

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

---

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИДО  
А.Ф. Федоров

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2007 г.

**МЕХАНИКА**

Рабочая программа, методические указания и индивидуальные задания  
на контрольную работу для студентов Института дистанционного обучения  
специальностей:

**200101 «Приборостроение»**

**200106 «Информационно-измерительная техника и технология»**

<b>Семестр</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Лекции, часов	2	6
Практические занятия, часов		4
Контрольная работа		1
Курсовой проект, часов		-
Самостоятельная работа, часов		132
Форма контроля		зачет

Томск 2007

УДК 621.86.01

**Механика:** Рабочая программа, методические указания и индивидуальные задания на контрольную работу для студентов Института дистанционного обучения специальностей 200101, 200106 / Сост. В.В.Гурин, В.М.Замятин – Томск: Изд. ТПУ, 2007. – 72 с.

Рабочая программа курса и индивидуальные задания на контрольную работу по курсу «Механика» составлены на основе ГОС ВПО для немашиностроительных специальностей.

Рабочая программа, методические указания и индивидуальные задания на контрольную работу для студентов Института дистанционного обучения специальностей 200101, 200106 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 контрольную работу предназначены для студентов Института дистанционного обучения специальностей 200101 «Приборостроение», 200106 «Информационно-измерительная техника и технология».

Данная дисциплина изучается два семестра.

Приведен перечень основных тем дисциплины, указаны темы практических занятий.

Приведены варианты заданий на контрольную работу.

Даны методические указания по выполнению контрольной работы.

## 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 данном курсе «Механика».

Курс условно разбит на пять разделов.

В первом разделе рассмотрены те вопросы теоретической механики, без знания которых становятся невозможным рассмотрение последующих разделов курса.

Во втором разделе рассматриваются общие вопросы теории механизмов.

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

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

Пятый раздел посвящён расчету и проектированию деталей машин.

В курсе «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 проек-

тирования, ознакомление с основами стандартизации и взаимозаменяемости, изучение конструкций механизмов и машин.

Расчёто-аналитический и инженерно-конструкторский характер курса способствует использованию персональных компьютеров. 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.

Курс заканчивается выходным контролем.

По курсу «Механика» студенты должны:

- а) выполнить и защитить одну контрольную работу;
- б) сдать зачет по курсу.

## 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: *Петров Николай Романович. Номер зачетной книжки 923109.*

Шифр в этом случае имеет вид: 65509.

Таблица 1

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

## 1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1 Цели преподавания дисциплины

Преподавание курса «Механика» имеет целью сообщить студентам необходимые сведения из области теоретической механики, теории механизмов и машин, теоретических основ сопротивления материалов, а также методы расчёта на прочность, жёсткость деталей машин и механизмов, являющихся общими для различных областей машиностроения.

Курс «Механика» является базой для изучения профилирующих дисциплин, требующих умения проводить расчёты на прочность, жесткость, устойчивость, долговечность.

## **1.2 Задачи изучения дисциплины**

В результате системного изучения всех разделов дисциплины «Механика» студент должен знать основы теоретической механики, структурную и функциональную классификацию механизмов, методы кинематического анализа и синтеза механизмов, теоретические основы расчётов на прочность, жесткость наиболее распространенных деталей и узлов машин, механизмов, приборов, основы расчетов на устойчивость относительно длинных деталей, нагруженных сжимающей силой, иметь общие понятия о работе машин.

В задачу дисциплины входит обучение студента практическому проведению анализа и синтеза механизмов, расчётом по механической прочности, конструированию типовых деталей и узлов машин, проведению проверочных расчётов на прочность и жёсткость.

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

#### **Введение**

В первой части курса «Механика» рассматриваются вопросы теоретической механики, которая состоит из трех разделов: статики, кинематики и

динамики. Это фундаментальная физико-математическая дисциплина, являющаяся базой большинства областей современной техники и общетехнических дисциплин таких, как сопротивление материалов, детали машин, теория механизмов и машин и т.д.

Излагаются основные принципы и методы механики, необходимые студенту для усвоения последующих общетехнических дисциплин, используемых в профессиональной деятельности. Изучаются условия равновесия тела и системы тел, кинематика точки и твердого тела, общие теоремы динамики системы.

### **2.1.1 Литература**

*1 Бать М.Н. и др. Теоретическая механика в примерах и задачах. Ч. I, ч. II. – М., 1961 и последующие издания*

*2. Бутенин Н.В. и др. Курс теоретической механики. Т. 1, т. 2 – М., 1985.*

*3. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. Учеб. для ВТУЗов. – М.: Высш. шк., 1995. – 416 с.*

*4. Мещерский И.В. Сборник задач по теоретической механике. – М.: 1981 и другие издания*

*5. Яблонский А.А. и др. Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике: Учебное пособие для технических вузов. – М.: Высш. шк., 1985. – 368 с.*

*Примечание:* курсивом выделена дополнительная литература.

### **2.1.2 Программа раздела «Теоретическая механика»**

#### **Введение**

Теоретическая механика изучает общие законы механического движения материальных тел и возникающих при этом взаимодействиях между телами.

Курс теоретической механики делится на три основных раздела:

- статика,
- кинематика,
- динамика.

Статика изучает условия равновесия материальных тел под действием приложенных к ним сил.

Кинетика изучает движение материальных тел вне связи с силами, вызывающими это движение.

Динамика изучает законы движения материальных тел в зависимости от действующих на них сил.

#### **2.1.2.1 Статика**

Предмет статики. Основные понятия статики: абсолютно твердое тело, материальная точка, эквивалентные и уравновешенные системы сил, равно-

действующая, силы внешние и внутренние. Аксиомы статики. Связь и реакции связей. Опорные устройства и их реакции.

Геометрический способ сложения сил. Равнодействующая сходящихся сил. Условие равновесия системы сходящихся сил в геометрической форме. Проекция силы на оси координат. Аналитический способ сложения сил. Аналитические условия равновесия твердого тела под действием системы сходящихся сил.

Момент силы относительно центра (точки) как вектор. Алгебраическая величина момента силы. Понятие о паре сил. Момент пары сил как вектор. Условия эквивалентности пар. Условия равновесия системы пар сил на плоскости.

Момент силы относительно оси; зависимость между моментами силы относительно центра и оси, проходящей через этот центр, формулы для вычисления моментов силы относительно координатных осей.

Теорема о приведении произвольной плоской системы сил к данному центру, главный вектор и главный момент системы сил.

Случай приведения плоской системы сил к одной паре и к равнодействующей. Уравнения равновесия тела, находящегося под воздействием плоской системы сил. Статически определимые и неопределимые задачи. Понятие о трении скольжения. Коэффициент трения скольжения. Угол трения. Трение качения.

Приведение системы параллельных сил к равнодействующей. Центр параллельных сил. Центр тяжести. Формулы для координат центра параллельных сил и центра тяжести. Центры тяжести простейших плоских фигур и тел.

### 2.1.2.2 Кинематика

Предмет кинематики. Пространство и время как формы существования материи. Механическое движение как одна из форм движения материи. Система отсчета.

Векторный способ задания движения точки. Траектория точки. Понятие скорости точки. Скорость точки как производная радиуса-вектора по времени. Понятие ускорения точки. Ускорение точки как производная вектора скорости по времени.

Координатный способ задания движения точки в декартовых координатах. Проекции скорости и ускорения на оси декартовых координат. Определение модуля и направления скорости и ускорения по его проекциям на оси декартовых координат.

Естественный способ задания движения точки. Модуль и направление скорости. Естественные оси. Касательное и нормальное ускорения точки.

Поступательное движение твердого тела. Теорема о траекториях, скоростях и ускорениях точек в этом движении. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси. Уравнение вращательного движения твердого тела вокруг

неподвижной оси. Угловая скорость и угловое ускорение тела. Равномерное и равнопеременное вращение твердого тела.

Плоскопараллельное движение твердого тела и движение плоской фигуры в ее плоскости. Разложение движения плоской фигуры на поступательное движение и вращение вокруг полюса. Уравнения движения плоской фигуры. Скорости точек плоской фигуры. Мгновенный центр скоростей и мгновенный центр вращения плоской фигуры.

Составное (сложное) движение точки; относительное и переносное движение. Относительная и переносная скорости и ускорения точки. Сложение скоростей и ускорений.

### **2.1.2.3 Динамика**

Предмет динамики. Краткий исторический очерк развития динамики. Основные законы механики Галилея-Ньютона. Инерциальная система отсчета.

Дифференциальные уравнения движения свободной и несвободной материальных точек в декартовых координатах. Две основные задачи динамики материальной точки.

Количество движения и момент количества движения материальной точки. Импульс силы. Элементарная работа силы и работа силы на конечном пути. Аналитическое выражение элементарной работы. Работа силы тяжести и силы упругости. Мощность. Теорема об изменении кинетической энергии материальной точки.

Сила инерции материальной точки. Принцип Д'Аламбера для материальной точки. Метод кинетостатики.

Система материальных точек.

Масса. Центр масс механической системы. Осевые моменты инерции. Радиус инерции. Моменты инерции относительно параллельных осей. Момент инерции простейших тел.

Теорема о движении центра масс механической системы. Теорема об изменении кинетического момента механической системы. Кинетическая энергия твердого тела при поступательном, вращательном и плоском движении тела. Теорема об изменении кинетической энергии системы. Принцип Д'Аламбера для механической системы.

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

1. Сформулируйте основные вопросы, рассматриваемые в теоретической механике.

2. Какова связь теоретической механики с другими общетехническими дисциплинами?

3. Какова роль абстракций в механике?

4. Какое тело называют абсолютно твердым?

5. Какие системы сил называются уравновешенными?

6. Что такое равнодействующая заданной системы сил?

7. Перечислите аксиомы статики.
8. Являются ли условия равновесия абсолютно твердого тела необходимыми и достаточными для равновесия деформируемых тел?
9. Какие тела называются связями для данного тела?
10. Что такое заданные силы, реакции связей, давление на связь?
11. Как направлена реакция:
  - а) гладкой поверхности;
  - б) опоры на катках;
  - в) цилиндрического шарнира и подшипника;
  - г) невесомого стержня;
  - д) сферического шарнира и подпятника;
  - е) жесткой заделки;
  - ж) нити, привязанной к телу и к опоре или перекинутой одним концом через блок?
12. Как определяется проекция силы на ось?
13. Какие силы называются сходящимися?
14. Как складываются сходящиеся силы:
  - а) графически;
  - б) аналитически?
15. Запишите условия равновесия системы сходящихся сил в геометрической и аналитической формах.
16. Что называется парой сил? Как подсчитать момент пары?
17. Зависит ли действие пары сил на тело от ее места в плоскости?
18. В чем состоит условие эквивалентности двух пар?
19. Чему равен момент силы относительно точки? Как изобразить его в виде вектора-момента? Чем этот вектор отличается от вектора-момента пары?
20. Когда момент силы относительно точки равен нулю?
21. Как определить момент силы относительно оси? В каких случаях он равен нулю?
22. Какая зависимость существует между моментами силы относительно точки и оси, проходящей через эту точку?
23. Как записать условия равновесия произвольной системы сил:
  - а) на плоскости;
  - б) в пространстве?
24. В каких случаях плоская система сил приводится:
  - а) к паре сил;
  - б) к равнодействующей?
25. Сформулируйте теорему Вариньона о моменте равнодействующей заданной системы сил.
26. Какие задачи называются статически определимыми? Какие - статически неопределеными?
27. Что такое центр параллельных сил? Как найти координаты центра

параллельных сил?

28. Напишите формулы для определения координат центра тяжести тела, центра тяжести объема, площади, линии.

29. Что значит «определить движение точки»?

30. Что такое уравнения движения точки; закон движения по траектории? 3. Что называется траекторией точки?

31. Как выражаются векторы скорости и ускорения точки через радиус-вектор этой точки? Как направлены оба вектора?

32. Как вычисляются проекции на координатные оси, модуль и направление векторов скорости и ускорения точки по известным уравнениям движения точки в координатной форме?

33. Какие оси координат называются естественными?

34. Что называется радиусом кривизны кривой в данной ее точке? Чему равен радиус кривизны окружности?

35. Как определяются проекции вектора скорости и вектора ускорения точки на естественные оси?

36. Как определить касательную и нормальную составляющие ускорения точки по заданному закону движения точки, по траектории, по заданным уравнениям движения точки в декартовых координатах?

37. В каких случаях касательное и нормальное ускорения точки равны нулю?

