

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

---

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИДО  
А.Ф. Федоров

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2007 г.

### ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

Рабочая программа, методические указания и индивидуальные задания на контрольные работы и на курсовой проект для студентов

Института дистанционного обучения специальностей:

**140101 «Тепловые электрические станции»**

**140104 «Промышленная теплоэнергетика»**

**140601 «Электромеханика»**

**140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов»**

Специальности	140101, 140104			140601, 140604		
	5	6	7	4	5	6
Семестр	5	6	7	4	5	6
Лекции, часов	2	8	-	2	10	-
Лабораторные занятия, часов		2	-	-	-	-
Практические занятия, часов		8			10	-
Контрольная работа		1, 2			1, 2	-
Курсовой проект, часов		2	6		4	4
Самостоятельная работа, часов		70	84		90	90
Формы контроля		экзамен	зачет*		экзамен	зачет*

Томск 2007

**Прикладная механика:** Рабочая программа, методические указания и индивидуальные задания на контрольные работы и на курсовой проект для студентов Института дистанционного обучения специальностей 140101, 140104, 140601, 140604 / Сост. В.В.Гурин, В.М.Замятин – Томск: Изд. ТПУ, 2007. – 83 с.

Рабочая программа курса и индивидуальные задания на контрольные работы по курсу «Прикладная механика» составлены на основе ГОС ВПО для немашиностроительных специальностей.

Рабочая программа, методические указания и индивидуальные задания на контрольные работы и на курсовой проект для студентов Института дистанционного обучения специальностей 140101, 140104, 140601, 140604 рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры «Теоретическая и прикладная механика» « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2007 года.

Заведующий кафедрой, доцент, к.т.н \_\_\_\_\_ В.М.Замятин

### **Аннотация**

Рабочая программа, методические указания и индивидуальные задания на контрольные работы и на курсовой проект предназначены для студентов Института дистанционного обучения специальностей 140101 «Тепловые электрические станции», 140104 «Промышленная теплоэнергетика», 140601 «Электромеханика» и 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов».

Данная дисциплина изучается два семестра.

Приведен перечень основных тем дисциплины, практических и лабораторных занятий.

Приведены варианты заданий на контрольные работы и на курсовой проект.

Даны методические указания по выполнению контрольных работ и курсового проекта.

## ВВЕДЕНИЕ

При определении технической политики на современном предприятии ведущая роль принадлежит технологу, так как рационально спроектированный и рационально управляемый технологический процесс обеспечивает и необходимую производительность, и качество выпускаемой продукции, и снижение её себестоимости, и экологическую безопасность окружающей среды. Поэтому технолог должен в достаточной мере разбираться не только в вопросах своей относительно узкой специальности, но и в смежных областях, знать не только технологию производства, но и те средства, которые обеспечивают технологический процесс.

В связи с вышеизложенным очевидно, что инженер-технолог должен представлять себе не только общие принципы устройства механизмов и машин, но и принципы их проектирования, знать детали, из которых состоят механизмы, и условия, при которых эти детали достаточно прочны и надёжны, так как прочность и надёжность каждой детали определяют прочность и надёжность машины в целом.

Комплекс указанных вопросов, в той степени, в которой они необходимы инженерам-технологам, рассмотрен в курсе «Прикладная механика».

Курс условно разбит на четыре раздела.

В первом из них рассматриваются общие вопросы теории механизмов.

Второй раздел, посвящённый основам расчётов на прочность и жёсткость инженерных конструкций, изложен в объёме, необходимом для изучения последующих разделов: третьего и четвертого.

В третьем разделе рассмотрены вопросы проектирования наиболее распространённых передаточных механизмов (фрикционных, ременных, цепных, зубчатых и червячных).

Четвёртый раздел посвящён расчету и проектированию деталей машин.

В курсе «Прикладная механика» используются сведения, полученные студентами при изучении общенаучных и общеинженерных дисциплин, таких, как высшая математика, физика, инженерная графика, вычислительная математика. Поэтому в начале курса должен быть осуществлён входной контроль знаний отдельных разделов этих дисциплин по пакету контрольных вопросов.

Предмет курса - комплекс общетехнических дисциплин, позволяющих обоснованно выбрать, спроектировать и рассчитать, а также квалифицированно эксплуатировать различные технические средства промышленных производств с учетом специфики каждой специальности.

Основные задачи курса - изучение основ прочности и освоение расчётов на прочность простых силовых элементов несущих конструкций, освоение общих принципов построения машин, механизмов, деталей и их проектирования, ознакомление с основами стандартизации и взаимозаменяемости, изучение конструкций механизмов и машин.

Расчётно-аналитический и инженерно-конструкторский характер курса

способствует использованию персональных компьютеров, особенно на этапе курсового проектирования. Для этого используются пакеты типовых программ и пакеты, разработанные сотрудниками кафедры «Теоретическая и прикладная механика» по различным разделам курса. При проведении занятий всех видов достаточно широко используются средства ТСО (модели механизмов, слайды, диафильмы и т.п.).

Для закрепления основных теоретических положений курса, приобретения навыков в практических расчетах и анализе работоспособности типовых изделий машиностроения проводятся практические занятия, а с целью иллюстрации основных гипотез и допущений, экспериментальной оценки пределов применимости расчётных формул, определения механических характеристик конструкционных материалов проводится лабораторный практикум.

Итоговым этапом обучения является курсовое проектирование. Выполнение курсового проекта позволяет активно закрепить и углубить знания, полученные при изучении общетехнических дисциплин, приобрести навыки работы со справочной литературой, со стандартами, а также освоить принципы оформления конструкторской документации на разрабатываемые изделия машиностроения.

Курс заканчивается выходным контролем.

По курсу «Прикладная механика» студенты должны:

- а) выполнить и защитить две контрольные работы;
- б) сдать экзамен и зачет по курсу;
- в) выполнить и защитить курсовой проект.

## ЛИЧНЫЙ ШИФР СТУДЕНТА

Исходные данные для выполнения контрольной работы студент должен принять в соответствии со своим личным шифром, состоящим из пяти цифр.

**Первые три цифры шифра** соответствуют **начальным буквам фамилии, имени, отчества студента.**

Их соответствия приведены в таблице 1.

**Четвертая и пятая цифры шифра** соответствуют **двум последним цифрам в зачетной книжке студента.**

*Например: Романов Максим Владимирович. Номер зачетной книжки 518109.*

Шифр в этом случае имеет вид: *54109.*

Таблица 1

Буква	АБ	ВГ	ДЕЖЗИ	К	ЛМ	НОР	П	С	ТУФХ	ЦЧШЩЭЮЯ
Цифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

# **1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

## **1.1 Цели преподавания дисциплины**

Преподавание курса «Прикладная механика» имеет целью сообщить студентам необходимые сведения из области кинематики и динамики механизмов, теоретических основ сопротивления материалов, а также методы расчёта на прочность, жёсткость деталей машин и механизмов, являющихся общими для различных областей машиностроения, дать первые практические навыки расчётов и проектирования деталей и механизмов.

Курс «Прикладная механика» является базовым для изучения профилирующих дисциплин, требующих умения проводить расчёты на прочность, долговечность, а также навыков конструирования.

## **1.2 Задачи изучения дисциплины**

В результате системного изучения всех разделов дисциплины «Прикладная механика» студент должен знать структурную и функциональную классификацию механизмов, методы кинематического анализа и синтеза механизмов, теоретические основы расчётов на прочность и жесткость наиболее распространенных деталей и узлов машин, механизмов, приборов, иметь общие понятия о работе машин.

В задачу дисциплины входит обучение студента практическому проведению анализа и синтеза механизмов, расчётам по механической прочности, конструированию типовых деталей и узлов машин, проведению проверочных расчётов на прочность и жёсткость; приобретению первых навыков по конструированию деталей и узлов механизмов, машин, агрегатов.

## **1.3 Перечень базовых дисциплин и их разделов, необходимых для изучения курса «Прикладная механика»**

1. Математика:

- векторная алгебра,
- аналитическая геометрия,
- математический анализ.

2. Физика:

- механика.

3. Инженерная графика:

- ортогональные проекции,
- аксонометрия,
- техническое черчение.

4. Применение вычислительной техники в инженерных и экономических расчётах.

## **2 СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Введение**

Место и значение курса «Прикладная механика» в ряду общеинженерных дисциплин.

Основные тенденции в развитии машиностроения (роботизация, комплексная механизация, снижение металлоёмкости конструкций, увеличение производительности, уменьшение энергопотребления, улучшение экологических параметров и т.д.).

Задачи курса. Методика изучения курса.

### **2.1 Основы теории механизмов**

#### **Введение**

В первой части курса «Прикладная механика» рассматриваются вопросы теории механизмов и машин, в которой положения общей механики применяются при изучении особых механических систем, называемых механизмами.

Изучаются структура, кинематика и динамика механизмов и машин, общие методы их анализа, с помощью которых исследуются кинематические и динамические характеристики заданного механизма или, наоборот, по заданным характеристикам определяются схема, основные размеры звеньев и другие параметры конструируемого механизма.

#### **2.1.1 Литература**

1. Артоболовский И.И. Теория механизмов и машин. - М.: Машиностроение, 1979. - 640 с.

2. Иосилевич Г.Б. и др. Прикладная механика / Г.Б. Иосилевич, Г.Б. Строганов, Г.С. Маслов. - М.: Высш. шк., 1989. - 352 с.

3. Прикладная механика / В.М. Осецкий, Б.Г. Горбачев, Г.А. Доброборский, Н.С. Козловский, Е.И. Моисеенко, Г.В. Мясников, В.С. Перевалов, И.Н. Фальк. - М.: Машиностроение, 1977. - 488 с.

4. Юдин В.А., Петрокас Л.В. Теория механизмов и машин. - М.: Высш. шк., 1967. - 528 с.

#### **2.1.2 Программа раздела «Основы теории механизмов»**

#### **Введение**

Приступая к изучению раздела «Основы теории механизмов», следует в общих чертах представить его содержание, связь с другими разделами курса «Прикладная механика». Следует учесть, что в данном разделе изучаются только некоторые вопросы дисциплины «Теория механизмов и машин», без знания которых изучение других разделов курса «Прикладная механика» будет затруднено.

### **2.1.2.1 Общие сведения**

Машина. Прибор. Машинный агрегат. Механизм.

### **2.1.2.2 Структура элементов механизмов**

Звено. Стойка.

Кинематическая пара. Элемент кинематической пары. Низшая кинематическая пара. Высшая кинематическая пара. Плоская кинематическая пара. Пространственная кинематическая пара. Кинематическое соединение. Степень свободы кинематической пары. Класс кинематической пары.

Кинематическая цепь. Открытая кинематическая цепь. Замкнутая кинематическая цепь. Простая кинематическая цепь. Сложная кинематическая цепь. Плоская кинематическая цепь. Пространственная кинематическая цепь. Степень свободы кинематической цепи. Формула Сомова-Малышева. Формула Чебышева. Избыточные связи. Пассивные звенья.

### **2.1.2.3 Механизмы и их классификация**

Понятие «механизм» в классической теории механизмов.

Входное звено. Выходное звено. Рабочее (исполнительное) звено. Степень подвижности механизма. Условие однозначности работы механизма. Рычажные механизмы. Кулачковые механизмы. Фрикционные механизмы. Зубчатые механизмы. Механизмы с гибкими звеньями. Группы Ассура.

### **2.1.2.4 Кинематический анализ механизмов**

Планы положений механизма. Планы скоростей плоского рычажного механизма. Свойства плана скоростей. Планы ускорений плоского рычажного механизма. Свойства плана ускорений. Кинематическая диаграмма линейных перемещений. Кинематическая диаграмма угловых перемещений. Графическое дифференцирование методом хорд. Кинематическая диаграмма скоростей. Кинематическая диаграмма ускорений.

Колесные механизмы. Передаточное отношение колесного механизма. Начальные окружности колес. Определение величины передаточного отношения колесного механизма с внешним касанием колес. Определение величины передаточного отношения колесного механизма с внутренним касанием колес. Определение угловых скоростей колес колесного механизма. Определение моментов на колесах колесного механизма. Механизмы с последовательным соединением колес. Определение передаточного отношения механизма с последовательным соединением колес. Паразитное колесо. Назначение паразитных колес. Механизмы со ступенчатым соединением колес. Определение передаточного отношения механизма со ступенчатым соединением колес. Графоаналитический метод кинематического анализа колесных механизмов.

### **2.1.2.5 Трение в кинематических парах**

Основные понятия. Трение скольжения. Сухое трение. Граничное трение. Жидкостное трение. Полусухое трение. Полужидкостное трение. Сила

трения. Сила трения покоя. Сила трения движения. Коэффициент трения. Коэффициент трения покоя. Коэффициент трения движения. Формула Амонтона-Кулона для определения силы трения. Угол трения. Угол трения покоя. Угол трения движения. Трение в поступательной паре (ползун на наклонной плоскости). Самотормозящая наклонная плоскость. Трение в клинчатом ползуне. Трение в винтовой паре с прямоугольной резьбой. Трение в винтовой паре с треугольной резьбой. Трение во вращательной паре. Трение качения. Коэффициент трения качения.

#### **2.1.2.6 Механический коэффициент полезного действия механизма**

Коэффициент полезного действия (КПД) механизма. Коэффициент потерь. КПД сложного механизма, состоящего из  $n$  последовательно соединенных простых механизмов, КПД которых известны. КПД сложного механизма, состоящего из  $n$  параллельно соединенных простых механизмов (при известном распределении потока мощности через простые механизмы и при известных КПД простых механизмов). КПД сложного механизма, состоящего из  $n$  параллельно соединенных простых механизмов с одинаковым КПД.

#### **2.1.3 Вопросы для самопроверки**

1. Приведите определение звена, кинематической пары, кинематической цепи.

2. Назовите основные плоские кинематические пары, объясните деление пар на высшие и низшие, покажите возможные и невозможные движения звеньев пар относительно друг друга. Приведите пример пространственной пары.

3. Какие кинематические цепи, замкнутые или незамкнутые, используют обычно для механизмов? Приведите определение механизма.

4. Объясните физический смысл числовых коэффициентов в структурной формуле. Почему число звеньев, закон движения которых задается внешним образом, должно быть равно числу степеней свободы механизма? Можно ли в механизме с одной степенью свободы изменить положение звеньев, не меняя положения входного звена?

5. Приведите пример пространственного механизма и покажите на нем движения звеньев, отличающие его от плоского механизма.

6. В каких случаях применяется формула Сомова-Малышева, а в каких - формула Чебышева?

7. Постройте планы положений кривошипно-ползунного механизма и шарнирного четырехзвенника. Проследите, как меняется ход ведомого звена при изменении размеров звеньев механизма.

8. Постройте планы скоростей и план ускорений для шарнирного четырехзвенника и для кривошипно-ползунного механизма. Определите числовое значение угловой скорости и углового ускорения шатуна и их направление. Как следует определять скорость (ускорение) третьей точки звена при известных векторах скоростей (ускорений) двух точек этого звена, используя

свойство подобия?

9. Как определяются величины и направление реакций в кинематических парах плоского рычажного механизма методом планов сил?

10. Для чего предназначены механизмы со ступенчатым соединением круглых колес?

11. Чем отличается передаточное отношение от передаточного числа?

12. Как определить величины линейных скоростей точек колес и угловых скоростей колес механизмов со ступенчатым соединением круглых колес графоаналитическим методом кинематического анализа?

13. На какие виды делится трение?

14. Приведите формулу закона Амонтона-Кулона.

15. Что такое угол и конус трения?

16. Дайте определение коэффициента полезного действия.

17. Как определяется величина среднего значения КПД?

18. Как определяется величина мгновенного значения КПД?

19. Как определяется величина КПД составного механизма при последовательном соединении простых механизмов?

20. Как определяется величина КПД составных механизмов при параллельном соединении простых механизмов с разными КПД?

## **2.2 Основы сопротивления материалов**

### **Введение**

«Сопротивление материалов» является разделом механики деформируемого твердого тела, в котором рассматриваются методы расчета типовых элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость.

### **2.2.1 Литература**

1. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. - М.: Высш. шк., 1976. – 608с.

2. Иосилевич Г.Б. и др. Прикладная механика / Г.Б. Иосилевич, Г.Б. Строганов, Г.С. Маслов. - М.: Высш. шк., 1989. - 352 с.

3. Миролюбов И.Н. Пособие к решению задач по сопротивлению материалов. - М.: Машиностроение, 1974. - 460 с.

4. Прикладная механика / В.М. Осецкий, Б.Г. Горбачев, Г.А. Доброборский, Н.С. Козловский, Е.И. Моисеенко, Г.В. Мясников, В.С. Перевалов, И.Н. Фальк. - М.: Машиностроение, 1977. - 488 с.

5. Степин П.А. Сопротивление материалов. - М.: Машиностроение, 1979. - 312 с.

### **2.2.2 Программа раздела «Основы сопротивления материалов»**

#### **Введение**

Первой стадией создания машины, сооружения является проектирование, в процессе которого расчетным путем определяют размеры отдельных

элементов конструкций. Проектируемая конструкция должна быть надежной в заданных условиях функционирования в течение заданного срока.

Круг задач, решаемых методами сопротивления материалов, включает в себя задачи расчета безопасных нагрузок, определения надежных размеров элементов, обоснования выбора наиболее подходящих материалов. Для этого необходимо выявить закономерности распределения внутренних усилий и соответствующих им геометрических изменений в элементах в зависимости от их формы и размеров, вида, характера, места приложения, величины и направления нагрузок, определить меры изменения усилий и деформаций и сопоставить их с механическими характеристиками реальных конструктивных материалов.

Особенностью постановки задач в сопротивлении материалов является широкая экспериментальная проверка предлагаемых решений. Методы сопротивления материалов изменяются вместе с возникновением новых задач и требований практики.

### **2.2.2.1 Общие сведения**

Внешние силы. Деформация. Прочность. Жесткость. Устойчивость.

### **2.2.2.2 Основные понятия и определения**

Нагрузки. Сосредоточенные нагрузки. Характеристика сосредоточенной нагрузки. Распределенные нагрузки. Виды распределенных нагрузок. Характеристики распределенных нагрузок. Статические нагрузки. Динамические нагрузки. Внутренние силы. Дополнительные внутренние силы (усилия). Метод сечений. Продольная сила. Поперечная сила. Крутящий момент. Изгибающий момент.

Понятие о напряжениях. Напряженное состояние в точке. Нормальное напряжение. Касательное напряжение. Напряженное состояние тела. Главные площадки. Главные напряжения. Линейное (одноосное) напряженное состояние. Плоское (двухосное) напряженное состояние. Объемное (трехосное) напряженное состояние.

Конструктивные элементы механизмов и машин. Брус. Оболочка. Пластина.

Основные гипотезы и допущения. Гипотеза о сплошном строении тела. Гипотеза об идеальной упругости материала. Гипотеза об однородности материала. Гипотеза об изотропности материала. Гипотеза плоских сечений. Допущение о малости деформаций. Допущение о линейной зависимости между деформациями и нагрузками. Принцип независимости действия сил (принцип суперпозиции). Принцип Сен-Венана.

### **2.2.2.3 Растяжение и сжатие**

Деформация растяжения. Абсолютное удлинение. Относительное удлинение. Деформация сжатия. Абсолютное укорочение. Относительное укорочение. Относительная поперечная деформация. Коэффициент Пуассона.

Закон Гука для пластичных материалов. Модуль продольной упругости (модуль упругости первого рода). Область действия закона Гука.

Механические характеристики и свойства материалов. Основные механические характеристики: предельные напряжения, твердость, ударная вязкость. Пластичные конструкционные материалы. Хрупкие конструкционные материалы. Малопластичные конструкционные материалы. Испытания на растяжение. Условная диаграмма растяжений пластичных материалов. Предел пропорциональности. Предел упругости. Предел текучести. Предел прочности (временное сопротивление). Условная диаграмма растяжения хрупких материалов. Явление наклепа. Испытание на сжатие. Условные диаграммы сжатия пластичных и хрупких материалов. Твердость. Определение твердости по Бринелю. Материалы, твердость которых определяется по Бринелю. Определение твердости по Роквеллу. Материалы, твердость которых определяется по Роквеллу. Связь между твердостью и временным сопротивлением. Ударная вязкость. Определение ударной вязкости.

Допускаемые напряжения и запасы прочности. Допускаемое напряжение. Предельное напряжение. Коэффициент запаса прочности (коэффициент безопасности). Связь между допускаемым и предельным напряжениями.

Расчеты на прочность при растяжении (сжатии). Уравнение прочности. Проверочный расчет на прочность при растяжении (сжатии). Проектные расчеты на прочность при растяжении (сжатии). Предельная деформация. Условие жесткости. Расчеты на жесткость при растяжении (сжатии).

Статически определимые системы. Определение внутренних сил и напряжений в статически определимых системах.

Статически неопределимые системы. Общий метод решения статически неопределимых систем.

Напряженное состояние при растяжении (сжатии). Напряжения на гранях бесконечно малого элемента. Свойства линейного напряженного состояния: сумма нормальных напряжений, действующих по двум взаимно перпендикулярным площадкам; закон парности касательных напряжений; сечение, в котором касательные напряжения максимальны.

#### **2.2.2.4 Изгиб прямолинейного бруса**

Общие понятия. Изгиб. Балка. Чистый изгиб. Поперечный изгиб. Силовая плоскость. Простой (плоский) изгиб. Признаки чистого изгиба. Нейтральный слой. Нейтральная ось. Силовая линия. Деформация волокон.

Типы опор. Шарнирно-подвижная опора. Реакция в шарнирно-подвижной опоре. Шарнирно-неподвижная опора. Реакция в шарнирно-неподвижной опоре. Жесткая заделка (защемление). Реакция в жесткой заделке. Возможные варианты крепления балки при условии, что система является статически определимой. Однопролетная (простая) балка. Консольная балка (консоль).

Метод определения опорных реакций в случае, когда система статиче-

ски определима.

Внутренние силовые факторы, возникающие в поперечном сечении балки при ее изгибе: изгибающий момент и поперечная сила. Методика определения поперечной силы. Правило знаков при определении величины поперечной силы. Эпюра поперечных сил. Методика построения эпюры поперечных сил. Методика определения изгибающего момента. Правило знаков при определении величины изгибающего момента. Методика построения эпюры изгибающих моментов.

Геометрические характеристики плоских сечений. Статические моменты площади. Центральные оси. Моменты инерции плоских сечений: осевые, полярные и центробежные. Единица измерения плоских моментов инерции. Свойства моментов инерции. Главные оси инерции. Главные центральные оси инерции. Главные моменты инерции. Моменты инерции простейших наиболее распространенных плоских сечений: прямоугольника, круга и кругового кольца. Моменты сопротивления: осевые и полярные. Осевые моменты сопротивления простейших наиболее распространенных плоских сечений: прямоугольника, круга и кругового кольца. Полярные моменты сопротивления при изгибе для круга и кругового кольца.

Напряжения при изгибе. Расчеты на прочность при изгибе. Плоскость изгиба. Напряжения в слое, отстоящем на некотором расстоянии от нейтрального (по закону Гука). Кривизна изогнутой балки. Жесткость сечения при изгибе. Максимальные напряжения при изгибе. Условие прочности при изгибе.

Перемещения при изгибе. Прогиб балки. Угол поворота сечения. Упругая линия балки. Уравнение связи кривизны оси изогнутой балки с изгибающим моментом и жесткостью сечения. Приближенное дифференциальное уравнение изогнутой оси балки. Уравнение для определения угла поворота сечения. Уравнение для определения величины прогиба балки. Допускаемый прогиб при расчетах балки на жесткость.

### **2.2.2.5 Кручение**

Чистый сдвиг и его особенности. Площадки чистого сдвига. Деформация сдвига. Величина касательного напряжения при сдвиге. Абсолютный (линейный) сдвиг. Относительный сдвиг. Закон Гука при сдвиге. Модуль упругости второго рода. Размерность модуля упругости второго рода. Условие прочности при сдвиге. Допускаемое напряжение при сдвиге, выраженное через допускаемое напряжение при растяжении.

Кручение стержня круглого поперечного сечения. Деформация кручения. Основные свойства деформации кручения в пределах упругих деформаций (недеформируемость оси кручения; неизменность плоскостности поперечных сечений; пропорциональность между углом поворота сечения и расстоянием от этого сечения до закрепленного конца цилиндра; пренебрежимо малая величина нормальных напряжений при кручении). Определение вели-

чины крутящих моментов в поперечных сечениях круглого стержня. Построение эпюры крутящих моментов.

