20		21	21			22	22			23	23			24	24		25	25			26	26		27	27			28	28		29
2,66			20	20			21			22	22			23	23		24	24			25	25			26	26		27	27			
2,82		19	19			20	20			21	21			22			23	23			24	24			25	25			26	26		
2,99	18	18			19	19			20	20			21	21			22	22			23	23			24	24			25	25		
3,16	17				18				19	19			20	20			21	21			22	22			23	23			24	24	24	
3,35				17				18	18			19	19			20	20	20			21	21			22	22			23	23	23	
3,55		16	16				17	17			18	18	18			19	19			20	20	20			21	21			22	22	22	
3,76	15	15				16	16			17	17			18	18				19	19				20	20			21	21	21		
3,98									16	16				17	17	17			18	18	18			19	19	19			20	20	20	
4,22												16	16				17	17	17			17	18	18	18			19	19	19		
4,47										15	15	15	15				16	16				16	17	17				18	18	18	18	
4,73										14	14				15	15					16		16					17	17	17		

Таблица 4 (окончание)

$i \backslash \Sigma z$	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
1,00	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	59	60	60
1,06		50		51		52		53	53	54	54	53	55	56	56	57	57	58	58
1,12	48		49		50		51	51	52	52	52	53	54	54	55	56	56	56	57
1,19		47		48		49	49	50	50	51	51	52	52		53		54	54	55
1,26	45		45		47	47	48	48	49	49	50	50		51	51	52	52	53	53
1,33	44	44		45		46	46	47	47		48	48	49	49	50	50	51	51	52
1,41	42	43	43		44	44	45	45	46	46		47	47	48	48		49	49	50
1,50	41	41	42	42		43	43	44	44		45	46	46	46		47	47	48	48
1,58		40	40	41	41	41	42	42		43	43	44	44		45	45	46	46	46
1,68	38		39	39		40	40	41	41		42	42		43	43	44	44	44	45
1,78	37	37		38	38		39	39		40	40	41	41	41	42	42		42	43
1,88		36	36		37	37		38	38		39	39		40	40		41	41	42
2,00	34		35	35		36	36		37	37		38	38	38	39	39	39	40	40
2,11	33	33		34	34		35	35	36	36	36	36		37	37			38	
2,24		32	32		33	32	33	34	34	34	35	35	35		36	36		37	37
2,37	30		31	31		32	32	32		33	33		34	34		35	35	35	
2,51	29			30	30		31	31	31		32	32		33	33	33		34	34
2,66	28	28		29	29	29		30	30	30		31	31		32	32	32		33
2,82	27	27	27		28	28	28		29	29	29		30	30			31	31	
2,99		26	26	25		27	27			28	28			29	29			30	30
3,16		25	25	24		26	26	27			27	27			28	28			29
3,35			24	23			25	25	25		26	26	26			27	27		
3,55			23	22	23		24	24	24			25	25	25		26	26	26	
3,76			22	21	22		23	23	23			24	24	24			25	25	25
3,98		21	21	20	21		22	22	22	22		23	23	23	23		24	24	24
4,22		20	20	19	20		21	21	21	21		22	22	22	22			23	23
4,47		19	19				20	20	20	20			21	21	21			22	22
4,73	18	18	18				19	19	19			20	20	20	20			21	21

Задачи 61 – 90

Рассчитать передачу винт-гайка качения для привода суппорта токарного станка с ЧПУ. Движение осуществляется от регулируемого электродвигателя с вращающим моментом M_d через редуктор с передаточным отношением i и КПД η . Подача изменяется в пределах от S_{\min} до S_{\max} , наибольшее перемещение суппорта L_{\max} , зона нечувствительности Δ .