38. Какое движение тела называется поступательным? Может ли поступательное движение тела быть криволинейным, прямолинейным? Приведите примеры.

39. Как записать уравнения поступательного движения твердого тела?

40. Напишите уравнение вращательного движения твердого тела вокруг неподвижной оси.

41. Что называется угловой скоростью, угловым ускорением тела при его вращении вокруг не подвижной оси?

42. Какое вращение тела называется равномерным, равнопеременным?

Как записать уравнения:

а) равномерного вращательного движения твердого тела вокруг неподвижной оси?

б) равнопеременного вращательного движения твердого тела вокруг неподвижной оси?

43. Напишите формулы, связывающие угловые характеристики движения тела с линейными характеристиками движения точки этого тела.

44. Какое движение точки называется относительным, переносным, абсолютным?

45. Что называется абсолютной, относительной, переносной скоростью (или ускорением) точки?

46. Сложение скоростей и ускорений точки.

47. Какое движение тела называется плоскопараллельным? Почему для

его изучения достаточно рассматривать движение плоской фигуры в своей плоскости?

48. На какие простейшие движения можно разложить плоскопараллельное движение твердого тела?

49. Как определяются векторы скоростей точек плоской фигуры при разложении ее движения?

50. Какая точка называется мгновенным центром скоростей?

51. Как найти положение мгновенного центра скоростей плоской фигуры, если известны:

а) скорость полюса и угловая скорость вращения фигуры;

б) направления скоростей двух точек фигуры?

52. Как определяются векторы скоростей точек плоской фигуры, их модули и направления с помощью мгновенного центра скоростей?

53. Как определяются векторы ускорений точек плоской фигуры при разложении ее движения?

54. Назовите основные законы движения материальной точки.

55. При каком условии точка движется по инерции?

56. Между какими величинами устанавливают зависимость основного уравнения динамики материальной точки?

57. Как движется материальная точка под действием постоянной силы?

58. Напишите дифференциальные уравнения движения материальной точки в векторной и координатной формах.

59. Напишите уравнения движения материальной точки в проекциях на естественные оси.

60. Какие основные задачи динамики материальной точки можно решать с помощью дифференциальных уравнений движения?

61. Чему равно количество движения материальной точки?

62. Что такое элементарный импульс силы и импульс силы за конечный промежуток времени?

63. В чем состоит теорема об изменении количества движения материальной точки?

64. В каком случае количество движения точки остается постоянным?

65. В чем состоит теорема об изменении момента количества движения материальной точки относительно неподвижного центра и оси?

66. Чему равна кинетическая энергия материальной точки?

67. Как найти работу переменной силы при криволинейном перемещении ее точки приложения?

68. Чему равна работа силы тяжести?

69. Напишите аналитическую формулу для элементарной работы силы?

70. Чему равна мощность силы?

71. В чем состоит теорема об изменении кинетической энергии материальной точки?

72. Как определяется положение центра масс механической системы?

73. Чему равно количество движения механической системы?
74. Как найти количество движения твердого тела?
75. В чем состоит теорема об изменении количества движения механической системы?
76. В чем заключается теорема о движении центра масс механической системы.
77. При каком условии центр масс движется по инерции?
78. Разберите случай вращения тела вокруг неподвижной оси. Чему равно угловое ускорение вращения тела?
79. Что является мерой инертности тела при поступательном движении и при вращении вокруг неподвижной оси?
80. Дайте определение момента инерции тела относительно оси.
81. Как найти работу силы, приложенной к телу, вращающемуся вокруг неподвижной оси?
82. Чему равна работа вращающего момента и момента сопротивления?
83. В чем состоит теорема об изменении кинетической энергии механической системы?
84. Напишите формулы для кинетической энергии тела при поступательном движении, при вращении вокруг неподвижной оси и при плоскопараллельном движении.
85. Чему равна сила инерции материальной точки?
86. В чем состоит принцип Д'Аламбера для материальной точки и для механической системы?

## **2.2 Основы теории механизмов**

### **Введение**

Во второй части курса «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.

### **2.2.1 Литература**

1. Артоболевский 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.: Машиностроение, 1985. - 564 с.
3. Иосилевич Г.Б. и др. Прикладная механика /Г.Б. Иосилевич, Г.Б. Строганов, Г.С. Маслов. - М.: Высш. шк., 1989. - 352 с.
4. 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.

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

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

## **2.2.2 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 «Механика». Следует учесть, что в данном разделе изучаются только некоторые вопросы дисциплины «Теории механизмов и машин», без знания которых изучение других разделов курса «Механика» будет затруднено.

#### **2.2.2.1 Общие сведения**

Машина. Прибор. Машинный агрегат. Механизм.

#### **2.2.2.2 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.

#### **2.2.2.3 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.

#### **2.2.2.4 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.

### **2.2.2.5 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.

### **2.2.2.6 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.

### **2.2.3 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 Амонтана-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?

## 2.3 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.

### **2.3.1 Литература**

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

### **2.3.2 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 споставить их с механическими характеристиками реальных конструкционных 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.

#### **2.3.2.1 Общие сведения**

Внешние силы. Деформация. Прочность. Жесткость. Устойчивость.

#### **2.3.2.2 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 (двоихосное) 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.

### 2.3.2.3 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 времененным 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 неопределенные системы. Общий метод решения статиче-

ски 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.

#### 2.3.2.4 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 статически 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 эпюр поперечных сил. Методика определения изгибающего момента. Правило знаков при определении величины изгибающего момента. Методика построения эпюр 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 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 изгибаю-

щим 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.

### **2.3.2.5 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 величины 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).

### **2.3.2.6 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 чет-

вертой 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.

### **2.3.2.7 Местные напряжения**

Виды местных напряжений. Концентрация напряжений. Причины, вызывающие концентрацию напряжений. Концентраторы напряжений. Номинальное 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.

### **2.3.2.8 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 (от нулевой) 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 кон-

центрации 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 нормальному 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 нормальному 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.

### **2.3.3 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 определимости 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 двухпорочных 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?

## **2.4 Передаточные механизмы с круглыми колесами**

### **Введение**

Целью изучения раздела «Передаточные механизмы с круглыми колесами» 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 элементы приводов машин с наиболее рациональными параметрами.

#### **2.4.1 Литература**

1. Ануьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1. - М.: Машиностроение, 1994. - 728 с.
2. Ануьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.2. - М.: Машиностроение, 1994. - 560 с.
3. Ануьев 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. Берсенев, Ю.П. Воронцов, В.И. Комаров, А.В. Кудрявцев, Л.П. Лаврова, О.Р. Михалева, С.А. Нецеветаев, 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. Нецеветаев, 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. Добробор-ский, 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.

#### **2.4.2 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, ремонтопри-

годным, 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.

#### **2.4.2.1 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 износстойкость.

#### **2.4.2.2 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 плоскоременной передачи по тяговой способности. Расчет клиноременной передачи по тяговой способности. Расчет ремня на циклическую долговечность.

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

### **2.4.2.3 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.

### **2.4.2.4 Зубчатые цилиндрические передачи**

Общие сведения. Области применения. Разновидности зубчатых передач. 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. Полюс 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

ду 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 нереверсивных передач. Допускаемые напряжения изгиба для реверсивных передач. Номинальная нагрузка. Расчетная нагрузка. Коэффициент нагрузки. Составляющие коэффициента нагрузки: коэффициент неравномерности распределения нагрузки, коэффициент динаминости, 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 расчет-

том эвольвентной прямозубой цилиндрической передачи.

#### **2.4.2.5 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 цилиндрической 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 архимедо-

вым червяком по напряжениям изгиба.

КПД червячной передачи. Тепловой расчет червячной передачи.

#### **2.4.3 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 звенями?
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 стандартизуются.
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?

## 2.5 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 меха-

низм с наиболее рациональными параметрами.

### **2.5.1 Литература**

1. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1. - М.: Машиностроение, 1994. - 728 с.
2. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.2. - М.: Машиностроение, 1994. - 560 с.
3. Ануриев 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. Берсенев, Ю.П. Воронцов, В.И. Комаров, А.В. Кудрявцев, Л.П. Лаврова, О.Р. Михалева, С.А. Нецеветаев, 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. Нецеветаев, 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. Добробор-ский, 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.

### **2.5.2 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 быстротходности машин. Однако нужно иметь в виду, что увеличение мощности, быстротходности, 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, цель которого - 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.

#### **2.5.2.1 Общие вопросы**

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

#### **2.5.2.2 Машиностроительные материалы**

Машиностроительные материалы. Сталь. Углеродистая сталь. Углеро-

дистые 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. Латуни. Маркировка латуней. Бронзы. Маркировка бронз.

### **2.5.2.3 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 внесистемной 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.

### **2.5.2.4 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.

#### **2.5.2.5 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.

нения по напряжениям смятия боковых поверхностей. Расчет штифтового соединения по напряжениям среза.

### **2.5.2.6 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 обработка валов.

Критерии работоспособности валов. Статическая прочность. Усталостная прочность. Жесткость. Антирезонансные 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. Критическая угловая скорость. Критическая частота вращения вала. Мероприятия, обеспечивающие антирезонансные свойства валов. Допускаемое значение угловой скорости.

### **2.5.2.7 Муфты**

Назначение муфт. Классификация муфт. Выбор типа муфты. Подбор муфты по крутящему моменту и точности изготовления и монтажа соединяемых валов.

### **2.5.2.8 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. Уст-

ройство 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 работоспособности 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).

#### **2.5.2.9 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; разбрзгиванием; 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.

### **2.5.3. 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 «квалитет»?
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 раз-

рыв 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, действу-

вующих 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 нагрузений?

61. Как провести проверочный расчет вала по усталостной прочности (для быстроходных валов) при симметричном цикле нагрузений?

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. Бать М.Н. и др. Теоретическая механика в примерах и задачах. Ч. I, ч. II. – М., 1961 и последующие издания.
2. Гурин В.В., Замятин В.М. *Расчет и конструирование узлов и деталей машин (для машиностроительных специальностей)*: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2003.– 283 с.
3. Гурин В.В., Замятин В.М. *Расчет и конструирование узлов и деталей машин (для машиностроительных специальностей)*: Справочное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2003.– 244 с.
4. Иосилевич Г.Б. и др. Прикладная механика / Г.Б. Иосилевич, Г.Б. Строганов, Г.С. Маслов. - М.: Высш. шк., 1989. - 352 с.
5. Мещерский И.В. Сборник задач по теоретической механике. – М.: 1981 и другие издания.
6. Прикладная механика / В.М. Осецкий, Б.Г. Горбачев, Г.А. Доброборский, Н.С. Козловский, Е.И. Моисеенко, Г.В. Мясищиков, В.С. Перевалов, И.Н. Фальк. - М.: Машиностроение, 1977. - 488 с.
7. Степин П.А. Сопротивление материалов. - М.: Машиностроение, 1979. - 312 с.
8. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: учеб. для ВТУЗов. – М.: Высш. шк., 1995. – 416 с.
9. Чернавский С.А. и др. *Проектирование механических передач* / С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцев. - М.: Машиностроение, 1984. - 558 с.
10. Юдин В.А., Петрокас Л.В. Теория механизмов и машин. - М.: Высш. шк., 1967. - 528 с.
11. Яблонский А.А. Курс теоретической механики. Ч. I, ч. II. Учеб. для техн. вузов. – М.: Высш. шк., 1984. – 423 с.

*Примечание: курсивом выделена дополнительная литература.*

### **3.2 Темы практических занятий**

- 3.2.1. Статика. Геометрический способ сложения сил. Проекция силы на оси координат. Аналитический способ сложения сил. Равновесие твердого тела под действием системы сходящихся сил.
- 3.2.2. Случаи приведения плоской системы сил к одной паре и к равно действующей. Статически определимые и неопределимые задачи.
- 3.2.3. Кинематика. Поступательное движение твердого тела. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси. Равномерное и равнопеременное вращение твердого тела. Плоскопараллельное движение твердого тела и движение плоской фигуры в ее плоскости.
- 3.2.4. Составное (сложное) движение точки; относительное и переносное движение. Относительная и переносная скорости и ускорения точки. Сложение скоростей и ускорений.
- 3.2.5. Динамика. Дифференциальные уравнения движения свободной и

несвободной материальных точек в декартовых координатах. Две основные задачи динамики материальной точки.

3.2.6. 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.

3.2.7. Раcтяжение (сжатие). Построение эпюор продольных сил. Расчет стержней на прочность при действии продольных сил. Определение нормальных напряжений от действия продольных сил и построение эпюры нормальных напряжений.