Расчеты на прочность и жесткость при кручении. Кручение круглого цилиндра. Абсолютный сдвиг элемента. Относительный сдвиг. Относительный угол закручивания. Закон Гука при кручении. Эпюра напряжений по поперечному сечению цилиндра. Элементарная касательная сила. Элементарный момент. Крутящий момент в рассматриваемом сечении цилиндра. Относительный угол закручивания. Полный угол закручивания. Жесткость при кручении. Зависимость напряжения от крутящего момента. Наибольшее напряжение при кручении. Условие прочности при кручении. Связь величины допускаемого напряжения при кручении с величиной допускаемого напряжения при растяжении. Формула для определения минимально допускаемого диаметра цилиндра при чистом кручении. Расчет на жесткость при кручении (по допускаемому углу закручивания на единицу длины цилиндра).

#### **2.2.2.6 Сложное сопротивление**

Понятие о теории прочности. Эквивалентное линейное напряженное состояние. Теория наибольших линейных деформаций (вторая теория прочности). Основная причина разрушения материала по второй теории прочности. Условие прочности по второй теории прочности. Материалы, для которых применима вторая теория прочности. Теория наибольших касательных напряжений (третья теория прочности). Основная причина разрушения материала по третьей теории прочности. Условие прочности по третьей теории прочности. Материалы, для которых применима третья теория прочности. Энергетическая теория формоизменения (четвертая теория прочности). Критерий прочности по четвертой теории прочности. Условие прочности по четвертой теории прочности. Материалы, для которых применима четвертая теория прочности.

Расчет бруса на прочность при одновременном действии на него изгиба и растяжения (сжатия).

Расчет круглой балки на прочность при одновременном действии на нее изгиба и кручения. Построение эпюр изгибающих моментов в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Построение результирующей эпюры изгибающих моментов. Определение максимальных значений нормальных напряжений от изгиба в опасных сечениях балки. Определение максимальных значений касательных напряжений от кручения в опасных сечениях балки. Определение эквивалентного напряжения по одной из теорий прочности.

Определение величины коэффициента запаса прочности (коэффициента безопасности) при проверочном расчете балки при одновременном действии на нее изгиба и кручения.

#### **2.2.2.7 Местные напряжения**

Виды местных напряжений. Концентрация напряжений. Причины, вызывающие концентрацию напряжений. Концентраторы напряжений. Номи-

нальное напряжение. Коэффициент концентрации. Теоретический коэффициент концентрации напряжений. Эффективный коэффициент концентрации напряжений. Концентрация напряжений при растяжении (сжатии). Концентрация напряжений при изгибе. Концентрация напряжений при кручении. Методы борьбы с концентрацией напряжений.

Контактные напряжения. Допущения, принимаемые при определении величины контактных напряжений при сжатии двух шаров и при сжатии двух цилиндров, соприкасающихся по образующей. Формулы для определения величины максимальных значений контактных напряжений при сжатии двух шаров и при сжатии двух цилиндров, соприкасающихся по образующей внешним и внутренним образом.

Напряжения смятия. Формула для определения напряжения смятия.

### **2.2.2.8 Прочность материалов при переменных напряжениях**

Основные понятия об усталостной прочности. Циклические нагрузки. Цикл напряжений. Частота изменения напряжений. Период цикла. Характер разрушения материала при воздействии на него циклических нагрузок. Усталость материала. Циклическая прочность (выносливость). Предел выносливости. Основные параметры цикла. Максимальное напряжение цикла. Минимальное напряжение цикла. Среднее напряжение цикла. Амплитуда цикла. Коэффициент асимметрии цикла. Симметричный цикл. Пульсирующий (отнулевой) цикл. Постоянное напряжение.

Предел выносливости при симметричном цикле. Кривая выносливости. Базовое число циклов. Предел выносливости. Долговечность. Предельные циклы напряжений. Диаграмма предельных напряжений. Подобные циклы.

Факторы, влияющие на величину предела выносливости. Влияние концентрации напряжений. Эффективный коэффициент концентрации напряжений.

Теоретический коэффициент концентрации напряжений. Зависимость между теоретическим и эффективным коэффициентами концентрации напряжений. Коэффициент чувствительности материала и концентрации напряжений. Взаимосвязь между прочностью стали и ее чувствительностью к концентрации напряжений. Влияние абсолютных размеров детали. Масштабный фактор (коэффициент влияния абсолютных размеров сечения). Причины влияния абсолютных размеров детали на величину предела выносливости материала этой детали. Влияние состояния поверхности. Причины влияния состояния поверхности детали на величину предела выносливости материала этой детали. Коэффициент состояния поверхности. Общий коэффициент изменения предела выносливости при симметричном цикле. Действительный предел выносливости детали.

Расчеты на прочность при переменных напряжениях. Порядок расчета элемента конструкции, находящейся под действием переменных нагрузок. Коэффициент запаса прочности (коэффициент безопасности) по нормальным

напряжениям при симметричном цикле. Коэффициент запаса прочности по касательным напряжениям при симметричном цикле. Коэффициент запаса прочности при сложном напряженном состоянии при симметричном цикле. Коэффициенты, характеризующие чувствительность материала к асимметрии цикла. Коэффициент запаса прочности по нормальным напряжениям при несимметричном цикле. Коэффициент запаса прочности по касательным напряжениям при несимметричном цикле. Коэффициент запаса прочности при сложном напряженном состоянии при несимметричном цикле. Коэффициент запаса прочности по нормальным напряжениям при сопротивлении пластическим деформациям. Коэффициент запаса прочности по касательным напряжениям при сопротивлении пластическим деформациям. Коэффициент запаса прочности по сопротивлению пластическим деформациям при сложном напряженном состоянии.

### **2.2.3 Вопросы для самопроверки**

1. Перечислите критерии работоспособности детали.
2. Чем отличаются внешние нагрузки от внутренних сил?
3. При помощи какого метода определяются внутренние силы?
4. Какие факторы не учитывают основные гипотезы и допущения, принимаемые в сопротивлении материалов?
5. Что называется напряжением в поперечном сечении стержня при его растяжении или при его сжатии?
6. Назовите основные механические характеристики материала.
7. Каким образом производится испытание образца на растяжение?
8. Что представляет собой условная диаграмма растяжения пластичных материалов и каковы характеристики ее отдельных участков?
9. Что представляет собой модуль продольной упругости?
10. Чем отличается условная диаграмма растяжения хрупких материалов от условной диаграммы растяжения пластичных материалов?
11. Для каких материалов определение твердости материала производится по методу Бриннеля, а для каких - по методу Роквелла?
12. Что такое ударная вязкость?
13. В каких опорах реакцию делят на составляющие по осям, а в какой - нет?
14. Каковы возможные варианты крепления балки (возможное сочетание опор балки) при условии определенности системы?
15. Какой изгиб называется чистым, а какой - поперечным?
16. Какая плоскость называется силовой?
17. Какой слой называется нейтральным?
18. Какая ось называется нейтральной?
19. Каким образом определяют реакции в опорах двухопорных балок?
20. Каким образом определяют реакции в опоре консольной балки?
21. Каким образом строятся эпюры поперечных сил, действующих на

балку?

22. Каким образом строятся эпюры изгибающих моментов, действующих на балку?

23. Какое сопротивление называют сложным?

24. В чем заключается задача теорий прочности?

25. Какие теории прочности существуют?

26. Как в случае плоского напряженного состояния найти эквивалентные напряжения по третьей и четвертой теориям прочности?

27. Почему существуют несколько теорий прочности?

28. Какие напряжения называют местными и как их определяют?

29. Какие виды местных напряжений существуют?

30. Что называют концентрацией напряжений?

31. Что такое концентратор напряжения?

32. Какое напряжение называют номинальным?

33. Что называют теоретическим коэффициентом концентрации напряжений?

34. Что называют эффективным коэффициентом концентрации напряжений?

33. Как определить коэффициенты концентрации (теоретический и эффективный)?

34. Какие напряжения называют контактными и как определить их величину?

35. Какие нагрузки называют циклическими?

36. Каковы основные характеристики цикла?

37. Что называют пределом выносливости материала?

38. Как предел выносливости связан с пределом прочности?

39. Как строится кривая выносливости материала (кривая Веллера)?

40. Что называют ограниченный предел выносливости?

41. Какие факторы, влияют на величину предела выносливости?

42. Как определить величину коэффициента запаса прочности при симметричном цикле по нормальным напряжениям?

43. Как определить величину коэффициента запаса прочности при симметричном цикле по касательным напряжениям?

44. Как определить величину коэффициента запаса прочности при симметричном цикле?

45. Какие мероприятия проводят для повышения сопротивления усталости проектируемых деталей?

46. В чем заключается расчет деталей на сопротивление усталости?

### **2.3 Передаточные механизмы с круглыми колесами**

#### **Введение**

Целью изучения раздела «Передаточные механизмы с круглыми колесами» является приобретение студентом суммы знаний и навыков, необхо-

димых для того, чтобы он мог, исходя из заданных условий работы механизма, используя отработанные методы, правила и нормы проектирования, рассчитать и спроектировать элементы приводов машин с наиболее рациональными параметрами.

### 2.3.1 Литература

1. Анурьев В.И. *Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.* - М.: Машиностроение, 1994. - 728 с.
2. Анурьев В.И. *Справочник конструктора-машиностроителя. Т.2.* - М.: Машиностроение, 1994. - 560 с.
3. Анурьев В.И. *Справочник конструктора-машиностроителя. Т.3.* - М.: Машиностроение, 1994. - 558 с.
4. Борисов С.И., Зуев Ф.Г. *Основы технической механики и детали механизмов приборов.* - М.: Машиностроение, 1977. - 344 с.
5. Гурин В.В. *Прикладная механика. Учебное пособие.* – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 172 с.
6. Гурин В.В., Замятин В.М. *Расчет и конструирование узлов и деталей машин (для машиностроительных специальностей): Учебное пособие.* – Томск: Изд. ТПУ, 2003.– 283 с.
7. Гурин В.В., Замятин В.М. *Расчет и конструирование узлов и деталей машин (для машиностроительных специальностей): Справочное пособие.* – Томск: Изд. ТПУ, 2003.– 244 с.
8. Дунаев П.Ф. *Конструирование узлов и деталей машин.* - М.: Высш. шк., 1978. - 352 с.
9. Дунаев П.Ф., Леликов П.А. *Конструирование узлов и деталей машин.* – М.: Высш. шк., 1985. - 416 с.
10. Иосилевич Г.Б. и др. *Прикладная механика* /Г.Б. Иосилевич, Г.Б. Строганов, Г.С. Маслов. - М.: Машиностроение, 1985. - 564 с.
11. Иосилевич Г.Б. и др. *Прикладная механика* /Г.Б. Иосилевич, Г.Б. Строганов, Г.С. Маслов. - М.: Высш. шк., 1989. - 352 с.
12. Иосилевич Г.Б. *Детали машин.* - М.: Машиностроение, 1988. - 358 с.
13. *Краткий справочник конструктора нестандартного оборудования. Т.1* /В.И. Бакуменко, В.А. Бондаренко, С.Н. Косоруков, С.А. Атминис, Ю.В. Берсенева, Ю.П. Воронцов, В.И. Комаров, А.В. Кудрявцев, Л.П. Лаврова, О.Р. Михалева, С.А. Нецветаев, В.И. Павельев, Г.Ф. Свалов, В.Б. Свечников, О.Н. Тинников, В.Н. Финашин. - М.: Машиностроение, 1997. - 544 с.
14. *Краткий справочник конструктора нестандартного оборудования. Т.2* / В.И. Бакуменко, В.А. Бондаренко, С.Н. Косоруков, С.А. Атминис, Ю.В. Берсенева, Ю.П. Воронцов, В.И. Комаров, А.В. Кудрявцев, Л.П. Лаврова, О.Р. Михалева, С.А. Нецветаев, В.И. Павельев, Г.Ф. Свалов, В.Б. Свечников, О.Н. Тинников, В.Н. Финашин. - М.: Машиностроение, 1997. - 524 с.
15. Машнев М.М. и др. *Теория механизмов и машин и детали машин* /М.М. Машнев, Е.А. Красковский, П.А. Лебедев. - Л.: Машиностроение,

1980. - 512 с.

16. Прикладная механика /В.М. Осецкий, Б.Г. Горбачев, Г.А. Доброборский, Н.С. Козловский, Е.И. Моисеенко, Г.В. Мясников, В.С. Перевалов, И.Н. Фальк. - М.: Машиностроение, 1977. - 488 с.

17. Тарабасов Н.Д., Учаев П.Г. Проектирование деталей и узлов машиностроительных конструкций. - Л.: Машиностроение, 1983. - 240 с.

18. Чернавский С.А. и др. Проектирование механических передач / С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцев. - М.: Машиностроение, 1984. - 558 с.

19. Чернилевский Д.В. Курсовое проектирование деталей машин и механизмов. - М.: Высш. шк., 1980. - 240 с.

20. Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин. - М.: Высш. шк., 1991. - 432 с.

*Примечание:* курсивом выделена дополнительная литература.

### **2.3.2 Программа раздела «Передаточные механизмы с круглыми колесами»**

#### **Введение**

Приступая к изучению раздела «Передаточные механизмы с круглыми колесами», прежде всего, необходимо уяснить его основную задачу и связь с другими разделами курса, а также с другими общетехническими и специальными дисциплинами.

В разделе «Передаточные механизмы с круглыми колесами» студент должен ознакомиться с принципиальными основами расчета и проектирования передач механических приводов машин. Рационально спроектированный и правильно изготовленный привод должен быть долговечным, ремонтпригодным, экономичным в эксплуатации, безопасным при обслуживании и иметь минимально возможные габариты.

С учетом одного или нескольких вышеперечисленных критериев и ведется расчет, цель которого - определение размеров элементов передач привода. При этом расчеты необходимо увязывать с экономическими требованиями, так как детали должны быть работоспособны в течение всего заданного срока службы при минимальных затратах на их изготовление и эксплуатацию.

#### **2.3.2.1 Фрикционные передачи**

Фрикционная передача. Принцип работы фрикционной передачи. Разновидности фрикционных передач. Достоинства фрикционных передач. Недостатки фрикционных передач. Области применения фрикционных передач.

Фрикционные вариаторы. Принцип действия фрикционных вариаторов. Области применения фрикционных вариаторов.

Кинематика фрикционной передачи. Коэффициент скольжения. Передаточное отношение фрикционной цилиндрической передачи. Передаточное

отношение конической фрикционной передачи.

Усилия во фрикционных передачах. Момент сопротивления. Полезная окружная сила. Усилие прижатия катков. КПД фрикционных передач и вариаторов. Виды повреждения элементов фрикционной передачи.

Критерии работоспособности фрикционной передачи. Расчет фрикционной передачи на прочность по контактным напряжениям. Расчет фрикционных передач на износостойкость.

### **2.3.2.2 Ременные передачи**

Классификация ременных передач (по форме поперечного сечения ремня). Типы приводных ремней. Клиновые ремни. Их разновидности. Достоинства ременных передач. Недостатки ременных передач. Области применения ременных передач.

Геометрия ременной передачи. Принцип действия ременной передачи.

Усилия в ветвях ременной передачи при холостом ходе. Усилия в ременной передаче под нагрузкой. Упругое скольжение. Дуги скольжения. Углы скольжения. Буксование. Натяжение ветвей ремня. Напряжения в ремне. Кинематика ременных передач. Передаточное отношение ременной передачи.

Основные критерии работоспособности ременной передачи: тяговая способность и долговечность ремней. Расчет плоскоремной передачи по тяговой способности. Расчет клиноремной передачи по тяговой способности. Расчет ремня на циклическую долговечность.

КПД ременной передачи. Давления на валы в ременных передачах. Шкивы ременных передач.

### **2.3.2.3 Цепные передачи**

Области применения цепных передач. Классификация цепей по их назначению. Разновидности приводных цепей. Конструкция роликовой приводной цепи. Маркировка роликовых приводных цепей.

Звездочки цепных передач. Материалы деталей цепей и звездочек.

Кинематика цепной передачи.

Усилия в цепной передаче. Окружное усилие. Сила натяжения. Динамическая нагрузка. Причина появления динамической нагрузки. Нагрузка на валы цепной передачи. Основные параметры цепной передачи.

Вид повреждений элементов цепной передачи. Критерии работоспособности цепной передачи.

Порядок проектирования цепной передачи (по износостойкости элементов передачи).

Методы регулировки натяжения цепной передачи. Способы смазки цепной передачи.

### **2.3.2.4 Зубчатые цилиндрические передачи**

Общие сведения. Области применения. Разновидности зубчатых пере-

дач. Достоинства зубчатых передач по сравнению с передачами других видов. Недостатки зубчатых передач.

Зубчатое зацепление. Шестерня. Колесо. Тело зубчатого колеса. Венец зубчатого колеса. Профиль зуба. Основной закон зацепления. Передаточное отношение. Условие постоянства передаточного отношения. Полнос зацепления. Сопряженные профили.

Эвольвентное зацепление. Эвольвента. Эволюта. Основная окружность. Радиусы кривизны эвольвенты. Линия зацепления. Угол зацепления. Эвольвентное зацепление с круглыми колесами и его свойства. Начальные окружности. Взаимосвязь начальной и основной окружностей эвольвентного круглого колеса. Межосевое расстояние. Шаг по основной окружности. Коэффициент перекрытия. Исходный контур. Параметры исходного контура. Модуль. Взаимосвязь между модулем и шагом. Окружность впадин. Окружность вершин зуба. Зуб. Головка зуба. Ножка зуба. Угловой шаг. Окружная толщина зуба. Окружная ширина впадины. Окружной шаг. Окружной модуль. Делительная окружность. Делительный модуль (модуль). Передаточное число. Определение геометрических параметров эвольвентной цилиндрической прямозубой передачи через модуль, число зубьев шестерни, передаточное число и угол зацепления.

Методы изготовления зубчатых колес. Метод копирования. Метод обкатки.

Косозубая цилиндрическая передача. Образование боковой поверхности зуба косозубого колеса. Поле зацепления. Делительная линия зуба. Делительный угол наклона линии зуба. Делительный окружной шаг. Нормальный шаг. Связь между окружным и нормальным шагами. Осевой шаг. Связь между нормальным и осевым шагами. Окружной модуль. Нормальный модуль. Связь между нормальным, окружным и осевым модулями. Определение межосевого расстояния, диаметра делительной окружности, диаметра окружности вершин, диаметра окружности впадин через нормальный модуль, число зубьев шестерни, передаточное число и делительный угол наклона линии зуба. Коэффициент перекрытия косозубой цилиндрической передачи. Получение прямозубой цилиндрической передачи, эквивалентной косозубой цилиндрической передаче. Эквивалентное число зубьев.

Шевронная передача. Особенности ее геометрии.

Сила в зацеплении эвольвентной цилиндрической прямозубой передачи. Определение составляющих силы в зацеплении через крутящий момент на шестерне (или на колесе) и геометрические параметры передачи.

Виды разрушений зубьев: контактное выкрашивание, абразивный износ, заедание, пластический сдвиг, отслаивание поверхностных частиц материала зуба, излом (усталостный и от перегрузок).

Материалы зубчатых колес и их термическая или химико-термическая обработка. Допускаемые контактные напряжения. Допускаемые напряжения изгиба для неревверсивных передач. Допускаемые напряжения изгиба для ре-

версивных передач. Номинальная нагрузка. Расчетная нагрузка. Коэффициент нагрузки. Составляющие коэффициента нагрузки: коэффициент неравномерности распределения нагрузки, коэффициент динамичности, коэффициент, учитывающий одновременное участие в передаче нагрузки нескольких пар зубьев.

Расчет на контактную прочность активных поверхностей зубьев. Условие прочности. Формула Герца. Нормальная сила в зацеплении. Радиусы кривизны эвольвент. Приведенный радиус кривизны. Формула для определения минимально допускаемого диаметра шестерни. Формула для определения минимально допускаемого межосевого расстояния.

Особенности расчета эвольвентной косозубой цилиндрической передачи на контактную прочность.

Расчет зубьев эвольвентной цилиндрической прямозубой передачи по изгибным напряжениям. Условие прочности при изгибе. Составляющая нормальной силы, изгибающая зуб. Составляющая нормальной силы, сжимающая зуб. Опасное сечение при изгибе. Изгибающий момент, действующий на зуб. Формула для определения напряжений изгиба в опасном сечении. Формула для определения напряжений сжатия в зубе. Формула для определения суммарного номинального напряжения на растянутой стороне зуба. Коэффициент формы зуба. Зависимость величины коэффициента формы зуба от числа зубьев. Напряжения в опасном сечении с учетом концентрации.

Особенности расчета эвольвентной косозубой цилиндрической передачи на контактную прочность по сравнению с расчетом эвольвентной прямозубой цилиндрической передачи. Особенности расчета эвольвентной косозубой цилиндрической передачи на изгибную прочность по сравнению с расчетом эвольвентной прямозубой цилиндрической передачи.

### **2.3.2.5 Зубчатые пространственные передачи**

Конические передачи. Области применения. Разновидности конических передач. Особенности компоновки механизма с коническими колесами.

Ортогональные конические передачи. Начальные конуса. Углы при вершинах начальных конусов. Делительные конусы. Конусы вершин. Конусы впадин. Конусное расстояние. Передаточное отношение конической ортогональной передачи. Определение величины передаточного отношения через диаметры начальных конусов, через углы при вершинах начальных конусов. Наружные дополнительные конусы. Средние дополнительные конусы. Расчетный дополнительный конус. Диаметр делительной окружности на наружном дополнительном конусе. Максимальный модуль. Диаметр делительной окружности на среднем дополнительном конусе. Средний расчетный модуль. Высота делительной головки зуба на наружном дополнительном конусе. Высота делительной головки зуба на среднем дополнительном конусе. Высота делительной ножки зуба на наружном дополнительном конусе. Высота делительной ножки зуба на среднем дополнительном конусе. Получение цилинд-

рической зубчатой передачи, эквивалентной ортогональной конической передаче. Выражение параметров эквивалентной цилиндрической передачи через параметры ортогональной конической передачи.

Составляющие силы, действующей в зацеплении ортогональной прямозубой конической передачи.

Расчет прямозубой конической ортогональной передачи на контактную прочность.

Расчет зубьев конической ортогональной прямозубой передачи по напряжениям изгиба.

Червячные передачи. Области применения. Разновидности червячных передач. Достоинства червячных передач по сравнению с другими зубчатыми передачами. Недостатки червячных передач по сравнению с другими зубчатыми передачами.

Червячная передача с цилиндрическим архимедовым червяком. Однозаходный червяк. Многозаходные червяки. Геометрия червячной передачи с цилиндрическим архимедовым червяком. Основные геометрические и кинематические соотношения в червячной передаче с цилиндрическим архимедовым червяком.

Составляющие силы, действующие в зацеплении червячной передачи с цилиндрическим архимедовым червяком.

Материалы, применяемые для изготовления червячных передач.

Допускаемые напряжения.

Расчет зубьев колеса червячной передачи с цилиндрическим архимедовым червяком на контактную прочность.

Расчет зубьев колеса червячной передачи с цилиндрическим архимедовым червяком по напряжениям изгиба.

КПД червячной передачи. Тепловой расчет червячной передачи.

### **2.3.3 Вопросы для самопроверки**

1. Каков принцип работы фрикционного механизма?
2. В чем заключается условие надежной работы фрикционного механизма?
3. Каким образом производится определение необходимой силы прижатия катков фрикционной пары?
4. В чем заключаются достоинства и недостатки фрикционных передач по сравнению с другими видами передач?
5. В каких областях применяются фрикционные передачи?
6. Материалы используют в качестве материала катков фрикционных передач?
7. Укажите взаимосвязь между геометрическими и кинематическими параметрами фрикционной передачи с цилиндрическими катками.
8. Укажите взаимосвязь между геометрическими и силовыми параметрами фрикционной передачи с цилиндрическими катками.