Таблица 5 - Исходные данные для расчета

Задача №	M_d , Нм	i	η	S_{\min} , мм/мин	S_{\max} , мм/мин	L_{\max} , мм	Δ , мм
61	13	2	0,98	10	2000	800	0,05
62	14	2,5					
63	15	1,5					
64	16	1					
65	12	1,5					
66	11	2,5					
67	10	2					
68	17	2,5					
69	18	1,5					
70	19	2,5					
71	20	1					
72	13	1,25					
73	14	1,4					
74	15	1,2					
75	16	2					
76	12	1,6					
77	11	1,1					
78	10	1,5					
79	17	2,0					
80	18	2,2					
81	19	2,3					
82	20	2,4					
83	10	2,6					
84	11	2,8					
85	12	2,1					
86	13	1,8					
87	14	1,5					
88	15	1,2					
89	16	1,4					
90	17	2,2					

Методические указания

Нагрузки на винтовую пару качения, работающую в приводе подачи станка, зависят от сил, необходимые на преодоление составляющей силы резания, сил трения и массы подвижных частей (особенно при вертикальных перемещениях рабочих органов) Диапазон частот вращения винтов при работе передач чрезвычайно широк: от долей оборотов в мин в момент позиционирования до 1200—2000 мин⁻¹ в режиме быстрых перемещений исполнительных устройств.

Расчет передачи выполняется по следующей схеме:

1. Выбирают передачу из условий статической прочности, конструктивных соображений и технологических возможностей изготовления (табл. 6).

2. Проверяют выбранную передачу по критериям осевой жесткости передачи и долговечности рабочих поверхностей винта и гайки (по усталости).

Для предварительного выбора передачи сравнивают возможную максимальную осевую нагрузку на винте Q_0 со статической грузоподъемностью $[Q_0]$. (В табл. 6 приведено значение $[Q_0]$ для передач с гайкой, имеющей три рабочих витка.)

Таблица 6 - Характеристика винтовых передач качения

Номинальный диаметр d_0 , мм	Шаг резьбы P , мм	Осевая жесткость j , Н/мкм, не менее	Момент холостого хода $M_{х.х.}$, Нм	Колебания момента холостого хода в пределах оборота винта, Нм	Статическая грузоподъемность $[Q_0]$, Н	Динамическая грузоподъемность $[Q_d]$, Н
20	5	300	0,08...0,16	0,05	21700	11160
25	5	420	0,10...0,26	0,10	28100	16580
32	5	590	0,20...0,50	0,20	37500	17710
40	5	740	0,33...0,82	0,28	49400	19170
40	10	620	0,25...0,63	0,20	85900	34700
50	5	960	0,52...1,30	0,30	62800	20640
50	10	840	0,46...1,14	0,30	112500	57750
63	10	1090	0,78...1,95	0,40	149700	62030
80	10	1430	1,28...3,21	0,50	197700	66880
80	20	1240	1,04...2,61	0,50	297600	143400
100	10	1860	2,08...5,20	0,60	251100	71840
100	20	1780	2,10...5,24	0,79	386400	151800

Максимальная осевая нагрузка на витке, равная силе тяги привода подачи, может возникнуть, когда подвижный рабочий узел упрется в жесткий упор.

Для всех видов приводов крутящий момент на ходовом винте

$$M_{кр} = M_{д} i \eta, \quad (1)$$

где $M_{д}$ — крутящий момент двигателя привода, Нм; i, η — соответственно передаточное отношение и КПД кинематической цепи от двигателя к винту.

Окружная сила на радиусе резьбы

$$T_o = 2M_{кр} \times 10^3 / d_o, \quad (2)$$

где d_o — номинальный диаметр винта, мм

Сила тяги Q_o связана с окружной силой следующей зависимостью:

$$Q_o = \frac{T_o}{\operatorname{tg}(\alpha + \rho)}; \quad Q_o = \frac{T_o(1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \rho)}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \rho}, \quad (3)$$

где $\operatorname{tg} \alpha = \frac{P}{\pi d_o}$; $\operatorname{tg} \rho = f_k$; α — угол подъема резьбы; ρ — угол трения; P — шаг резьбы

винта, мм;

f_k — коэффициент трения качения.

По экспериментальным данным $f_k = (57 \dots 85) \times 10^5$, т. е. гораздо меньше, чем $\operatorname{tg} \alpha$. С большей степенью точности можно принять $Q_o = \frac{T_o}{\operatorname{tg} \alpha}$. Отсюда

$$Q_o = 2 \times 10^3 \pi \frac{M_{кр}}{P}. \quad (4)$$

Формула (4) позволяет подсчитать для различных шагов резьбы P отношение $Q_o/M_{кр}$:

Шаг P , мм	...	5	10	20
$Q_o/M_{кр}$, Н/(Н м)	1256	628	314

Эти соотношения облегчают расчет силы тяги и фактических осевых сил в зависимости от действующих крутящих моментов.