3.2.8. Изгиб. Виды опор. Определение реакций в опорах двухпорных и консольных балок. Построение эпюор поперечных сил и изгибающих моментов. Расчеты балок на прочность и жесткость при их изгибе.

3.2.9. 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.

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

3.2.11. 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. Начальное 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.

3.2.12. Геометрическая взаимосвязь между параметрами эвольвентной прямозубой цилиндрической передачи.

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

3.2.14. 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.

3.2.15. 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.

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

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

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

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

## 4 КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

В контрольной работе следует решить семь контрольных задач по разделам:

- теоретическая механика:

- задача № 1;
- задача № 2;
- задача № 3.

- основы сопротивления материалов:

- задача № 4;
- задача № 5;

- передаточные механизмы с круглыми колесами:

- задача № 6;

- детали машин:

- задача № 7;

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

### 4.1 Литература

1. Бать М.Н. и др. Теоретическая механика в примерах и задачах. Ч. I, ч. II. – М., 1961 и последующие издания.

2. Бутенин Н.В. и др. Курс теоретической механики. Т. 1, т. 2 – М., 1985.

3. Гурин В.В., Замятин В.М. Расчет и конструирование узлов и деталей машин (для машиностроительных специальностей): Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2003.– 283 с.

4. Гурин В.В., Замятин В.М. Расчет и конструирование узлов и деталей машин (для машиностроительных специальностей): Справочное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2003.– 244 с.

5. Дунаев П.Ф., Леликов П.А. Конструирование узлов и деталей машин. - Высш. шк., 1985. - 416 с.
6. Иосилевич Г.Б. и др. Прикладная механика /Г.Б. Иосилевич, Г.Б. Строганов, Г.С. Маслов. - М.: Высш. шк., 1989. - 352 с.
7. Иосилевич Г.Б. Детали машин. - М.: Машиностроение, 1988. - 358 с.
11. Мещерский И.В. Сборник задач по теоретической механике. - М.: 1981.
8. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: учеб. для ВТУЗов. - М.: Высш. шк., 1995. - 416 с.
9. Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин. - М.: Высш. шк., 1991. - 432 с.

**Примечание:** курсивом выделена дополнительная литература.

#### 4.2 Контрольная задача № 1

Жесткая рама закреплена в точке **A** шарнирно, а в точке **B** прикреплена к шарнирной опоре на катках.

На раму действуют пара сил (момент **M**) и три силы ( $\bar{F}_1$ ,  $\bar{F}_2$ ,  $\bar{F}_3$ ).

Определить реакции связей в точках **A** и **B**, вызываемые заданными нагрузками.

**Исходные данные** для решения задачи принять в соответствии со своим личным шифром в следующем порядке:

1. По последней (пятой) цифре шифра принять схему нагружения рамы.

2. По первой цифре шифра из таблицы 2 принять величину, характеризующую длину участков рамы **L**.

3. По второй цифре шифра из таблицы 2 принять величину угла  $\alpha$ .

4. По третьей цифре шифра из таблицы 2 принять величину угла  $\beta$ .

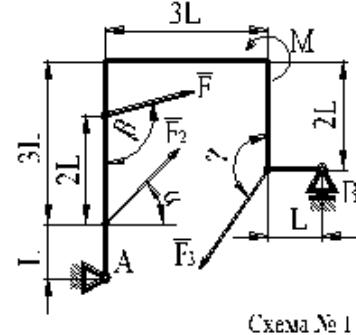
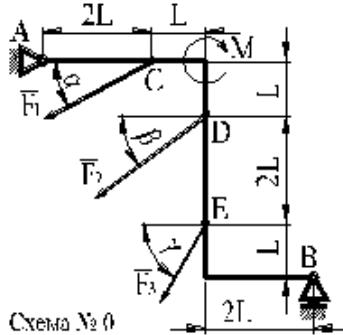
5. По четвертой цифре шифра из таблицы 2 принять величину угла  $\gamma$ .

6. По абсолютной величине разности первой и второй цифр шифра из таблицы 2 принять величину момента **M**.

7. По абсолютной величине разности первой и третьей цифр шифра из таблицы 2 принять величину силы  $\bar{F}_1$ .

8. По абсолютной величине разности первой и четвертой цифр шифра из таблицы 2 принять величину силы  $\bar{F}_2$ .

9. По абсолютной величине разности первой и пятой цифр шифра из таблицы 2 принять величину силы  $\bar{F}_3$ .



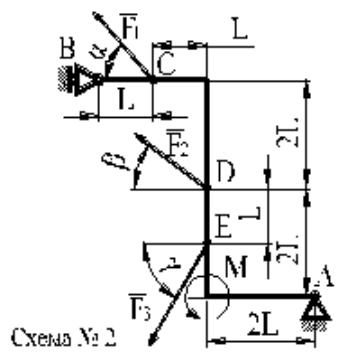


Схема № 2

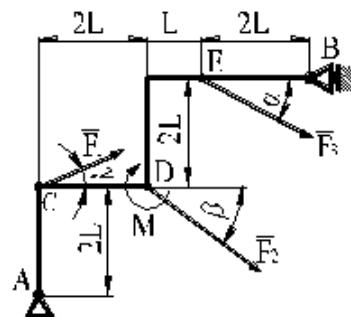


Схема № 3

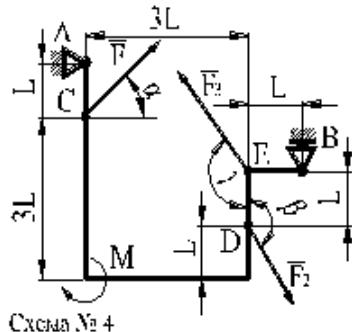


Схема № 4

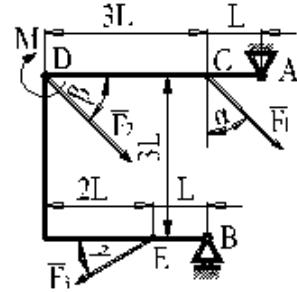


Схема № 5

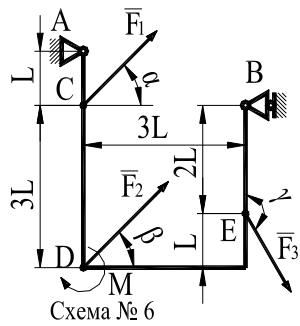


Схема № 6

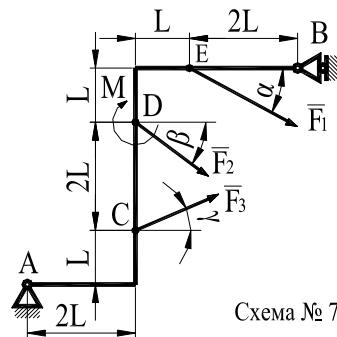


Схема № 7

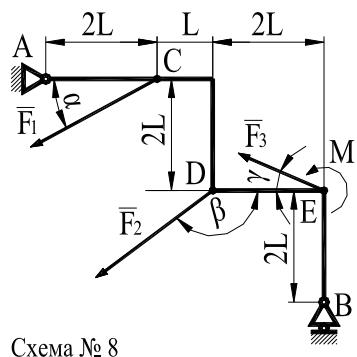


Схема № 8

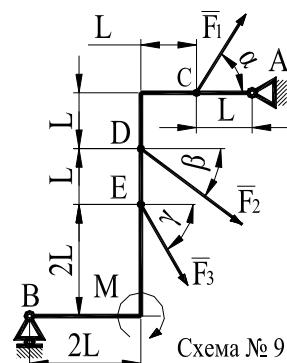


Схема № 9

Таблица 2

## Исходные данные к задаче № 1

Цифра шифра или абсолютная величина разности цифр шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Длина $L$ , м	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70
Угол $\alpha$ , град	30	60	90	120	150	210	240	270	300	330

Продолжение таблицы 2

Цифра шифра или абсолютная величина разности цифр шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Угол $\beta$ , град	30	60	90	120	150	210	240	270	300	330
Угол $\gamma$ , град	30	60	90	120	150	210	240	270	300	330
Момент $M$ , Нм	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130
Сила $F_1$ , Н	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Сила $F_2$ , Н	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Сила $F_3$ , Н	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28

### 4.3 Контрольная задача № 2

Прямоугольная пластина (схемы № 0 - № 5) или круглая пластина радиусом  $R$  (схемы № 6 – № 9) вращаются вокруг неподвижной оси с постоянной угловой скоростью  $\omega$ .

Ось вращения либо перпендикулярна плоскости пластины и проходит через точку  $O$  (схемы № 0, № 1, № 2, № 5, № 8, № 9), либо ось вращения  $OO_1$  лежит в плоскости пластины (схемы № 3, № 4, № 6, № 7).

По пластине вдоль прямой  $BD$  (схемы № 0 – № 5) или по окружности радиуса  $R$  (схемы № 6 - № 9) движется точка  $M$ . Закон ее относительного движения выражается уравнением вида  $S=AM=f(t)$ .

Определить абсолютную скорость и абсолютное ускорение точки  $M$  в момент времени  $t=1$  с.

**Исходные данные** для решения задачи принять в соответствии со своим личным шифром в следующем порядке:

1. По последней (пятой) цифре шифра принять схему движения точки  $M$ .
2. По первой цифре шифра из таблицы 3 принять значение угловой скорости  $\omega$ .
3. По второй цифре шифра из таблицы 3 принять закон относительного движения.
4. По третьей цифре шифра из таблицы 3 принять значение отрезка  $b$  (для схем № 0 - № 5) или  $L$  (для схем № 6 - № 9).

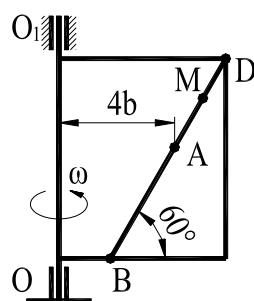


Схема № 3

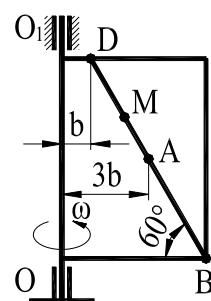


Схема № 4

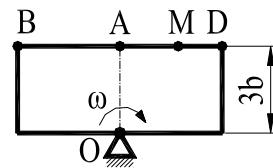


Схема № 5

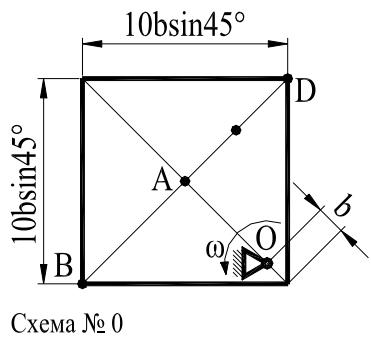


Схема №0

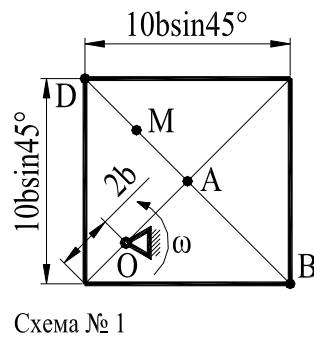


Схема №1

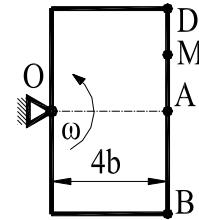


Схема №2

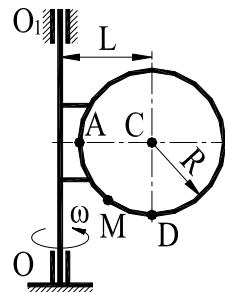


Схема №6

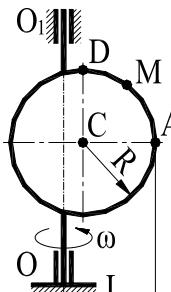


Схема №7

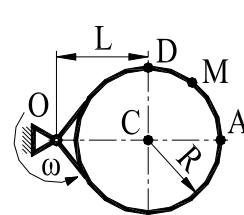


Схема №8

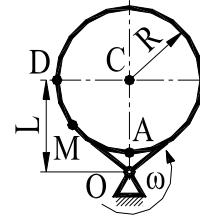


Схема №9

Таблица 3

## Исходные данные к задаче № 1.2

Цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Угловая скорость $\omega$ , 1/с	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
<i>Для схем № 0, № 1, № 2, № 3, № 4, № 5</i>										
$b$ , м	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28
<i>S=AM=f(t), м</i>										
<i>Для схем № 6, № 7, № 8, № 9</i>										
$R=0,5$ м										
$L$	$0,5R$	$0,6R$	$0,7R$	$0,8R$	$0,9R$	$1,1R$	$1,2R$	$1,3R$	$1,4R$	$1,5R$
<i>S=AM=f(t), м</i>										
$(\pi/3)R(t^4-3t^2)$										
$(\pi/2)R(t^3-2t^2)$										
$(\pi/4)R(2t^2-3t^3)$										
$(\pi/12)R(5t^4-2t^3)$										
$(\pi/6)R(3t^2-3t)$										
$(\pi/12)R(2t^4-3t)$										
$(\pi/4)R(6t-3t^4)$										
$(\pi/6)R(2t^2-3t^3)$										
$(\pi/3)R(2t^3-5t)$										
$(\pi/4)R(3t-3t^3)$										

## 4.4 Контрольная задача № 3

Механическая система состоит из грузов 1 и 2 (коэффициент трения грузов о плоскость  $f=0,1$ ), цилиндрического сплошного однородного катка 3 и ступенчатых шкивов 4 и 5 с диаметрами ступеней  $D_4=0,6$  м,  $d_4=0,3$  м,

$D_5=0,4$  м,  $r_5=0,2$  м (массу каждого шкива считать равномерно распределенной по его внешнему ободу).

