

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Блинова Светлана Павловна

Должность: Заместитель директора по учебно-воспитательной работе

Дата подписания: 29.09.2020 11:02:52

Уникальный программный ключ:

1cafd4e102a27ce11a89a2a7ceb30237f3ab5c65

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Норильский государственный индустриальный институт»  
Политехнический колледж

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ**

**ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**

ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

13.02.01 Тепловые электрические станции

**Методические указания для обучающихся по выполнению самостоятельных работ по дисциплине «Техническая механика»** разработаны на основе Федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС 3+) для специальности 13.02.01 Тепловые электрические станции.

Организация-разработчик: Политехнический колледж ФГБОУ ВО «Норильский государственный индустриальный институт»

Разработчик:  
Матушкина Татьяна Дмитриевна, преподаватель

Рассмотрена на заседании цикловой комиссии  
Тепловых электрических станций

Председатель комиссии \_\_\_\_\_ Семенова С.И.

Утверждена методическим советом политехнического колледжа ФГБОУ ВО «Норильский государственный индустриальный институт».

Протокол заседания методического совета №\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_20\_\_\_ г.

Зам. директора по УР \_\_\_\_\_ С.П. Блинова

## Введение

Учебная программа «Техническая механика» предусматривает изучение общих законов движения и равновесия материальных тел, основ расчета элементов конструкции на прочность, жесткость, усталость и устойчивость. Изучения основ проектирования деталей и сборочных единиц машин. Дисциплина состоит из трех разделов: теоретической механики, сопротивления материалов и деталей машин.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен **уметь:**

- определять напряжения в конструкционных элементах;
- определять передаточное отношение;
- проводить расчет и проектировать детали и сборочные единицы общего назначения;
- проводить сборочно-разборочные работы в соответствии с характером соединений деталей и сборочных единиц;
- производить расчеты на сжатие, срез и смятие;
- производить расчеты элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость;
- собирать конструкции из деталей по чертежам и схемам;
- читать кинематические схемы.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен **знать:**

- виды движений и преобразующие движения механизмы;
- виды износа и деформаций деталей и узлов;
- виды передач; их устройство, назначение, преимущества и недостатки, условные обозначения на схемах;
- кинематику механизмов, соединения деталей машин, механические передачи, виды и устройство передач;
- методику расчета конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при различных видах деформации;
- методику расчета на сжатие, срез и смятие;
- назначение и классификацию подшипников;
- характер соединения основных сборочных единиц и деталей;
- основные типы смазочных устройств;
- типы, назначение, устройство редукторов;
- трение, его виды, роль трения в технике;
- устройство и назначение инструментов и контрольно-измерительных приборов, используемых при техническом обслуживании и ремонте оборудования.

В результате изучения дисциплины должны быть сформированы общие и профессиональные компетенции:

ОК 1 Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2 Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их

эффективность и качество.

ОК 3 Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4 Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5 Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 7 Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), за результат выполнения заданий.

ОК 8 Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9 Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

ПК 1.1 Проводить эксплуатационные работы на основном и вспомогательном оборудовании котельного цеха, топливоподачи и мазутного хозяйства.

ПК 1.2 Обеспечивать подготовку топлива к сжиганию.

ПК 1.3 Контролировать работу тепловой автоматики и контрольно-измерительных приборов в котельном цехе.

ПК 1.4 Проводить наладку и испытания основного и вспомогательного оборудования котельного цеха.

ПК 2.1 Проводить эксплуатационные работы на основном и вспомогательном оборудовании турбинного цеха.

ПК 2.2 Обеспечивать водный режим электрической станции.

ПК 2.3 Контролировать работу тепловой автоматики, контрольно-измерительных приборов, электрооборудования в турбинном цехе.

ПК 2.4 Проводить наладку и испытания основного и вспомогательного оборудования турбинного цеха.

ПК 3.1 Планировать и обеспечивать подготовительные работы по ремонту теплоэнергетического оборудования.

ПК 3.2 Определять причины неисправностей и отказов работы теплоэнергетического оборудования.

ПК 3.3 Проводить ремонтные работы и контролировать качество их выполнения.

ПК 4.1 Управлять параметрами производства тепловой энергии.

ПК 4.2 Определять технико-экономические показатели работы основного и вспомогательного оборудования ТЭС.

ПК 4.3 Оптимизировать технологические процессы.

Самостоятельная работа проводится с целью: систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений обучающихся; углубления теоретических знаний; развития познавательных способностей и самостоятельности мышления.

Объем времени, на самостоятельную работу по учебной дисциплине определяется с учетом требований к минимуму содержания и уровню подготовки обучающихся.

Данные методические указания позволяют проконтролировать целенаправленную работу обучающихся по изучению теоретического материала и приобретению практических навыков, приучают к самостоятельной работе, умению кратко излагать материал темы, делать выводы, самостоятельно мыслить. Все эти умения и навыки будут необходимы студентам при курсовом и дипломном проектировании.

## Тематический план

Наименование тем	Кол-во часов	Тема самостоятельной работы	Вид самостоятельной работы
1	2	3	4
<b>Раздел 1 Теоретическая механика</b>			
Тема 1.2 Плоская система сходящихся сил	2	Подготовка к устному опросу по теоретическому материалу, конспект «Способы сложения и разложения сил»	Работа над конспектами занятий
Тема 1.3 Пара сил и момент силы относительно точки	2	Подготовка к тестам	Подготовка к тестам
Тема 1.4 Плоская система произвольно расположенных сил	2	Подготовка к защите расчетных работ, выполнение расчетно-графической работы «Определение реакций опор и моментов защемления»	Выполнение расчетно-графической работы
Тема 1.5 Центр тяжести	2	Подготовка к защите расчетных работ, выполнение расчетно-графической работы «Определение координат центра тяжести составного сечения»	Выполнение расчетно-графической работы
Тема 1.7 Кинематика точки	2	Подготовка к устному опросу по теоретическому материалу	Работа над конспектами занятий
Тема 1.8 Простейшие движения твердого тела	2	Подготовка к устному опросу по теоретическому материалу, подготовка к тестированию	Подготовка к тестам
Тема 1.10 Движение материальной точки. Метод кинетостатики	2	Проработка конспектов лекций, подготовка к опросу. Решение задач	Работа над конспектами занятий
Тема 1.11 Трение. Работа и мощность	2	Проработка конспектов лекций, подготовка к тестам	Подготовка к тестам

<b>Раздел 2 Сопротивление материалов</b>			
1	2	3	4
Тема 2.1 Основные положения	2	Проработка конспектов лекций, подготовка к опросу	Работа над конспектами занятий
Тема 2.2 Растяжение и сжатие	2	Подготовка к защите расчетных работ, выполнение расчетно-графической работы «Определить $\Delta l$ , построить эпюры $N$ , $\sigma$ »	Выполнение расчетно-графической работы
Тема 2.3 Практические расчеты на срез и смятие		Проработка конспектов лекций, подготовка к тестированию	Подготовка к тестам
Тема 2.4 Кручение	2	Подготовка к защите расчетных работ, выполнение расчетно-графической работы «Определить диаметры участков вала и углы закручивания»	Выполнение расчетно-графической работы
Тема 2.5 Изгиб	4	Подготовка к защите расчетных работ, выполнение расчетно-графической работы «Построить эпюры $Q$ , $M_n$ , подобрать сечение, проверить прочность»	Выполнение расчетно-графической работы, работа над конспектами занятий
Тема 2.6 Гипотезы прочности и их применение	4	Выполнение расчетно-графической работы «Расчет вала при сочетании основных деформаций»	Выполнение расчетно-графической работы
<b>Раздел 3 Детали машин</b>			
Тема 3.2 Общие сведения о передачах	4	Проработка конспектов лекций, решение задач, подготовка к тестам	Работа над конспектами занятий, подготовка к тестам
Тема 3.3 Фрикционные и ременные передачи	2	Проработка конспектов лекций, подготовка к тестам	Подготовка к тестам

1	2	3	4
Тема 3.4 Зубчатые и цепные передачи	2	Проработка конспектов лекций, подготовка к опросу	Работа над конспектами занятий
Тема 3.6 Подшипники	2	Проработка конспектов лекций, подготовка к опросу	Работа над конспектами занятий
Тема 3.7 Соединения деталей машин	2	Проработка конспектов лекций, подготовка к тестированию	Подготовка к тестам

**Раздел 1 Теоретическая механика**  
**Тема 1.2 Плоская система сходящихся сил**

**Цель:** познакомиться с понятием плоская система сходящихся сил; сформировать знания о условиях равновесия системы сил; уметь определять равнодействующую системы сходящихся сил.