Максимальная длина винта ограничена (см табл. 7) Основная трудность в изготовлении винтов большой длины заключается в сложности получить малое радиальное биение на нежесткой детали. Однако следует предостеречь от другой крайности: использования в конструкции станков винтов большого диаметра и малой длины, жесткость которых в поперечном направлении чрезвычайно велика. Такие винты, имеющие с обоих концов жесткие опоры и работающие с беззастенчиво соединенными гайками, становятся дополнительными, зачастую нежелательными, направляющими для подвижных рабочих узлов, прямолинейность перемещения которых начинает определяться не только точностью направляющих, но и качеством исполнения и монтажа винтовых пар качения.

Таблица 7 - Размеры передачи винт-гайка качения, мм

Номинальный диаметр d_o , мм	Шаг P , мм	Диаметр шарика $d_{ш}$, мм	Число рабочих шариков в витке z_i	Условное число циклов нагружения c_i	Максимальная длина винта L_{max} , мм
16	5	3	12	6,8	400
20			16	9,2	500
25			21	11,4	710
32			28	14,9	1000

40	5	3	37	19,4	1200
	10	6	16	14,9	
50	5	3	47	24,5	1500
	10	6	21	11,4	
63	10	6	28	14,9	2500
80	10	6	37	19,4	4000
	20	10	20	10,9	
100	10	6	47	24,5	5000
	20	10	26	13,9	

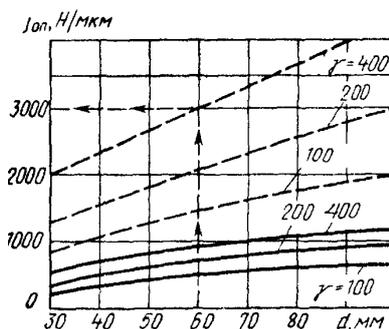


Рисунок 1 - Экспериментальные кривые для определения осевой жесткости опор винтов: сплошные линии — шарикоподшипники; штриховые линии — роликоподшипники

Подобранную по статической грузоподъемности, конструктивным и технологическим соображениям винтовую пару необходимо проверить на осевую жесткость. Осевая податливость пары $\delta_{\text{общ}}$ складывается из деформации $\delta_{\text{общ}}$ растяжения (сжатия) самого винта, осевой податливости опор $\delta_{\text{оп}}$ и контактной деформации $\delta_{\text{п}}$ пары винт— гайка:

$$\delta_{\text{общ}} = \delta_{\text{в}} + \delta_{\text{оп}} + \delta_{\text{п}}. \quad (5)$$

Деформация растяжения или сжатия винта, мкм,

$$\delta_{\text{в}} = 10^2 \frac{l}{EF} Q_0. \quad (6)$$

где l — наибольшее расстояние от осевой опоры винта до середины гайки, см;

$E = 2,1 \times 10^6$ МПа — модуль упругости материала винта, Q_0 — осевая сила, Н, F — площадь сечения винта, см², $F = \pi d_{\text{кв}}^2 / 4$; $d_{\text{кв}}$ — рабочий диаметр винта, см; $d_{\text{кв}} = d_0 - d_{\text{ш}} \cos \beta = d_0 - 0,707 d_{\text{ш}}$ $\beta = 45^\circ$ — угол контакта шарика с профилем резьбы.

Осевая податливость опоры, мкм,

$$\delta_{\text{оп}} = Q_0 / j_{\text{оп}}, \quad (7)$$

где $j_{\text{оп}}$ — осевая жесткость опор, Н/мм.

Для опор с шариковыми и роликовыми подшипниками жесткость $j_{\text{оп}}$ можно найти по экспериментальным кривым (рис. 1), где жесткость выражена как функция внутреннего диаметра d , подшипника. Переменным параметром является также сила натяга подшипников A_0 , которая на графиках выражена отношением $\gamma = A_0/d$.

Например, упорный роликовый подшипник с внутренним диаметром $d = 60$ мм смонтирован с силой натяга $A_o = 24\,000$ Н, что дает значения $\gamma = 400$ и $j_{оп} = 3000$ Н/мкм. Увеличение натяга в подшипнике способствует увеличению жесткости, однако не следует увеличивать натяг выше $\gamma = 400$, так как это может снизить долговечность подшипника.