Тела системы соединены друг с другом нитями, намотанными на шкивы; участки нитей параллельны соответствующим плоскостям.

Под действием силы  $F=f(s)$ , зависящей от перемещения точки приложения силы, система приходит в движение из состояния покоя.

При движении системы на шкивы 4 и 5 действуют постоянные моменты сил сопротивлений, равные соответственно  $M_4$  и  $M_5$ .

Найти значение величины определяемого параметра в тот момент времени, когда перемещение точки приложения силы  $F$  равно  $s_1$ .

Определяемый параметр указан в таблице 4, где обозначено:

- $V_1$  - скорость груза 1;
- $V_2$  - скорость груза 2;
- $V_{C3}$  - скорость центра масс катка 3;
- $\omega_4$  - угловая скорость шкива 4;
- $\omega_5$  - угловая скорость шкива 5;

**Исходные данные** для решения задачи принять в соответствии со своим личным шифром в следующем порядке:

1. По последней (пятой) цифре шифра принять схему механической системы.
2. По первой цифре шифра из таблицы 4 принять массу груза 1 –  $m_1$ .
3. По второй цифре шифра из таблицы 4 принять массу груза 2 –  $m_2$ .
4. По третьей цифре шифра из таблицы 4 принять массу катка 3 –  $m_3$ .
5. По четвертой цифре шифра из таблицы 4 принять массу шкива 4 –  $m_4$ .
6. По абсолютной величине разности первой и второй цифр шифра из таблицы 4 принять массу шкива 5 –  $m_5$ .
7. По абсолютной величине разности первой и третьей цифр шифра из таблицы 4 принять момент сопротивления шкива 4 –  $M_4$ .
8. По абсолютной величине разности первой и четвертой цифр шифра из таблицы 4 принять момент сопротивления шкива 5 –  $M_5$ .
9. По абсолютной величине разности первой и пятой цифр шифра из таблицы 4 принять величину силы  $F$  ( $F=f(S)$ ).
10. По абсолютной величине разности второй и третьей цифр шифра из таблицы 4 принять величину перемещения  $S_1$ .
11. По абсолютной величине разности второй и четвертой цифр шифра из таблицы 4 принять определяемый в задаче параметр.

#### Указания:

Задача № 3 – на применение теоремы об изменении кинетической энергии системы.

При решении задачи учесть, что кинетическая энергия системы равна сумме кинетических энергий всех входящих в систему тел. Эту энергию сле-

дует выразить через ту скорость (линейную или угловую), которую в задаче следует определить.

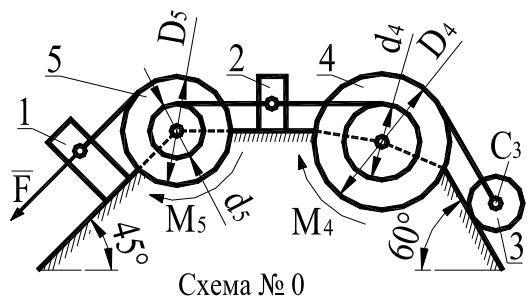


Схема № 0

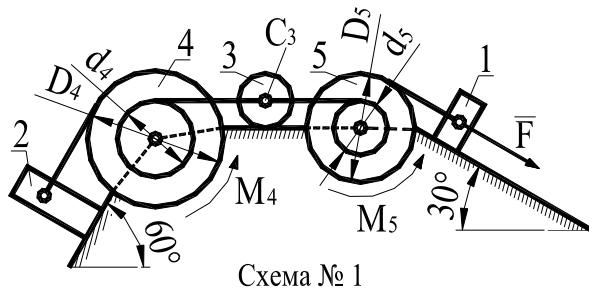


Схема № 1

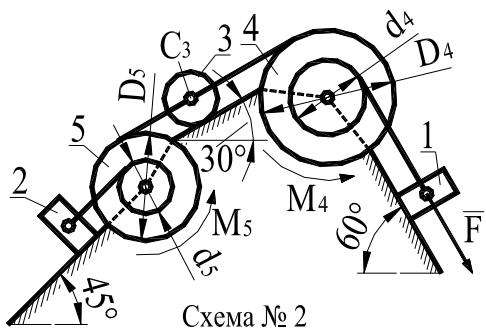


Схема № 2

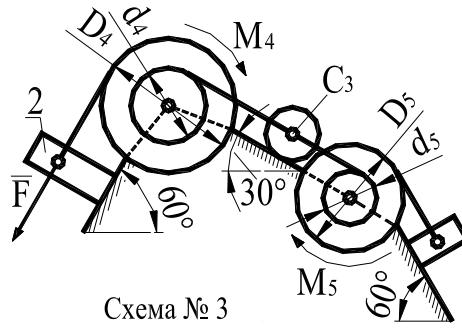


Схема № 3

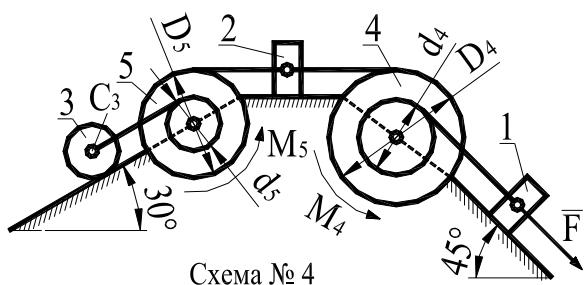


Схема № 4

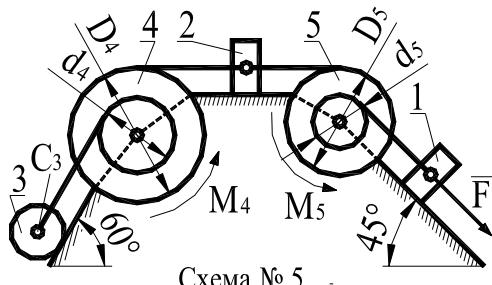


Схема № 5

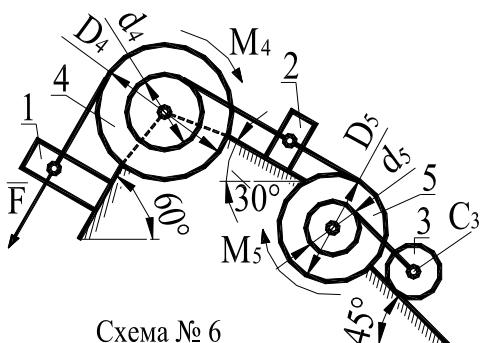


Схема № 6

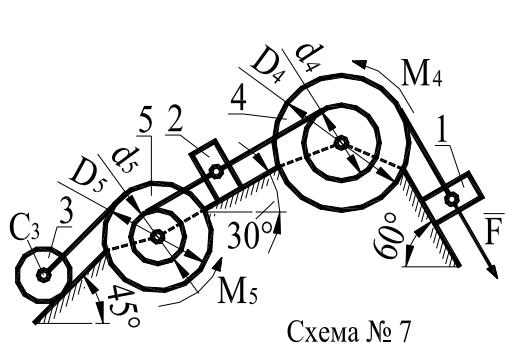


Схема № 7

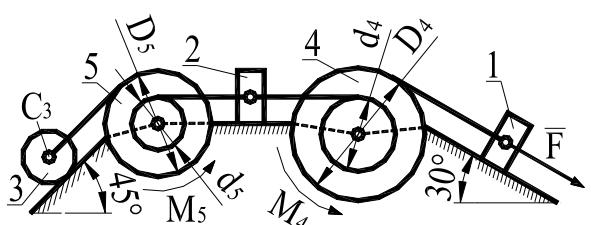


Схема № 8

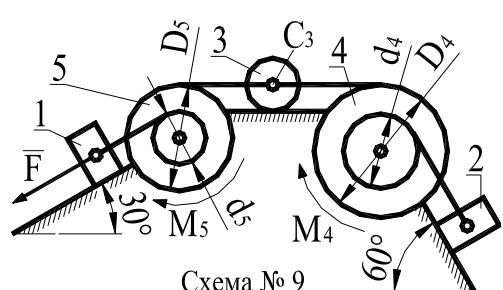


Схема № 9

При вычислении кинетической энергии катка, движущегося плоскопараллельно, для установления зависимости между его угловой скоростью и скоростью его центра масс воспользоваться понятием о мгновенном центре скоростей. При определении работы все перемещения следует выразить через заданное перемещение  $s$ , учитя, что зависимость между перемещениями здесь будет такой же, как между соответствующими скоростями.

Таблица 4

**Исходные данные к задаче № 3**

Цифра шифра или абсолютная величина разности цифр шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Масса груза 1, $m_1$ , кг	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
Масса груза 2, $m_2$ , кг	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
Масса катка 3, $m_3$ , кг	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Масса шкива 4, $m_4$ , кг	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
Масса шкива 5, $m_5$ , кг	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0
Момент сопротивления $M_4$ , Нм	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
Момент сопротивления $M_5$ , Нм	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75
Сила $F$ ( $F=f(S)$ ), Н	100(3+2S)	100(2+3S)	40(5+2S)	160(3+4S)	80(4+5S)	60(3+2S)	80(3+5S)	120(2+5S)	60(8+3S)	80(2+5S)
Перемещение $S$ , м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
Определяемый параметр	$V_1$	$\omega_5$	$V_{C3}$	$V_2$	$\omega_4$	$V_1$	$\omega_4$	$\omega_5$	$V_{C3}$	$V_2$

**4.5 Контрольная задача № 4**

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

Таблица 5

## Исходные данные к контрольной задаче № 4

Цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$F, \text{kH}$	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
$A, \text{мм}^2 \times 1000$	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
$b, \text{м}$	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.