**Теоретические сведения**

Система сил линии действия которых пересекаются в одной точке, называется – *плоской системой сходящихся сил* (рисунок 1.1).

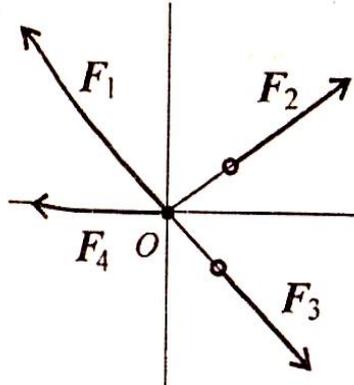


Рисунок 1.1 Плоская система сходящихся сил

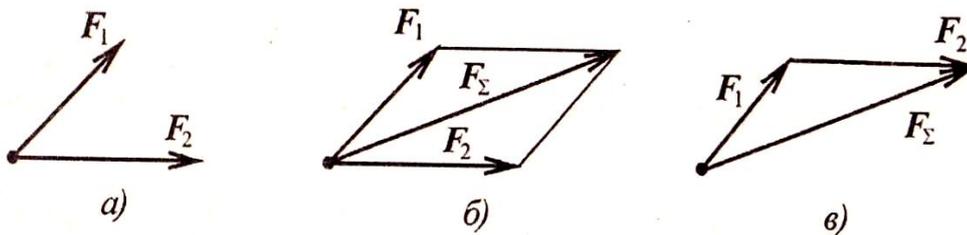


Рисунок 1.2 Сложение и разложение двух сил

Сложение и разложение двух сходящихся сил, (рисунок 1.2) производится по правилу параллелограмма и правилу треугольника. Графическим, графо-аналитическим или аналитическим способом. Для сложения любого числа сходящихся сил применяется правило многоугольника. Графическим методом строят многоугольник сил и определяют равнодействующую данной системы сил (рисунок 1.3а).

Используя свойства векторной суммы сил, можно получить равнодействующую любой сходящейся системы сил, складывая последовательно силы, входящие в систему. Образуется многоугольник. Вектор равнодействующей силы соединит начало первой вектора с концом последнего.

Вектор равнодействующей направлен *навстречу* векторам слагаемых. Такой способ получения равнодействующей называют геометрическим.

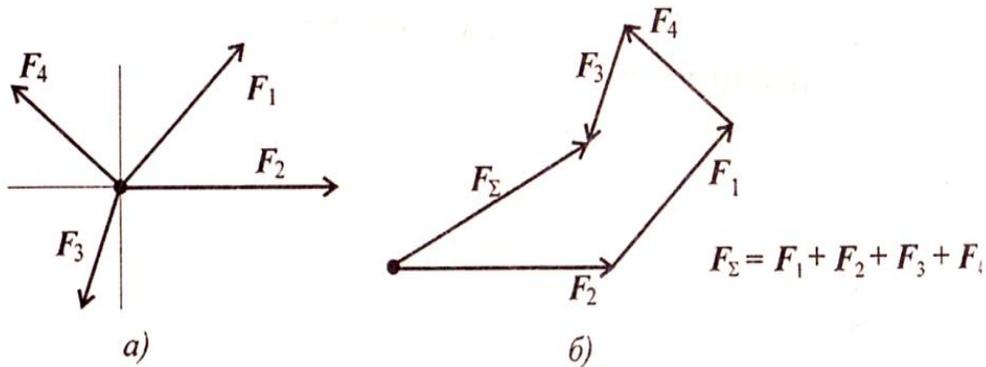


Рисунок 1.3а Графический метод определения равнодействующей системы сходящихся сил (многоугольник сил)

*Геометрическое условие равновесия плоской системы сходящихся сил:* плоская система сходящихся сил находится в равновесии, если силовой многоугольник сил этой системы замкнут, равнодействующая данной системы равна нулю.

Аналитическое определение равнодействующей основано на методе проекций.

*Проекция* - это отрезок на оси, полученный с помощью перпендикуляров опущенных на ось, из начала и конца вектора силы. Проекция силы  $\vec{P}$  на ось  $x$  (рисунок 1.3б)  $P_x = P \cdot \cos \alpha$  - величина скалярная.

Проекция будет положительной, если угол между направлением силы и положительным направлением оси - острый, и отрицательной, если этот угол - тупой; если сила перпендикулярна к оси, то ее проекция на ось равна нулю, если сила параллельна оси, то ее проекция на ось равна величине этой силы.

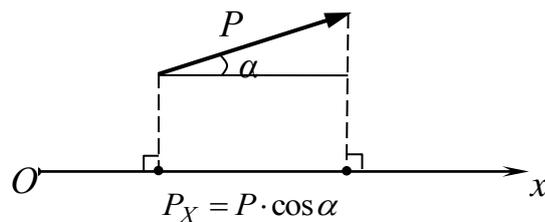


Рисунок 1.3б Аналитический метод определения равнодействующей системы сходящихся сил (метод проекций)

Определив проекции всех сил, определяют проекции искомой равнодействующей, которая равна векторной сумме всех сил.

$$R_x^* = \sum P_{ix}; \quad R_y^* = \sum P_{iy}.$$

$$\text{Модуль равнодействующей: } R^* = \sqrt{R_x^{*2} + R_y^{*2}}.$$

$$\text{Угол, определяющий направление между } R_x^* \text{ и осью } y: \operatorname{tg} \varphi = \frac{|R_x^*|}{|R_y^*|}.$$

Для равновесия плоской системы сходящихся сил необходимо и достаточно, чтобы силовой многоугольник был замкнут (геометрическое условие равновесия):

$$\overline{R^*} = \sum F_i = 0.$$

Для равновесия плоской системы сходящихся сил необходимо и достаточно, чтобы сумма проекций всех сил на оси  $x$  и  $y$  была равна нулю (аналитическое условие равновесия):

$$\sum X = 0; \quad \sum Y = 0.$$

*Аналитическое условие равновесия плоской системы сходящихся сил:*  
плоская система сходящихся сил находится в равновесии, если алгебраическая сумма проекций всех сил системы на любую ось равна нулю.

### **Задание**

1 Проработка конспекта занятия, учебной литературы (приложение А).

2 Изучить вопрос «Сложение и разложение системы сходящихся сил».

Для изучения этого вопроса необходимо составить конспект [1, стр. 12-14] (приложение Б).

### **Контрольные вопросы**

1 Как определяется равнодействующая системы сходящихся сил, построение силового многоугольника?

2 Какая система сил называется сходящейся?

3 Что называется проекцией силы на ось?

4 Как определить значение и знак проекции силы на оси координат?

5 Сформулируйте геометрическое условие равновесия плоской системы сходящихся сил.

6 Сформулируйте аналитическое условие равновесия плоской системы сходящихся сил.

7 В каком случае равнодействующая системы сходящихся сил равна нулю?

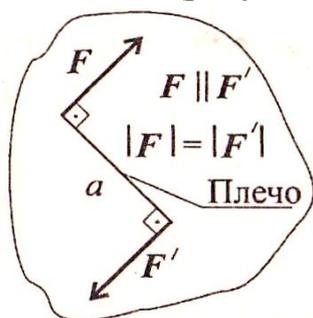
## **Тема 1.3 Пара сил и момент силы относительно точки**

**Цель:** изучить основные понятия: пара сил, момент пары, момент силы, правила знаков моментов, формулы определения моментов; ознакомиться со свойствами пары сил.

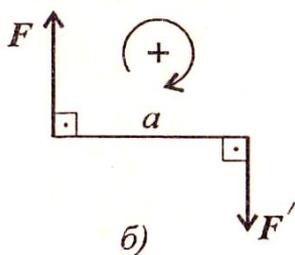
### **Теоретические сведения**

*Парой сил* называется система двух сил, равных по модулю, параллельных и направленных в разные стороны. Рассмотрим систему сил  $(F; F')$ , образующих пару.

Пара сил вызывает вращение тела и ее действие на тело оценивается моментом (рисунок 1.4).