9. Каковы критерии работоспособности фрикционных передач?
10. Как производится расчет фрикционной передачи с цилиндрическими катками по контактной прочности.
11. Какие передачи называют передачами с гибкими звеньями?
12. По каким признакам классифицируют ременные передачи?
13. В чем заключаются достоинства и недостатки ременных передач по сравнению с другими видами передач?
14. Укажите области применения ременных передач.
15. Объясните принцип работы ременной передачи.
16. Укажите основные геометрические параметры и их взаимосвязь.
17. Зачем создается начальное натяжение ремня.
18. Какие усилия появляются в различных участках ремня при начальном натяжении ремня и при работе ременной передачи под нагрузкой?
19. Почему возникает упругое проскальзывание ремня по шкивам?
20. Как определить напряжения на различных участках ремня ременной передачи при холостом ходе и под нагрузкой?
21. Какая взаимосвязь существует между кинематическими и геометрическими параметрами ременной передачи.
22. Каковы критерии работоспособности ременных передач?
23. Как производится расчет ременной передачи по тяговой способности?
24. В чем заключаются особенности расчета клиноременной передачи по сравнению с расчетом плоскоременной передачи?
25. Сформулируйте основную теорему зацепления.
26. Каково следствие из основной теоремы зацепления?
27. Покажите взаимосвязь между геометрическими параметрами цилиндрической эвольвентной прямозубой передачи.
28. Укажите виды разрушений зубьев.
29. Покажите взаимосвязь между допускаемыми контактными напряжениями, твердостью и пределом выносливости.
30. Как определить допускаемые напряжения изгиба для реверсивной и для нереверсивной зубчатых передач?
31. Что представляет собой эвольвента окружности и какими свойствами она обладает?
32. Почему эвольвентное зацепление обеспечивает постоянство мгновенного значения передаточного отношения?
33. В чем заключается причина невлияния изменения межосевого расстояния в эвольвентной цилиндрической передаче на величину мгновенного значения передаточного отношения?
34. Укажите, какие геометрические параметры эвольвентной цилиндрической прямозубой передаче стандартизируются.
35. Какова взаимосвязь между этими геометрическими параметрами эвольвентной цилиндрической прямозубой передаче?

36. Как производится силовой расчет цилиндрической эвольвентной прямозубой передачи?

37. Как производится определение составляющих нормальной силы в зацеплении?

38. Как производится расчет эвольвентной цилиндрической прямозубой передачи по контактным напряжениям?

39. Как определяется величина контактного напряжения.

40. Как производится расчет цилиндрической эвольвентной прямозубой передачи по изгибным напряжениям?

41. Выводите формулу для определения величины изгибных напряжений в цилиндрической эвольвентной прямозубой передаче.

42. В чем заключаются особенности геометрии цилиндрических эвольвентных косозубых передач по сравнению с прямозубыми.

43. Укажите геометрические параметры эвольвентной цилиндрической косозубой передачи и их взаимосвязь.

44. Как произвести силовой расчет косозубой цилиндрической эвольвентной передачи?

45. Как производится определение величин составляющих нормальной силы в зацеплении?

46. В чем заключаются особенности работы косозубой цилиндрической эвольвентной передачи по сравнению с работой прямозубой цилиндрической эвольвентной передачи?

47. В чем заключаются особенности расчета косозубой цилиндрической эвольвентной передачи на контактную прочность по сравнению с расчетом прямозубой цилиндрической эвольвентной передачи?

48. В чем заключаются особенности расчета косозубой цилиндрической эвольвентной передачи на изгибную прочность по сравнению с аналогичным расчетом прямозубой цилиндрической эвольвентной передачи?

49. Что представляет собой ортогональная коническая прямозубая передача? Каковы геометрические параметры этой передачи и их взаимосвязь?

50. Как производится силовой расчет ортогональной конической прямозубой эвольвентной передачи? Как определяются величины составляющих нормальной силы в зацеплении ортогональной конической прямозубой эвольвентной передачи?

51. В чем заключаются особенности расчета ортогональной конической прямозубой передачи на контактную прочность по сравнению с аналогичным расчетом прямозубой цилиндрической эвольвентной передачи?

52. В чем заключаются особенности расчета ортогональной конической прямозубой передачи на изгибную прочность по сравнению с аналогичным расчетом прямозубой цилиндрической эвольвентной передачи?

53. Что представляют собой червячные передачи?

54. В чем заключаются достоинства и недостатки червячных передач по сравнению с другими видами передач?

55. Укажите области применения червячных передач.
56. Укажите Геометрические параметры червячной передачи с архимедовым червяком и их взаимосвязь.
57. В чем заключается особенность определения передаточного числа червячной передачи?
58. Как производится силовой расчет червячной передачи с архимедовым червяком?
59. Как производится определение составляющих нормальной силы в зацеплении червячной передачи с архимедовым червяком?
60. Как производится расчет червячной передачи с архимедовым червяком по контактной прочности?
61. Как производится расчет червячной передачи с архимедовым червяком по напряжениям изгиба?
62. Как определить КПД червячной передачи с архимедовым червяком?
63. В чем проявляется явление самоторможения.
64. Почему производится тепловой расчет червячной передачи с архимедовым червяком и как он производится?

## 2.4 Детали машин

### Введение

Целью изучения раздела «Детали машин» является приобретение студентом суммы знаний и навыков, необходимых для того, чтобы он мог, исходя из заданных условий работы механизма, используя отработанные методы, правила и нормы проектирования, рассчитать и спроектировать этот механизм с наиболее рациональными параметрами.

### 2.4.1 Литература

1. Анурьев В.И. *Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.* - М.: Машиностроение, 1994. - 728 с.
2. Анурьев В.И. *Справочник конструктора-машиностроителя. Т.2.* - М.: Машиностроение, 1994. - 560 с.
3. Анурьев В.И. *Справочник конструктора-машиностроителя. Т.3.* - М.: Машиностроение, 1994. - 558 с.
4. Борисов С.И., Зуев Ф.Г. *Основы технической механики и детали механизмов приборов.* - М.: Машиностроение, 1977. - 344 с.
5. Гузенков П.Г. *Детали машин.* - М.: Высш. шк., 1982. – 352 с.
6. Гурин В.В., Замятин В.М. *Расчет и конструирование узлов и деталей машин (для машиностроительных специальностей): Учебное пособие.* – Томск: Изд. ТПУ, 2003.– 283 с.
7. Гурин В.В., Замятин В.М. *Расчет и конструирование узлов и деталей машин (для машиностроительных специальностей): Справочное пособие.* – Томск: Изд. ТПУ, 2003.– 244 с.

8. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин. - М.: Высш. шк., 1978. - 352 с.

9. Дунаев П.Ф., Леликов П.А. Конструирование узлов и деталей машин. - Высш. шк., 1985. - 416 с.

10. Иосилевич Г.Б. и др. Прикладная механика /Г.Б. Иосилевич, Г.Б. Строганов, Г.С. Маслов. - М.: Машиностроение, 1985. - 564 с.

11. Иосилевич Г.Б. и др. Прикладная механика /Г.Б. Иосилевич, Г.Б. Строганов, Г.С. Маслов. - М.: Высш. шк., 1989. - 352 с.

12. Иосилевич Г.Б. Детали машин. - М.: Машиностроение, 1988. - 358 с.

13. Краткий справочник конструктора нестандартного оборудования. Т.1 / В.И. Бакуменко, В.А. Бондаренко, С.Н. Косоруков, С.А. Атминис, Ю.В. Берсенев, Ю.П. Воронцов, В.И. Комаров, А.В. Кудрявцев, Л.П. Лаврова, О.Р. Михалева, С.А. Нецветаев, В.И. Павельев, Г.Ф. Свалов, В.Б. Свечников, О.Н. Тинников, В.Н. Финашин. - М.: Машиностроение, 1997. - 544 с.

14. Краткий справочник конструктора нестандартного оборудования. Т.2 / В.И. Бакуменко, В.А. Бондаренко, С.Н. Косоруков, С.А. Атминис, Ю.В. Берсенев, Ю.П. Воронцов, В.И. Комаров, А.В. Кудрявцев, Л.П. Лаврова, О.Р. Михалева, С.А. Нецветаев, В.И. Павельев, Г.Ф. Свалов, В.Б. Свечников, О.Н. Тинников, В.Н. Финашин. - М.: Машиностроение, 1997. - 524 с.

15. Орлов П.И. Основы конструирования. Т.1. - М.: Машиностроение, 1988. - 560 с.

16. Орлов П.И. Основы конструирования. Т.П. - М.: Машиностроение, 1988. - 544 с.

17. Прикладная механика /В.М. Осецкий, Б.Г. Горбачев, Г.А. Доброборский, Н.С. Козловский, Е.И. Моисеенко, Г.В. Мясников, В.С. Перевалов, И.Н. Фальк. - М.: Машиностроение, 1977. - 488 с.

18. Тарабасов Н.Д., Учаев П.Г. Проектирование деталей и узлов машиностроительных конструкций. - Л.: Машиностроение, 1983. - 240 с.

19. Чернавский С.А. и др. Проектирование механических передач /С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцев. - М.: Машиностроение, 1984. - 558 с.

20. Чернилевский Д.В. Курсовое проектирование деталей машин и механизмов. - М.: Высш. шк., 1980. - 240 с.

21. Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин. - М.: Высш. шк., 1991. - 432 с.

*Примечание:* курсивом выделена дополнительная литература.

## **2.4.2 Программа раздела «Детали машин»**

### **Введение**

Приступая к изучению раздела «Детали машин», прежде всего, необходимо уяснить его основную задачу и связь с другими разделами курса, а также с другими общетехническими и специальными дисциплинами.

Рационально спроектированная и правильно изготовленная машина

должна быть прочной, долговечной, возможно дешевой, экономичной в эксплуатации и безопасной при обслуживании. Одна из основных тенденций современного машиностроения - повышение удельной мощности и быстроходности машин. Однако нужно иметь в виду, что увеличение мощности, быстроходности, а, следовательно, производительности машин, с одной стороны, улучшает их технико-экономические показатели, с другой - повышает динамические нагрузки в деталях и узлах, что требует применения более современных механизмов и передач, высококачественных материалов, более точного изготовления деталей.

В разделе «Детали машин» студент должен ознакомиться с принципиальными основами расчета деталей машин на прочность, жесткость, устойчивость и износостойкость. С учетом одного или нескольких вышеперечисленных критериев и ведется расчет, целью которого является определение размеров деталей создаваемой машины или механизма. При этом расчеты необходимо увязывать с экономическими требованиями, так как детали должны быть работоспособны в течение всего заданного срока службы при минимальных затратах на их изготовление и эксплуатацию.

#### **2.4.2.1 Общие вопросы**

Критерии работоспособности элементов конструкций. Деталь. Сборочная единица (узел). Прочность детали. Жесткость детали. Износостойкость детали.

#### **2.4.2.2 Машиностроительные материалы**

Машиностроительные материалы. Сталь. Углеродистая сталь. Углеродистые стали обыкновенного качества. Стали группы «А». Стали группы «Б». Стали группы «В». Маркировка углеродистых сталей обыкновенного качества. Качественные углеродистые стали. Качественные низкоуглеродистые стали. Качественные среднеуглеродистые стали. Качественные высокоуглеродистые стали. Маркировка качественных углеродистых сталей. Легированные стали. Маркировка легированных сталей. Сплавы.

Термическая обработка сталей. Отжиг. Нормализация. Закалка. Отпуск. Химико-термическая обработка сталей. Цементация. Азотирование. Цианирование. Борирование.

Чугун. Серый чугун. Маркировка серого чугуна. Медные сплавы. Латунни. Маркировка латуней. Бронзы. Маркировка бронз.

#### **2.4.2.3 Основы взаимозаменяемости**

Взаимозаменяемость и стандартизация. Размеры. Номинальный размер. Предельные размеры. Отклонения. Действительное отклонение. Предельное отклонение. Верхнее отклонение. Нижнее отклонение. Допуск. Поле допуска. Квалитет. Посадка. Посадки с зазором. Посадки с натягом. Переходные посадки. Система отверстия. Запись посадки в системе отверстия. Система вала. Запись посадки в системе вала. Внесистемные посадки. Запись внесис-

темной посадки. Точность геометрической формы деталей. Отклонение поверхностей. Отклонения от формы (отклонения от прямолинейности, плоскостности, круглости и др.). Отклонения расположения поверхностей или частей деталей (отклонения от параллельности, перпендикулярности, наклона, соосности и т.п.). Суммарные отклонения формы и расположения (радиальное и торцевое биение и др.). Обозначения предельных отклонений на чертежах. Неровности. Волнистость и шероховатость. Основные параметры для оценки шероховатости. Обозначение шероховатости на чертежах.

#### **2.4.2.4 Неразъемные соединения**

Виды неразъемных соединений. Требования, предъявляемые к неразъемным соединениям.

Соединения заклепками. Области применения заклепочных соединений. Разновидности заклепок. Материалы, применяемые для изготовления заклепок. Виды заклепочных соединений. Виды повреждений заклепочных соединений и критерии их работоспособности. Расчет заклепочного соединения по напряжениям среза заклепок. Расчеты заклепочного соединения по напряжениям смятия боковых поверхностей заклепок и по напряжениям разрыва соединяемых листов по наиболее нагруженным сечениям. Определение минимально допускаемого расстояния заклепочного шва от края соединяемых листов.

Сварные соединения. Виды сварки (газовая, электродуговая, электроконтактная). Их характеристики. Области применения сварных соединений. Достоинства и недостатки сварных соединений. Виды сварных соединений: стыковые, нахлесточные, тавровые, угловые. Односторонний шов. Двусторонний шов. Разновидности сварных швов по расположению шва относительно нагрузки: фронтальные, фланговые, косые, комбинированные. Достоинства и недостатки сварных соединений. Материалы и допускаемые напряжения. Расчеты на прочность стыковых фронтального и углового швов. Расчет на прочность нахлесточных сварных соединений (фронтальных и фланговых). Расчет на прочность таврового сварного соединения. Расчет на прочность точечного сварного шва.

#### **2.4.2.5 Разъемные соединения**

Резьбовые соединения. Достоинства и недостатки резьбовых соединений.

Резьба и ее параметры. Разновидности резьб по форме профиля резьбы. Правая резьба. Левая резьба. Разновидности резьб по их назначению. Крепежные резьбы. Ходовые резьбы. Области применения различных видов резьб.

Крепежные детали и типы соединений. Болты, винты, шпильки, гайки. Соединения болтом, винтом, шпилькой. Назначение шайб. Виды шайб. Конструктивные формы головок болтов, винтов, гаек и шайб. Материалы крепежных деталей. Способы защиты крепежных деталей от коррозии.

Расчеты на прочность элементов резьбы по напряжениям растяжения, среза и смятия. Расчет ненапряженного (незатянутого) резьбового соединения при действии на него осевой нагрузки. Расчет напряженного резьбового соединения при действии на него осевой нагрузки. Расчет ненапряженного болтового беззазорного соединения при действии на него поперечной нагрузки. Расчет напряженного болтового соединения с зазором при действии на него поперечной нагрузки.

Шпоночные соединения. Области применения. Призматические шпонки.

Клиновые шпонки. Сегментные шпонки. Материалы, применяемые для изготовления шпонок. Ненапряженные шпоночные соединения. Напряженные шпоночные соединения. Расчет шпоночного соединения по напряжениям смятия боковых поверхностей. Расчет шпоночного соединения по напряжениям среза.

Шлицевые соединения. Области применения. Разновидности шлицевых соединений по форме поперечного сечения шлицы. Способы центрирования шлицевых соединений. Расчет шлицевого соединения по напряжениям смятия боковых поверхностей.

Штифтовые соединения. Области применения. Виды штифтов. Материалы, применяемые для изготовления штифтов. Расчет штифтового соединения по напряжениям смятия боковых поверхностей. Расчет штифтового соединения по напряжениям среза.

#### **2.4.2.6 Валы и оси**

Вал. Его назначение. Ось. Ее назначение. Простой вал (вал). Торсионный вал. Прямой вал. Коленчатый вал. Гибкий вал. Сплошной вал. Конструкция валов и осей. Цапфа. Шип. Шейка. Пята. Требования к цапфам. Упорные буртики. Радиусная галтель. Канавка. Шпоночные пазы. Шлицы. Материалы валов. Термическая и термохимическая обработки валов.

Критерии работоспособности валов. Статическая прочность. Усталостная прочность. Жесткость. Антивибрационные свойства.

Предварительный (проектный) расчет на статическую прочность.

Проектирование вала. Построение расчетной схемы.

Определение нагрузок, действующих на вал. Построение эпюр изгибающих и крутящих моментов, действующих на вал. Определение нормальных и касательных напряжений в наиболее опасных сечениях вала. Определение эквивалентных напряжений в наиболее опасных сечениях вала. Определение запаса прочности.

Проверочный расчет вала на усталостную прочность с учетом всех основных факторов, влияющих на усталостную прочность. Допускаемый коэффициент запаса прочности (коэффициент безопасности). Проверка вала на жесткость. Максимальный угол закручивания вала. Уравнение равновесия между центробежной силой и внутренними силами упругости вала. Критиче-

ская угловая скорость. Критическая частота вращения вала. Мероприятия, обеспечивающие антирезонансные свойства валов. Допускаемое значение угловой скорости.

#### **2.4.2.7 Муфты**

Назначение муфт. Классификация муфт. Выбор типа муфты.

Подбор муфты по крутящему моменту и точности изготовления и монтажа соединяемых валов.

#### **2.4.2.8 Опоры валов и осей**

Общие понятия. Назначение опор. Требования, предъявляемые к опорам. Виды опор.

Подшипники скольжения. Достоинства подшипников скольжения. Недостатки подшипников скольжения. Разновидности подшипников скольжения по виду трения скольжения. Разновидности подшипников скольжения по виду воспринимаемой нагрузки. Виды повреждений и критерии работоспособности подшипников скольжения. Методы оценки надежности подшипников скольжения. Конструкции подшипников скольжения. Материалы деталей подшипников скольжения. Смазочные материалы и методы ввода их в подшипники скольжения.

Подшипники качения. Принцип работы подшипников качения. Устройство подшипников качения. Достоинства и недостатки подшипников качения (по сравнению с подшипниками скольжения). Классификация подшипников качения (по форме тел качения; по направлению воспринимаемых сил; по способности самоустанавливаться; по числу рядов тел качения; по габаритным размерам при одном и том же внутреннем диаметре). Маркировка подшипников качения. Основные эксплуатационные характеристики подшипников качения. Сравнительная оценка подшипников качения. Точность подшипников качения. Быстроходность подшипников качения. Материалы деталей подшипников качения.

Несущая способность подшипников качения. Основные виды повреждений подшипников качения. Распределение нагрузки между телами качения. Контактные напряжения в подшипниках качения. Статическая грузоподъемность подшипника качения. Эквивалентная нагрузка. Динамическая грузоподъемность подшипника качения. Кривая усталости. Условие прочностной надежности подшипника качения. Номинальная долговечность подшипника качения. Расчетная долговечность подшипника, выраженная в миллионах оборотов вращающегося кольца. Расчетная долговечность подшипника качения, выраженная в часах работы. Коэффициент долговечности, зависящий от степени вероятности безотказной работы. Коэффициент долговечности, зависящий от материалов, применяемых для изготовления деталей подшипника и условий его эксплуатации. Эквивалентная динамическая нагрузка. Приведенная нагрузка для подбора подшипников качения. Подбор подшипников по динамической грузоподъемности. Условие работоспособно-

сти подшипника качения. Конструкции подшипниковых узлов. Посадки колец подшипника. Способы фиксации подшипников в корпусе: а) осевым фиксированием вала в двух направлениях в одной опоре, другая опора - плавающая; б) фиксированием вала в двух опорах (в каждой опоре - в одном направлении).

#### **2.4.2.9 Смазочные материалы. Способы смазки. Уплотнения**

Назначение смазки. Виды смазки: жидкие масла, кальциевые смазки (солидолы), литиевые смазки, натриевые смазки (консталины), твердые смазки. Способы подачи смазочных материалов к деталям и узлам: разовое или периодическое закладывание; окунанием в масляную ванну; подача смазки фитилями или дозирующими масленками; разбрызгиванием; циркуляционная смазка. Условия применения различных способов подачи смазки.

Назначение уплотнений. Уплотнения неподвижных соединений. Уплотнения подвижных соединений. Контактные уплотнения (манжеты, уплотнения по торцевым поверхностям и т.п.). Область применения контактных уплотнений. Конструкции контактных уплотнений. Подбор манжет. Бесконтактные уплотнительные устройства (щелевое уплотнение, лабиринтное уплотнение и т.п.).

Мазеудерживающие кольца. Конструкция мазеудерживающего кольца. Его назначение. Маслоотражательные кольца. Конструкция маслоотражательного кольца. Его назначение.

#### **2.4.3. Вопросы для самопроверки**

1. Сформулируйте критерии работоспособности элементов конструкций.
2. Какие виды сталей используются при изготовлении машин?
3. С какой целью производят термическую обработку сталей?
4. Какие материалы, кроме сталей, используют при производстве машин?
5. С какой целью стандартизируют детали?
6. Что понимают под термином «взаимозаменяемость»?
7. По каким параметрам классифицируют ошибки?
8. Что понимают под термином «точность размера»?
9. Каким законом описывается распределение случайных ошибок?
10. Какой размер называется номинальным?
11. Какой размер называется действительным?
12. Какой размер называется предельным?
13. Что называется отклонением размера?
14. Какая линия называется нулевой?
15. Что называется допуском размера?
16. Что называется полем допуска?
17. Что понимается под термином «кавалитет»?
18. Что называется соединением?

19. Какой размер соединения называется номинальным размером?
20. Как располагаются поля допусков сопрягаемых деталей в посадках с зазором.
21. Как располагаются поля допусков сопрягаемых деталей в посадках с натягом.
22. Как располагаются поля допусков сопрягаемых деталей в переходных посадках?
23. Как располагаются поля допусков сопрягаемых деталей в посадках, назначенных в системе отверстия?
24. Как располагаются поля допусков сопрягаемых деталей в посадках, назначенных в системе вала?
25. Какие посадки называются внесистемными? Укажите примеры их целесообразного назначения.
26. Какие соединения называются неразъемными?
27. Какие требования предъявляются к неразъемным соединениям?
28. Перечислите виды заклепочных соединений.
29. Как производится расчет заклепочных соединений по напряжению среза заклепок?
30. Как производится расчет соединяемых заклепками листов на разрыв по наиболее нагруженным сечениям?
31. Как производится расчет заклепочного соединения по напряжениям смятия боковых поверхностей заклепок?
32. В каких случаях применяются сварные соединения различных видов?
33. В чем заключаются достоинства и недостатки сварных соединений по сравнению с другими видами неразъемных соединений?
34. Как производятся расчеты стыкового лобового, флангового стыкового, лобового внахлестку, флангового внахлестку швов?
35. В каких случаях применяют резьбовые соединения?
36. По каким признакам классифицируются резьбы?
37. Как производится расчет элементов резьбы на срез и на смятие при действии на болт осевой нагрузки?
38. Как производится расчет ненапряженного болтового соединения при действии осевой и поперечной нагрузок (если болт поставлен без зазора)?
39. Как производится расчет напряженного болтового соединения при поперечной нагрузке.
40. В каких случаях применяют шпоночные соединения?
41. Какие разновидности шпоночных соединений применяются?.
42. Как производится выбор поперечного сечения шпонки?
43. Как производится расчет шпоночных соединений по напряжениям среза и по напряжениям смятия?
44. В каких случаях применяют шлицевые соединения?

45. Перечислите разновидности шлицевых соединений и области их применения.
46. Какие существуют способы центрирования шлицевых соединений?
47. Как производится расчет шлицевого соединения на смятие?
48. В каких случаях применяют штифтовые соединения различных видов?
49. Как производится расчет штифтовых соединений на срез и на смятие?
50. Чем отличаются друг от друга вал и ось?
51. Какие существуют разновидности валов и осей (по их геометрическим осям и по назначению)?
52. Перечислите критерии работоспособности тихоходных (статически нагруженных) и быстроходных валов.
53. Как определяется минимально допустимый диаметр вала по чистому кручению (ориентировочный расчет вала)?
54. Как назначить величины диаметров и осевые размеры различных участков вала при его проектировании?
55. Как определить нагрузки, действующие на валы?
56. Как построить суммарную эпюру изгибающих моментов, действующих на вал?
57. Как построить эпюру крутящих моментов, действующих на вал?
58. Как проверить вал по опасным сечениям? Как определить эквивалентные напряжения в опасных сечениях вала?
59. Как проверить вал по статической прочности (для тихоходных или статически нагруженных валов)?
60. Как провести проверочный расчет вала по усталостной прочности (для быстроходных валов) при пульсирующем цикле нагружений?
61. Как провести проверочный расчет вала по усталостной прочности (для быстроходных валов) при симметричном цикле нагружений?
62. Как производится проектный расчет вала по статической прочности (для тихоходных или статически нагруженных валов)?
63. Объясните устройство подшипника качения и назначение его деталей.
64. Приведите классификацию подшипников качения по их типам и по сериям.
65. Как производится маркировка подшипников качения?
66. Как производится подбор подшипников качения по динамической грузоподъемности?
67. В каких случаях подбор подшипников производят по статической грузоподъемности?
68. Как производится подбор подшипников качения по статической грузоподъемности?
69. На каком принципе основана работа подшипника скольжения?