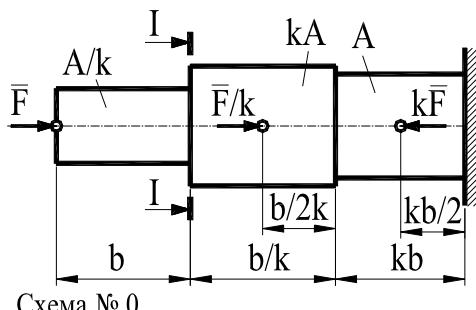


Схема № 0

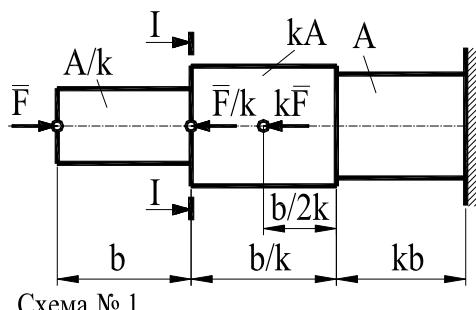


Схема № 1

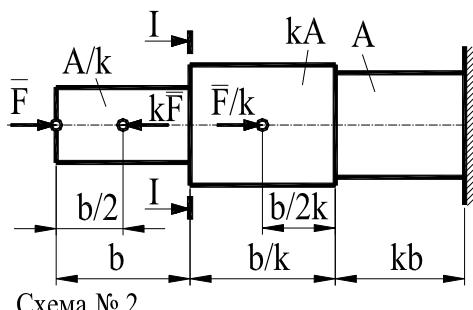


Схема № 2

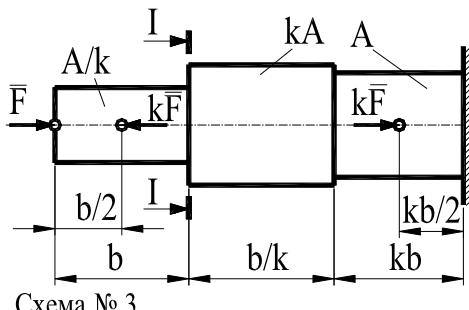


Схема № 3

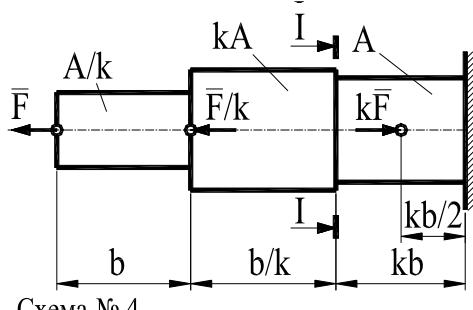


Схема № 4

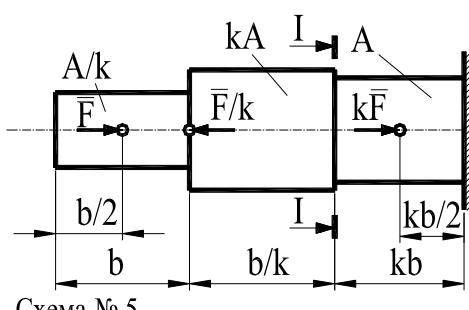


Схема № 5

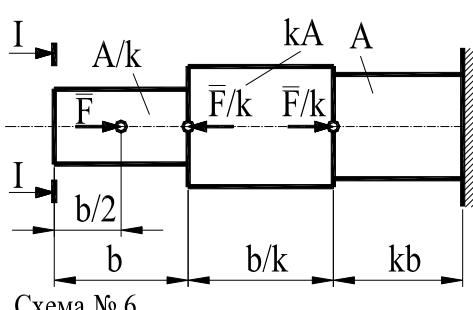


Схема № 6

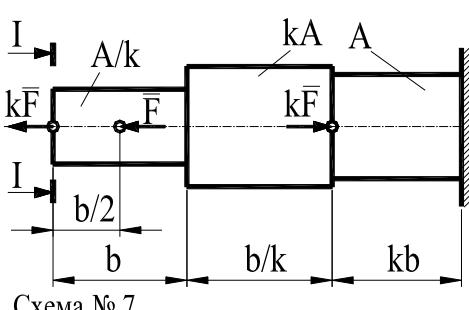


Схема № 7

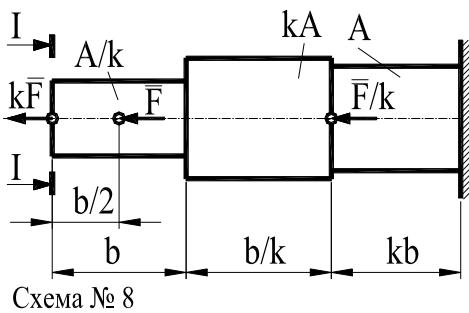


Схема № 8

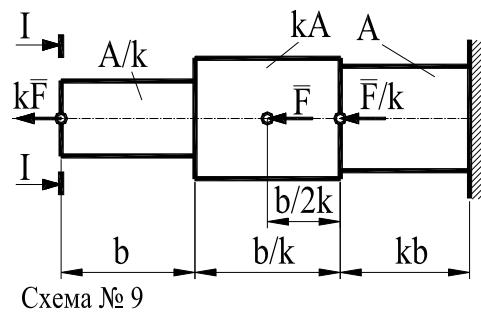


Схема № 9

#### 4.6 Контрольная задача № 5

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 8), 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 (табл. 7).

Маркой стали балки задаться самостоятельно (таблица 8).

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

**Исходные данные** для решения задачи принять в соответствии со своим личным шифром в следующем порядке:

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

Таблица 6

## Исходные данные к контрольной задаче № 2.2

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

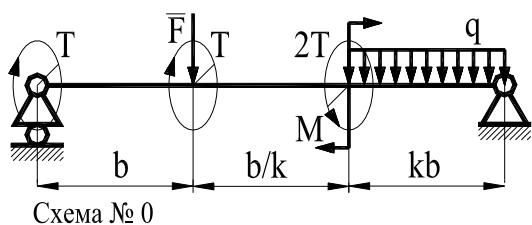


Схема № 0

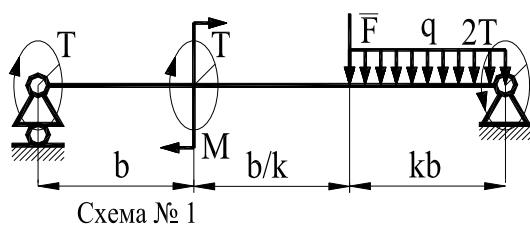


Схема № 1

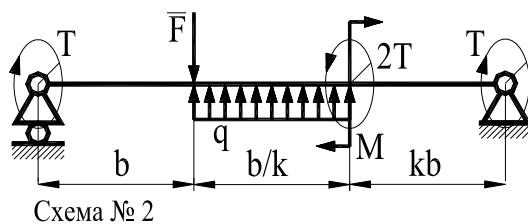


Схема № 2

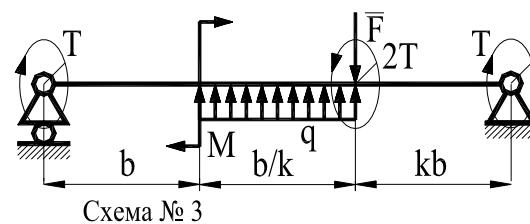


Схема № 3

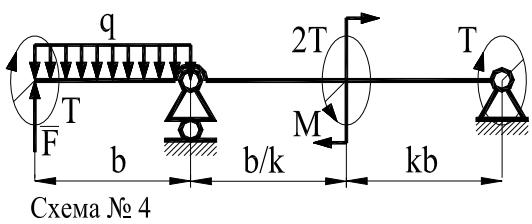


Схема № 4

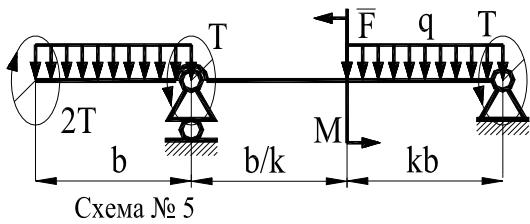


Схема № 5

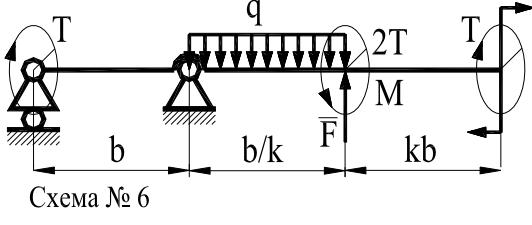


Схема № 6

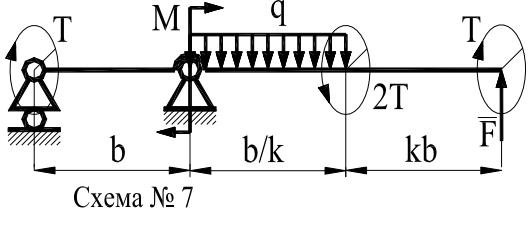


Схема № 7

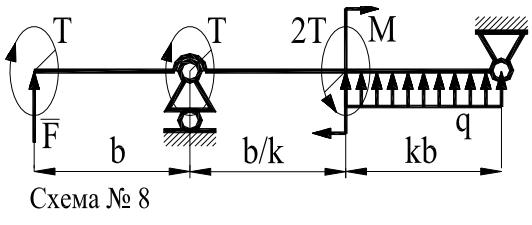


Схема № 8

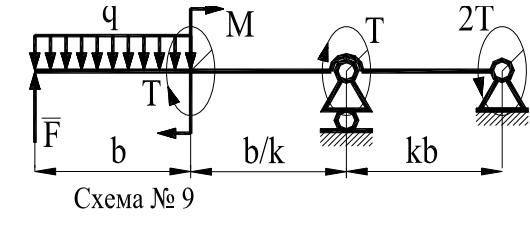


Схема № 9

Таблица 7

**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

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

**Указания:**

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

Таблица 8

**Механические свойства конструкционных сталей**

Марка стали	Сечение, мм	Термообработка	HB сердце- вины	HRC поверх- ности	$\sigma_t$	$\sigma_b$
						MПа
<i>Конструкционные стали повышенной и высокой обрабатываемости резанием. ГОСТ 1414-75</i>						
A11	Любое	Горячекатаная без термической обработки	156	-	-	410
A12			164			450
A20			181			510
A30			196			390
A35						
<i>Качественные углеродистые конструкционные стали. ГОСТ 1050-88</i>						
15	$\leq 50$	Цементация, закалка в воде, отпуск	-	56-62	245	442
35	Любое	Нормализация	136-192	-	270	550
45			179-207		320	600
45	$\leq 80$	Улучшение	235-262	-	540	780
	$\leq 50$	Закалка в масле, отпуск	-	30-40	638	883
	$\leq 20$	Закалка в воде или в щелочном растворе	-	40-50	1177	932
<i>Легированные стали. ГОСТ 4543-71</i>						
40Х	$\leq 125$	Улучшение	235-262	-	640	790
	$\leq 80$		269-302		750	900
40Х	$\leq 80$	Улучшение, закалка ТВЧ	269-302	45-50	750	900
	$\leq 50$	Закалка в масле, высокий отпуск	230-280	-	590	785
	$\leq 100$				510	736

Продолжение таблицы 8

Марка стали	Сечение, мм	Термообработка	HB сердце- вины	HRC поверх- ности	$\sigma_t$	$\sigma_b$
					МПа	
35ХМ	$\leq 200$	Улучшение	235-262	-	670	800
	$\leq 125$		269-302		790	920
40ХН	$\leq 200$	Улучшение	235-262	-	630	800
	$\leq 125$	Улучшение, закалка ТВЧ	269-302	48-53	750	920

**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 8.

$S_{tp}$  – 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 рассчитываемом сечении;

$\sigma_t$ ,  $\tau_t$  - предел текучести материала вала по нормальным напряжениям (таблица 8);

$\tau_t$  - предел текучести материала вала по касательным напряжениям (таблица 8);

*A* - площадь рассматриваемого сечения.

#### 4.7 Контрольная задача № 6

В этой задаче необходимо:

- подобрать типоразмер электродвигателя привода (*характеристики асинхронных электродвигателей приведены в таблицах 11 и 12*),
- 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 № 6 исходные данные выбираются в следующем порядке:

1. По **последней цифре шифра** выбирается **схема привода** (см. с. 57-58).

Выборка из ГОСТ 2.770-68 «Кинематические схемы» в той мере, которая необходима для понимания технических заданий на контрольную задачу и на курсовой проект, приведена в таблице 10.

2. По **первой слева цифре шифра** из таблицы 9 выбирается **номинальная мощность, передаваемая приводом**.

3. По **второй слева цифре шифра** из таблицы 9 выбирается **реверсивность привода**.

4. По **третьей слева цифре шифра** из таблицы 9 выбирается **частота вращения выходного вала привода**.

5. По **четвертой слева цифре шифра** из таблицы 9 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 8, с. 41-42).
- г) материалом шпонок задаться в соответствии с существующими рекомендациями, например, [4]; размеры шпонок приведены в таблицах 13, 14.