а)



б)

Момент пары сил численно равен произведению модуля силы на расстояние между линиями действия сил (*плечо пары, обозначают a или h*).

Момент считают положительным, если пара вращает тело по часовой стрелке.

$$m = F_1 \cdot h = F_2 \cdot h, \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

*Свойства пар (без доказательств):*

1 Пару сил можно перемещать в плоскости ее действия.

2 Эквивалентность пар. Две пары, моменты которых равны, эквивалентны (действие их на тело аналогично).

3 Сложение пар сил. Систему пар сил можно заменить равнодействующей парой.

Рисунок 1.4 Пара сил

Момент равнодействующей пары равен алгебраической сумме моментов пар, составляющих систему.

$$m = \sum m_i$$

#### 4 Равновесие пар

Для равновесия пар необходимо и достаточно, чтобы алгебраическая сумма моментов пар системы равнялась нулю

$$\sum m_i = 0.$$

*Момент силы относительно точки* – это произведение модуля силы на плечо (рисунок 1.5)

$$M_0(F) = -F \cdot h, \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

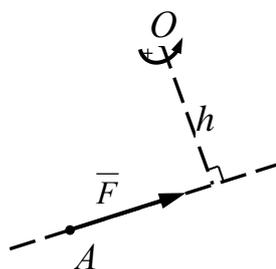


Рисунок 1.5 Момент силы относительно точки

Момент силы относительно точки равен нулю, если линия действия силы проходит через точку, т. к. в этом случае расстояние от точки до силы равно нулю.

### **Задание**

1 Проработка конспекта занятия, учебной литературы, подготовка к тестам (приложение А).

### **Контрольные вопросы**

- 1 Что такое пара сил?
- 2 Что такое момент пары сил?
- 3 Можно ли уравновесить пару сил одной силой? Имеет ли она равнодействующую?
- 4 Какие пары называются эквивалентными?
- 5 Каким образом производится сложение пар сил на плоскости?
- 6 Как формулируется условие равновесия системы пары сил?
- 7 Что называется моментом силы относительно точки?
- 8 Как определяется знак момента силы относительно точки?
- 9 Что называется плечом силы?
- 10 В каком случае момент силы относительно точки равен нулю?

### **Тема 1.4 Плоская система произвольно расположенных сил**

**Цель:** изучить основные понятия: главный вектор, главный момент; знать уравнения равновесия плоской системы сил; классификацию нагрузок, виды опор; научиться решать задачи на определение опорных реакций.

#### **Теоретические сведения**

*Приведение к точке плоской системы произвольно расположенных сил*

Линии действия произвольной системы сил не пересекаются в одной точке, поэтому для оценки состояния тела такую систему следует упростить. Для этого все силы системы переносят в одну произвольно выбранную точку - точку приведения. Применяют теорему Пуансо. При любом переносе силы в точку, не лежащую на линии ее действия, добавляют пару сил.

Появившиеся при переносе пары называют *присоединенными* парами.

Дана плоская система произвольно расположенных сил (рисунок 1.6).

Переносим все силы в точку  $O$ . Получим пучок сил в точке  $O$ , который можно заменить одной силой - *главным вектором системы*. Образующуюся систему пар сил можно заменить одной эквивалентной парой - *главным моментом системы*.

*Главный вектор равен геометрической сумме* векторов произвольной плоской системы сил. Проецируем все силы системы на оси координат и, сложив соответствующие проекции на оси, получим проекции главного вектора.

*Главный момент системы сил равен алгебраической сумме моментов* сил системы относительно точки приведения.

Таким образом, произвольная плоская система сил приводится к одной силе (главному вектору системы сил) и одному моменту (главному моменту системы сил).

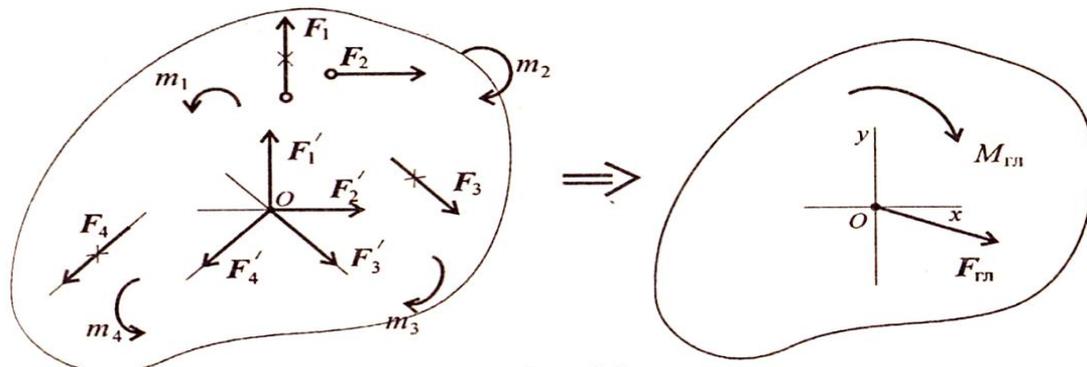


Рисунок 1.6 Приведение плоской системы сил к данному центру

Для равновесия плоской системы произвольно расположенных сил необходимо и достаточно, чтобы сумма проекций всех сил на оси координат  $x$  и  $y$  была равна нулю и чтобы сумма моментов всех сил, относительно любой точки плоскости так же была равна нулю:

$$\sum X = 0; \quad \sum Y = 0; \quad \sum M(F_i) = 0.$$

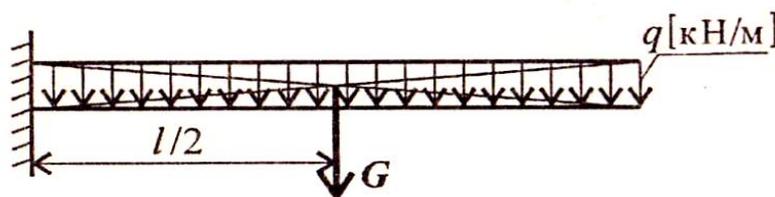
В рассматриваемых задачах используются лишь три разновидности нагрузок: сосредоточение силы, равномерно распределенные силы, пары сил.

Сосредоточенными называются силы, приложенные к точке тела.

Часто нагрузка распределена по значительной площадке или линии (давление воды на плотину, давление снега на крышу и т.п.), тогда нагрузку считают *распределенной* (рисунок 1.7).

Равномерно распределенные нагрузки задаются при помощи двух параметров – интенсивности  $q$  и длины  $l$ , на которой они действуют.

В задачах статики для абсолютно твердых тел распределенную нагрузку можно заменить равнодействующей сосредоточенной силой.



$q$  – интенсивность нагрузки;  $l$  – длина участка, где действует нагрузка;  
 $G = q \cdot l$  – равнодействующая распределенной нагрузки (в других источниках равнодействующую распределенной нагрузки обозначают  $Q$ ).

Рисунок 1.7 Распределенная нагрузка

### Задание

1 Подготовка к защите расчетно-графической работы

2 Выполнение расчетно-графической работы «Определение реакций опор и моментов защемления». При выполнении задания следовать алгоритму решения данных задач:

- выполнить чертеж балки, придерживаясь масштаба
- обозначить на чертеже опорные реакции
- составить для данной балки уравнения равновесия
- решить уравнения равновесия, определив неизвестные величины
- выполнить проверку правильности решения

### Контрольные вопросы

- 1 Что такое главный вектор и главный момент системы сил?
- 2 Как аналитически найти главный вектор и главный момент плоской системы сил?
- 3 Как формулируется теорема Вариньона?
- 4 Какие уравнения можно составить для произвольной плоской системы сил?
- 5 Какие виды нагрузок вы знаете?
- 6 Как найти числовое значение, направление и точку приложения равнодействующей распределенной нагрузки?