Контактная деформация пары винт—гайка, мкм,

$$\delta_{п} = Q_o / j, \quad (8)$$

где j — осевая жесткость пары, Н/мкм (см. табл. 6).

Предварительный натяг в паре выбирают равным $0,25 [Q_o]$. Практически такой натяг обеспечивает высокую жесткость при условии полного использования нагрузочной способности $У$ отрегулированной с таким натягом пары при осевой нагрузке, равной максимальной статической, одна из гаек окажется предельно нагруженной, а во второй предварительный натяг станет равным нулю, так как начнет образовываться зазор. Сумму деформаций $\delta_v + \delta_{оп} + \delta_{п}$ необходимо сравнить с допустимой деформацией передачи, равной значению зоны нечувствительности по данной координате.

Проверочный расчет на долговечность (по выносливости поверхностных слоев) сводится к вычислению коэффициента долговечности D исходя из расчетного срока службы в 5000 ч:

$$D = 0,28 \sqrt[3]{nc_i}, \quad (9)$$

где n — расчетная частота вращения винта, мин⁻¹, $n = (n_{\min} + n_{\max}) / 2$ (n_{\max} и n_{\min} — соответственно максимальная и минимальная частоты вращения винта; c_i — условное число циклов нагружения за один оборот винта, $c_i = 0,52z_i(1 + \frac{d_w}{d_o} \cos \beta)$,

здесь z_i — число рабочих шариков в одном витке гайки (z_i и c_i приведены в табл. 7); β — угол контакта шарика с профилем резьбы, $\beta = 45^\circ$.

Если получим $D < 1$, то нагрузка, вычисленная из условия статического нагружения, допустима и из условий долговечности. При $D > 1$ допустимая осевая нагрузка по долговечности $[Q_d]$ соответственно уменьшается $[Q_d] = [Q] / D$.

Предельную частоту вращения винта определяют два фактора: максимальная линейная скорость движения шарика и критическая частота, при которой наступает резонанс. Предельную частоту (мин⁻¹), определяемую максимальной скоростью движения шарика, следует подсчитывать по формуле

$$n_{пр1} = 70\,000 / d_o, \text{ а критическую резонансную частоту — по формуле}$$

$$n_{пр2} = 3,25 \times 10^7 \frac{1}{l^2} \mu,$$

где d — внутренний диаметр резьбы винта, мм; l — расстояние между опорами, мм; μ — коэффициент, зависящий от способа заделки винта в опорах. При жесткой заделке одного конца винта и свободном втором конце $\mu = 0,7$, а при опорном втором конце $\mu = 3,4$. Если оба конца заделаны жестко, то $\mu = 4,9$.

Предельную частоту вращения определяют наименьшим из двух значений $n_{пр1}$ и $n_{пр2}$.

Задачи 91 – 120

Произвести расчет шпиндельного узла на жесткость. Определите радиальное перемещение переднего конца шпинделя и оптимальное отношение $b_{опт}$ между опорами к вылету a .