70. Какие требования, предъявляются к подшипникам скольжения?
71. В каких случаях применяются подшипники скольжения?
72. Какие свойства смазки характеризуют ее качество?
73. Какие способы подачи смазки к поверхностям трения применяются при смазке опорных узлов?
74. Какие условия определяют применение или жидкой, или консистентной мазки в опорах валов?
75. С какой целью в машинах применяют муфты? Какие разновидности муфт существуют?
76. Какие параметры влияют на подбор типа и размера муфты?

### 3 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

#### Введение

В этом разделе программы приведены рекомендуемые темы практических занятий, проводимых в сессионный период.

Темы практических занятий преподаватель выбирает в зависимости от количества часов, выделенных учебным графиком на практические занятия, специальности, по которой обучаются студенты, и степени подготовленности студентов по темам.

#### 3.1 Литература

1. Анурьев В.И. *Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.* - М.: Машиностроение, 1994. - 728 с.
2. Анурьев В.И. *Справочник конструктора-машиностроителя. Т.2.* - М.: Машиностроение, 1994. - 560 с.
3. Анурьев В.И. *Справочник конструктора-машиностроителя. Т.3.* - М.: Машиностроение, 1994. - 558 с.
4. Гурин В.В., Замятин В.М. *Расчет и конструирование узлов и деталей машин (для машиностроительных специальностей): Учебное пособие.* – Томск: Изд. ТПУ, 2003.– 283 с.
5. Гурин В.В., Замятин В.М. *Расчет и конструирование узлов и деталей машин (для машиностроительных специальностей): Справочное пособие.* – Томск: Изд. ТПУ, 2003.– 244 с.
6. Дунаев П.Ф., Леликов П.А. *Конструирование узлов и деталей машин.* – М.: Высш. шк., 1985. - 416 с.
7. Иосилевич Г.Б. и др. *Прикладная механика / Г.Б. Иосилевич, Г.Б. Строганов, Г.С. Маслов.* - М.: Высш. шк., 1989. - 352 с.
8. *Прикладная механика / В.М. Осецкий, Б.Г. Горбачев, Г.А. Доброборский, Н.С. Козловский, Е.И. Моисеенко, Г.В. Мясников, В.С. Перевалов, И.Н. Фальк.* - М.: Машиностроение, 1977. - 488 с.
9. Степин П.А. *Сопrotивление материалов.* - М.: Машиностроение, 1979. - 312 с.
10. Чернавский С.А. и др. *Проектирование механических передач /*

С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцев. - М.: Машиностроение, 1984. - 558 с.

11. Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин. - М.: Высш. шк., 1991. - 432 с.

12. Юдин В.А., Петрокас Л.В. Теория механизмов и машин. - М.: Высш. шк., 1967. - 528 с.

*Примечание:* курсивом выделена дополнительная литература.

### **3.2 Темы практических занятий**

3.2.1. Построение планов положений механизма. Построение траекторий отдельных точек механизма. Кинематический анализ плоского рычажного механизма графоаналитическим методом. Построение планов скоростей на примере шестизвенника. Определение ускорений точек звеньев плоского рычажного механизма методом планов на примере шестизвенника.

3.2.2. Кинематический анализ механизмов с круглыми колесами. Графоаналитический метод анализа механизмов с круглыми колесами.

3.2.3. Растяжение (сжатие). Построение эпюр продольных сил. Расчет стержней на прочность при действии продольных сил. Определение нормальных напряжений от действия продольных сил и построение эпюры нормальных напряжений.

3.2.4. Изгиб. Виды опор. Определение реакций в опорах двухопорных и консольных балок. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Расчеты балок на прочность и жесткость при их изгибе.

3.2.5. Кручение. Построение эпюры крутящих моментов, действующих на балку. Расчеты круглых балок на прочность и жесткость при кручении. Расчеты круглых балок на прочность при совместном действии на балку изгиба и кручения.

3.2.6. Определение угловых скоростей, мощностей и крутящих моментов на элементах привода с круглыми колесами на примере двухступенчатого привода (одноступенчатого редуктора с открытой передачей).

3.2.7. Фрикционные механизмы.

Общие сведения. Принцип работы фрикционных механизмов. Условие надежной работы фрикционного механизма. Определение силы прижатия катков фрикционной пары. Достоинства и недостатки фрикционных передач. Области применения фрикционных передач. Материалы катков фрикционных передач. Кинематические зависимости для фрикционных передач и их взаимосвязь с геометрическими и силовыми параметрами. Критерии работоспособности фрикционных передач. Расчет фрикционных передач по контактным напряжениям

3.2.8. Передачи с гибкими звеньями. Общие сведения.

Ременные передачи. Классификация ременных передач.

Области применения ременных передач. Типы приводных ремней. Геометрия ременной передачи. Принцип действия ременной передачи. На-

чальное натяжение ремня. Натяжение ветвей ремня под нагрузкой. Упругое проскальзывание ремня по шкивам. Напряжения в ремнях при холостом ходе и под нагрузкой. Кинематика ременных передач. Взаимосвязь геометрических, кинематических и силовых параметров ременной передачи. Критерии работоспособности ременных передач. Особенности расчета клиноременных передач (по сравнению с плоскоременными). Достоинства и недостатки клиноременных передач по сравнению с плоскоременными передачами. Расчет клиноременных передач по тяговой способности ремня.

#### 3.2.9. Цепные передачи.

Виды цепей. Конструкции цепей различных видов. Звездочки цепных передач. Параметры звездочки и взаимосвязь между ними. Материалы цепей и звездочек. Контактные напряжения, возникающие на поверхности зацепления зубьев. Смазка цепных передач. Передаточное отношение цепной передачи. Особенности его определения (по сравнению с передаточным числом ременной передачи). Натяжение цепи. Нормальные условия работы цепной передачи (по межосевому расстоянию). Давления на валы цепной передачи. Проектирование цепной передачи.

3.2.10. Геометрическая взаимосвязь между параметрами эвольвентной прямозубой цилиндрической передачи.

3.2.11. Силовой расчет эвольвентной прямозубой цилиндрической передачи. Определение составляющих нормальной силы в зацеплении. Определение минимально допустимых по контактной прочности размеров эвольвентной прямозубой цилиндрической передачи.

3.2.12. Особенности расчетов и проектирования косозубой цилиндрической эвольвентной, конической прямозубой эвольвентной и червячной передач по сравнению с расчетами и проектированием прямозубой цилиндрической эвольвентной передачей.

3.2.13. Расчет и проектирование валов. Ориентировочный расчет вала по чистому кручению. Проектирование вала. Назначение величин диаметров на различных участках вала. Определение значений длин различных участков вала.

3.2.14. Определение реакций в опорах вала различного вида редукторов - с цилиндрическими прямозубыми колесами, с цилиндрическими косозубыми колесами, с коническими прямозубыми колесами, червячных. Уточненный расчет вала. Выделение опасных сечений. Определение коэффициентов запаса прочности (коэффициента безопасности) вала.

3.2.15. Назначение подшипников качения. Их проверка по динамической грузоподъемности. Смазка подшипниковых узлов. Конструирование опор.

3.2.16. Особенности расчета и проектирования открытых зубчатых передач по сравнению с закрытыми.

3.2.17. Допуски и посадки. Система отверстия. Анализ, подбор и назначение посадок. Система вала. Анализ, подбор и назначение посадок.

3.2.18. Внесистемные посадки. Анализ подбор и назначение посадок. Шероховатость поверхностей деталей машин. Простановка шероховатости на рабочих чертежах деталей.

## 4 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

### Введение

В этом разделе программы приведены рекомендуемые темы лабораторных занятий, проводимых в сессионный период.

Темы лабораторных занятий преподаватель выбирает в зависимости от количества часов, выделенных учебным графиком на практические занятия, специальности, по которой обучаются студенты, и степени подготовленности студентов по темам.

### 4.1 Литература

1. Сахипова Р.М. Составление кинематических схем и структурный анализ механизмов. - Томск: изд. ТПИ, 1985.

2. Корняков О.Г., Мальцев П.Т. Кинематический анализ зубчатых механизмов. - Томск: изд. ТПИ, 1981.

3. Горбенко В.Т. Определение основных геометрических параметров эвольвентных зубчатых колес методом обмера. - Томск: изд. ТПИ, 1989.

4. Мурин А.В. Усталостные испытания конструкционных материалов. - Томск: изд. ТПИ, 1989.

5. Мурин А.В., Асеева Т.А. Зубчатые редукторы. Изучение устройства, определение геометрических и нагрузочных характеристик цилиндрических эвольвентных передач. - Томск: изд. ТПИ, 1989.

6. Мурин А.В. Изучение конструкций червячных редукторов. - Томск: изд. ТПИ, 1985.

### 4.2 Темы лабораторных работ

4.2.1. Составление кинематических схем и структурный анализ механизмов.

*Целью работы является приобретение навыка составления кинематической схемы механизма по реальному механизму, умения представлять за кинематической схемой реальный механизм.*

*Работа проводится на натуральных механизмах.*

*Форма отчетности - отчет о проделанной лабораторной работе в виде кинематических схем механизмов и структурного анализа этих схем.*

4.2.2. Кинематический анализ механизмов.

*Целью работы является: приобретение навыка составления кинематических схем зубчатых и рычажных механизмов, формирование представления о работе реальных механизмов, наглядное представление кинематики зубчатых и рычажных механизмов.*

*Работа проводится на натуральных зубчатых механизмах.*

*Форма отчетности - отчет о проделанной лабораторной работе в виде кинематической схемы зубчатого механизма и плана скоростей этого механизма.*

#### 4.2.3. Трение. Коэффициент трения скольжения.

*Целью работы является: определение коэффициента трения на наклонной плоскости.*

*Работа проводится на лабораторной установке.*

*Форма отчетности - отчет о проделанной лабораторной работе таблицы, расчетных формул и таблицы конечных результатов работы.*

#### 4.2.4. Силовые схемы зубчатых механизмов.

*Целью работы является: приобретение навыка составления силовых схем зубчатых сложных механизмов, наглядное представление силовых нагрузок зубчатых механизмов.*

*Работа проводится на натуральных зубчатых механизмах.*

*Форма отчетности - отчет о проделанной лабораторной работе в виде кинематической схемы зубчатого механизма и плана скоростей этого механизма.*

4.2.5. Определение основных геометрических параметров эвольвентных зубчатых колес методом обмера.

*Целью работы является обучение студента применению его знаний теории передач на практике и закреплению этих знаний.*

*Работа проводится на реальных зубчатых колесах с применением специального мерительного инструмента.*

*Форма отчетности - отчет о проделанной лабораторной работе в виде чертежа зубчатого колеса со всеми необходимыми размерами и таблицей параметров этого колеса.*

#### 4.2.6. Усталостные испытания конструкционных материалов.

*Целью работы является ознакомление с методикой усталостных испытаний и практическими методами определения предела усталостной выносливости материала.*

*Эксперимент проводится на машине для испытания на усталость типа НУ.*

*Форма отчетности - отчет о проделанной работе в виде таблицы исходных данных, расчетных формул, таблицы результатов испытаний, графиков.*

#### 4.2.7. Изучение конструкций редукторов.

*Целью работы является изучение типовых и стандартных зубчатого или червячного редуктора, измерение их габаритных, присоединительных и установочных размеров.*

*Лабораторная работа проводится на натуральных образцах редукторов с применением мерительного инструмента.*

*Форма отчетности - отчет о проделанной работе в виде таблиц исходных данных, расчетных формул и таблиц с окончательными результа-*

тами работы.

4.2.8. Назначение подшипников качения. Их проверка по динамической грузоподъемности. Смазка подшипниковых узлов. Конструирование опор.

*Целью работы является изучение типовых и стандартных зубчатого или червячного редуктора, а так же рассмотрение различных видов опор и способов смазки подшипниковых узлов.*

*Лабораторная работа проводится на натурных образцах редукторов с применением мерительного инструмента.*

*Форма отчетности - отчет о проделанной работе в виде таблиц исходных данных, расчетных формул и таблиц с окончательными результатами работы.*

4.2.9. Особенности конструкций редукторов с косозубыми цилиндрическими эвольвентными, коническими прямозубыми эвольвентными колесами и червячных редукторов по сравнению с конструкциями редукторов с прямозубой цилиндрической эвольвентной передачей.

*Целью работы является изучение типовых и стандартных зубчатого или червячного редуктора и рассмотрение их особенностей, а так же рассмотрение различных видов опор и способов смазки подшипниковых узлов.*

*Лабораторная работа проводится на натурных образцах редукторов с применением мерительного инструмента.*

*Форма отчетности - отчет о проделанной работе в виде таблиц исходных данных, расчетных формул и таблиц с окончательными результатами работы.*

4.2.10. Особенности расчета и проектирования открытых зубчатых передач по сравнению с закрытыми.

*Целью работы является изучение типовых открытых передач, а так же рассмотрение особенностей конструкций различных видов их опор и способов смазки подшипниковых узлов.*

*Лабораторная работа проводится на натурных образцах редукторов с применением мерительного инструмента.*

*Форма отчетности – анализ областей применения открытых передач, обзор способов смазки открытых зубчатых передач и их подшипниковых узлов.*

4.2.11. Допуски и посадки. Система отверстия. Система вала. Внесистемные посадки. Анализ, подбор и назначение посадок.

*Целью работы является изучение типовых и стандартных зубчатого или червячного редуктора, а так же определение вида и характера посадок его сопряженных деталей.*

*Лабораторная работа проводится на натурных образцах редукторов с применением мерительного инструмента.*

*Форма отчетности – анализ областей применения различных посадок, примеры их назначения при конструировании редукторов.*

## 5 КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

В контрольной работе следует решить две контрольные работы по разделам:

- основы сопротивления материалов:
  - задача № 1.1;
  - задача № 1.2;
- передаточные механизмы с круглыми колесами и детали машин:
  - задача № 2.1;
  - задача № 2.2.

**Исходные данные** при решении задач следует выбирать в соответствии со своим личным шифром (см. с. 4).

### 5.1 Контрольная работа № 1

#### 5.1.1 Контрольная задача № 1.1

Стальной стержень находится под действием продольных сил.

Построить эпюры внутренних продольных сил  $F$  и нормальных напряжений  $\sigma$ , найти перемещение  $\Delta l$  сечения  $I-I$ . Влиянием собственного веса стержня пренебречь.

Модуль упругости стали  $E_{ст}$  равен 215000 МПа.

В этой группе задач исходные данные принимаются, в соответствии с шифром, следующим образом:

1. По последней цифре шифра принять схему нагружения.
2. По первой цифре шифра из таблицы 2 принять величину силы  $F$ .
3. По второй цифре шифра из таблицы 2 принять величину площади сечения  $A$ .
4. По третьей цифре шифра из таблицы 2 принять величину коэффициента  $k$ .
5. По четвертой цифре шифра из таблицы 2 принять величину, характеризующую длину стержня -  $b$ .

Таблица 2

**Исходные данные к контрольной задаче № 1.1**

Цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$F$ , кН	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
$A$ , мм <sup>2</sup> ×1000	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
$k$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4
$b$ , м	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65

На схемах № 0 - № 9 центрами маленьких окружностей обозначены точки приложения сил.

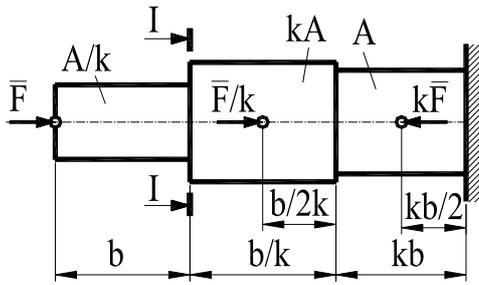


Схема № 0

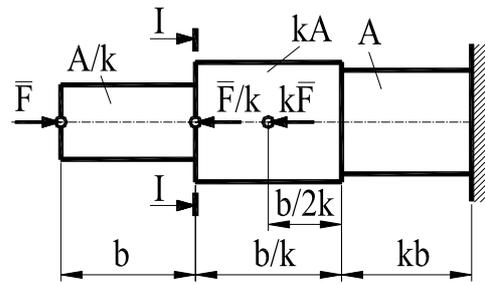


Схема № 1

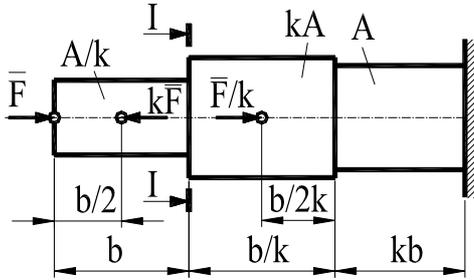


Схема № 2

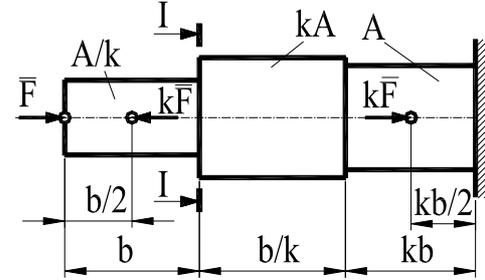


Схема № 3

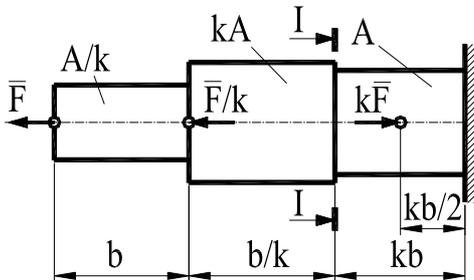


Схема № 4

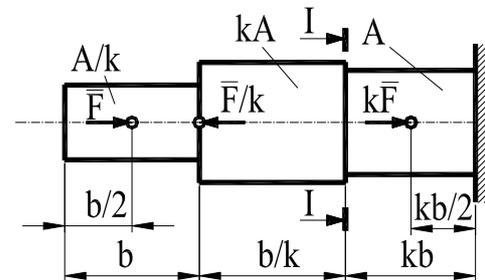


Схема № 5

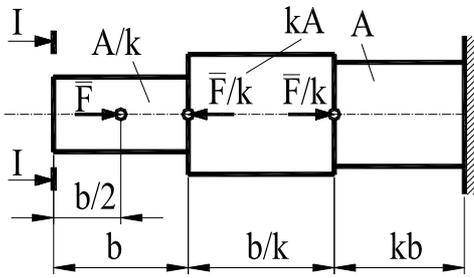


Схема № 6

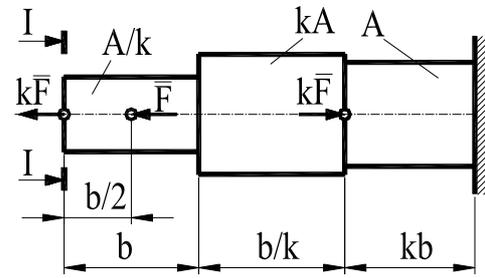


Схема № 7

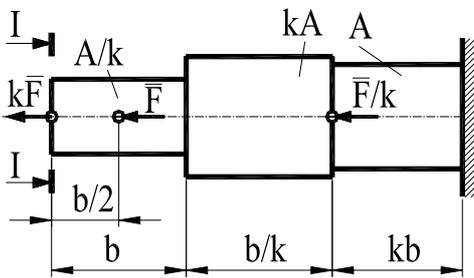


Схема № 8

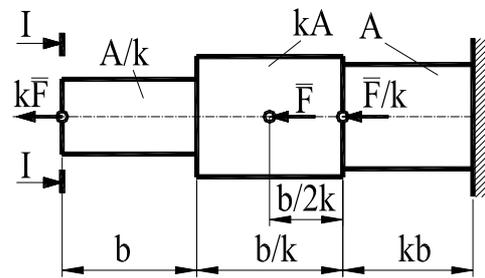


Схема № 9

### 5.1.2 Контрольная задача № 1.2

Для заданной схемы стальной балки круглого постоянного сечения, нагруженной распределенной нагрузкой  $q$ , сосредоточенной силой  $F$ , изгибающим моментом  $M$  и крутящими моментами  $T$ , произвести следующие расчеты:

- определить **составляющие реакций в опорах**;
- построить **эпюру поперечных сил**;
- построить **эпюру изгибающих моментов**;
- построить **эпюру крутящих моментов**;
- пользуясь построенными эпюрами и механическими характеристиками принятого материала (таблица 5), по одной из теорий прочности определить **величину минимально допускаемого диаметра** (полученное значение округлить до ближайшей большей величины из ряда нормальных линейных размеров по ГОСТ 6636-69 (таблица 4).

Маркой стали балки задаться самостоятельно (таблица 5).

Коэффициент безопасности по пределу текучести  $S_{тр}$  принять равным 2.

**Исходные данные** для решения задачи принять в соответствии со своим личным шифром (см. с. 5) в следующем порядке:

1. По **последней цифре шифра** принять **схему нагружения балки**.
2. По **первой цифре шифра** из таблицы 3 принять **величину интенсивности распределенной нагрузки  $q$** .
3. По **второй цифре шифра** из таблицы 3 принять **величину силы  $F$** .
4. По **третьей цифре шифра** из таблицы 3 принять **величину изгибающего момента  $M$** .
5. По **четвертой цифре шифра** из таблицы 3 принять **величину, характеризующую длину балки -  $b$** .
6. По **абсолютной величине разности первой и второй цифр шифра** из таблицы 3 принять **величину крутящего момента  $T$** .
7. По **абсолютной величине разности первой и третьей цифр шифра** из таблицы 3 принять **величину коэффициента  $k$** .