### Тема 1.5 Центр тяжести

**Цель:** сформировать знания по нахождению центра тяжести различных тел; изучить основные понятия: центр тяжести, сила тяжести; знать формулы для определения положения центра тяжести тела

#### Теоретические сведения

*Центр тяжести* – точка, через которую проходит линия действия равнодействующей элементарных сил тяжести. Он обладает свойством центра параллельных сил. Поэтому формулы для определения положения центра тяжести различных тел имеют вид:

$$X_C = \frac{\sum G_i \cdot X_i}{\sum G_i}; \quad Y_C = \frac{\sum G_i \cdot Y_i}{\sum G_i}; \quad Z_C = \frac{\sum G_i \cdot Z_i}{\sum G_i}.$$

Если тело представляет собой тонкую однородную пластину, то координаты центра тяжести можно определить исходя из площадей фигуры:

$$X_C = \frac{\sum S_i \cdot X_i}{\sum S_i}; \quad Y_C = \frac{\sum S_i \cdot Y_i}{\sum S_i}; \quad Z_C = \frac{\sum S_i \cdot Z_i}{\sum S_i}.$$

Положение координат центров тяжести простых геометрических фигур могут быть рассчитаны по известным формулам (рисунок 1.8): а) – круг; б) – квадрат, прямоугольник; в) – треугольник; г) – полукруг.

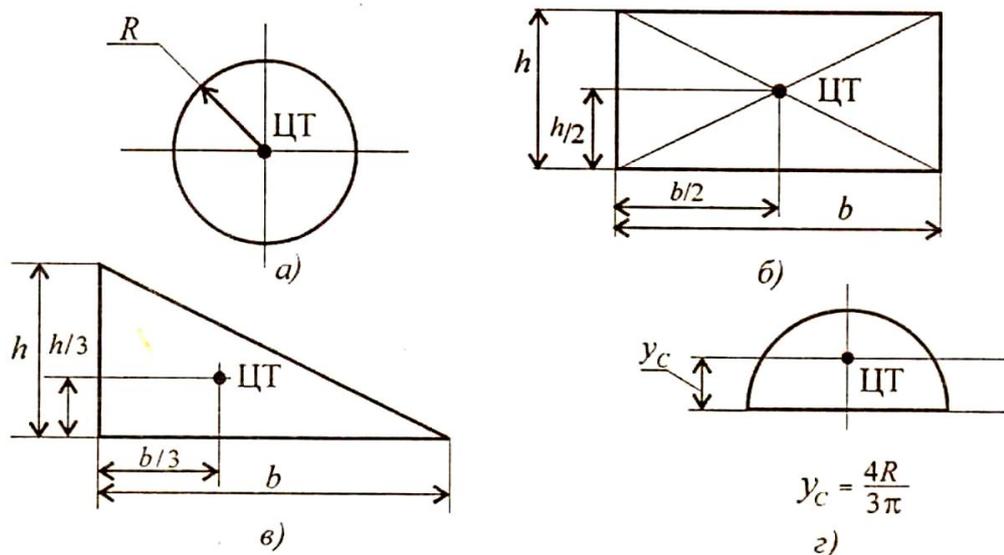


Рисунок 1.8 Положение центров тяжести простых фигур

### Задание

- 1 Подготовка к защите расчетно-графической работы
- 2 Выполнение расчетно-графической работы «Определение координат центров тяжести составного сечения». При выполнении задания следовать алгоритму решения данных задач:

- выполнить рисунок тела, положение центра тяжести которого нужно определить. Так как все размеры тела обычно известны, при этом следует соблюдать масштаб;

- разбить тело на составные части, положение центров тяжести которых определяется исходя из размеров тела;

- определить площади составных частей;

- выбрать расположение осей координат;

- определить координаты центра тяжести составных частей;

- найденные значения площадей отдельных частей, а также координаты их центров тяжести подставить в соответствующие формулы и вычислить координаты центра тяжести всего тела;

- по найденным координатам указать на рисунке положение центра тяжести тела.

### Контрольные вопросы

- 1 Что такое центр тяжести тела?
- 2 Как найти координаты центра тяжести треугольника и круга? Плоского составного сечения?
- 3 Что такое центр параллельных сил и каково его свойство?

## Тема 1.7 Кинематика точки

**Цель:** знать способы задания движения точки, определение значения и направления скорости и ускорения; научиться определять кинематические параметры движения точки

### Теоретические сведения

Величина, характеризующая в каждый данный момент времени направление и быстроту движения точки, называется *скоростью*. *Вектор скорости* всегда направлен вдоль касательной в ту сторону, куда движется точка. Численное значение скорости в любой момент времени выражается производной от расстояния по времени:

$$v = \frac{ds}{dt} \quad \text{или} \quad v = f'(t).$$

Ускорение  $\bar{a}$  точки в каждый данный момент времени характеризует быстроту изменения скорости. При этом нужно отчетливо понимать, что скорость – вектор, и, следовательно, изменение скорости может происходить по двум признакам: по числовой величине (по модулю) и по направлению.

Быстрота изменения модуля скорости характеризуется касательным ускорением  $\bar{a}_t$  – составляющей полного ускорения  $\bar{a}$ , направленной по касательной к траектории (рисунок 1.11).

Численное значение касательного ускорения в общем случае определяется по формуле

$$a_t = \frac{dv}{dt} \quad \text{или} \quad a_t = f''(t).$$

Быстрота изменения направления скорости характеризуется нормальным (центростремительным) ускорением  $\bar{a}_n$  – составляющей полного ускорения  $\bar{a}$ , направленной по нормали к траектории в сторону центра кривизны (рисунок 1.9).

Числовое значение нормального ускорения определяется в общем случае по формуле:

$$a_n = \frac{v^2}{\rho},$$

где  $v$  – модуль скорости точки в данный момент;  $\rho$  – радиус кривизны траектории в месте, где находится точка в данный момент.

После того как определены касательное и нормальное ускорения, легко определить и ускорение  $\bar{a}$  (полное ускорение точки).

Так как касательная и нормаль взаимно перпендикулярны, то численное значение ускорения  $\bar{a}$  можно определить при помощи теоремы Пифагора:

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}.$$

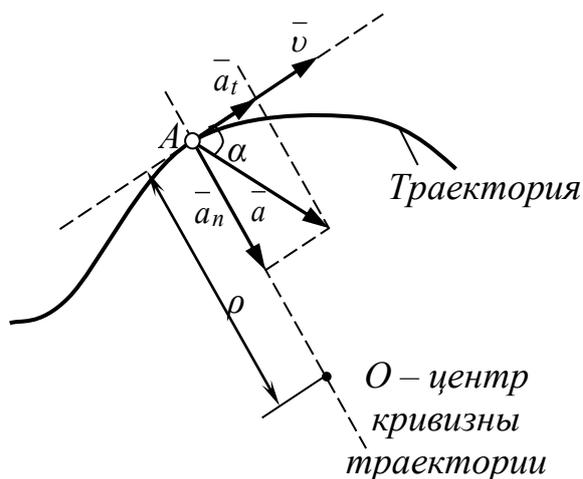


Рисунок 1.9 Скорость и ускорение в криволинейном движении

Касательное и нормальное ускорения точки являются главными кинематическими величинами, определяющими вид и особенности движения точки.

Наличие касательного ускорения ( $\bar{a}_t \neq 0$ ) или его отсутствие ( $\bar{a}_t = 0$ ) определяют соответственно неравномерность или равномерность движения точки.

Движение точки классифицируется по двум признакам: по степени неравномерности движения и по виду траектории.

Степень неравномерности

движения точки задана уравнением  $S=f(t)$ , а вид траектории задается непосредственно.

Если закон движения задан в координатной форме, то числовое значение скорости находится по формуле  $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ , после предварительного определения проекций скорости на оси координат  $v_x = \frac{dx}{dt}$ ;  $v_y = \frac{dy}{dt}$ .

Числовое значение ускорения находится из формулы  $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$  после предварительного определения проекций ускорения на оси координат  $a_x = \frac{dv_x}{dt}$ ;  $a_y = \frac{dv_y}{dt}$ . Направления скорости и ускорения относительно осей координат определяются из тригонометрических соотношений между векторами скорости и ускорения и их проекциями.

### Задание

1 Проработка конспекта занятия, учебной литературы, подготовка к опросу (приложение А).

### Контрольные вопросы

1 Как формулируется закон движения точки и какими способами его можно задать?

2 Запишите в общем виде закон движения в естественной и координатной форме?

3 Что называют траекторией движения точки?

4 Как определяется скорость движения точки при естественном способе задания движения?

5 Запишите формулы для определения касательного, нормального и полного движения точки?

6 Что характеризует касательное ускорение и как оно направлено по отношению к вектору скорости?

7 Что характеризует и как направлено нормальное ускорение?