*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 9

## Исходные данные к задаче 3.1

Цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
<i>Для схем привода № 3, № 4, № 5, № 6, № 7, № 8, № 9</i>										
Частота вращения выходного вала привода, об/мин	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	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H

Схема № 0

Привод червячно-цилиндрический

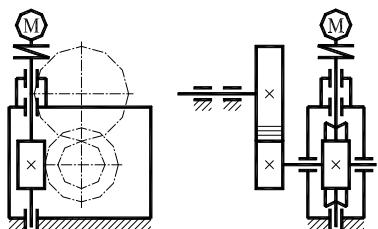


Схема № 2

Привод червячно-цепной

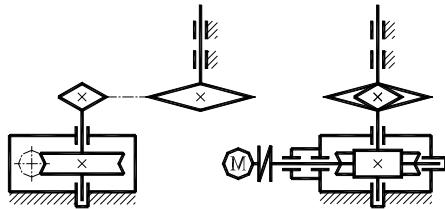


Схема № 4

Привод цилиндрическо-цепной

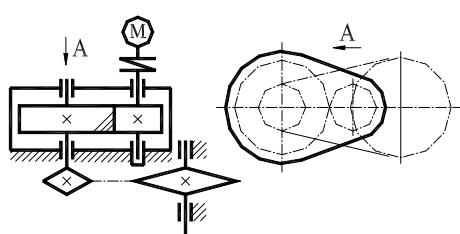


Схема № 6

Ременно-цилиндрический

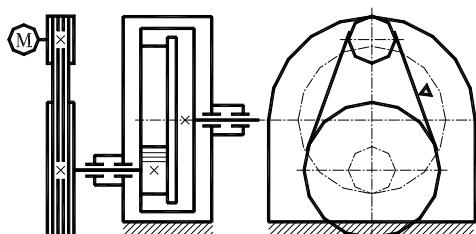


Схема № 1

Привод ременно-червячный

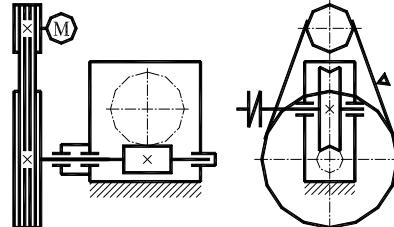


Схема № 3

Привод ременно-цилиндрический

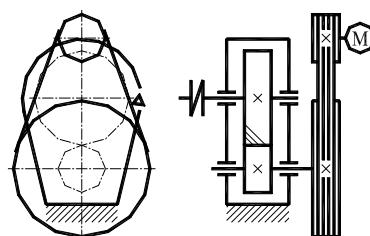


Схема № 5

Привод цилиндрическо-цилиндрический

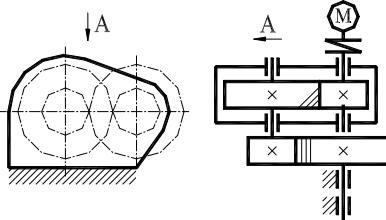
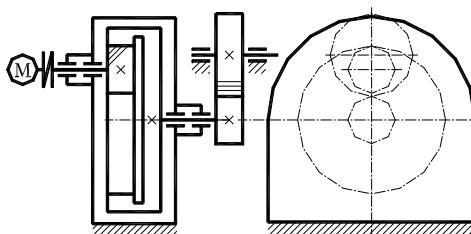
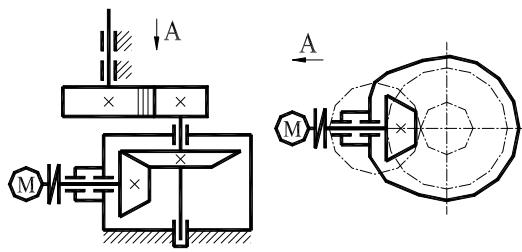


Схема № 7

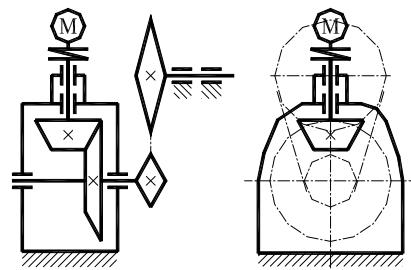
Привод цилиндрическо-цилиндрический



**Схема № 8**  
Привод коническо-цилиндрический



**Схема № 9**  
Привод коническо-цепной



**Таблица 10**

**Кинематические схемы**

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

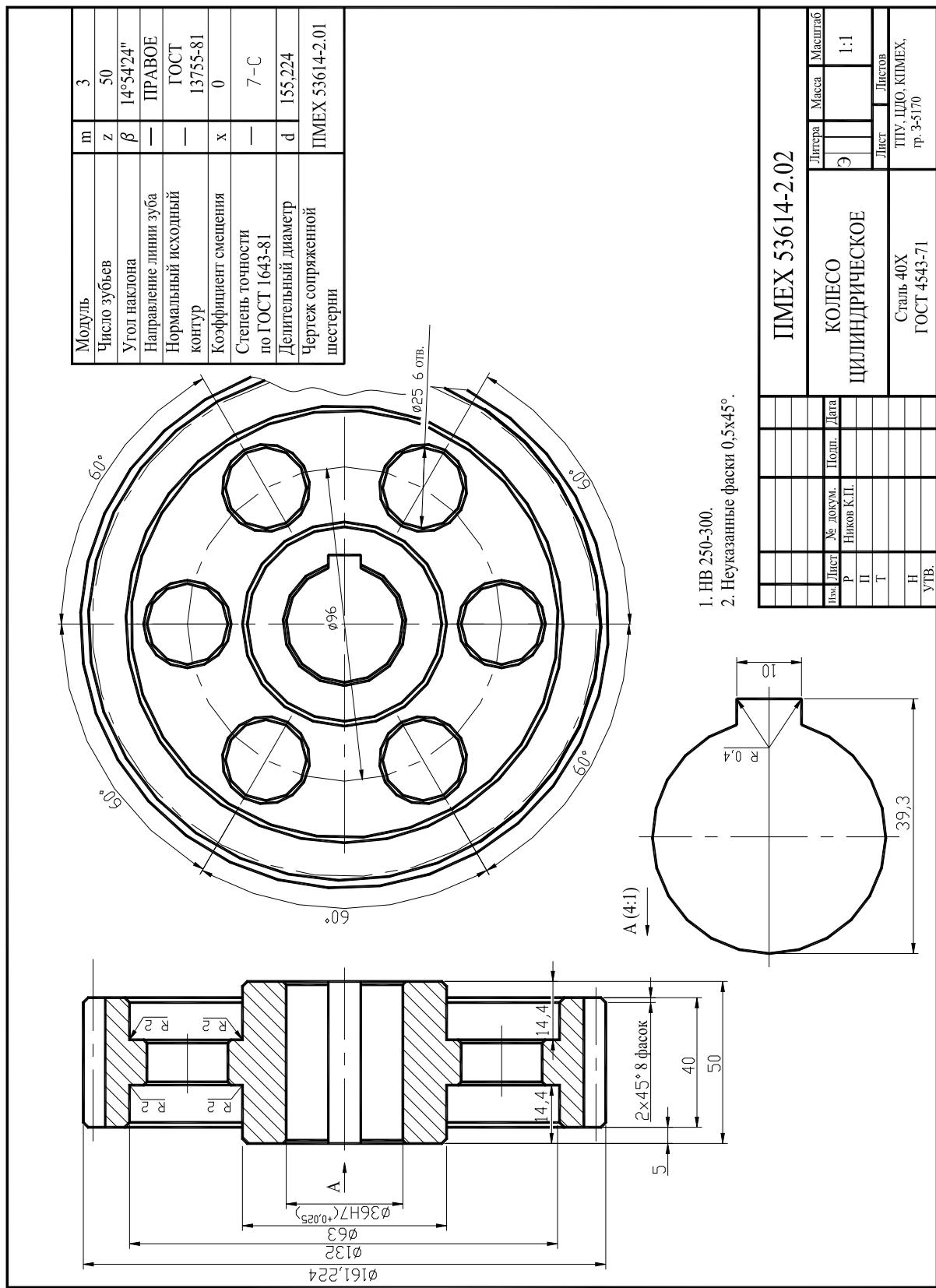


Рис. 1. Пример выполнения эскизного чертежа

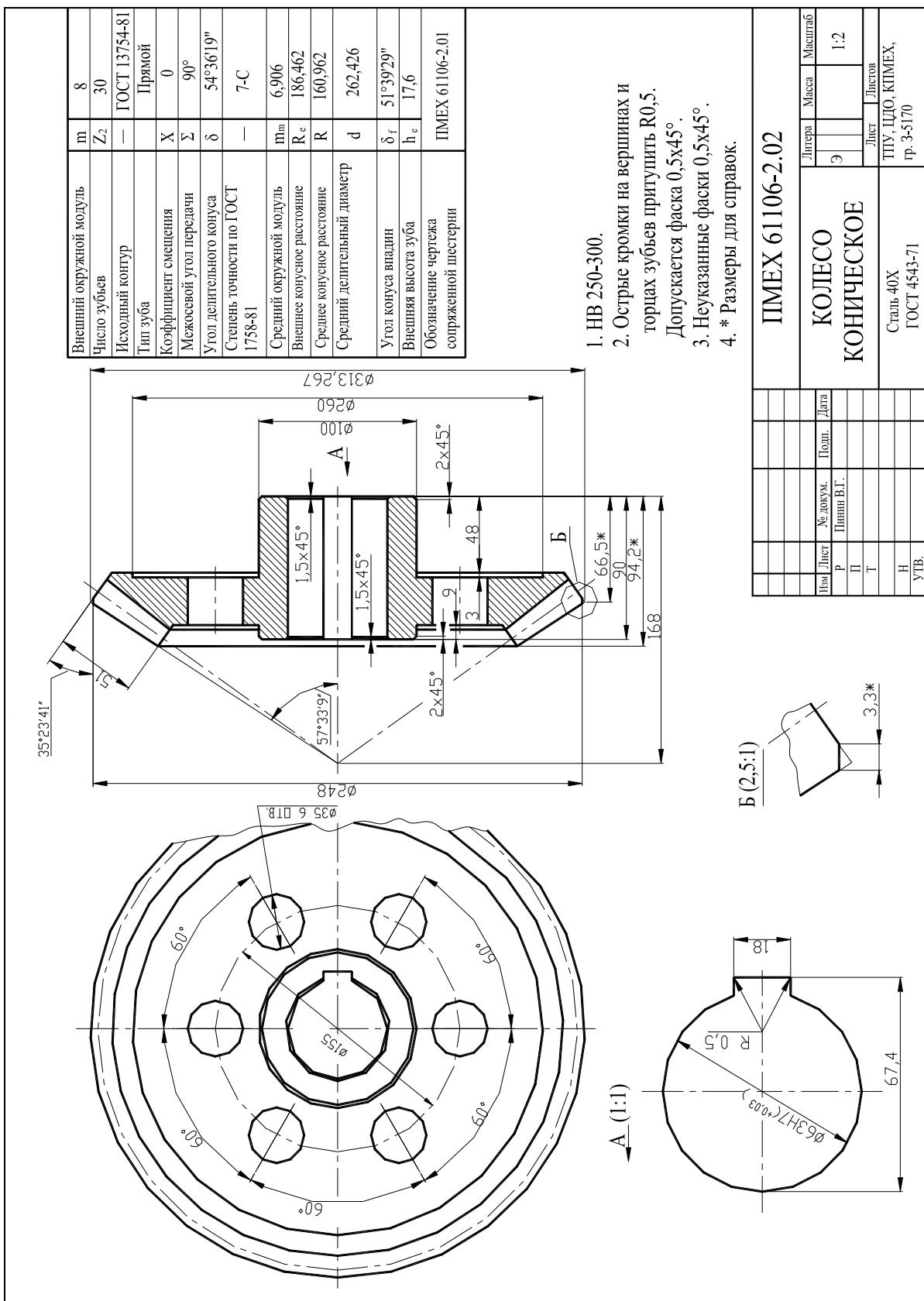


Рис. 2. Пример выполнения эскизного чертежа эвольвентного конического зубчатого колеса