Таблица 3

**Исходные данные к контрольной задаче № 1.2**

Цифра шифра или абсолютная величина разности цифр шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$q$ , кН/м	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
$F$ , кН	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$M$ , кНм	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
$T$ , кНм	35	38	41	44	47	50	53	56	59	62
$b$ , м	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4

$k$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

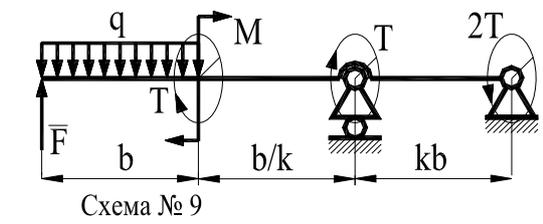
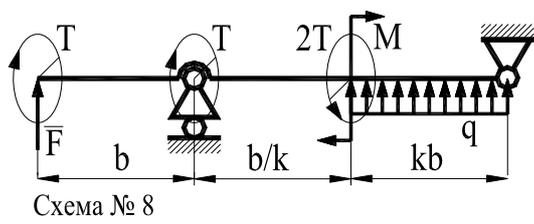
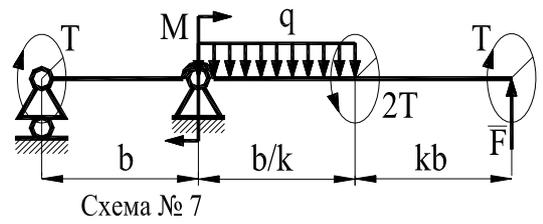
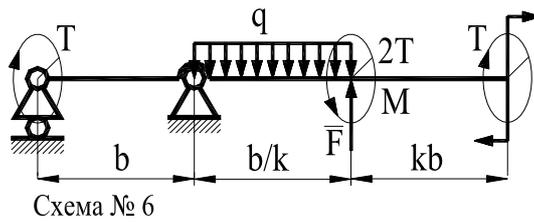
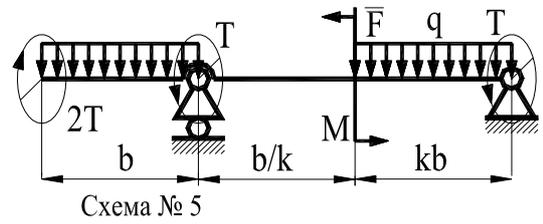
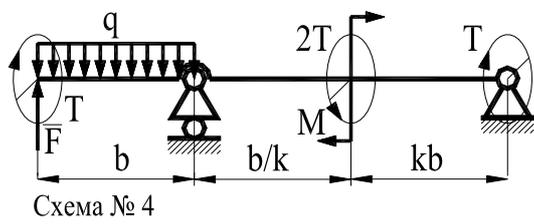
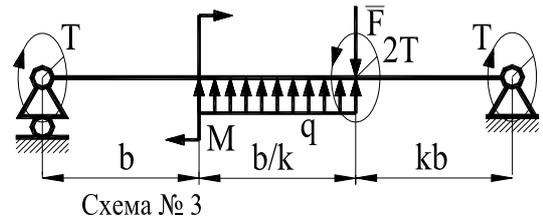
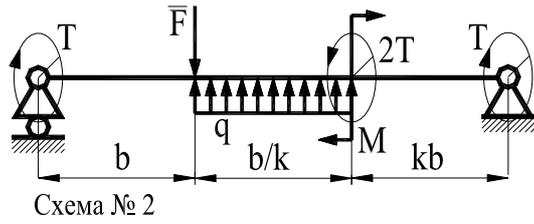
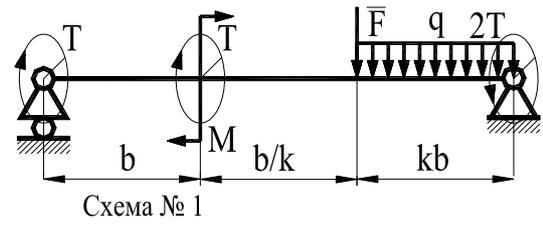
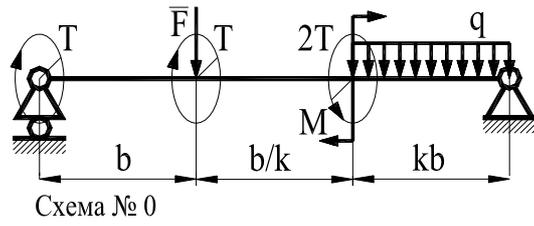


Таблица 4

**Размеры нормальные линейные (ГОСТ 6636-69), мм**

3,2	4,8	7,1	10,5	16	24	35*	48	62*	75	110	170	250	360	530
3,4	5,0	7,5	11,0	17	25	36	50	63	80	120	180	260	380	560
3,6	5,3	8,0	11,5	18	26	38	52*	65*	85	125	190	280	400	600
3,8	5,6	8,5	12,0	19	28	40	53	67	90	130	200	300	420	630
4,0	6,0	9,0	13,0	20	30	42	55*	70*	95	140	210	320	450	670
4,2	6,3	9,5	14,0	21	32	45	56	71	100	150	220	340	480	710
4,5	6,7	10,0	15,0	22	34	47*	60	72*	105	160	240	340	500	720

**Примечание.** Звездочкой (\*) помечены размеры посадочных мест для подшипников качения. В других случаях их использование не рекомендуется

Таблица 5

**Механические свойства конструкционных сталей**

Марка стали	Сечение, мм	Термообработка	HB сердцевины	HRC поверхности	$\sigma_T$	$\sigma_B$
					МПа	
<b>Конструкционные стали повышенной и высокой обрабатываемости резанием. ГОСТ 1414-75</b>						
A11	Любое	Горячекатаная без термической обработки	156	-	-	410
A12			164			450
A20			181			510
A30			196			
A35			390			
<b>Качественные углеродистые конструкционные стали. ГОСТ 1050-88</b>						
15	$\leq 50$	Цементация, закалка в воде, отпуск	-	56-62	245	442
35	Любое	Нормализация	136-192	-	270	550
45			179-207		320	600
		$\leq 80$	Улучшение		235-262	540
45	$\leq 50$	Закалка в масле, отпуск	-	30-40	638	883
<b>Легированные стали. ГОСТ 4543-71</b>						
40X	$\leq 125$	Улучшение	235-262	-	640	790
	$\leq 80$		269-302		750	900
40X	$\leq 80$	Улучшение, закалка ТВЧ	269-302	45-50	750	900
	$\leq 50$	Закалка в масле, высокий отпуск	230-280	-	590	785
	$\leq 100$				510	736
35XM	$\leq 200$	Улучшение	235-262		-	670
			790			
	$\leq 125$	Улучшение, закалка ТВЧ	269-302	48-53	790	920
40XH	$\leq 200$	Улучшение	235-262	-	630	800
	$\leq 125$	Улучшение, закалка ТВЧ	269-302	48-53	750	920

**Указания:**

Расчет балки круглого сечения на *статическую* прочность сводится к **определению напряжений** и к **определению коэффициента безопасности** и сравнению полученных значений с допускаемыми.

**Напряжения в наиболее опасном сечении** вала определяют (по третьей теории прочности) по формуле

$$\sigma = \frac{\sqrt{M^2 + T^2}}{W} \leq \sigma_p,$$

где  $M$  - максимальный изгибающий момент;

$T$  - крутящий момент;  
 $W$  - момент сопротивления.

Значения момента сопротивления для балки круглого сечения равно:

$$W = \pi d^3 / 32.$$

Допускаемые напряжения  $\sigma_p$  равны:

$$\sigma_p = \sigma_T / S_{Tp},$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести материала вала; значения  $\sigma_T$  приведены в таблице 5.

$S_{Tp}$  – допускаемый коэффициент безопасности по пределу текучести:

$$S_{Tp} = 1,5-2.$$

**Коэффициент безопасности** по пределу текучести определяется по нижеприведенной формуле и его величина сравнивается с допускаемой величиной.

$$S_T = S_{\sigma T} S_{\tau T} (S_{\sigma T}^2 + S_{\tau T}^2)^{0,5} \geq S_{Tp};$$

где

$$S_{\sigma T} = \sigma_T W / M_{max};$$

$$S_{\tau T} = \tau_T (T_{max} / W_p + 1,33 Q_{max} / A).$$

Здесь  $M_{max}$  наибольшее значение изгибающего момента в рассматриваемом сечении;

$T_{max}$  - наибольшее значение крутящего момента в рассматриваемом сечении;

$Q_{max}$  - наибольшее значение перерезывающей силы в рассматриваемом сечении;

$\sigma_T, \tau_T$  - предел текучести материала вала по нормальным и касательным напряжениям (таблица 5);

$A$  - площадь рассматриваемого сечения.

## 5.2 Контрольная работа № 2

### 5.2.1 Контрольная задача № 2.1

Исходные данные при решении задачи № 2.1 следует выбирать в соответствии со своим личным шифром (см. с. 4).

В этой задаче необходимо:

- подобрать типоразмер электродвигателя привода (характеристики асинхронных электродвигателей общего назначения приведены в таблицах 6 и 7),

- рассчитать зубчатую (червячную) пару редуктора;

- выполнить эскизные чертежи шестерни и колеса (червяка и червячного колеса).

Примеры выполнения эскизных чертежей приведены на рис. 1, 2, 3, 4.

Для выполнения контрольной задачи № 2.1 исходные данные выбираются в следующем порядке:

1. По последней цифре шифра выбирается схема привода (см. с. 50, 51).

2. По первой слева цифре шифра из таблицы 10 выбирается номиналь-

ная мощность, передаваемая приводом.

3. По второй слева цифре шифра из таблицы 10 выбирается реверсивность привода.

4. По третьей слева цифре шифра из таблицы 10 выбирается частота вращения выходного вала привода.

5. По четвертой слева цифре шифра из таблицы 10 выбирается срок службы привода.

Дополнительно следует принять:

а) характер работы привода - непрерывный, спокойный;

б) смазка колес - окунанием в масляную ванну;

в) материалами колес, червяков, валов и их термообработкой следует задаться самостоятельно (таблица 3).

г) материалом шпонок задаться в соответствии с существующими рекомендациями, например, [3, 6]; размеры шпонок приведены в таблице 8 и 9.

*Например, студент, имеющий личный шифр 91407, должен выполнить контрольную работу по следующим исходным данным:*

1. Схема привода - № 7.

2. Привод - реверсивный.

3. Частота вращения выходного вала привода - 105 об/мин.

4. Срок службы привода – 20 000 часов.

5. Номинальная мощность, передаваемая приводом - 1,4 кВт.

Таблица 6

**Электродвигатели асинхронные. Технические данные**

Тип двигателя	Номинальная мощность $P_n$ , кВт	Номинальная частота $n_n$ , об/мин	Тип двигателя	Номинальная мощность $P_n$ , кВт	Номинальная частота $n_n$ , об/мин
4ААМ56В2У3	0,25	2760	4ААМ63В6У3	0,25	890
4ААМ63А2У3	0,37	2740	4АМ71А6У3	0,37	910
4ААМ63В2У3	0,55	2710	4АМ71В6У3	0,55	900
4АМ71А2У3	0,75	2840	4АМ80А6У3	0,75	915
4АМ71В2У3	1,10	2810	4АМ80В6У3	1,10	920
4АМ80А2У3	1,50	2850	4АМ90Л6У3	1,50	935
4АМ80В2У3	2,20		4АМ100Л6У3	2,20	950
4АМ90Л2У3	3,00	2840	4АМ112МА6У3	3,00	955
4АМ100S2У3	4,00	2880	4АМ112МВ6У3	4,00	950
4АМ100Л2У3	5,50		4АМ132S6У3	5,50	965
4ААМ63А4У3	0,25	1370	4АМ71В8У3	0,25	680
4ААМ63В4У3	0,37	1365	4АМ80А8У3	0,37	675
4ААМ71А4У3	0,55	1390	4АМ80В8У3	0,55	700
4АМ71В4У3	0,75		4АМ90Л8У3	0,75	
4АМ80А4У3	1,10	1420	4АМ90ЛВ8У3	1,10	
4АМ80В4У3	1,50	1415	4АМ100Л8У3	1,50	
4АМ90Л4У3	2,20	1425	4АМ112МА8У3	2,20	

4AM100S4Y3	3,00	1435	4AM112MB8Y3	3,00	720
4AM100L4Y3	4,00	1430	4AM132S8Y3	4,00	
4AM112M4Y3	5,50	1445	4AM132M8Y3	5,50	

Таблица 7

**Электродвигатели асинхронные трехфазные серии 4А, закрытые.  
Основные размеры, мм**

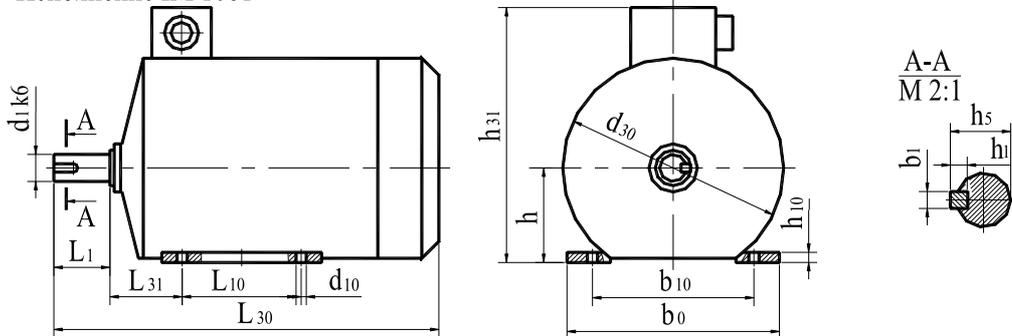
Тип двигателя	Размеры																		
	$b_1$	$b_{10}$	$d_1$	$d_{10}$	$d_{20}$	$d_{22}$	$d_{24}$	$d_{25}$	$d_{30}$	$h$	$h_1$	$h_{10}$	$h_{31}$	$L_1$	$L_{10}$	$L_{20}$	$L_{21}$	$L_{30}$	$L_{31}$
A56	4	90	11	5,8	115	10	140	95	120	56	4	7	152	23	71	3,0	10	194	36
A63	5	100	14	7	130		160	110	130	63	5		164	30	80			3,5	10
71A, B	6	112	19		165	12	200	130	170	71	6	9	201	40	90	285	45		
80A	6	125	22	10	165	12	200	130	186	80	6	10	218	50	100	3,5	10	300	50
80B														50				320	
90L	8	140	24		215	15	250	180	208	90	7	11	243	50	125	4,0	12	350	56
100S	8	160	28	12	215	15	250	180	235	100	7	12	263	60	112	4,0	14	362	63
100L														60				140	
112M	10	190	32	12	265	15	300	230	260	112	8	13	310	80	140	40	16	452	70
132S		216	38		300	19	350	250	302	132				80				5,0	18
132M		80	530																
160S	14	254	42	15					358	160	9	18	430	110	178	15	624	108	

$$b_0 = b_{10} + 5d_{10}$$

$$L_0 = L_{10} + 4d_{10}$$

$$L_{39} = 0$$

Исполнение IM 1081



Исполнение IM 3081

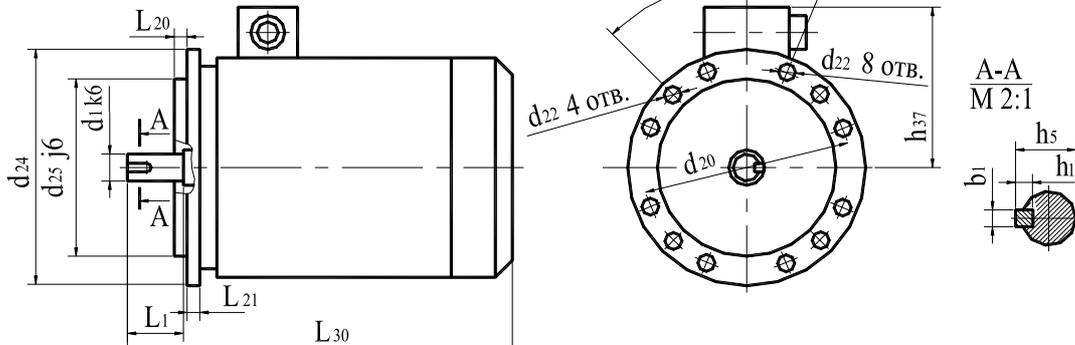


Таблица 8

## Шпонки призматические. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 23360-78

Вместо фасок  $S \times 45^\circ$  допускается назначать радиусы скругления  $r_1$

Исполнение 1      Исполнение 2      Исполнение 3

$S \times 45^\circ$        $R=0,5b$

$D$	$b$	$h$	$t$	$t_1$	$r$		$s$ или $r_1$		$L$
					min	max	min	max	
От 6 до 8	2	2	1,2	1,0	0,08	0,16	0,16	0,25	6-20
Св. 8 до 10	3	3	1,8	1,4					6-36
Св. 10 до 12	4	4	2,5	1,8	0,08	0,16	0,16	0,25	8-45
Св. 12 до 17	5	5	3,0	2,3	0,25	0,40	0,60	0,60	14-70
Св. 17 до 22	6	6	3,5	2,8					18-90
Св. 22 до 30	8	7	4,0	3,3					22-110
Св. 30 до 38	10	8	5,0						28-140
Св. 38 до 44	12	9	5,5	3,8	0,25	0,40	0,60	0,60	36-160
Св. 44 до 50	14								45-226
Св. 50 до 58	16	10	6,0	4,3	0,25	0,40	0,60	0,60	50-180
Св. 58 до 65	18	11	7,0	4,4	0,25	0,40	0,60	0,60	56-180
Св. 65 до 75	20	12	7,5	4,9	0,40	0,60	0,80	0,80	56-180

Размер  $L$  в указанных пределах принимать из ряда: 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180

Отклонения размеров шпонок и пазов – по ГОСТ 7227-58

Допускается в технически обоснованных случаях применять меньшие размеры сечений стандартных шпонок на валах больших диаметров, за исключением выходных концов валов

В зависимости от принятой базы обработки и измерения на рабочих чертежах указывают размеры:  $d+t_1$  – для втулки:  $t$  (предпочтительный вариант) или  $d-t$  – для вала

**Примеры обозначений шпонок:**  
 Исполнения 1,  $b=16$  мм,  $h=10$  мм,  $L=50$  мм: Шпонка  $16 \times 10 \times 50$  ГОСТ 23360-78.  
 Исполнения 2:  $b=16$  мм,  $h=10$  мм,  $L=50$  мм: Шпонка 2-16 x10 x50 ГОСТ 23360-78.

Таблица 9

## Шпонки сегментные. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 24071-80

Вместо фасок  $S \times 45^\circ$  допускается назначать радиусы скругления  $r_1$

$S \times 45^\circ$        $S \times 45^\circ$

<i>d</i>	Размеры шпонок					Глубина паза		<i>r</i>		
	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>c</i> или <i>r</i> <sub>1</sub>		вала			втулки
					min	max	<i>t</i>	<i>t</i> <sub>1</sub>	min	max
От 3 до 4	1,0	1,4	4	3,8	0,05	0,08	1,0	0,6	-	0,05

Продолжение таблицы 9

<i>d</i>	Размеры шпонок					Глубина паза		<i>r</i>		
	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>c</i> или <i>r</i> <sub>1</sub>		вала			втулки
					min	max	<i>t</i>	<i>t</i> <sub>1</sub>	min	max
Св. 4 до 6	1,5	2,6	7	6,8	0,05	0,08	2,0	0,8	-	0,05
Св. 6 до 8	2,0	2,6	7	6,8	0,16	0,25	1,8	1,0	0,08	0,16
	2,5	3,7	10	9,7			2,9			
Св. 8 до 10	3,0	5,0	13	12,6	0,16	0,25	2,5	1,4	0,08	0,16
			16	15,7			3,8			
			15,7	15,7			5,3			
Св. 10 до 12	4,0	5,0	13	12,6	0,16	0,25	3,5	1,8	0,08	0,16
			16	15,7			5,0			
			19	18,6			6,0			
			22	21,6			7,5			
Св. 12 до 17	5,0	6,5	16	15,7	0,25	0,40	4,5	2,3	0,16	0,25
			19	18,6			5,5			
			22	21,6			7,0			
			25	24,5			8,0			
Св. 17 до 22	6,0	9,0	22	21,6	0,25	0,40	6,5	2,8	0,16	0,25
			25	24,5			7,5			
			28	27,3			8,5			
			32	31,4			10,5			

Допускается в технически обоснованных случаях применять стандартные шпонки меньших размеров сечений на валах больших диаметров (за исключением выходных концов валов)

В зависимости от принятой базы обработки и измерения на рабочих чертежах указывают размеры:  $d+t_1$  - для втулки;  $t$  (предпочтительный вариант) или  $d-t$  - для вала

Отклонения размеров шпонок и пазов – по ГОСТ 7227-58

**Пример обозначения** сегментной шпонки размерами  $b=6$  мм,  $h=10$  мм:

*Шпонка сегм. 6×10 ГОСТ 24071-80*

Таблица 10

**Исходные данные к задаче 3**

Цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Частота вращения выходного вала привода, об/мин	<i>Для схем привода № 3, № 4, № 5, № 6, № 7, № 8, № 9</i>									
	135	125	95	105	115	145	165	175	185	155
	<i>Для схем привода № 0, № 1, № 2</i>									
	58	54	50	46	42	38	34	30	26	22
Мощность на выходном валу привода, кВт	0,5	0,6	0,7	0,8	1,1	1,0	1,2	1,3	1,4	0,9
Срок службы привода, тысяч часов	30	35	40	45	50	10	15	25	70	20
Реверсивность	Р	Н	Р	Н	Р	Н	Р	Н	Р	Н

Выборка из ГОСТ 2.770-68 «Кинематические схемы» в той мере, которая необходима для понимания технических заданий на контрольную задачу № 2.1 и на курсовой проект, приведена в таблице 11.

Таблица 11

**Кинематические схемы**

Наименование элемента	Условное обозначение
Электродвигатель	
Вал, ось	
Подшипник качения (без уточнения типа)	
Соединение детали с валом без их относительного вращения	
Соединение двух валов эластичной упругой компенсирующей муфтой	
Клиноременная передача	
Цепная передача (без уточнения типа цепи)	
Передача зубчатая цилиндрическая внешнего зацепления: а) с прямыми зубьями б) с косыми зубьями	
Передача зубчатая коническая (без указания типа зубьев)	
Червячные передачи	

Схема № 0  
Привод червячно-цилиндрический

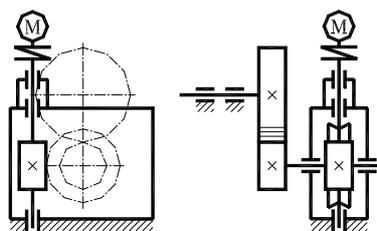


Схема № 1  
Привод ременно-червячный

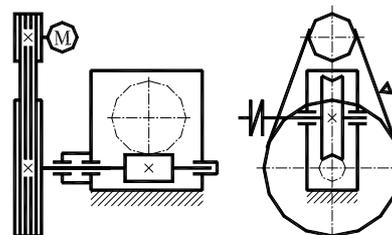


Схема № 2  
Привод червячно-цепной

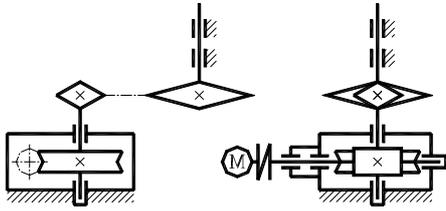


Схема № 3  
Привод ременно-цилиндрический

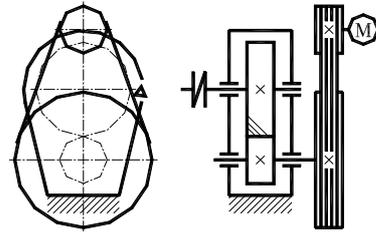


Схема № 4  
Привод цилиндрическо-цепной

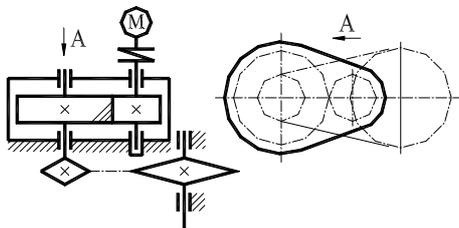


Схема № 5  
Привод цилиндрическо-цилиндрический

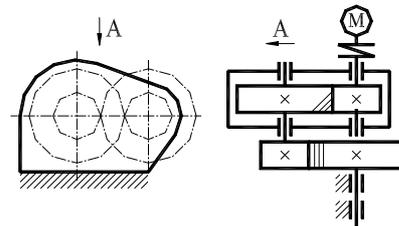


Схема № 6  
Ременно-цилиндрический

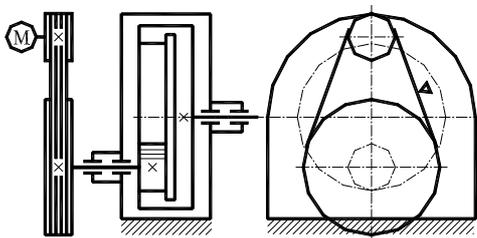


Схема № 7  
Привод цилиндрическо-цилиндрический

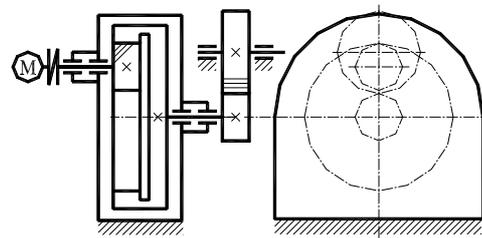


Схема № 8  
Привод коническо-цилиндрический

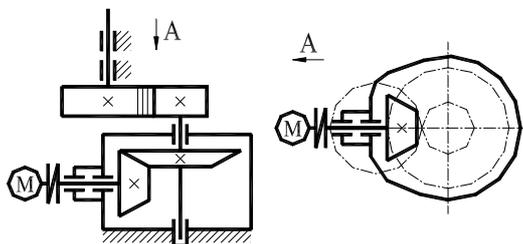
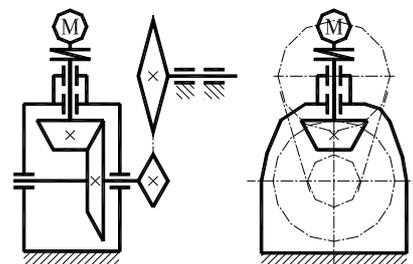


Схема № 9  
Привод коническо-цепной

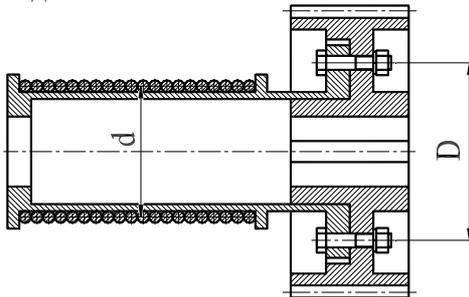


### 5.2.2 Контрольная задача № 2.2

Исходные данные при решении задачи следует выбирать в соответствии со своим личным шифром (см. с. 4).