## Тема 1.8 Простейшие движения твердого тела

**Цель:** сформировать знания о видах простейших движений твердого тела, знать формулы определения параметров поступательного и вращательного движений, уметь определять кинематические параметры тела

### Теоретические сведения

*Поступательным* называют такое движение твердого тела, при котором всякая прямая линия на теле при движении остается параллельной своему начальному положению (рисунок 1.10).

При поступательном движении все его точки движутся по одинаковым траекториям и в каждый данный момент они имеют равные скорости и равные ускорения. Поэтому поступательное движение тела задают движением какой либо одной точки, обычно движением центра тяжести.

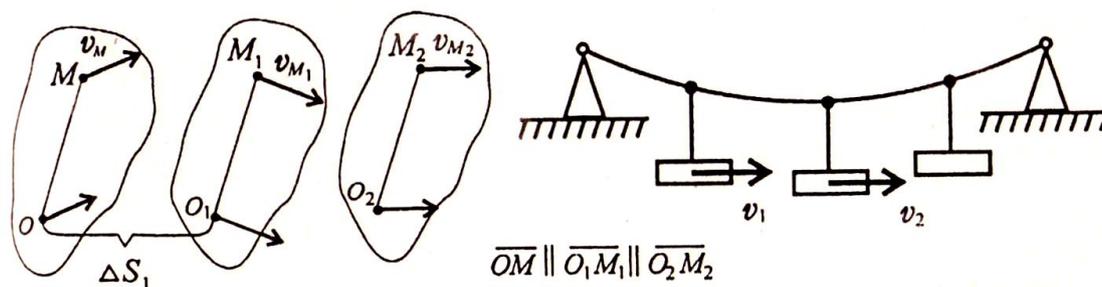


Рисунок 1.10 Поступательное движение

Движение материальной точки или *поступательное движение* тела характеризуют в зависимости от времени линейные величины  $s$  (путь, расстояние),  $v$  (скорость) и  $a$  (ускорение) с его составляющими  $a_t$  и  $a_n$ .

*Вращательное движение* тела в зависимости от времени  $t$  характеризуют угловые величины:  $\varphi$  (угол поворота в радианах),  $\omega$  (угловая скорость в  $\text{с}^{-1}$ ) и  $\varepsilon$  (угловое ускорение  $\text{с}^{-2}$ ).

Закон вращательного движения тела выражается уравнением

$$\varphi = f(t).$$

*Угловая скорость* - величина, характеризующая быстроту и направление вращения тела, определяется в общем случае как производная угла по времени

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = f'(t).$$

*Угловое ускорение* - величина, характеризующая быстроту изменения угловой скорости, определяется как производная угловой скорости

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = f''(t).$$

Приступая к решению задач на вращательное движение тела, необходимо иметь в виду, что в технических расчетах и задачах, как правило, угловое перемещение выражается не в радианах  $\varphi$ , а в оборотах  $n$ .

Поэтому необходимо уметь переходить от числа оборотов к радианному измерению углового перемещения и наоборот.

Так как один полный оборот соответствует  $2\pi$  рад, то

$$\varphi = 2\pi \cdot n \quad \text{и} \quad n = \frac{\varphi}{2\pi}.$$

Быстрота вращения тел в технических расчетах обычно измеряется не в  $\text{с}^{-1}$ , а в  $\text{мин}^{-1}$ . поэтому необходимо отчетливо уяснить, что угловая скорость  $\omega$   $\text{с}^{-1}$  и так называемая частота вращения  $n$   $\text{мин}^{-1}$  выражают одно и то же понятие – скорость вращения тела, но в различных единицах.

Переход от  $\text{мин}^{-1}$  – единиц частоты вращения – к  $\text{с}^{-1}$  – единицам угловой скорости – производится по формуле

$$\omega = \frac{\pi n}{30},$$

а обратный переход от  $\text{с}^{-1}$  к  $\text{мин}^{-1}$  – по формуле

$$n = \frac{30\omega}{\pi}.$$

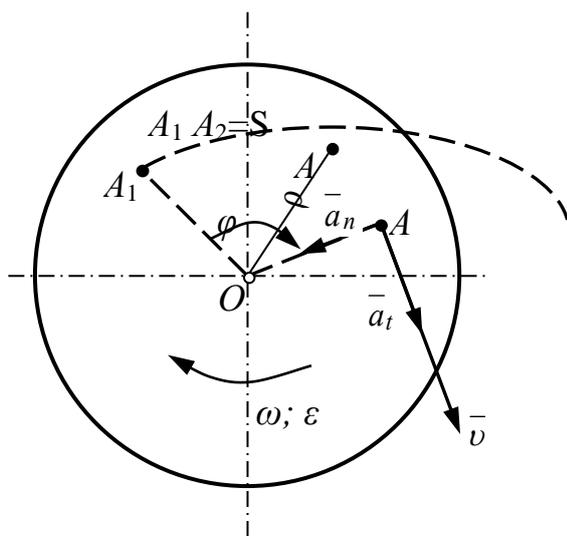


Рисунок 1.11 Вращательное движение

При вращательном движении тела все его точки движутся по окружностям, центры которых расположены на одной неподвижной прямой (ось вращающегося тела). Очень важно при решении задач, представлять зависимость между угловыми величинами  $\varphi$ ,  $\omega$  и  $\varepsilon$ , характеризующими вращательное движение тела, и линейными величинами  $s$ ,  $v$ ,  $a_t$  и  $a_n$ , характеризующими движение различных точек этого тела (рисунок 1.11).

Если  $\rho$  – расстояние от геометрической оси вращающегося тела до какой-либо точки  $A$ , то зависимость между

$\varphi$  – углом поворота тела и  $s$  – расстоянием, пройденным точкой тела за то же время, выражается так

$$s = \rho \cdot \varphi.$$

Зависимость между угловой скоростью тела и скоростью точки в каждый момент выражается равенством

$$v = \rho \cdot \omega.$$

Касательное ускорение точки зависит от углового ускорения и определяется формулой

$$a_t = \rho \cdot \varepsilon.$$

Нормальное ускорение точки зависит от угловой скорости тела и определяется зависимостью

$$a_n = \omega^2 \cdot \rho.$$

### **Задание**

1 Проработка конспекта занятия, учебной литературы, подготовка к тестам (приложение А).

### **Контрольные вопросы**

- 1 Какое движение твердого тела называется поступательным?
- 2 Что можно сказать о траекториях, скоростях и ускорениях точек тела, совершающего поступательное движение?
- 3 Дайте определение вращательного движения тела вокруг неподвижной оси. Что называется угловым перемещением тела?
- 4 Что называется угловой скоростью?
- 5 Какая связь между частотой вращения тела и угловой скоростью вращения?

## **Тема 1.10 Движение материальной точки. Метод кинетостатики**

**Цель:** сформировать знания о свободных и несвободных материальных точках, знать формулы расчета сил инерции при поступательном и вращательном движении,

### **Теоретические сведения**

*Инертность* - способность сохранять свое состояние неизменным, это внутреннее свойство всех материальных тел.

*Сила инерции* - сила, возникающая при разгоне или торможении тела (материальной точки) и направленная в обратную сторону от ускорения. Силу инерции можно измерить, она приложена к «связям» - телам, связанным с разгоняющимся или тормозящимся телом.

Рассчитано, что сила инерции равна

$$F_{ин} = |ma|$$

При решении различных технических задач, рассматриваются случаи если на материальную точку действует неуравновешенная система сил. В данном случае целесообразно решать задачи, применяя так называемый метод кинетостатики или принцип Даламбера который формулируется так: *активные силы, реакции связей и сила инерции образуют уравновешенную систему сил.*

Применяя принцип Даламбера, необходимо очень хорошо понимать сущность силы инерции. Нужно помнить, во-первых, что сила инерции, численно равная произведению массы точки на приобретенное ускорение, всегда направлена в сторону, противоположную вектору ускорения;

во-вторых, что сила инерции в действительности не приложена к рассматриваемой в задаче материальной точке; она условно прикладывается к этой точке; фактически сила инерции приложена к движущему телу или к связи;

в-третьих, что равновесие сил, которое образуется после добавления силы инерции к силам, приложенным к точке, равновесие условное; но оно позволяет воспользоваться для решения задачи уравнениями равновесия из статики.