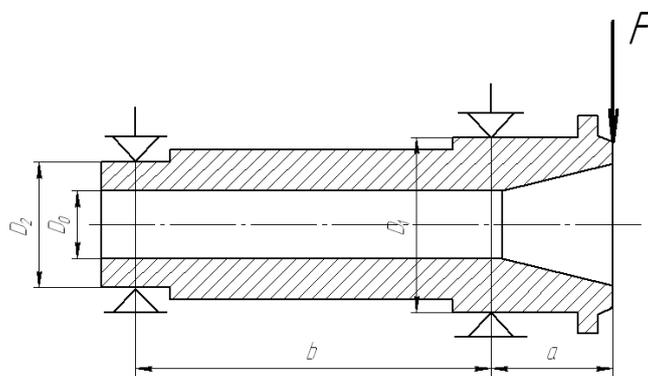


Рисунок 2 - Расчетная схема шпиндельного узла

Таблица 8 – Исходные данные

Задача	b, мм	a, мм	D ₁ , мм	D ₂ , мм	D ₀ , мм	F, кН	j ₁ , Н/мм	j ₂ , Н/мм
91	500	60	70	75	30	8,0	200	150
92	600	70	75	85	3405	4,5	250	200
93	700	80	75	90	45	8,0	200	100
94	600	80	80	100	30	10,0	200	150
95	500	40	60	70	35	9,0	250	200
96	600	50	80	90	30	7,0	350	250
97	500	60	70	80	40	10,0	250	150
98	700	70	80	95	35	5,0	150	100
99	600	60	70	90	30	7,0	250	150
100	500	50	65	75	35	6,0	200	100
101	550	50	65	85	40	7,0	300	200
102	650	60	75	90	35	6,0	260	200
103	750	65	80	100	40	12,5	250	150
104	800	70	90	110	45	7,5	200	100
105	850	75	100	120	50	15,0	300	150
106	600	65	65	80	35	9,5	250	150
107	400	50	65	75	30	4,0	200	100
108	450	45	50	70	25	5,0	350	200
109	350	45	60	70	30	4,5	150	100
110	700	60	95	110	45	10,0	200	150
111	600	50	100	120	50	15,0	250	200
112	550	60	80	100	30	12,5	250	200
113	400	100	90	120	45	14,5	300	250

114	350	50	80	90	35	8,5	300	250
115	450	150	120	125	60	18,0	300	250
116	700	120	120	120	70	14,0	350	300
117	800	150	100	110	60	15,0	280	220
118	650	80	80	90	30	8,0	350	200
119	450	70	75	90	30	8,5	250	150
120	500	100	80	100	45	7,5	250	180

Примечание. D_1 – диаметр шпинделя между опорами; D_2 – диаметр шпинделя на консольной части; D_0 – внутренний диаметр шпинделя; материал шпинделя – сталь 45; j_1 – жесткость передней опоры; j_2 – жесткость задней опоры.

Методические указания

При расчете на жесткость определяют диаметр D передней шейки шпинделя и расстояние b между опорами (рис. 3). Величину a консоли шпинделя регламентируют стандартные размеры его переднего конца и применяемые уплотнения, величина a должна быть возможно малой. В приближенных расчетах шпиндель заменяют балкой на двух опорах, нагруженной на консоли внешней силой F и силой F_{np} со стороны привода. Радиальное смещение переднего конца шпинделя

$$y_{\Sigma} = y_{оп} + y_{шп} + y_{\tau} \quad (10)$$

где $y_{шп}$ — смещение от прогиба тела шпинделя; $y_{оп}$ — смещение от податливости опор;

y_{τ} — смещение, вызванное сдвигом от действия поперечных сил, этой составляющей можно пренебречь, так как ее значение для реальных размеров шпинделей с центральным отверстием не превышает 3—6% от y_{Σ} . Тогда суммарное смещение

$$y_{\Sigma} = \frac{Fa^2}{3E} \left[\frac{a}{J_b} + \frac{b(1-\xi)}{J_a} \right] + F \left\langle \frac{1}{j_1} \left[\frac{a(1-\xi)+b}{b} \right]^2 + \frac{1}{j_2} (1-\xi) \frac{a^2}{b^2} \right\rangle, \quad (11)$$

где E — модуль упругости материала шпинделя, МПа; J_a и J_b - осевые моменты инерции сечения шпинделя соответственно на консольной части и между опорами, мм⁴; j_1 и j_2 — жесткость передней и задней опор шпинделя, Н/мм; ξ — коэффициент, учитывающий наличие заземляющего момента в передней опоре, $\xi=0,3 \dots 0,45$ для схем 1 – 3 (табл. 9); $\xi=0,15 \dots 0,25$ для схем 4 – 5; $\xi=0,2 \dots 0,3$ для схемы 6; $\xi=0,1 \dots 0,2$ для схем 7 – 8; $\xi=0$ для схемы 9; для гидростатических, гидродинамических и аэростатических опор $\xi=0$.

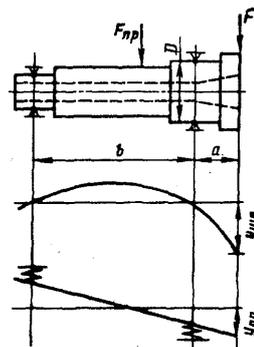
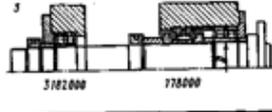
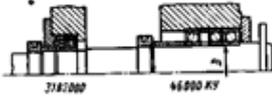
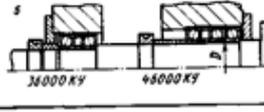
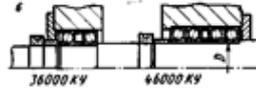
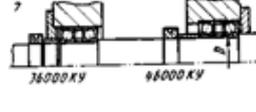
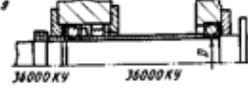