Необходимо выполнить ту задачу, номер которой соответствует первой цифре шифра студента при том варианте числовых данных, который соответствует второй цифре шифра.

Задача № 0



Подобрать болты крепления зубчатого колеса к барабану лебедки.

Действующий через канат на барабан груз -  $F_1$ ; диаметр барабана -  $d$ ; диаметр окружности центров болтов -  $D$ .

Величины  $F$ ,  $d$ ,  $D$  приведены в таблице.

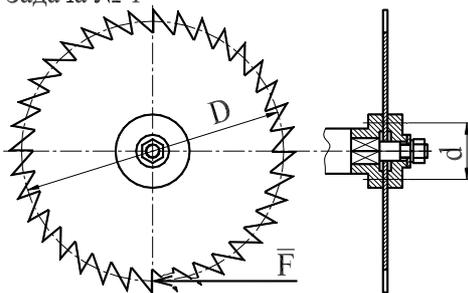
Расчет вести для случая, когда болты поставлены с зазором.

Коэффициент трения  $f$  принять равным 0,15.

Недостающими данными задаться самостоятельно.

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$F$ , кН	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
$d$ , мм	200	210	220	230	240	250	260	270	280	190
$D$ , мм	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540

Задача № 1



Определить диаметр нарезной части вала дисковой пилы, которая удерживается между двумя шайбами посредством сил трения, возникающих при затяжке гайки на конце вала.

Пила преодолевает сопротивление при резании (сила  $F$ ).

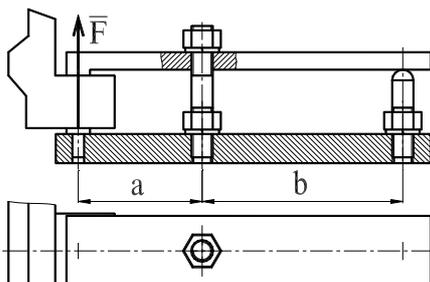
Данные для расчета приведены в таблице.

це.

Коэффициент трения  $f$  принять равным 0,2.

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$F$ , кН	0,7	0,8	0,9	0,76	0,74	0,92	0,82	0,84	0,86	0,88
$D$ , мм	510	620	700	570	550	710	630	650	670	690
$d$ , мм	95	150	190	125	110	200	155	165	175	185

Задача № 2

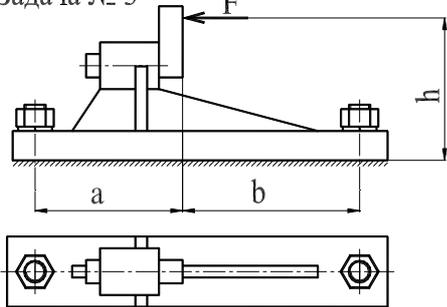


Определить диаметр резьбы шпильки станочного прихвата.

Числовые данные приведены в таблице.

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F, кН	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75
a, мм	110	120	130	140	150	160	115	125	135	145
b, мм	100	115	120	125	130	135	140	145	150	155

Задача № 3



Определить диаметр фундаментных болтов, крепящих стойку к бетонному основанию.

Коэффициент трения основания стойки о бетон  $f$  равен 0,4.

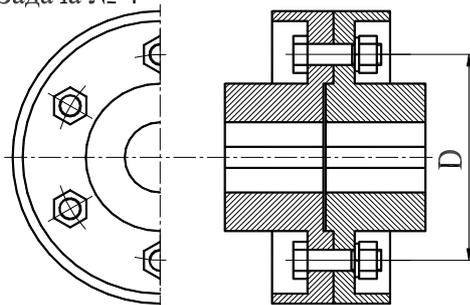
Болты принять с метрической резьбой.

Числовые данные для расчета приведены в таблице.

Недостающие данные принять самостоятельно.

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F, кН	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
h, мм	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680
a, мм	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310
b, мм	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460

Задача № 4



Рассчитать болты фланцевой муфты.

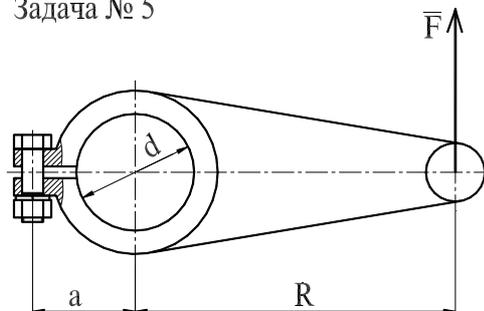
Передаваемая муфтой мощность -  $P$ , частота вращения -  $n$ , диаметр окружности центров болтов -  $d$ , число болтов -  $z$ .

Числовые данные приведены в таблице.

Материал муфты - чугун.

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d, мм	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
z, шт.	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6
P, кВт	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
n, об/мин	705	710	720	730	910	925	930	715	735	940

Задача № 5



Рассчитать болт клеммового соединения, посредством которого рычаг неподвижно закреплен на валу.

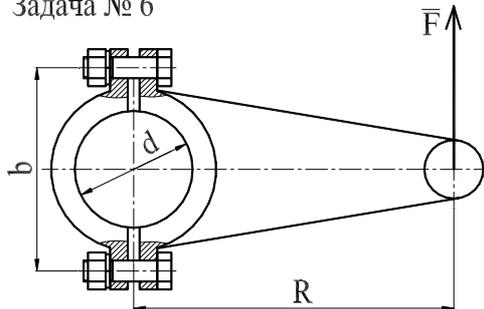
Диаметр вала -  $d$ ; сила, действующая на рычаг -  $F$ ; радиус рычага -  $R$ ; расстояние от оси болта до оси вала -  $a$ .

Коэффициент трения скольжения  $f$  принять равным 0,2.

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d, мм	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70

$F$ , кН	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850
$R$ , мм	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560
$a$ , мм	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48

Задача № 6



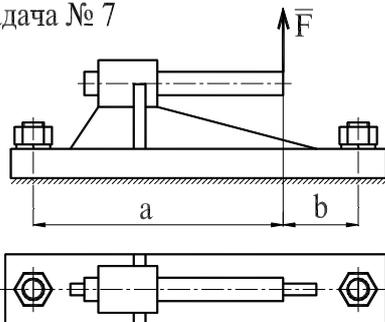
Рассчитать клеммовое болтовое соединение, обеспечивающее передачу крутящего момента с рычага, нагруженного силой  $F$  на расстоянии  $R$  от оси вала диаметром  $d$ .

Значения  $F$ ,  $R$ ,  $d$  приведены в таблице.

Величину коэффициента трения скольжения  $f$  принять равным 0,2.

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$F$ , кН	11,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
$R$ , мм	750	1200	1150	1100	1050	1000	950	900	850	800
$d$ , мм	60	42	44	46	48	50	52	54	56	58

Задача № 7

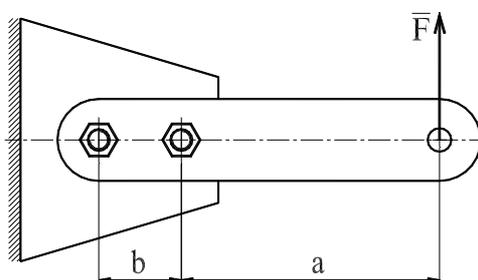


Рассчитать болты, которыми крепится стойка к бетонному фундаменту.

Числовые данные для расчета приведены в таблице.

<b>Вариант</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
$F$ , кН	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$a$ , мм	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
$b$ , мм	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65

Задача № 8



Определить диаметр болтов крепления рычага, нагруженного силой  $F$ .

Расчет произвести для двух случаев:

а) болты поставлены без зазора;

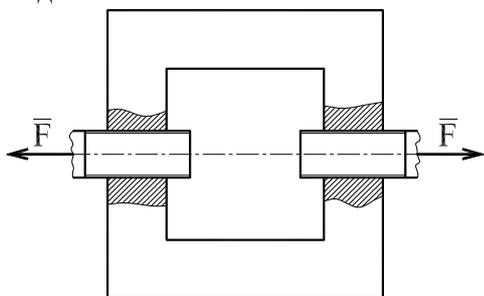
б) болты поставлены с зазором.

Коэффициент трения скольжения  $f$  принять равным 0,2.

Недостающие данные принять самостоятельно.

<b>Вариант</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
$F$ , кН	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
$a$ , мм	500	510	520	530	540	550	505	515	525	535
$b$ , мм	80	90	105	110	115	120	125	130	135	140

Задача № 9



Определить диаметр резьбы на концах стяжки, имеющих левую и правую резьбы.

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$F$ , кН	45	50	75	30	70	40	55	35	60	65

## 6 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

### Введение

Курсовой проект является завершающим этапом при изучении курса «Прик механика». Целью курсового проектирования является развитие навыков самостоятельной работы при решении комплексной задачи по расчету и конструированию машин.

Весьма различные машины и механизмы в большинстве своем состоят из однотипных по служебным функциям деталей и сборочных единиц. Поэтому одни и те же методы анализа, расчета и проектирования находят применение в достаточно далеких друг от друга отраслях техники. Поскольку большинство деталей машин общего назначения используются в приводах, то они и выбраны в качестве объекта курсового проектирования.

Курсовой проект охватывает основные разделы курса «Механика». В процессе работы над проектом студент приобретает, систематизирует и закрепляет знания правил и норм проектирования узлов и деталей машин на основе полученных знаний по всем предшествующим общеобразовательным и общетехническим дисциплинам; анализирует назначение и условия работы всех деталей проектируемого изделия; прорабатывает наиболее рациональные конструктивные решения с учетом технологических, монтажных и экономических требований; производит кинематические, силовые и прочностные расчеты изделия; решает вопросы, связанные с выбором материалов деталей и их термообработки, а также вопросы по выбору наиболее технологичных форм деталей; продумывает процесс сборки и разборки изделия. При этом студент должен работать с действующими стандартами и нормами, со справочной литературой.

Знания и навыки, приобретенные студентами в процессе проектирова-

ния, будут служить им базой при выполнении курсовых проектов по профилирующим дисциплинам.

Время самостоятельной работы над проектом составляет около 80 часов.

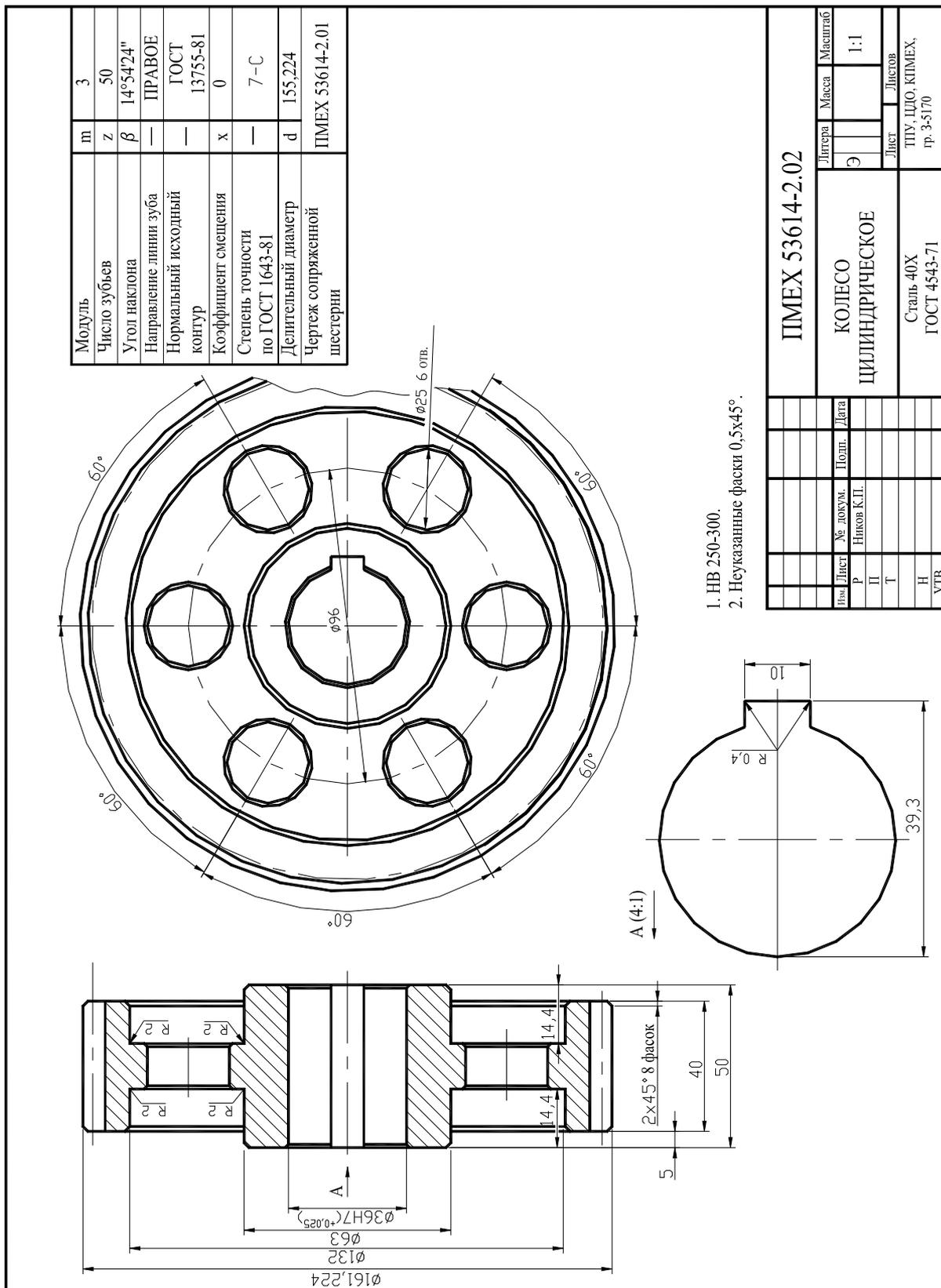


Рис. 1. Пример выполнения эскизного чертежа

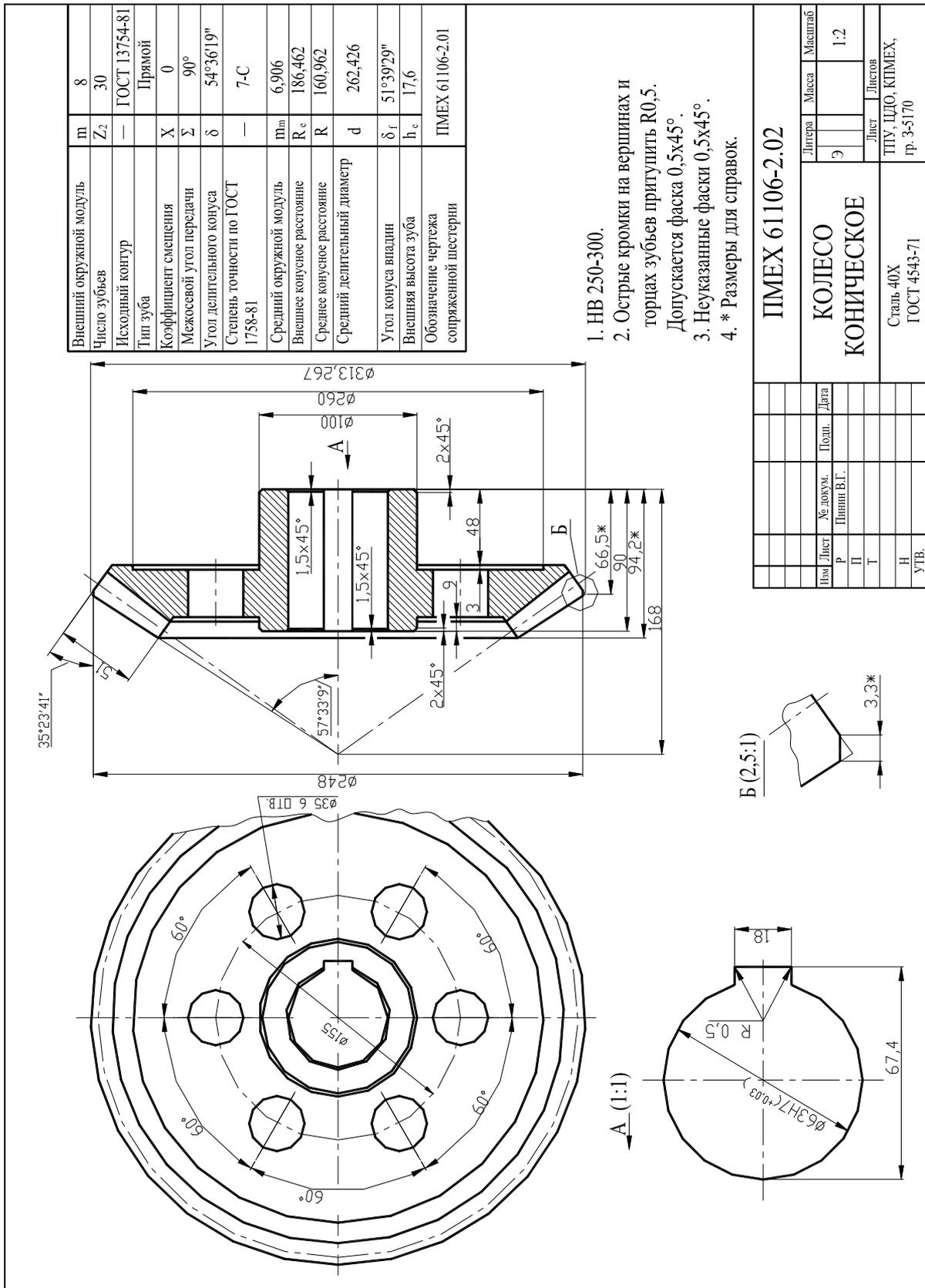


Рис. 2. Пример выполнения эскизного чертежа эвольвентного конического зубчатого колеса

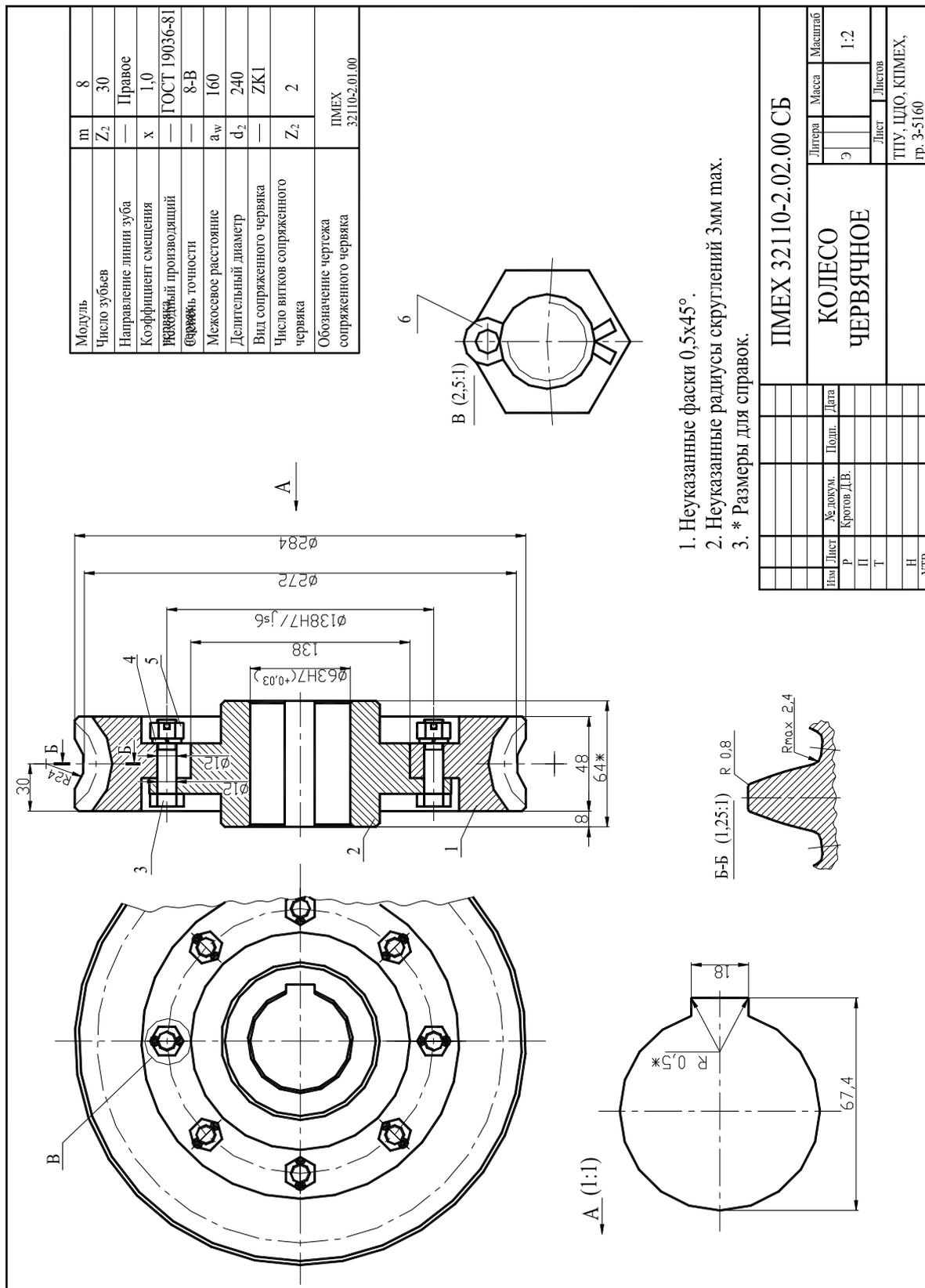


Рис. 3. Пример выполнения эскизного чертежа червячного колеса

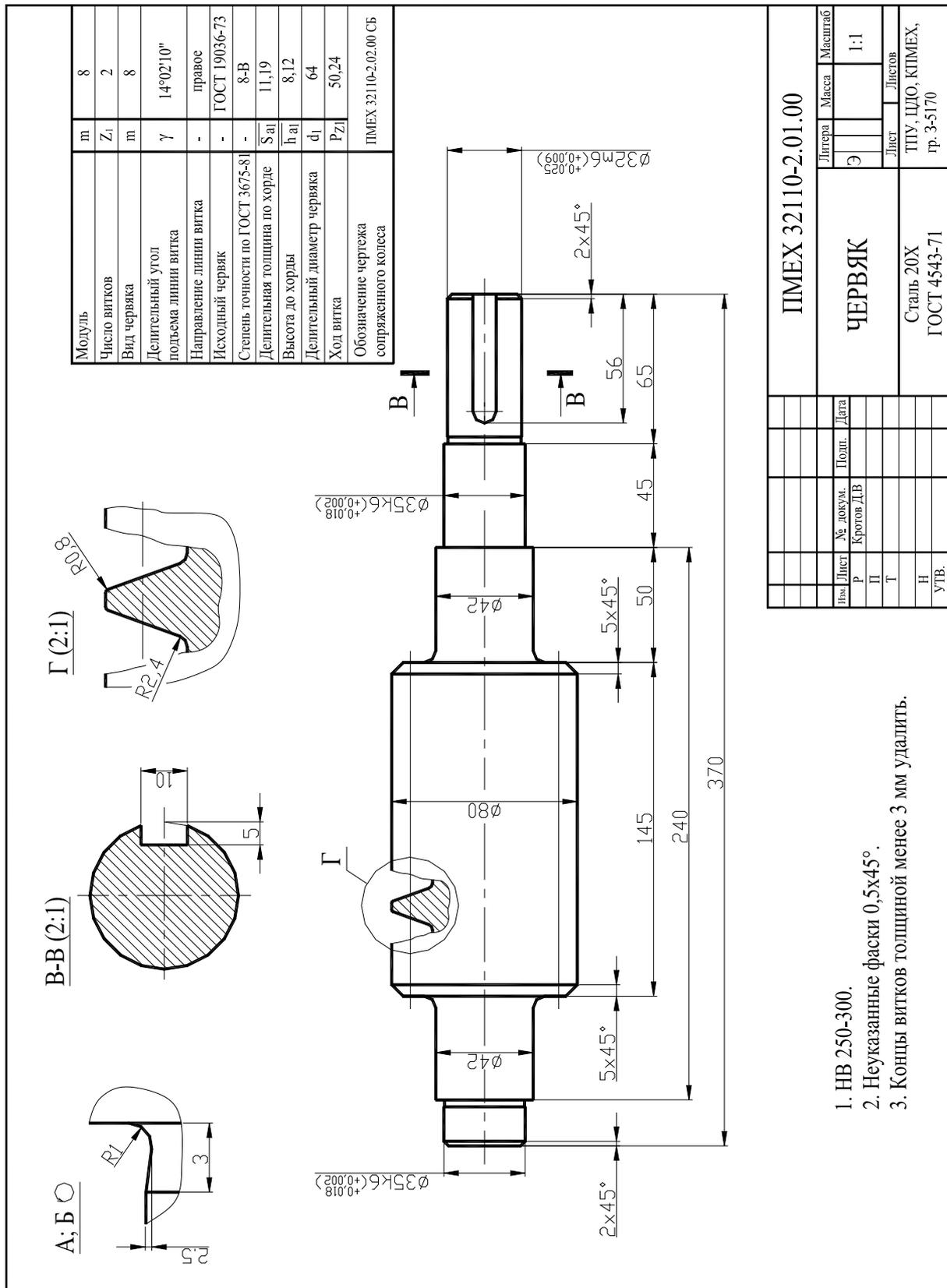


Рис. 4. Пример выполнения эскизного чертежа червяка

Правила проектирования и оформления конструкторской документации стандартизованы.