Для приложения силы инерции необходимо знать направление ускорения точки. При прямолинейном движении направление  $\bar{a}$  известно. В этом случае сила инерции  $\bar{F}^I$  направлена противоположно  $\bar{a}$ ,  $\bar{F}^I = ma$  по модулю.

При криволинейном движении силу инерции можно представить через ее касательную и нормальную составляющие, (рисунок 1.12):

$$\bar{F}_t^I = -m\bar{a}_t; \quad \bar{F}_n^I = -m\bar{a}_n.$$

Касательная сила инерции направлена в противоположную сторону от касательного ускорения; нормальная (центробежная) сила инерции по нормали к траектории в сторону от центра кривизны.

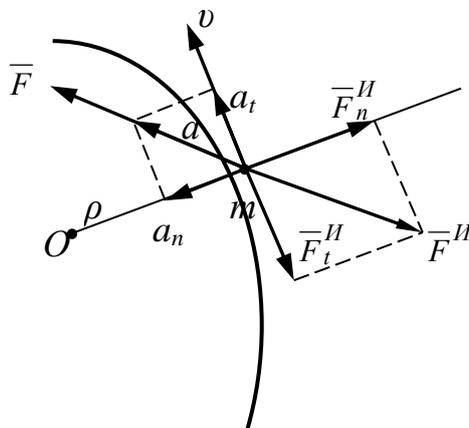


Рисунок 1.12 Сила инерции в криволинейном движении

### Задание

- 1 Проработка конспекта занятия, учебной литературы (приложение А).
- 2 Решение задач с использованием метода кинетостатики.

Решить задачи [2, стр. 106]

При решении задач необходимо придерживаться следующей последовательности:

- выполнить схему
- выяснить вид движения точки, наличие ускорений, их направление

- приложить к точке все внешние силы, силу тяжести, силы реакции
- противоположно направлениям векторов ускорений приложить силы инерции
- для полученной системы сил составить уравнение равновесия
- решить уравнения равновесия

### Контрольные вопросы

- 1 Дайте определение силы инерции, как она направлена? К чему приложена?
- 2 В чем заключается принцип Даламбера?
- 3 Возникает ли сила инерции при равномерном криволинейном движении материальной точки?

## Тема 1.11 Трение. Работа и мощность.

**Цель:** сформировать понятия о силе трения, коэффициенте трения; о работе силы на прямолинейном и криволинейном пути; о мощности и КПД. Знать формулы для расчета работы, мощности, КПД; зависимости для определения силы трения.

### Теоретические сведения

*Трение* - сопротивление, возникающее при движении одного шероховатого тела по поверхности другого. При скольжении тел возникает трение скольжения, при качении - трение качения. Природа сопротивлений движению в разных случаях различна.

*Трение скольжения.* Причина — механическое зацепление выступов. Сила сопротивления движению при скольжении называется *силой трения скольжения*.

Законы трения скольжения:

- 1 Сила трения скольжения прямо пропорциональна силе нормального давления:

$$F_{TP} = fR,$$

где  $R$  - сила нормального давления, направлена перпендикулярно опорной поверхности;

$f$  - коэффициент трения скольжения.

Сила трения всегда направлена в сторону, обратную направлению движения.

- 2 Сила трения меняется от нуля до некоторого максимального значения, называемого силой трения покоя (статическое трение):

$$0 < F_f \leq F_{fo},$$

$F_{fo}$  — *статическая* сила трения (сила трения покоя).

- 3 Сила трения при движении меньше силы трения покоя. Сила трения при движении называется *динамической* силой трения ( $Ff$ ):

$$F_f < F_{fo}.$$

Поскольку сила нормального давления, зависящая от веса и направления опорной поверхности, не меняется, то различают статический и динамический коэффициенты трения:

$$F_f = fR; \quad F_{fo} = f_0R.$$

### Трение качения

Сопротивление при качении связано с взаимной деформацией грунта и колеса и значительно меньше трения скольжения (рисунок 1.13).

Обычно считают грунт мягче колеса, тогда в основном деформируется грунт, и в каждый момент колесо должно перекатываться через выступ грунта. Для равномерного качения колеса необходимо прикладывать силу  $F_{дв}$ .

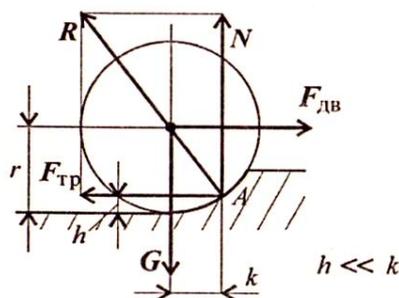


Рисунок 1.13 Трение качения

Условие качения колеса состоит в том, что движущийся момент должен быть не меньше момента сопротивления:

$$F_{дв} r > Nk;$$

$$N = G; \quad F_{дв} > k \cdot G/r,$$

где  $k$  - максимальное значение плеча (половина колеи) принимается за коэффициент трения качения, размерность - сантиметры.

Ориентировочные значения  $k$  (определяются экспериментально): сталь по стали –  $k = 0,005$  см; резиновая шина по шоссе –  $k = 0,24$  см.

*Приводим основные формулы, необходимые для вычисления работы и мощности.*

Работа постоянной силы  $F$  на прямолинейном пути

$$A = F s \cos \alpha,$$

где  $\alpha$  - угол между силой и перемещением.

Работа переменной силы на криволинейном пути

$$A = \int_0^s F ds \cos \alpha.$$

Работа силы тяжести

$$A = \pm GH,$$

где  $H$  - разность уровней движущейся точки.

Работа пары сил

$$A = M\varphi,$$

где  $M$  - момент пары;  
 $\varphi$  - угол ее поворота.

Мощность определяется по формуле

$$P = \frac{dA}{dt} = \frac{Fds \cos \alpha}{dt} = Fv \cos \alpha .$$

Если  $\alpha=0$ , то

$$P = F \frac{ds}{dt} = Fv ,$$

где  $v$  - скорость точки приложения силы  $F$ . При вращательном движении мощность определяется произведением вращающего момента на угловую скорость:

$$P=M\omega \text{ или } M = P/\omega .$$

Механический коэффициент полезного действия установки равен отношению работы сил полезных сопротивлений  $A_{п.с}$  к работе движущих сил  $A_{дв}$ :

$$\eta = \frac{A_{п.с}}{A_{дв}} .$$

В Международной системе единиц (СИ) работа измеряется в джоулях (Дж). Джоуль равен работе силы в один ньютон на совпадающем с силой перемещении в один метр:  $1\text{Дж}=1\text{Н}\cdot\text{м}$ .

Мощность измеряется в ваттах (Вт)  $1\text{Вт}=1\text{Дж}/\text{с}$ .

### **Задание**

1 Проработка конспекта занятия, учебной литературы, подготовка к тестам (приложение А).

### **Контрольные вопросы**

- 1 Что называется силой трения?
- 2 Чем отличается трение качения от трения скольжения?
- 3 Как определяется работа постоянной силы на прямолинейном участке пути?
- 4 Что называется мощностью и каковы ее единицы?
- 5 Чему равна работа силы тяжести?
- 6 Что называется вращающим моментом? Механическим КПД?
- 7 Как выражается зависимость между вращающим моментом и угловой скоростью при заданной мощности?

## **Раздел 2 Сопротивление материалов**

### **Тема 2.1 Основные положения**

**Цель:** познакомиться с видами расчетов и нагрузок, знать метод сечений, внутренние силовые факторы, составляющие вектора напряжений.

## Теоретические сведения

### Метод сечений. Внутренние силовые факторы

Для проведения расчетов на прочность и жесткость необходимо установить зависимость между внешними силами, действующими на элементы конструкций, и возникающими при этом внутренними силами. Для этого используется метод сечений. Применительно к брусу метод сечений служит для определения внутренних сил, возникающих в поперечных

сечениях бруса. При этом определяется статический эквивалент системы внутренних сил, возникающих в поперечном сечении, их главный вектор и главный момент.

Практически вместо отыскания величины и направления главного вектора и главного момента внутренних сил определяют их составляющие по осям координат. Составляющие главного вектора и главного момента внутренних сил называют внутренними силовыми факторами.