Рисунок 3 - Расчетная схема шпиндельного узла

Таблица 9 – Типовые схемы шпиндельных узлов с опорами качения

Схема	D, мм	Dn · 10 ⁻³ , мм	Область применения
 <p>17000 637000</p>	60—200	2,0—2,5	Средние и тяжелые токарные и фрезерные станки при крупносерийном производстве
 <p>17000 67000</p>	40—160	2,5—3,0	Легкие и средние токарные, фрезерные и шлифовальные станки при крупносерийном производстве
 <p>3182000 178000</p>	60—200	2,5—4,0	Средние и тяжелые токарные, фрезерные фрезерно-расточные, шлифовальные станки
 <p>3182000 46000 КУ</p>	30—120	4,0—6,0	Высокоскоростные легкие и средние токарные, фрезерные, фрезерно-расточные, отделочно-расточные станки
 <p>36000 КУ 46000 КУ</p>			
 <p>36000 КУ 46000 КУ</p>	60—140	4,0—6,0	Тяжелые шлифовальные станки
 <p>36000 КУ 46000 КУ</p>	20—100	6,0—11	Шлифовальные отделочно-расточные станки для работы на сверхвысоких скоростях
 <p>34000 КУ 36000 КУ</p>	20—80	8,0—12	
 <p>34000 КУ 36000 КУ</p>	20—80	10—18	

Общая податливость ШУ $C_{\Sigma} = 1/j_{\Sigma} = y_{\Sigma}/F$, где j_{Σ} — суммарная жесткость ШУ, она может быть представлена в виде:

$$C_{\Sigma} = 1/j_{\Sigma} = \frac{a^2}{3E} \left[\frac{a}{J_b} + \frac{b(1-\xi)}{J_a} \right] + \left\langle \frac{1}{j_1} \left[\frac{a(1-\xi) + b}{b} \right]^2 + \frac{1}{j_2} (1-\xi) \frac{a^2}{b^2} \right\rangle, \quad (12)$$

Выражение (12) дает возможность при заданной жесткости выбрать основные размеры шпинделя D, a и b; суммарную податливость рассчитывают по известным значениям F (определяемым режимами нагружения) и регламентированным значениям смещения y_{Σ} переднего конца шпинделя (определяемым нормами точности); величины J_a и J_b зависят только от диаметральных размеров шпинделя; величины ξ , j_1 и j_2 — от выбранного типа и конструкции опор.

Выбрав величины D передней шейки и a консоли с учетом имеющих место конструкционных и критериальных ограничений, определяют величину $b_{\text{опт}}$ межопорного расстояния исходя из условия обеспечения максимальной жесткости (минимума суммарной податливости) $dC_{\Sigma}/d(b/a)=0$. Это соответствует решению выражения (12) без учета защемления в опорах ($\xi=0$):

$$b^3 - \left[\frac{6EJ_b}{j_1} \times \frac{b}{a} + 6EJb \left(\frac{1}{j_1} + \frac{1}{j_2} \right) \right] = 0$$