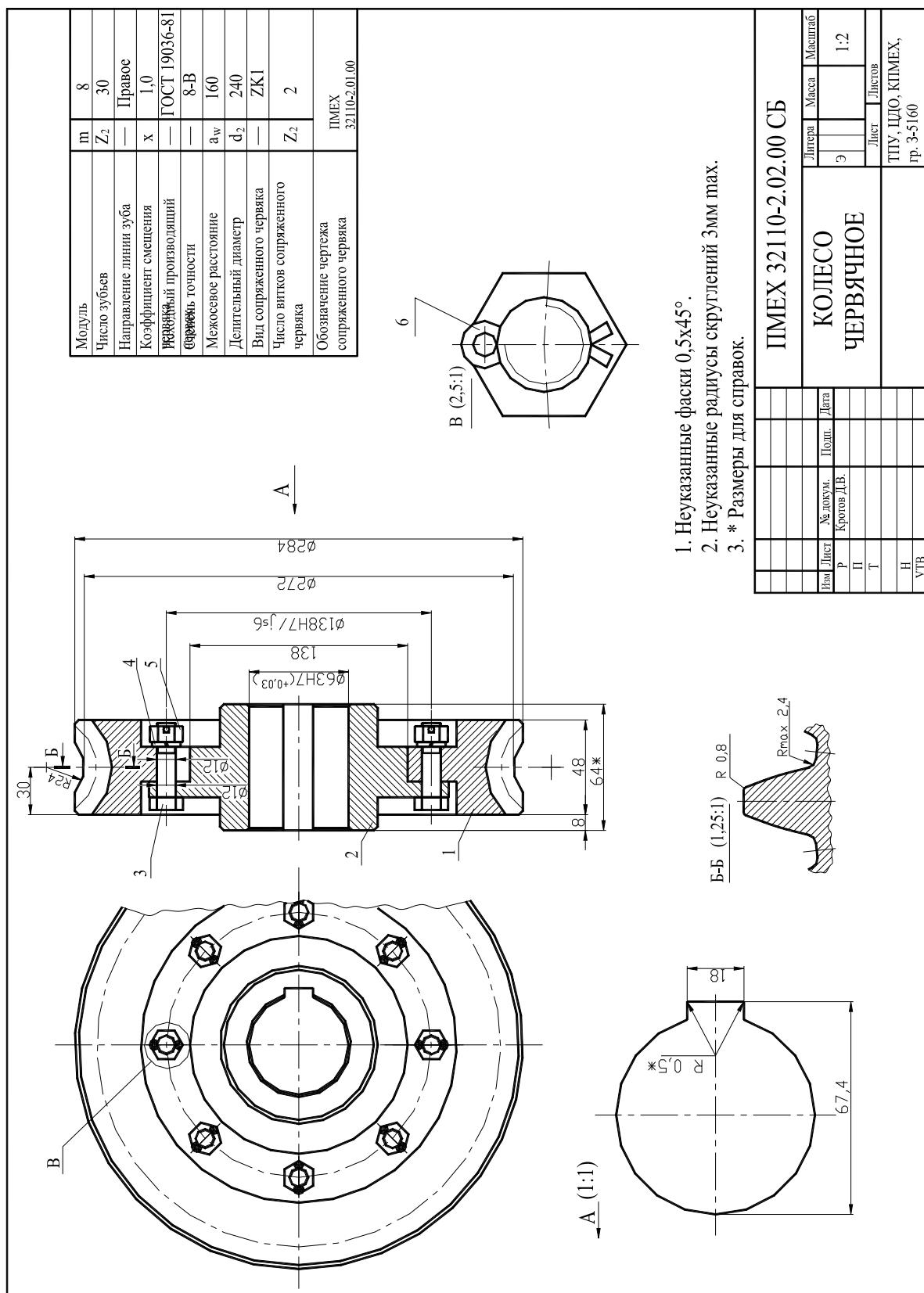


Рис. 3. Пример выполнения эскизного чертежа червячного колеса

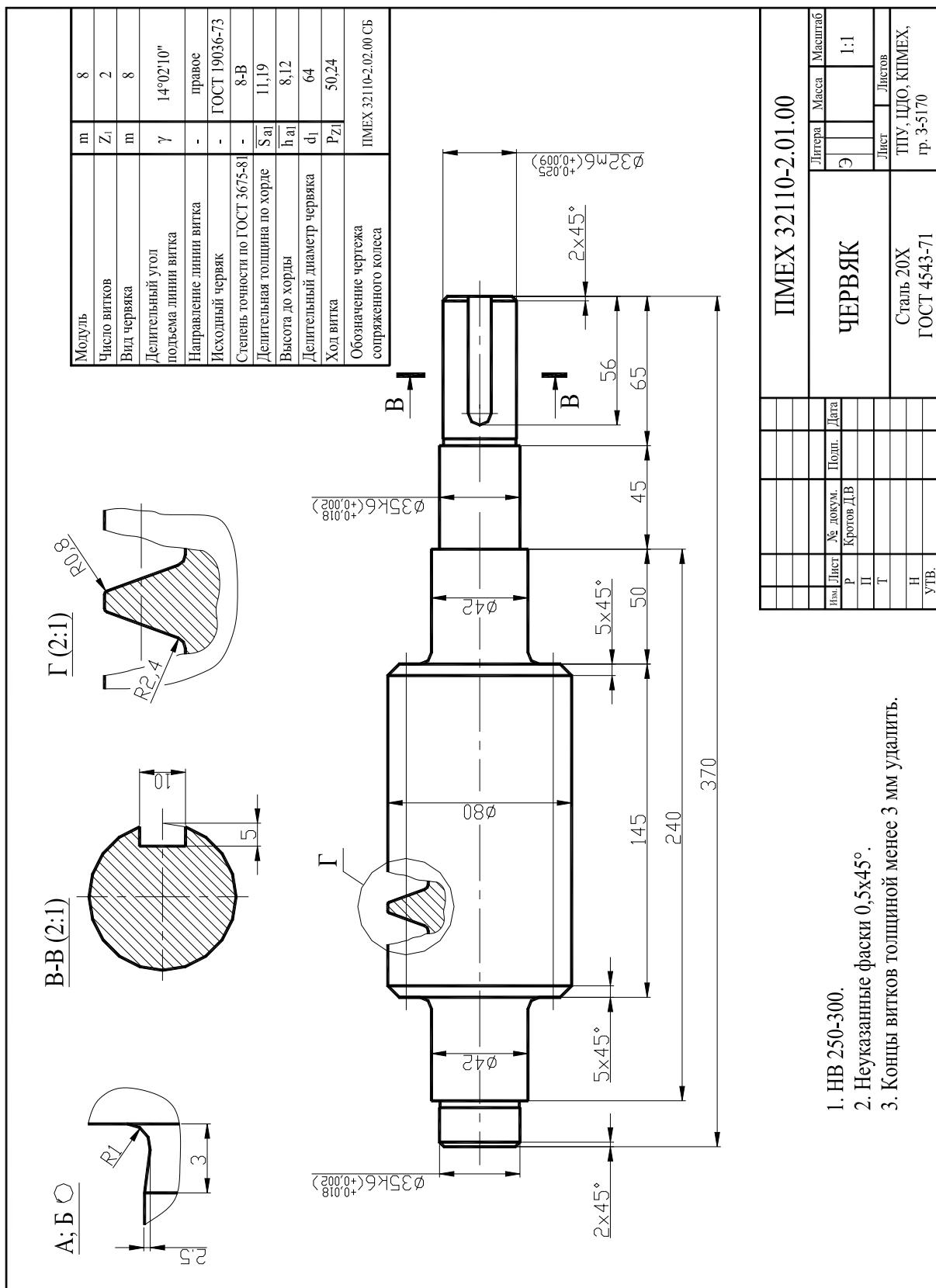


Рис. 4. Пример выполнения эскизного чертежа червяка

Таблица 11

## 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
4AAM56B2Y3	0,25	2760	4AM80A2Y3	1,50	2850
4AAM63A2Y3	0,37	2740		2,20	
4AAM63B2Y3	0,55	2710		3,00	
4AM71A2Y3	0,75	2840		4,00	2880
4AM71B2Y3	1,10	2810		5,50	
4AAM63B6Y3	0,25	890	4AM90L6Y3	1,50	935
4AM71A6Y3	0,37	910	4AM100L6Y3	2,20	950
4AM71B6Y3	0,55	900	4AM112MA6Y3	3,00	955
4AM80A6Y3	0,75	915	4AM112MB6Y3	4,00	950
4AM80B6Y3	1,10	920	4AM132S6Y3	5,50	965
4AAM63A4Y3	0,25	1370	4AM80B4Y3	1,50	1415
4AAM63B4Y3	0,37	1365	4AM90L4Y3	2,20	1425
4AAM71A4Y3	0,55	1390	4AM100S4Y3	3,00	1435
4AM71B4Y3	0,75	1390	4AM100L4Y3	4,00	1430
4AM80A4Y3	1,10	1420	4AM112M4Y3	5,50	1445
4AM71B8Y3	0,25	680	4AM100L8Y3	1,50	700
4AM80A8Y3	0,37	675	4AM112MA8Y3	2,20	
4AM80B8Y3	0,55	700	4AM112MB8Y3	3,00	
4AM90L8Y3	0,75		4AM132S8Y3	4,00	720
4AM90LB8Y3	1,10		4AM132M8Y3	5,50	

Таблица 12

## Электродвигатели асинхронные трехфазные серии 4A, закрытые. Основные размеры, мм

Тип двигателя	Размеры																		
	$b_1$	$b_{10}$	$d_1$	$d_{10}$	$d_{20}$	$d_{22}$	$d_{24}$	$d_{25}$	$d_{30}$	$h$	$h_1$	$h_{10}$	$h_{31}$	$L_1$	$L_{10}$	$L_{20}$	$L_{21}$	$L_{30}$	$L_{31}$
456	4	90	11	5,8	115	10	140	95	120	56	4	7	152	23	71	3,0	10	194	36
463	5	100	14	7	130		160	110	130	63	5		164	30	80	3,5		216	40
71A, B	6	112	19		165	12	200	130	170	71	6	9	201	40	90	10	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																		392	
112M	10	190	32	12	265	15	300	230	260	112	8		310	80	140	40	16	452	70
132S		216	38		300	19	350	250	302	132		13	350	80	5,0	18	480	89	
132M														80			530		
160S	14	254	42	15					358	160		9	18	430	110		15	624	108

Продолжение таблицы 12

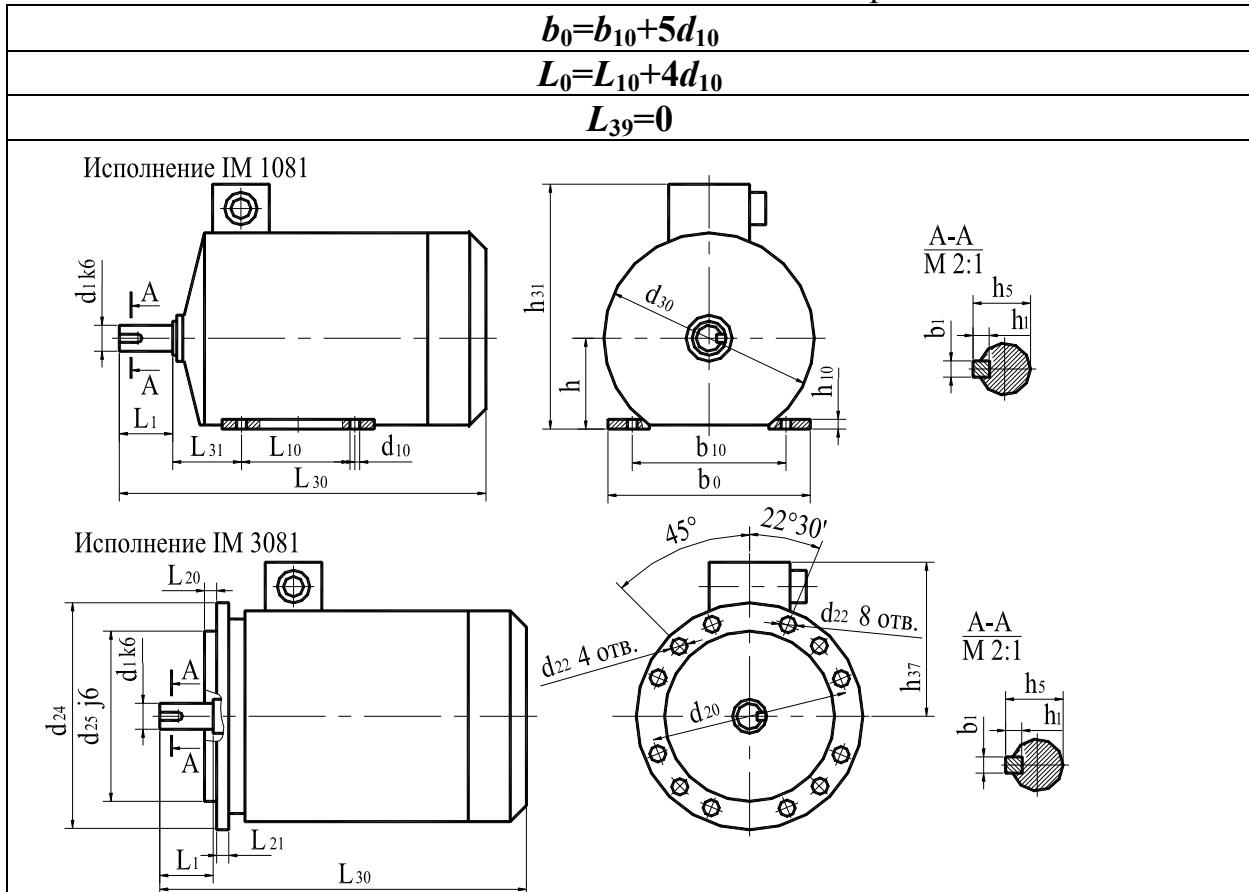


Таблица 13  
Шпонки призматические. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 23360-78

Вместо фасок Cx45° допускается назначать радиусы скругления  $r$ .