На рисунке 2.1 а изображено тело (брус), находящееся в равновесии под действием приложенных к нему внешних

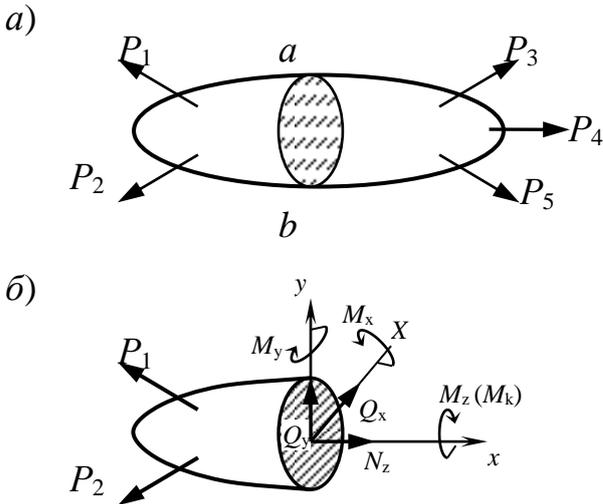


Рисунок 2.1 Внутренние силовые факторы

сил (напомним, что опорные реакции входят в число внешних сил). На рисунке 2.1, б показана отсеченная часть тела, с соответствующими внешними силами (приложенными к этой части) и внутренними силовыми факторами, возникающими в проведенном сечении и заменяющими действие отброшенной части тела на оставленную.

Составляя для оставленной части уравнения равновесия:

$$\begin{aligned} \sum X = 0; \quad \sum Y = 0; \quad \sum Z = 0; \\ \sum M_X(\bar{F}_i) = 0; \quad \sum M_Y(\bar{F}_i) = 0; \quad \sum M_Z(\bar{F}_i) = 0. \end{aligned}$$

можно найти значения внутренних силовых факторов.

Каждый из шести внутренних силовых факторов соответствует определенному виду деформации бруса:

$N_z$  – продольная сила, возникает при работе бруса на растяжение или сжатие;  $Q_x$  и  $Q_y$  – поперечные силы, соответствующие деформации сдвига (среза);  $M_z$  – крутящий момент, возникающий при работе бруса на кручение;  $M_x$  и  $M_y$  – изгибающие моменты, каждый из которых соответствует изгибу бруса в одной из координатных плоскостей.

### Напряжения

Внутренние силы распределены по сечению непрерывно, при этом их значения в разных точках сечения в общем случае неодинаковы.

Величину, характеризующую интенсивность внутренних сил,

называют напряжением.

Напряжением в данной точке сечения называют предел отношения элементарной внутренней силы к площади выделенной в сечении площадки (рисунок 2.2) при стремлении последней к нулю:

$$p = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta R}{\Delta S}.$$

Напомним, что напряжения по разным сечениям, проведенным через одну и ту же точку тела, в общем случае будут различны.

Размерность напряжения: [сила]·[длина<sup>2</sup>]. В Международной системе единиц (СИ) единица измерения напряжения Н/м<sup>2</sup>. В практике пользуются внесистемной единицей Н/мм<sup>2</sup>.

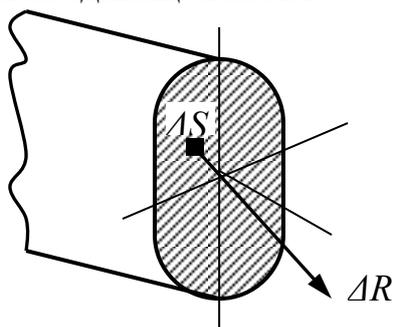


Рисунок 2.2

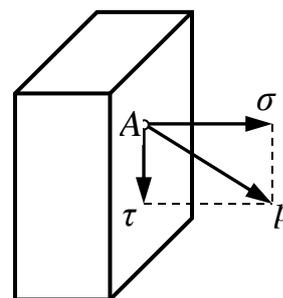


Рисунок 2.3

### Напряжение

Напряжение  $\bar{p}$  принято раскладывать, как показано на рисунке 2.3, на нормальную  $\sigma$  и касательную  $\tau$  составляющие.

### Задание

1 Проработка конспекта занятия, учебной литературы, подготовка к опросу (приложение А).

### Контрольные вопросы

- 1 Какие силы в сопротивлении материалов считают внешними, а какие внутренними?
- 2 Сформулируйте метод сечений
- 3 Что называют внутренними силовыми факторами? Сколько их может возникнуть?
- 4 Запишите систему уравнений, используемую при определении внутренних силовых факторов в сечении.
- 5 Какие деформации вызываются каждым из внутренних силовых факторов?
- 6 Что называют механическим напряжением?
- 7 Каковы единицы напряжения? Как направлены нормальное и касательное напряжения? Как они обозначаются?
- 8 Что называется прочностью, жесткостью и устойчивостью детали?

## Тема 2.2 Растяжение и сжатие

**Цель:** сформировать знания о построении эпюр продольных сил и нормальных напряжений, о порядке расчета на прочность; уметь строить эпюры, определять деформацию, проводить расчеты на прочность.

### Теоретические сведения

*Растяжением или сжатием* называется такой вид деформации, при котором в любом поперечном сечении бруса возникает только один внутренний силовой фактор – продольная сила  $N$ .

Продольная сила в любом поперечном сечении численно равна алгебраической сумме проекций на ось стержня внешних сил, приложенных к части стержня, расположенной по одну сторону от сечения.

При растяжении стержня продольную силу принято считать положительной, при сжатии – отрицательной.

График, показывающий закон изменения продольной силы по длине стержня, называется *эпюрой продольных сил*.

Нормальные напряжения в поперечных сечениях стержня, при растяжении и сжатия распределяются равномерно по сечению. Величину напряжений определяют по формуле

$$\sigma = \frac{N}{S}, \text{ н/м}^2,$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения стержня,  $\text{м}^2$ .

Эпюрой нормальных напряжений называют график, показывающий закон изменения напряжений в поперечных сечениях по длине стержня.

Изменение длины (удлинение или укорочение) участка бруса в границах применимости закона Гука определяют по формуле

$$\Delta l = \frac{Nl}{ES},$$

где  $E$  – модуль продольной упругости материала стержня,  $\text{н/м}^2$ .

Произведение  $ES$  называется жесткостью сечения стержня при растяжении или сжатии.

*Условие прочности* при осевом растяжении или сжатии имеет вид

$$\sigma \leq [\sigma],$$

где  $\sigma$  – наибольшее рабочее напряжение;

$[\sigma]$  – допускаемое напряжение при растяжении или сжатии.

Величину допускаемых напряжений при растяжении или сжатии принимают как некоторую часть от предельных напряжений материала. Для пластичных материалов за предельное напряжение принимают предел текучести ( $\sigma_T$ ), а для хрупких материалов – предел прочности ( $\sigma_B$ ). Таким образом, для пластичных материалов  $[\sigma] = \frac{\sigma_T}{[n_T]}$ , а для хрупких материалов

$[\sigma] = \frac{\sigma_B}{[n_B]}$ , где  $[n_T]$  и  $[n_B]$  – нормативные коэффициенты запаса прочности

соответственно по пределу текучести и по пределу прочности.

Различают три вида расчета на прочность:

1 Проверка прочности (проверочный расчет).

По известным продольной силе и размерам поперечного сечения определяют наибольшее рабочее напряжение, которое сравнивают с допусковым:

$$\sigma = \frac{N}{S} \leq [\sigma].$$

При проверочном расчете часто сравнивают фактический запас прочности с нормативным коэффициентом запаса прочности

$$n = \frac{\sigma_{\text{ПРЕД}}}{\sigma} \geq [n],$$

где  $\sigma_{\text{ПРЕД}}$  – предельное (опасное) напряжение для данного материала (предел текучести или предел прочности).

2 Подбор сечения (проектный расчет).

По известным продольной силе и допусковому напряжению определяют необходимую площадь поперечного сечения стержня

$$S \geq \frac{N}{[\sigma]}.$$

3 Определение допускаемой нагрузки.

По известным площади поперечного сечения и материалу (допусковому напряжению) стержня определяют допускаемое значение продольной силы  $[N]=S[\sigma]$ .

Найдя допускаемое значение продольной силы, определяют допускаемое значение внешней нагрузки.