5. Варианты заданий для выполнения контрольной работы

Пред-последняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	23 36 81 115	27 39 82 117	10 38 83 106	11 57 64 116	18 35 75 113	19 34 76 91	20 33 77 94	21 32 78 118	22 60 69 109	23 51 68 110
1	27 46 61 94	28 56 62 97	29 56 63 120	25 47 64 100	16 45 65 111	7 44 66 99	8 43 67 105	9 42 68 98	10 60 69 102	11 59 70 104
2	10 53 77 119	11 52 72 111	1 58 73 118	19 60 74 112	12 59 75 117	13 32 76 113	3 41 77 116	4 49 78 114	30 51 79 120	27 50 80 15
3	19 56 60 120	20 55 89 114	21 49 88 106	22 53 87 111	23 32 86 113	24 54 85 119	27 40 84 118	28 39 83 91	29 38 82 92	15 37 81 93
4	24 44 61 116	23 43 82 99	24 42 63 114	27 36 88 91	28 55 85 102	29 49 86 104	25 34 77 106	26 52 78 94	7 41 69 11	8 40 90 120
5	9 39 51 96	10 38 89 98	11 37 83 107	18 34 84 108	19 33 65 105	20 32 66 109	21 31 67 110	22 30 68 115	23 26 69 118	24 55 80 93
6	7 40 64 91	8 39 63 92	9 38 62 93	10 37 61 94	11 34 70 95	18 33 69 96	19 32 68 97	20 31 67 98	21 30 66 99	22 46 71 100
7	28 31 70 101	29 39 69 100	25 33 68 99	36 25 67 102	7 46 66 103	8 47 65 99	9 45 64 104	10 44 63 98	11 43 62 105	18 42 61 115
8	16 34 90 94	7 33 49 95	8 32 48 96	9 31 57 109	10 39 76 117	11 36 75 97	18 35 74 107	19 46 73 108	20 47 72 110	21 45 71 112
9	23 35 84 101	24 48 81 102	27 47 89 103	28 45 82 104	29 44 88 105	25 43 83 106	26 42 87 107	7 36 84 108	8 55 86 109	9 54 85 110

6. Образец титульного листа

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Брестский государственный технический
университет»
Филиал Учреждения образования «Брестский государственный
технический университет» Политехнический колледж
Машиностроительное отделение

ДОМАШНЯЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №

(наименование предмета)

Вариант №

Преподаватель

(инициалы, фамилия)

Выполнил учащийся

(инициалы, фамилия)

_____ курса _ учебной группы _____

специальности 2-36 01 31
«Металлорежущие станки и инструменты
(по направлениям)»

Шифр учащегося _____

2023

7. Показатели оценки домашней контрольной работы

Отметка	Показатели оценки
Не зачтено	Несоответствие варианту ДКР, воспроизведение отдельных объектов изучения программного учебного материала, предъявленных в готовом виде (конструкция узлов металлорежущих станков, отдельных терминов и формул для расчета), наличие многочисленных существенных ошибок, нарушение методических указаний в оформлении ДКР, отсутствие списка использованных источников
Зачтено	Раскрытие сущности вопросов, развернутое описание и объяснение назначения и конструкции типовых узлов металлорежущих станков, методики расчета типовых узлов и механизмов металлорежущих станков, подтверждение аргументами, фактами и расчетами, формулирование выводов, отсутствие существенных ошибок и нарушений методических указаний в оформлении ДКР

Список использованных источников

1. **Бушуев, В. В.** Металлорежущие станки. Т. 2: учебник / В. В. Бушуев, А. В. Еремин, А. А. Какоило и др. ; под ред. В. В. Бушуева. – М., 2012
2. **Гаврилин, А.М.** Расчет и проектирование металлорежущих станков: учеб. пособие для ВУЗов / А. М. Гаврилин и др. - Орел, 2006.
3. **Гуртяков, А. М.** Металлорежущие станки. Расчет и проектирование: учебное пособие для среднего профессионального образования / А. М. Гуртяков. — 2-е изд. – М., 2020.
4. **Корноухов, А.П.** Шпиндели металлорежущих станков: Учебно-методическое пособие к курсовому и дипломному проектированию. / Корноухов А.П. - М., 2018.
5. **Михайлов, М. И.** Конструирование и расчет станков: учеб. пособие / М. И. Михайлов. - Гомель, 2020.
6. **Муравьев, Д. В.** Проектирование коробки скоростей металлорежущего станка: учебное пособие / Д. В. Муравьев. — Омск, 2021.
7. **Немкова, Г. Н.** Техническая механика. Курсовое проектирование: учеб. пособие / Г. Н. Немкова, С. А. Мазилкин. - Минск, 2018.
8. **Проектирование металлорежущих станков и станочных систем:** справочник- учебник: В 3 т. Т. 1. Проектирование станков / под ред. А. С. Проникова. - М., 1994.
9. **Проектирование металлорежущих станков и станочных систем:** справочник- учебник: В 3 т. Т. 2. Ч. 1,2. Расчет и конструирование узлов и элементов станков / под ред. А. С. Проникова. - М., 1995.
10. **Проектирование металлорежущих станков и станочных систем:** справочник- учебник: В 3 т. Т. 3. Проектирование станочных систем / под ред. А. С. Проникова. - М., 2000.