Исполнение 1      Исполнение 2      Исполнение 3

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

Продолжение таблицы 13

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 16×10×50 ГОСТ 23360-78.

Исполнение 2,  $b=16$  мм,  $h=10$  мм,  $L=50$  мм: Шпонка 2-16×10×50 ГОСТ 23360-78.

Таблица 14

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

$d$	Размеры шпонок					Глубина паза		$r$				
	$b$	$h$	$D$	$L$	$c$ или $r_1$	вала	втулки					
					min	max		min	max			
От 3 до 4	1,0	1,4	4	3,8	0,05	0,08	1,0	0,6	-	0,05		
Св. 4 до 6	1,5	2,6	7	6,8			2,0	0,8				
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			2,9					
Св. 8 до 10	3,0	5,0	13	12,6			2,5	1,4				
		6,5	16	15,7			3,8					
		7,5	19	18,6			5,3					
		9,0	22	21,6			3,5					
Св. 10 до 12	4,0	6,5	16	15,7	0,16	0,25	5,0	1,8	0,08	0,16		
		7,5	19	18,6			6,0					
		9,0	22	21,6			7,5					
		10,0	25	24,5			4,5					
Св. 12 до 17	5,0	6,5	16	15,7	0,25	0,40	5,5	2,3	0,16	0,25		
		7,5	19	18,6			7,0					
		9,0	22	21,6			8,0					
		10,0	25	24,5			6,5					
Св. 17 до 22	6,0	9,0	22	21,6	0,25	0,40	7,5	2,8	0,16	0,25		
		10,0	25	24,5			8,5					
		11,0	28	27,3			10,5					
		13,0	32	31,4			10,5					

## Продолжение таблицы 14

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

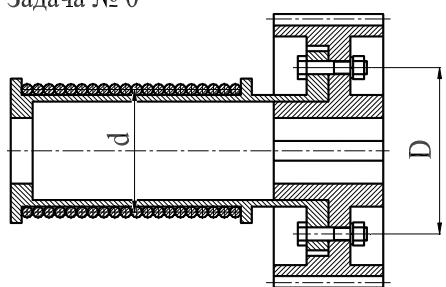
Отклонения размеров шпонок и пазов – по ГОСТ 7227-58

Пример обозначения сегментной шпонки размерами  $b=6$  мм,  $h=10$  мм:  
Шпонка сегм. 6×10 ГОСТ 24071-80

### 4.8 Контрольная задача № 7

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.

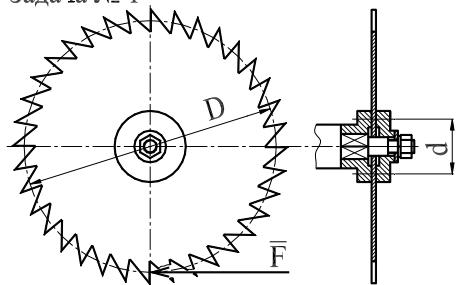
Расчет вести для случая, когда болты установлены с зазором.

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



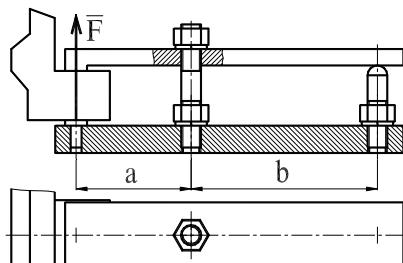
Определить диаметр нарезной части вала дисковой пилы, которая удерживается между двумя шайбами посредством сил трения, возникающих при затяжке гайки на конце вала.

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

Данные для расчета приведены в таблице. 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

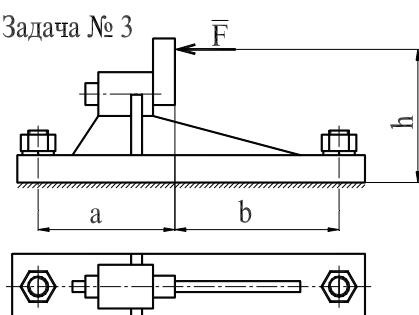


Определить диаметр резьбы шпильки станочного прихваты.

Числовые данные приведены в таблице.

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

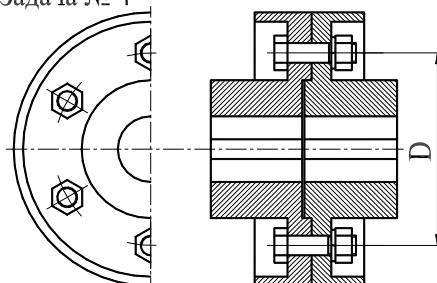
Болты принять с метрической резьбой.

Числовые данные для расчета приведены в таблице.

Недостающие данные принять самостоятельно.

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

Задача № 4



Рассчитать болты фланцевой муфты.

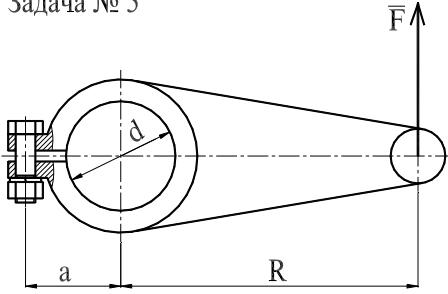
Передаваемая муфтой мощность -  $P$ , частота вращения -  $n$ , диаметр окружности центров болтов -  $d$ , число болтов -  $z$ .

Числовые данные приведены в таблице.

Материал муфты - чугун.

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

Задача № 5



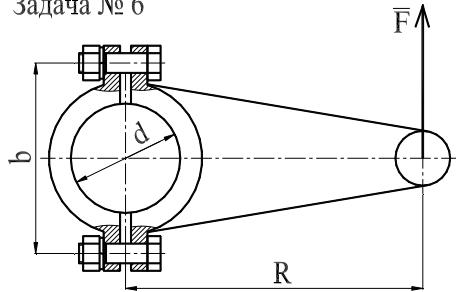
Рассчитать болт клеммового соединения, посредством которого рычаг неподвижно закреплен на валу.

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

Коэффициент трения  $f$  принять равным 0,2.

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>d, мм</b>	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
<b>F, кН</b>	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850
<b>R, мм</b>	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560
<b>a, мм</b>	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48

Задача № 6



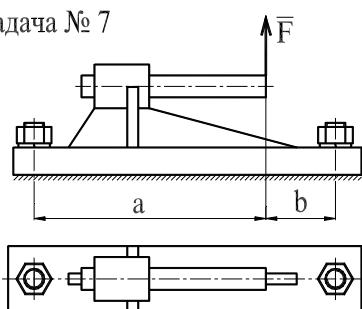
Рассчитать клеммовое болтовое соединение, обеспечивающее передачу крутящего момента с рычага, нагруженного силой  $F$  на расстоянии  $R$  от оси вала диаметром  $d$ .

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
<b>F, кН</b>	11,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
<b>R, мм</b>	750	1200	1150	1100	1050	1000	950	900	850	800
<b>d, мм</b>	60	42	44	46	48	50	52	54	56	58

Задача № 7

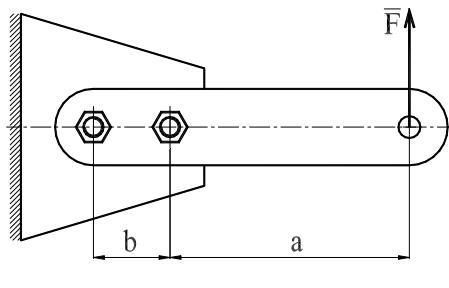


Рассчитать болты, которыми крепится стойка к бетонному фундаменту.

Числовые данные для расчета приведены в таблице.

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>F, кН</b>	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<b>a, мм</b>	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
<b>b, мм</b>	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.

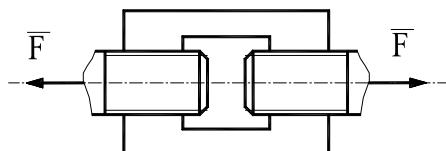
Коэффициент трения  $f$  принять равным

0,2.

Недостающие данные принять самостоятельно.

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$F$ , 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

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
Личный шифр студента .....	4
1 Цели и задачи учебной дисциплины .....	4
1.1 Цели преподавания дисциплины .....	4
1.2 Задачи изучения дисциплины .....	5
1.3 Перечень базовых дисциплин и их разделов, необходимых для изучения курса «Механика» .....	5
2 Содержание теоретического раздела дисциплины .....	5
Введение .....	5
2.1 Теоретическая механика .....	5
Введение .....	5
2.1.1 Литература .....	6
2.1.2 Программа раздела «Теоретическая механика» .....	6
Введение .....	6
2.1.2.1 Статика .....	6
2.1.2.2 Кинематика .....	7
2.1.2.3 Динамика .....	8
2.1.3. Вопросы для самопроверки .....	8

<b>2.2 Основы теории механизмов .....</b>	<b>12</b>
Введение .....	12
2.2.1 Литература .....	12
2.2.2 Программа раздела «Основы теории механизмов» .....	13
Введение .....	13
2.2.2.1 Общие сведения .....	13
2.2.2.2 Структура элементов механизмов .....	13
2.2.2.3 Механизмы и их классификация.....	13
2.2.2.4 Кинематический анализ механизмов.....	13
2.2.2.5 Трение в кинематических парах .....	14
2.2.2.6 Механический коэффициент полезного действия механизма .....	14
2.2.3 Вопросы для самопроверки.....	14
<b>2.3 Основы сопротивления материалов .....</b>	<b>15</b>
Введение .....	15
2.3.1 Литература .....	16
2.3.2 Программа раздела «Основы сопротивления материалов» .....	16
Введение .....	16
2.3.2.1 Общие сведения .....	16
2.3.2.2 Основные понятия и определения .....	16
2.3.2.3 Растяжение и сжатие .....	17
2.3.2.4 Изгиб прямолинейного бруса .....	18
2.3.2.5 Кручение .....	19
2.3.2.6 Сложное сопротивление.....	19
2.3.2.7 Местные напряжения .....	20
2.3.2.8 Прочность материалов при переменных напряжениях .....	20
2.3.3 Вопросы для самопроверки.....	21
<b>2.4 Передаточные механизмы с круглыми колесами .....</b>	<b>23</b>
Введение .....	23
2.4.1 Литература .....	23
2.4.2 Программа раздела «Передаточные механизмы с круглыми колесами».....	24
Введение .....	24
2.4.2.1 Фрикционные передачи.....	25
2.4.2.2 Ременные передачи.....	25
2.4.2.3 Цепные передачи .....	26
2.4.2.4 Зубчатые цилиндрические передачи .....	26
2.4.2.5 Зубчатые пространственные передачи .....	28
2.4.3 Вопросы для самопроверки.....	29
<b>2.5 Детали машин .....</b>	<b>31</b>
Введение .....	31
2.5.1 Литература .....	32
2.5.2 Программа раздела «Детали машин» .....	33
Введение .....	33

2.5.2.1 Общие вопросы .....	33
2.5.2.2 Машиностроительные материалы .....	33
2.5.2.3 Основы взаимозаменяемости .....	34
2.5.2.4 Неразъемные соединения .....	34
2.5.2.5 Разъемные соединения .....	35
2.5.2.6 Валы и оси .....	36
2.5.2.7 Муфты .....	36
2.5.2.8 Опоры валов и осей .....	36
2.5.2.9 Смазочные материалы. Способы смазки. Уплотнения .....	37
2.5.3. Вопросы для самопроверки .....	38
3 Практические занятия .....	40
Введение .....	40
3.1 Литература .....	41
3.2 Темы практических занятий .....	41
4 Контрольные работы .....	43
4.1 Литература .....	43
4.2 Контрольная задача № 1 .....	44
4.3 Контрольная задача № 2 .....	46
4.4 Контрольная задача № 3 .....	47
Указания: .....	48
4.5 Контрольная задача № 4 .....	50
4.6 Контрольная задача № 5 .....	52
Указания: .....	54
4.7 Контрольная задача № 6 .....	56
4.8 Контрольная задача № 7 .....	66
Оглавление .....	69

## **МЕХАНИКА**

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

**200101 «Приборостроение»**

**200106 «Информационно-измерительная техника и технология»**

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 офсетная.

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

Тираж       экз. Заказ       . Цена свободная.

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