Более подробную информацию можно получить по нижеперечисленным разделам в следующих литературных источниках:

Общие сведения о конструкциях редукторов	[3, с. 477-517].
Выполнение чертежей деталей	[4, с. 318-372].
Зубчатые и червячные передачи	[2, с. 241-411; 4, с. 34-55].
Валы и оси	[2, с. 10-26; 4, с. 56-79, 137-147, 164-188, 403-404].
Подшипники качения и опорные узлы	[2, с. 59-182; 4, с. 79-130, 380-390].
Шпоночные соединения	[2, с. 520-531, 4, с. 56-57, 405].
Уплотнения подвижных соединений	[3, с. 183-224; 4, с. 147-163, 400-403].
Клиноременные передачи	[2, с. 461-501; 4, с. 260-271].
Цепные передачи	[2, с. 412-447; 4, с. 272-273].
Муфты	[2, с. 183-232; 4, с. 274-300].
Электродвигатели	[3, с. 534-543; 4, с. 378-379].
Материалы и термическая обработка	[1, с. 101-210; 4, с. 324-325].
Шероховатость поверхности	[1, с. 270-279; 4, с. 322-324].
Допуски и посадки	[1, с. 280-363; 4, с. 320-321].
Допуски зубчатых и червячных передач	[2, с. 276-294, 338-349, 352-405].
Конструктивные элементы	[1, с. 364-473].
Технологичность конструкций	[1, с. 474-507].
Крепежные изделия	[1, с. 508-595].

## 6.1 Литература

1. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т. 1. - М.: Машиностроение, 1992. - 816 с.
2. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т. 2. - М.: Машиностроение, 1992. - 783 с.
3. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т. 3. - М.: Машиностроение, 1992. - 720 с.
4. Боков В.И. Детали машин: Атлас. - М.: Машиностроение, 1983. - 164с.
5. Гурин В.В. Прикладная механика: Учеб. пособие. - Томск: Изд. ТПУ, 2002. - 239 с.
6. Гурин В.В., Замятин В.М. Расчет и конструирование узлов и деталей машин (для машиностроительных специальностей): Учеб. пособие. / Томск: Том. политех. ун-т. – Томск: Изд. ТПУ, 2003. – 283 с.

7. Гурин В.В., Замятин В.М. Расчет и конструирование узлов и деталей машин (для машиностроительных специальностей): Справочное пособие. / Томск: Том. политех. ун-т. – Томск: Изд. ТПУ, 2003. – 246 с.

8. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин. - М.: Высш. шк., 1978. - 352 с.

9. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Детали машин. Курсовое проектирование. - М.: Высш. шк., 1984. - 336 с.

10. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. - М.: Высш. шк., 1985. - 416 с.

11. Кузьмин А.В. Курсовое проектирование деталей машин. Часть 1. - Минск: Вышэйш. шк., 1982. - 208 с.

12. Кузьмин А.В. Курсовое проектирование деталей машин. Часть 2. - Минск: Вышэйш. шк., 1982. - 334 с.

13. Орлов П.И. Основы конструирования. Т. 1. - М.: Машиностроение, 1988. - 560 с.

14. Орлов П.И. Основы конструирования. Т. 2. - М.: Машиностроение, 1988. - 543 с.

15. Тарабасов Н.Д., Учаев П.Н. Проектирование деталей и узлов машиностроительных конструкций. - Л.: Машиностроение, 1983. - 240 с.

16. Цехнович Л.И., Петриченко И.П. Атлас конструкций редукторов. - Киев, Вища шк., 1990. - 151 с.

17. Чернавский С.А. и др. Проектирование механических передач /С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцев. - М.: Машиностроение, 1984. - 558 с.

18. Чернилевский Д.В. Курсовое проектирование деталей машин и механизмов. - М.: Высш. шк., 1980. - 239 с.

19. Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин. - М.: Высш. шк., 1991. - 432 с.

*Примечание:* курсивом выделена дополнительная литература.

## **6.2 Основные правила выполнения конструкторской документации**

Курсовой проект, выполняемый студентом при изучении курса «Механика», представляют собой совокупность конструкторских документов:

- графических (чертежи, схемы);
- текстовых (пояснительная записка, спецификация).

Графические документы также могут содержать текстовую часть.

Правила, порядок разработки и оформления конструкторских документов регламентированы комплексом стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и распространяются на все виды изделий машиностроения и приборостроения.

Выборка стандартов, необходимых при выполнении проекта изделия, приведена в таблице 12.

**Выборка стандартов**

ГОСТ 2.001-93 ЕСКД	Общие положения
ГОСТ 2.004-88 ЕСКД	Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ
ГОСТ 2.101-68 ЕСКД	Виды изделий
ГОСТ 2.102-68 ЕСКД	Виды и комплектность конструкторских документов
ГОСТ 2.103-68 ЕСКД	Стадии разработки
ГОСТ 2.104-68 ЕСКД	Основные надписи
ГОСТ 2.105-95 ЕСКД	Общие требования к текстовым документам
ГОСТ 2.106-68 ЕСКД	Текстовые документы
ГОСТ 2.108-68 ЕСКД	Спецификация
ГОСТ 2.109-73 ЕСКД	Основные требования к чертежам
ГОСТ 2.118-73 ЕСКД	Техническое предложение
ГОСТ 2.119-73 ЕСКД	Эскизный проект
ГОСТ 2.120-73 ЕСКД	Технический проект
ГОСТ 2.201-80 ЕСКД	Обозначения изделий и конструкторских документов
ГОСТ 2.307-68 ЕСКД	Нанесение размеров и предельных отклонений
ГОСТ 2.310-68 ЕСКД	Нанесение на чертежах обозначений покрытий, термической и других видов обработки
ГОСТ 2.316-68 ЕСКД	Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц
ГОСТ 2.321-84 ЕСКД	Обозначения буквенные
ГОСТ 2.701-84 ЕСКД	Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению
ГОСТ 3.1105-84 ЕСТД	Форма и правила оформления документов общего назначения
ГОСТ 3.1201-85 ЕСТД	Система обозначения технологической документации
ГОСТ 7.1-84 ССИБИД	Библиографическое описание документа
ГОСТ 7.9-95 ССИБИД	Реферат и аннотация
ГОСТ 7.12-93 ССИБИД	Сокращения русских слов и словосочетаний в библиографическом описании произведений печати
ГОСТ 19.101-77 ЕСПД	Виды программ и программных документов
ГОСТ 19.103-77 ЕСПД	Обозначения программ и программных документов
ГОСТ 19.106-78 ЕСПД	Требования к программным документам, выполненным печатным способом
ГОСТ 19.401-78 ЕСПД	Текст программы. Требования к содержанию и оформлению
ГОСТ 19.502-78 ЕСПД	Описание программы
ГОСТ 19.404-79 ЕСПД	Пояснительная записка
ГОСТ 19.701-90 ЕСПД	Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения
ГОСТ 24.301-80	Система технической документации на АСУ. Общие требования к текстовым документам
ГОСТ 24.303-80	Система технической документации на АСУ. Общие требования к выполнению схем
ГОСТ 24.304-80	Система технической документации на АСУ. Обозначения условные графические технических средств
ГОСТ 8.417-81	Единицы физических величин



К деталям относят также изделия, упомянутые выше, с покрытиями (например, вал, подвергнутый хромированию) или изготовленные из одного куска материала с применением местной сварки, пайки, склейки (*например, труба, спаянная из одного куска листового материала*).

**Сборочная единица** - изделие, составные части которого соединяют между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, сваркой, пайкой, развальцовкой и т.п.), *например, редуктор, сварной корпус и т.п.*

К сборочным единицам относят также изделия, для которых конструкцией предусмотрена разборка их на составные части предприятием-изготовителем, например, для удобства упаковки и транспортировки.

**Комплекс** - два и более специфицированных изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций, *например, бурильная установка.*

**Комплект** - два и более изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющие собой набор изделий, *например, комплект запасных частей, комплект измерительной аппаратуры.*

**Покупные изделия** - изделия, не изготавливаемые на данном предприятии, а получаемые им в готовом виде (за исключением деталей, получаемых в порядке кооперирования).

### 6.2.3 Виды конструкторских документов

К **конструкторским документам** (для краткости именуемым в дальнейшем словом «документ») относят графические и текстовые документы, которые в отдельности или в совокупности определяют состав и устройство изделия и содержат необходимые данные для его разработки или изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта.

По ГОСТ 2.102-68 устанавливаются следующие **виды конструкторских документов**:

- чертеж детали;
- сборочный чертеж;
- чертеж общего вида;
- теоретический чертеж;
- схема;
- спецификация;
- ведомость спецификаций;
- пояснительная записка;
- технические условия;
- габаритный чертеж;
- электромонтажный чертеж;
- монтажный чертеж;

- упаковочный чертеж;
- таблица;
- расчет;
- инструкция;
- патентный формуляр.

В учебном проектировании преимущественно создаются конструкторские документы следующих видов:

**Чертеж детали** - документ, содержащий изображение детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля.

**Сборочный чертеж** (код СБ) - документ, содержащий изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для ее сборки (изготовления) и контроля (разрабатывается на основании чертежей общего вида и чертежей отдельных деталей).

**Чертеж общего вида** (код ВО) - документ, определяющий конструкцию изделия, взаимодействие его основных частей и поясняющий принцип работы изделия.

В учебном проектировании чертеж общего вида включает в себя элементы:

- «теоретического чертежа» (код ТЧ), определяющего геометрическую форму изделия и координаты расположения составных частей;
- «габаритного чертежа» (код ГЧ) (указываются габаритные, установочные и присоединительные размеры, причем установочные и присоединительные размеры должны быть с предельными отклонениями),
- «монтажного чертежа» (код МЧ), содержащего данные для установки изделия на месте применения.

**Схема** - документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними. Номенклатура различных видов схем и их обозначений установлена ГОСТ 2.701-84.

**Спецификация** - документ, определяющий состав сборочной единицы или комплекса.

**Пояснительная записка** (код ПЗ) - документ, содержащий описание устройства и принципа действия разрабатываемого изделия, а так же обоснование принятых при его разработке технических и технико-экономических решений, сопровождаемые необходимыми расчетами.

**Технические условия** (код ТУ) - документ, содержащий требования к изделию, его изготовлению, контролю, приемке и поставке, которые целесообразно указывать в других конструкторских документах.

**Таблица** (код ТБ) - документ, содержащий в зависимости от его назначения соответствующие данные, сведенные в таблицу.

**Расчет** (код РР) - документ, содержащий расчеты параметров и величин, например, расчет на прочность и т.п.

Различают следующие **виды комплектности конструкторских документов**:

**1. основной конструкторский документ:**

- чертеж детали (для деталей);

- спецификация (для сборочной единицы, комплекса или комплекта);

## **2. основной комплект конструкторских документов:**

- конструкторские документы, относящиеся ко всему изделию, *например, сборочный чертеж*;

- принципиальная электрическая схема;

- технические условия;

- эксплуатационные документы.

## **3. полный комплект конструкторских документов:**

- основной комплект конструкторских документов на данное изделие,

- основные комплекты конструкторских документов на все основные части изделия, примененные по своим основным конструкторским документам.

**Основным документам код не присваивают.**

**Уровень оформления учебных конструкторских документов** должен соответствовать оригиналам или подлинникам.

**Оригиналы** - документы, выполненные на любом материале и предназначенные для выполнения по ним подлинников.

**Подлинники** - документы, оформленные подлинными установленными подписями и выполненные на любом материале, позволяющем многократное воспроизведение с них копий, завизированные подлинными подписями лиц, разработавших данный документ.

### **6.2.4 Стадии разработки**

ГОСТ 2.103-68 устанавливает следующие стадии разработки конструкторской документации на изделия всех отраслей промышленности и этапы выполнения работ:

#### **1. Техническое задание.**

Содержит:

- общие сведения о назначении и разработке создаваемой конструкции,  
- предъявляемые к создаваемой конструкции эксплуатационные требования,

- режим работы,

- основные характеристики создаваемой конструкции:

- геометрические,

- кинематические,

- силовые,

- т.п.).

#### **2. Техническое предложение.**

Представляет собой совокупность документов, дополняющих и уточняющих требования к проектируемому изделию (технические характеристики, показатели качества и др.), которые не могли быть указаны в техническом задании, но которые целесообразно сделать на основе предварительной конструкторской проработки и анализа различных вариантов возможных реше-

ний изделия.

Техническое предложение - основание для разработки эскизного и технического проектов.

При курсовом проектировании студентами *немашиностроительных специальностей* этот этап не разрабатывается.

### 3. Эскизный проект (ГОСТ 2.119-73).

Это - совокупность документов, содержащих:

- принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы изделия,
- данные, определяющие:
- назначение разрабатываемого изделия,
- основные параметры разрабатываемого изделия,
- габаритные размеры разрабатываемого изделия.

Эскизный проект разрабатывается обычно в нескольких (или в одном) вариантах и сопровождается обстоятельными расчетами и анализом полученных результатов.

Эскизный проект служит основанием для разработки технического проекта и рабочей документации.

### 4. Технический проект (ГОСТ 2.120-73).

Представляет собой совокупность документов, содержащих:

- окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве разрабатываемого изделия,
- исходные данные для разработки рабочей конструкторской документации.

Технический проект охватывает полную конструкторскую разработку всех элементов оптимального эскизного проекта с внесением необходимых поправок и изменений, рекомендованных при утверждении эскизного проекта.

### 5. Рабочая документация.

Является заключительной стадией конструирования, включающая в себя создание конструкторской документации, необходимой для изготовления всех ненормализованных деталей:

- чертежи деталей,
- чертежи сборочных чертежей,
- спецификации.

В соответствии со стадиями разработки документам присваивают соответствующую литеру:

- |  |               |
|--|---------------|
| на стадии технического предложения   | - литеру «П»; |
| на стадии эскизного проекта  | - литеру «Э»; |
| на стадии технического проекта   | - литеру «Т»; |
| конструкторским документам, предназначенным для разового изготовления одной или нескольких деталей | - литеру «И». |

## 6.2.5 Кинематические схемы

Кинематическая схема представляет собой чертеж, на котором при помощи условных обозначений и контурных очертаний элементов дается упрощенное изображение кинематической связи между отдельными звеньями данного механизма или изделия.

Кинематическая схема показывает последовательность передачи движения от источника движения (двигателя) через передаточный механизм к исполнительным органам изделия (механизма). Условные обозначения для кинематических схем, изображаемых в ортогональных и аксонометрических проекциях, установлены ГОСТ 2.770-68.

Выборка из ГОСТ 2.770-68 в той мере, которая необходима для понимания технических заданий на курсовой проект, приведена в таблице 10 (см. с. 61, с. 62).

## 6.3 Содержание и объем курсового проекта

### 6.3.1 Задания на курсовое проектирование

Исходные данные для выполнения курсового проекта следует принять в соответствии со своим личным шифром (см. с. 4) в следующем порядке:

1. По последней цифре шифра выбирается схема привода (см. с. 69, 70).
2. По первой слева цифре шифра из таблицы 14 выбирается номинальная мощность, передаваемая приводом.
3. По второй слева цифре шифра из таблицы 14 выбирается реверсивность привода.
4. По третьей слева цифре шифра из таблицы 14 выбирается частота вращения выходного вала привода.
5. По четвертой слева цифре шифра таблицы 14 выбирается срок службы привода.

Для всех заданий: нагрузка – спокойная, постоянная.

Таблица 14

### Исходные данные к выполнению курсового проекта

Цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Частота вращения выходного вала привода, об/мин	<i>Для схем привода № 0, № 1, № 2, № 6, № 7, № 8, № 9</i>									
	190	180	100	120	130	140	160	150	170	110
	<i>Для схем привода № 3, № 4, № 5</i>									
	47	51	39	43	31	35	23	27	15	19
Мощность на выходном валу привода, Вт	1300	700	1100	800	500	1200	900	1400	600	1000
Срок службы привода, тысяч часов	20	23	26	29	32	35	38	41	44	47
Реверсивность	Н	Р	Н	Р	Н	Р	Н	Р	Н	Р

Например, студент, имеющий личный шифр 91407, должен выполнить контрольную работу по следующим исходным данным:

1. Схема привода - № 7.
2. Привод - нереверсивный.
3. Частота вращения выходного вала привода - 120 об/мин.
4. Срок службы привода - 47000 часов.
5. Номинальная мощность, передаваемая приводом – 600 Вт.

Схема № 0  
Привод цилиндрическо-цилиндрический

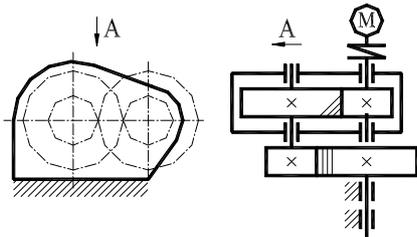


Схема № 1  
Привод цилиндрическо-цепной

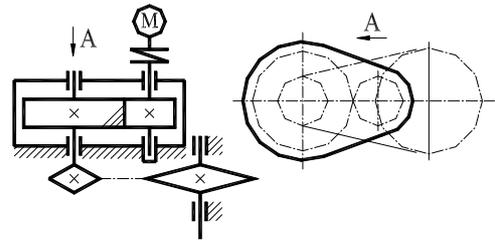


Схема № 2  
Привод ременно-цилиндрический

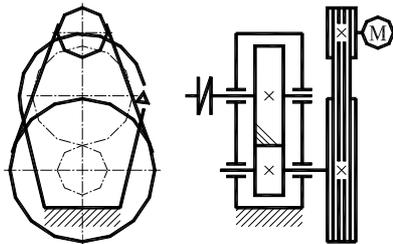


Схема № 3  
Привод червячно-цепной

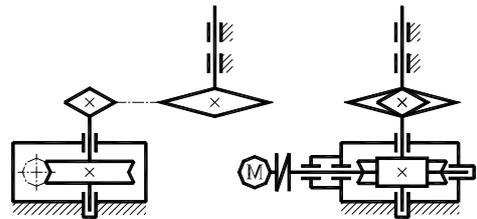


Схема № 4  
Привод червячно-цилиндрический

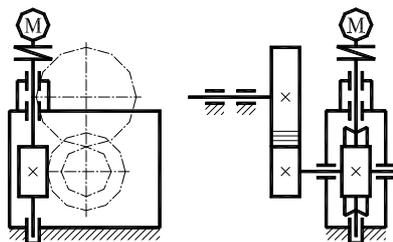


Схема № 5  
Привод ременно-червячный

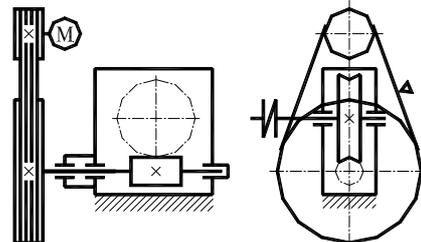


Схема № 6  
Привод коническо-цилиндрический

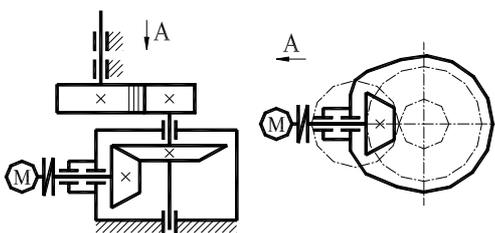


Схема № 7  
Привод коническо-цепной

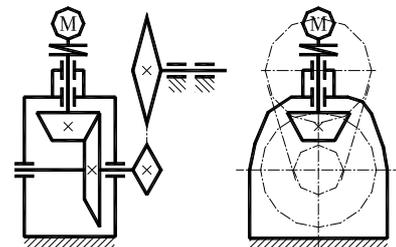


Схема № 8  
Привод ременно-цилиндрический

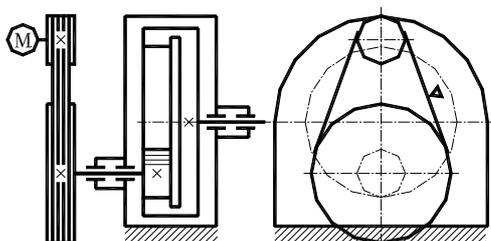
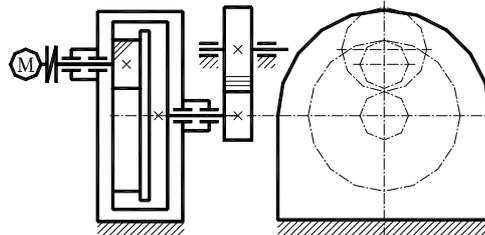


Схема № 9  
Привод цилиндрическо-цилиндрический



## 6.3.2 Содержание и объем курсового проекта

### 6.3.2.1 Расчет и эскизный проект

**Расчет и эскизный проект** (см. п.п. 3-20 таблицы 15) следует выполнить **для всего привода**, состоящего из асинхронного электродвигателя, муфты, одноступенчатого редуктора и открытой передачи.

Должен быть выполнен **общий вид привода на стадии «Эскизный проект»** с максимальными упрощениями (по ГОСТ 2.119-73 и другим стандартам ЕСКД).

На этой стадии проектирования разрабатывается схема деления изделия на составные части (по ГОСТ 2.711-82).

Составные части изделия при эскизном проектировании изображают упрощенно, если при этом понятны конструктивное устройство, взаимодействие составных частей и принцип работы изделия.

Эскизный проект привода должен быть выполнен карандашом на бумаге с миллиметровой сеткой или на чертежной бумаге.

Возможно выполнение чертежей на персональном компьютере (при использовании программ AutoCAD версии 2000 и выше) с распечаткой результатов на принтере или на плоттере.

При выполнении *эскизного* проекта привода студент должен решить ряд конструкторских задач:

- выбрать и разработать конструкции основных деталей с учетом максимального обеспечения их технологичности;
- выбрать:
  - типы соединений деталей,
  - способы фиксации деталей на валах;
  - способы фиксации валов в опорах;
- предусмотреть возможность:
  - сборки и разборки узлов,
  - регулировки зазоров в зацеплениях зубчатых колес,
  - регулировки зазоров в подшипниках;
- натяжения:
  - ремня в ременной передаче,

- цепи в цепной передаче;
  - выбрать системы смазки:
    - зацепления,
    - подшипников;
  - выбрать виды уплотняющих устройств.
- На *эскизном* чертеже общего вида привода должны быть приведены:
- размеры:
    - габаритные,
    - установочные (с предельными отклонениями),
    - присоединительные (с предельными отклонениями);
  - номера позиций сборочных единиц, составляющих привод,
  - номера деталей, не вошедших в сборочные единицы;
  - техническая характеристика привода;
  - технические требования.

### 6.3.2.2 Технический проект

**Технический проект** (см. п.п. 21-24 таблицы 15) следует выполнить *только для одноступенчатого редуктора* (зубчатого или червячного).

Должен быть выполнен **общий вид редуктора** привода в достаточном для полного представления всех элементов редуктора количестве проекций с необходимыми разрезами, сечениями.

Так как при выполнении курсового проекта не прорабатывается полный пакет конструкторской документации по редуктору, то **в учебном проектировании при разработке технического проекта редуктора упрощения не допускаются**, за исключением того, что можно не указывать на чертеже мелкие элементы: фаски, скругления, углубления, выступы, насечки, рифление, надписи на табличках и т.п.

На чертеже общего вида редуктора должно быть

- изображено все необходимое для понимания конструктивного устройства редуктора, взаимодействия его составных частей и принципа работы редуктора:

- виды,
- разрезы,
- сечения редуктора,
- надписи,
- текстовая часть,
- указаны все посадочные размеры с обозначением посадок по ГОСТ 25346-82 и ГОСТ 25347-82;
- указаны размеры:
  - габаритные,
  - межосевые (с предельными отклонениями),
  - установочные (с предельными отклонениями),
  - присоединительные (с предельными отклонениями);
- указаны номера позиций деталей;
- приведена техническая характеристика редуктора;

- приведены технические требования.

**Технический проект редуктора** должен быть выполнен **карандашом только на чертежной бумаге**.

Возможно выполнение чертежей на персональном компьютере (при использовании программ AutoCAD версии 2000 и выше) с распечаткой результатов на принтере или на плоттере.

### **6.3.2.3 Рабочая документация**

На стадии проектирования «**Рабочая документация**» на основании чертежа общего вида разрабатываются, в соответствии с ГОСТ 2.109-73:

- чертежи деталей,
- сборочный чертеж со спецификацией,
- монтажный (или электромонтажный) чертеж,
- габаритный и упаковочный чертежи.

При **учебном** проектировании монтажный (электромонтажный), габаритный и упаковочный чертежи не разрабатываются.

При выполнении курсового проекта из рабочей документации выполнению (см. п.п. 25, 26 таблицы 15) подлежат только:

- спецификация на привод;
- спецификация на редуктор;
- рабочий чертеж на выходной вал редуктора;
- рабочий чертеж на выходное колесо редуктора (*для редукторов с цилиндрическими и коническими зубчатыми колесами*);
- сборочный чертеж червячного колеса (*для червячных редукторов*);
- спецификация на червячное колесо (*для червячных редукторов*).

**Сборочный чертеж червячного колеса и рабочие чертежи деталей** должны быть выполнены **карандашом только на чертежной бумаге**.

Возможно выполнение чертежей на персональном компьютере (при использовании программ AutoCAD версии 2000 и выше) с распечаткой результатов на принтере или на плоттере.

#### **6.3.2.3.1 Червячное колесо**

Правила выполнения чертежей червячных колес установлены ГОСТ 2.406-76.

На **сборочном чертеже червячного колеса** должны быть:

- изображены виды и разрезы червячного колеса,
- нанесена необходимая текстовая часть;
- указаны номера позиций деталей;
- указан посадочный размер в соединении зубчатого венца и ступицы (если колесо сборное) с обозначением посадки по ГОСТ 25346-82 и ГОСТ 25347-82;
- указаны габаритные и другие размеры, необходимые для изготовления и контроля параметров червячного колеса;
- приведены необходимые технические требования;
- параметры, характеризующие зубчатый венец:

- диаметр вершин зубьев;
- ширину венца;
- расстояние базового торца до средней торцевой плоскости колеса;
- наибольший диаметр;
- радиус выемки поверхности вершин зубьев;
- размер фасок или радиусы кривизны линий притупления на кромках зубьев (*допускается помещать эти размеры в технических требованиях*);
- шероховатость боковых поверхностей зубьев.

**Таблица параметров** должна состоять из трех частей.

В части 1 таблицы параметров должны быть указаны **основные параметры для нарезания зубьев**:

- модуль;
- число зубьев колеса;
- вид сопряженного червяка;
- направление линии зуба;
- исходный производящий червяк;
- коэффициент смещения червяка;
- степень точности и вид сопряжения по нормам бокового зазора.

Часть 2 содержит **данные для контроля зубчатого венца** (при учебном проектировании не разрабатывается).

В части 3 таблицы параметров должны быть приведены **справочные данные**:

- делительный диаметр;
- межосевой угол передачи;
- межосевое расстояние;
- число витков сопряженного червяка;
- обозначение чертежа червяка.

Обозначения данных в таблице - по ГОСТ 2.406-76.

*Неиспользованные строки в таблице допускается исключать или прочеркивать.*

#### **6.3.2.3.2 Цилиндрическое колесо**

Правила выполнения чертежей зубчатых цилиндрических колес установлены ГОСТ 2.403-75.

На **чертеже цилиндрического зубчатого колеса** должны быть:

- изображены необходимые виды и разрезы цилиндрического колеса;
- нанесена необходимая текстовая часть;
- указаны габаритные и другие размеры, необходимые для изготовления колеса;
- условные обозначения баз;
- допуски формы и расположения поверхностей;

- параметры шероховатости;
- технические требования:
- требования к материалу,
- требования к заготовке,
- требования к термической обработке;
- указания о размерах - размеры для справок, радиусы закруглений и

т.п.;

- неуказанные предельные отклонения размеров;
- параметры, характеризующие зубчатый венец:
  - диаметр вершин зубьев;
  - ширина зубчатого венца;
  - размер фасок или радиусы кривизны линий притупления на кромках зубьев (*допускается помещать эти размеры в технических требованиях*);
  - шероховатость боковых поверхностей зубьев.

**Таблица параметров** должна состоять из трех частей:

В части 1 таблицы параметров должны быть указаны **основные параметры для нарезания зубьев**:

- модуль;
- число зубьев колеса;
- угол наклона зуба;
- направление линии зуба с надписью «Левое», «Правое» или «Шевронное»;
- исходный контур:
  - стандартный - со ссылкой на соответствующий стандарт,
  - нестандартный - указать угол профиля,
- коэффициент высоты головки,
- коэффициент радиального зазора,
- коэффициент радиуса кривизны переходной кривой;
- коэффициент смещения;
- степень точности,
- вид сопряжения по нормам бокового зазора.

Часть 2 содержит **данные для контроля зубчатого венца** (при учебном проектировании не разрабатывается).

В части 3 таблицы должны быть приведены **справочные данные**:

- делительный диаметр;
- обозначение чертежа сопряженной шестерни.

Обозначения данных в таблице - по ГОСТ 2.403-75.

*Неиспользованные строки в таблице допускается исключать или подчеркивать.*

### **6.3.2.3.3 Коническое колесо**

Правила выполнения чертежей зубчатых конических колес установле-

ны ГОСТ 2.405-75.

На чертеже конического зубчатого колеса должны быть:

- изображены необходимые виды и разрезы конического колеса,
- нанесена необходимая текстовая часть;
- указаны габаритные и другие размеры, необходимые для изготовления и контроля параметров колеса;
- условные обозначения баз;
- допуски формы и расположения поверхностей;
- параметры шероховатости;
- технические требования:
  - требования к материалу,
  - требования к заготовке,
  - требования к термической обработке;
- указания о размерах - размеры для справок, радиусы закруглений и т.п.;
- неуказанные предельные отклонения размеров;
- параметры, характеризующие зубчатый венец:
  - внешний диаметр вершин зубьев;
  - расстояние от базовой плоскости до плоскости внешней окружности вершин зубьев;
  - угол конуса вершин зубьев;
  - угол дополнительного конуса или его дополнительный угол;
  - ширина зубчатого венца по образующей делительного конуса;
  - размер фасок или радиусы кривизны линий притупления на кромках зубьев (допускается помещать эти размеры в технических требованиях);
  - расстояние от базовой плоскости до вершины делительного конуса (базовое расстояние);
  - шероховатость боковых поверхностей зубьев.

**Таблица параметров** должна состоять из трех частей.

В части 1 таблицы параметров должны быть указаны **основные параметры для нарезания зубьев**:

- внешний окружной модуль;
- число зубьев колеса;
- тип зуба с надписью «Прямой», «Тангенциальный» или «Круговой»;
- исходный контур
  - стандартный - со ссылкой на соответствующий стандарт,
  - нестандартный
    - угол профиля,
    - коэффициент высоты головки,
    - коэффициент радиального зазора,
    - коэффициент радиуса кривизны переходной кривой;
- коэффициент смещения;

- коэффициент изменения толщины зуба;
- угол делительного конуса;
- степень точности;
- вид сопряжения по нормам бокового зазора.

Часть 2 содержит **данные для контроля зубчатого венца** (при учебном проектировании не разрабатывается).

В части 3 таблицы должны быть приведены **справочные данные**:

- средний делительный диаметр;
- межосевой угол передачи;
- среднее конусное расстояние;
- внешнее конусное расстояние;
- угол конуса впадин;
- внешняя высота зуба;
- обозначение чертежа сопряженной шестерни.

Обозначения данных в таблице - по ГОСТ 2.405-75.

Неиспользованные строки в таблице допускается исключать или подчеркивать.

#### **6.3.2.3.4 Выходной вал редуктора**

На чертеже должен быть изображен вал с указанием основных конструктивных элементов, форма и размеры которых регламентирована соответствующими стандартами:

- ГОСТ 12080-66 - концы валов цилиндрические,
- ГОСТ 12081-72 - концы валов конические,
- ГОСТ 10549-80 - канавки для выхода резьбонарезного инструмента,
- ГОСТ 8820-69 - технологические канавки для выхода шлифовального круга,
- ГОСТ 10948-64 - фаски и скругления,
- ГОСТ 14034-74 - центровые отверстия,
- ГОСТ 24266-80 - параметры концов валов редукторов,
- ГОСТ 23360-78 - шпонки призматические,
- ГОСТ 24071-80 - шпонки сегментные,
- ГОСТ 2.309-73 - шероховатость поверхности,
- ГОСТ 2.308-79, ГОСТ 24642-81- допуски формы и расположения поверхностей,

ГОСТ 25346-82, ГОСТ 25347-82 - допуски и посадки.

На чертеже вала должны быть приведены:

- все необходимые виды и сечения;
- все необходимые размеры;
- условные обозначения баз;
- допуски формы и расположения;
- параметры шероховатости;
- технические требования:

- требования к материалу, заготовке, термической обработке;
- указания о размерах - размеры для справок, радиусы закруглений и т.п.;
- неуказанные предельные отклонения размеров.

При выполнении чертежей общего вида (эскизного – привода и технического - редуктора) обратить внимание на специфику выполнения чертежей в учебном проектировании.

Техническое задание на проектирование, все расчеты и обоснования технических решений при проектировании привода и редуктора, список использованной технической литературы приводятся в пояснительной записке.

#### 6.4 Рекомендуемый порядок выполнения проекта

Выполнение проекта рекомендуется проводить в порядке, приведённом в табл. 15.

Результаты решения каждой расчетной (или расчетно-графической) задачи целесообразно приводить в табличном виде. Все расчеты выполнять в единицах *SI*.

Оформление текстовой части проекта производить в соответствии с требованиями существующих стандартов на оформление текстовых документов.

Графические работы выполнять в соответствии с требованиями ЕСКД (см. [6], [7]).

Таблица 15

#### Стадии проектирования

№ п/п	Стадии проектирования и их этапы	Литература, рекомендуемая для использования при решении данной задачи
<b>ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ</b>		
1	Кинематическая схема привода	с. 80-81 данной рабочей программы
2	Параметры проектируемого привода	с. 79-80 данной рабочей программы
<b>ЭСКИЗНЫЙ ПРОЕКТ</b>		
3	Определение требуемой мощности асинхронного электродвигателя и частоты вращения его ротора. Подбор электродвигателя по каталогу	[8, с. 8], [9, с. 4-7], [10, с. 4-6], [11, с. 16-20, 23-39], [17, с. 22-27], [19, с. 38-41]
4	Определение значения общего передаточного числа привода и его разбивка по ступеням	[8, с. 9-10], [9, с. 6-9], [10, с. 6, 7], [11, с. 20-39], [15, с. 28-34, с. 40-41, 46-48, 51-67, 72], [19, с. 41-45]
5	Определение мощностей, частот вращения, угловых скоростей и крутящих моментов на отдельных элементах привода	[9 с. 8, 9], [10, с. 7,8], [18, с. 19, 20, 212], [19, с. 45-47]

Продолжение таблицы 15

№ п/п	Стадии проектирования и их этапы	Литература, рекомендуемая для использования при решении данной задачи
6	Выбор материалов колес передачи редуктора (закрытой передачи) или материалов червяка и венца червячного колеса (для червячных редукторов) и определение их механических характеристик	[10, с. 8-10, 20-21], [12, с.3-6], [17, с. 85-97, 207-215], [18, с. 41-49, 74-78] [19, 47-56], [9, с.9-11, 26-28],
7	Определение размеров элементов закрытой зубчатой (или червячной) передачи на основании расчета на усталостную контактную прочность	[10, с. 10-14, 16-18, 21, 22], [11, с. 95-99, 115-121, 128, 168-171, 180-190], [12, с. 7-13], [17, с. 97-109, 126-140, 215 -229], [18, с. 49 -53, 56-60, 76-82], [19, с. 58-61, 65-68, 71-73]
8	Эскизная проработка конструкций элементов закрытой зубчатой (или червячной) передачи с необходимым округлением значенных размеров до стандартных или рекомендуемых	[8, с. 24-28, 31-37], [10, с. 41-45], [11, с. 135-139], [15, с. 94-103], [19, с. 59, 66, 72], [12, с. 7-12]
9	Проверка прочности зубьев колес закрытой зубчатой передачи (или зубьев колеса червячной передачи) по контактным напряжениям и (при необходимости) корректировка размеров передачи	[9, с. 16, 24, 29, 30], [10, с. 15,19, 20, 22, 23], [11, с. 111, 112, 126, 127], [12, с.21], [17, с. 98, 99, 103, 104, 218], [18, с. 53, 61], [19, с. 61-63, 68, 69, 74, 127, 218],
10	Определение составляющих силы в зацеплении закрытой зубчатой (или червячной) передачи	[9, с. 15, 23, 30, 31], [10, с. 14, 19, 23], [11, с. 106, 107, 122, 123], [12, с. 12, 13], [17, с. 109, 138-140, 224, 225], [18, с. 53, 59, 60, 81], [19, с. 61, 69, 74, 96-100]
11	Проверка прочности зубьев колес закрытой зубчатой передачи (или колеса червячной передачи) по изгибным усталостным напряжениям и (при необходимости) корректировка размеров передачи	[9, с. 15, 16, 24, 31], [10, с. 14, 15, 19, 23, 24], [11, с. 112-115, 129, 130], [12, с. 16], [17, с. 101, 102, 128, 129, 219], [18, с. 55, 56, 61, 82, 83], [19, с. 63, 64, 69, 70, 74, 75]
12	Определение коэффициента полезного действия (КПД) червячной передачи и тепловой расчет (для червячных редукторов)	[9, с. 30, 31], [10, с. 23, 24], [12, с. 21, 24] [17, с. 225-229], [19, с. 80-84],
13	Расчет клиноременной передачи (если она есть в заданной схеме привода). Эскизная проработка конструкций элементов клиноременной передачи	[9, с. 64-68], [10, с. 260-272], [11, с. 38, 39, 44, 45, 51-61], [17, с. 262-271, 274-277], [18, с. 92-99], [19, с. 82-88, 230-236]
14	Расчет цепной передачи (если она есть в заданной схеме привода). Эскизная проработка конструкций элементов цепной передачи	[10, с. 272-274], [11, с. 63-81], [17, с. 278-288], [18, с. 100-105], [19, с. 89-95, 233-236]
15	Расчет открытой зубчатой передачи (если она есть в заданной схеме привода). Эскизная проработка элементов открытой зубчатой передачи	[10, с. 8-20, 41-45, 48-52], [17, с. 85-109, 128, 129, 138-140], [19, с. 47-56, 58-61, 63-70, 74, 75, 89]

№ п/п	Стадии проектирования и их этапы	Литература, рекомендуемая для использования при решении данной задачи
16	Проектный расчет валов привода. Предварительный выбор схем подшипниковых узлов, подбор подшипников качения и соединительных муфт. Расчет шпоночных соединений	[9, с. 35-38, 71, 72, 95-221], [10, с. 28-31, 56, 57, 137- 144, 274-310], [12, с. 46-54, 105-107], [17, с. 296, 297, 301-304, 309-341, 351-372, 456-486], [18, с. 145-153, 183-191], [19, с. 107-111, 179, 180, 236-240]
17	Обоснование выбора способов смазки элементов привода и назначение смазочных материалов для элементов привода	[9, с. 129-142], [10, с. 147-163], [17, с. 351-358, 441-449], [18, с. 173-183], [19, с. 240-250],
18	Эскизная компоновка привода	[8, с. 10-20, 38-93, 99-105, 126-131, 191-20], [9, с. 33-43], [10, с. 24-41, 56-79, 92-114, 154-175, 183-188, 233-258], [18, с. 112-121], [19, с. 112-121]
19	Определение реакций в опорах привода	[9, с. 80-85], [10, с. 79-82], [17, с. 293- 296, 351-358], [18, с. 119-122], [19, с. 122, 127]
20	Проверка ранее назначенных подшипников качения привода по динамической грузоподъемности и по долговечности (в случае необходимости – корректировка типоразмеров подшипников)	[9, с. 84-88], [10, с. 82-88], [12, с. 108-112], [17, с. 359-374], [18, с. 113-122], [19, с. 128-143],
<b>ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ</b>		
21	Конструктивная компоновка привода	[1], [2], [3], [4, с. 15-19, 25, 26, 29, 30, 32, 41-50, 81, 83-100, 108-117, 120-140, 144, 145, 149, 154, 156], [8, с. 20-125, 153-188, 191-230], [10, с. 34-113, 116-144, 161-175, 183-188, 233-310], [13, с. 296-353, 472-548], [14, с. 57-96, 117-124], [15, с. 93-116], [16], [17, с. 316-358, 413-449, 456-486], [18, с. 122-183], [19, с. 144-240]
22	Проверочные расчеты валов редуктора. Построение эпюр изгибающих и крутящих моментов. Определение коэффициентов безопасности (коэффициентов запаса прочности) для возможных опасных поперечных сечений входного и выходного валов сечений редуктора	[9, с. 124-129], [10, с. 144-147], [17, с. 296-300], [18, с. 153-159], [19, с. 122-127],
23	Нанесение размеров, номеров позиций. Назначение необходимых допусков и посадок.	[15, с. 74-78, 120-194], [18, с. 222-223]

№ п/п	Стадии проектирования и их этапы	Литература, рекомендуемая для использования при решении данной задачи
24	Окончательное оформление чертежей общего вида редуктора Выполнение текстовой части чертежей общего вида редуктора	[1], [2], [3], [4, с. 15, 19, 25, 26, 29, 30, 32, 41-50, 81, 83-100, 108-117, 120-140, 144-145, 149, 154, 156], [8, с. 20-125, 153-188, 191-230, 243-253], [10, с. 34-113, 116-144, 161-175, 183-188, 203-310, 361-413], [15, с. 120-194, 210-212], [16], [18, с. 192-235], [19, с. 266-284]
<b>РАБОЧАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ</b>		
25	Выполнение рабочих чертежей выходного вала редуктора и выходного колеса редуктора	[8, с. 253-307], [9, с. 235-278], [10, с. 318-361], [15, с. 120-194], [17, с. 506-517], [18, с. 192-211], [19, с. 284-314],
26	Оформление текстовой документации проекта (пояснительной записки и спецификаций)	[5], [9, с. 283-289], [10, с. 368-372], [15, с. 197-219], [17, с. 497-506], [18, с. 192-204], [19, с. 275-284, 300-302, 314-329]

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
Личный шифр студента .....	4
1 Цели и задачи учебной дисциплины .....	5
1.1 Цели преподавания дисциплины .....	5
1.2 Задачи изучения дисциплины .....	5
1.3 Перечень базовых дисциплин и их разделов, необходимых для изучения курса «Прикладная механика» .....	5
2 Содержание теоретического раздела дисциплины .....	6
Введение .....	6
2.1 Основы теории механизмов .....	6
Введение .....	6
2.1.1 Литература .....	6
2.1.2 Программа раздела «Основы теории механизмов» .....	6
Введение .....	6
2.1.2.1 Общие сведения .....	7
2.1.2.2 Структура элементов механизмов .....	7
2.1.2.3 Механизмы и их классификация .....	7
2.1.2.4 Кинематический анализ механизмов .....	7
2.1.2.6 Механический коэффициент полезного действия механизма .....	8
2.1.3 Вопросы для самопроверки .....	8
2.2 Основы сопротивления материалов .....	9
Введение .....	9

2.2.1 Литература .....	9
2.2.2 Программа раздела «Основы сопротивления материалов» .....	9
Введение .....	9
2.2.2.1 Общие сведения .....	10
2.2.2.2 Основные понятия и определения .....	10
2.2.2.3 Растяжение и сжатие .....	10
2.2.2.4 Изгиб прямолинейного бруса .....	11
2.2.2.5 Кручение .....	12
2.2.2.6 Сложное сопротивление .....	13
2.2.2.7 Местные напряжения .....	13
2.2.2.8 Прочность материалов при переменных напряжениях .....	14
2.2.3 Вопросы для самопроверки .....	15
2.3 Передаточные механизмы с круглыми колесами .....	16
Введение .....	16
2.3.1 Литература .....	17
2.3.2 Программа раздела «Передаточные механизмы с круглыми колесами» .....	18
Введение .....	18
2.3.2.1 Фрикционные передачи .....	18
2.3.2.2 Ременные передачи .....	19
2.3.2.3 Цепные передачи .....	19
2.3.2.4 Зубчатые цилиндрические передачи .....	19
2.3.2.5 Зубчатые пространственные передачи .....	21
2.3.3 Вопросы для самопроверки .....	22
2.4 Детали машин .....	25
Введение .....	25
2.4.1 Литература .....	25
2.4.2 Программа раздела «Детали машин» .....	26
Введение .....	26
2.4.2.1 Общие вопросы .....	27
2.4.2.2 Машиностроительные материалы .....	27
2.4.2.3 Основы взаимозаменяемости .....	27
2.4.2.4 Неразъемные соединения .....	28
2.4.2.5 Разъемные соединения .....	28
2.4.2.6 Валы и оси .....	29
2.4.2.7 Муфты .....	30
2.4.2.8 Опоры валов и осей .....	30
2.4.2.9 Смазочные материалы. Способы смазки. Уплотнения .....	31
2.4.3. Вопросы для самопроверки .....	31
3 Практические занятия .....	34
Введение .....	34
3.1 Литература .....	34
3.2 Темы практических занятий .....	35

4 Лабораторные работы .....	37
Введение .....	37
4.1 Литература .....	37
4.2 Темы лабораторных работ .....	37
5 Контрольные работы.....	40
5.1 Контрольная работа № 1 .....	40
5.1.1 Контрольная задача № 1.1.....	40
5.1.2 Контрольная задача № 1.2.....	42
5.2 Контрольная работа № 2 .....	45
5.2.1 Контрольная задача № 2.1.....	45
5.2.2 Контрольная задача № 2.2.....	51
6 Курсовое проектирование.....	55
Введение .....	55
6.1 Литература .....	61
6.2 Основные правила выполнения конструкторской документации .....	62
6.2.1 Форматы.....	64
6.2.2 Виды изделий.....	64
6.2.3 Виды конструкторских документов .....	65
6.2.4 Стадии разработки.....	67
6.2.5 Кинематические схемы .....	69
6.3 Содержание и объем курсового проекта.....	69
6.3.1 Задания на курсовое проектирование.....	69
6.3.2 Содержание и объем курсового проекта .....	71
6.3.2.1 Расчет и эскизный проект .....	71
6.3.2.2 Технический проект .....	72
6.3.2.3 Рабочая документация.....	73
6.3.2.3.1 Червячное колесо.....	73
6.3.2.3.2 Цилиндрическое колесо .....	74
6.3.2.3.3 Коническое колесо.....	75
6.3.2.3.4 Выходной вал редуктора .....	77
6.4 Рекомендуемый порядок выполнения проекта.....	78
Оглавление .....	81

## **ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА**

Рабочая программа, методические указания и индивидуальные задания на контрольные работы и на курсовой проект для студентов  
Института дистанционного обучения специальностей:

**140101 «Тепловые электрические станции»**

**140104 «Промышленная теплоэнергетика»**

**140601 «Электромеханика»**

**140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов»**

Составители: **Владимир Васильевич Гурин**  
**Владимир Маркович Замятин**

Рецензент: Л.А.Саруев, д.т.н., профессор каф. ТиПМ МСФ

Подписано к печати

Формат 60×84/16. Бумага ксероксная.

Плоская печать. Усл. печ. л. . Уч. -изд. л. .

Тираж экз. Заказ . Цена свободная.

Издательство ТПУ. 634034, Томск, пр. Ленина, 30