### **Задание**

1 Подготовка к защите расчетно-графической работы

2 Выполнение расчетно-графической работы «Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений, определить абсолютную продольную деформацию бруса». При выполнении задания следовать алгоритму решения данных задач:

- разделить брус на участки, границы участков находятся в точках приложения сил или на стыке ступеней бруса

- определить продольные силы на участках бруса, используя метод сечений

- построить эпюру продольных сил

- определить нормальные напряжения на участках бруса

- построить эпюру нормальных напряжений

- определить абсолютную продольную деформацию бруса

### **Контрольные вопросы**

1 Какие внутренние силовые факторы возникают в сечении бруса при растяжении и сжатии?

- 2 Какие напряжения возникают при деформации растяжения и сжатия, и как они распределены по сечению?
- 3 Запишите формулу для расчета нормальных напряжений при сжатии
- 4 Что показывают эпюры?
- 5 Сформулируйте закон Гука при растяжении и сжатии
- 6 Запишите формулы для определения абсолютного удлинения бруса
- 7 Какое явление называется текучестью? Что такое «шейка»?
- 8 Перечислите характеристики прочности
- 9 Запишите условия прочности при растяжении и сжатии

### Тема 2.3 Практические расчеты на срез и смятие

**Цель:** сформировать знания о деталях работающих на срез и смятие, знать внутренние силовые факторы, условия прочности, уметь проводить расчеты на прочность при срезе и смятии.

#### Теоретические сведения

*Сдвигом* называется нагружение, при котором в поперечном сечении бруса возникает только один внутренний силовой фактор – поперечная сила ( $Q$ ). При сдвиге выполняется закон Гука, который в данном случае записывается:  $\tau = G\gamma$ .

Формула для расчета напряжений:  $\tau_c = Q/S$ ;  $Q = F/z$ ,  
где  $\tau$  – касательные напряжения,  $Q$  – поперечная сила,  $S$  – площадь сдвига,  $F$  – внешняя сила,  $z$  – количество деталей.

*Условие прочности при сдвиге (срезе):*  $\tau_c = Q/S < [\tau_c]$ ,  
 $[\tau_c]$  – допускаемые напряжения сдвига.

Довольно часто одновременно со сдвигом происходит смятие боковой поверхности в месте контакта в результате передачи нагрузки от одной поверхности к другой. При этом на поверхности возникают сжимающие напряжения, называемые *напряжениями смятия*,  $\sigma_{см}$ .

*Условие прочности при смятии:*  $\sigma_{см} = F/S_{см} < [\sigma_{см}]$ ,  $S_{см} = d\delta$ ,  
где  $d$  – диаметр окружности сечения,  $\delta$  – наименьшая высота соединяемых пластин,  $S_{см}$  – расчетная площадь смятия,  $F$  – сила взаимодействия между деталями,  $[\sigma_{см}]$  – допускаемые напряжения смятия.

#### Задание

1 Проработка конспекта занятия, учебной литературы, подготовка к тестам (приложение А).

#### Контрольные вопросы

1 Какие внутренние силовые факторы возникают при сдвиге и смятии?

- 2 Сформулируйте закон парности касательных напряжений
- 3 Запишите закон Гука при сдвиге, как обозначается деформация?
- 4 Запишите условия прочности на сдвиг и смятие.
- 5 Как определяется площадь смятия, если поверхность смятия цилиндрическая?

## Тема 2.4 Кручение

**Цель:** сформировать знания о деформациях при кручении, знать формулы условия прочности и жесткости, уметь строить эпюры крутящих моментов, выполнять проверочные расчеты, проводить проверку на жесткость.

### Теоретические сведения

*Кручение* – вид деформации бруса, характеризующийся тем, что из шести известных нам силовых факторов ( $N_z, Q_x, Q_y, M_x, M_y, M_z$ ) в поперечном сечении бруса отличается от нуля лишь один – крутящий момент  $M_z$  ( $M_K$ ). Последний вычисляется как сумма моментов относительно оси бруса всех внешних нагрузок, приложенных к части бруса, расположенной по одну сторону от рассматриваемого сечения. Крутящий момент считается положительным ( $M_z > 0$ ), если он вращает брус по ходу часовой стрелки (смотреть со стороны отброшенной части бруса), и наоборот – отрицательным.

График, показывающий изменение крутящего момента по длине бруса, называют *эпюрой крутящих моментов*.

При кручении бруса круглого поперечного сечения (сплошного или кольцевого) в его сечениях возникают лишь касательные напряжения. Максимального значения они достигают на контуре бруса (вала) и определяются по формуле

$$\tau_{\max} = \frac{M_K}{W_P}, \text{ Н/м}^2,$$

где  $M_K$  – крутящий момент в сечении бруса (вала), н·м;

$W_P$  – полярный момент сопротивления сечения бруса (вала), м<sup>3</sup>.

Полярный момент сопротивления сечения бруса (вала) определяют по формулам:

для сплошного сечения

$$W_P = \frac{\pi d^3}{16} \approx 0,2d^3, \text{ м}^3;$$

для кольцевого сечения

$$W_P = \frac{\pi d^3}{16} (1 - \alpha^4) \approx 0,2d^3 (1 - \alpha^4), \text{ м}^3,$$

где  $d$  – наружный диаметр бруса (вала), м;

$\alpha = \frac{d_0}{d}$  – отношение внутреннего диаметра  $d_0$  бруса (вала) к его наружному диаметру  $d$ .

Угол  $\varphi$  закручивания бруса (вала) определяют по формуле

$$\varphi = \frac{M_K l}{GJ_P}, \text{ рад} \quad \text{или} \quad \varphi^\circ = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{M_K l}{GJ_P},$$

где  $l$  - длина бруса (вала), м;

$G$  - модуль сдвига материала бруса (вала), н/м<sup>2</sup>;

$J_P$  - полярный момент инерции сечения бруса (вала), м<sup>4</sup>.

Приведенная формула угла  $\varphi$  закручивания справедлива лишь в случае, если крутящий момент  $M_K$  и  $GJ_P$ , называемое жесткостью поперечного сечения бруса (вала) при кручении, постоянны по длине бруса.

Брус (вал), работающий на кручение, должен удовлетворять условию прочности

$$\tau_{\max} = \frac{M_K}{W_P} \leq [\tau_K]$$

и условию жесткости

$$\varphi = \frac{M_K}{GJ_P} \leq [\varphi],$$

где  $[\tau_K]$  допускаемое напряжение на кручение, н/м<sup>2</sup>;

$\Theta = \frac{\varphi}{l}$  относительный угол закручивания, рад/м;

$[\Theta]$  - допускаемый относительный угол закручивания, рад/м.

В технике обычно применяют величину  $[\Theta^\circ]$  - допускаемый относительный угол закручивания в рад/м.

Величины  $[\Theta]$  и  $[\Theta^\circ]$  связаны соотношением

$$[\Theta^\circ] = \frac{180^\circ}{\pi} [\Theta].$$

При использовании приведенных формул для расчета валов необходимо выражать крутящий момент  $M_K$  через передаваемую мощность и угловую скорость вращения вала, тогда

$$M_K = \frac{N}{\omega} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{N}{n}, \text{ н}\cdot\text{м},$$

где  $N$  - мощность, Вт;

$\omega$  ( $n$ ) - угловая скорость, рад/сек (об/мин).

### Задание

1 Подготовка к защите расчетно-графической работы

2 Выполнение расчетно-графической работы «Определить диаметры участков вала и углы закручивания». При выполнении задания следовать алгоритму решения данных задач:

- определить внешние скручивающие моменты, приложенные к шкивам

- определить крутящие моменты, используя метод сечений и построить эпюру крутящих моментов на участках вала
- найти по эпюре наиболее опасный участок вала, т.е. найти максимальный крутящий момент (независимо от знака)
- определить диаметры вала на каждом участке, исходя из условия прочности
- определить полярный момент инерции сечения на каждом участке
- определить углы закручивания соответствующих участков вала

### Контрольные вопросы

- 1 Что называется кручением?
- 2 Какие внутренние силовые факторы возникают при кручении?
- 3 Что такое рациональное расположение колес на валу?
- 4 Как распределяются касательные напряжения при кручении?
- 5 Что такое полярный момент инерции? Запишите формулу для круга.
- 6 В чем заключается расчет на прочность?
- 7 В чем заключается расчет на жесткость?

### Тема 2.5 Изгиб

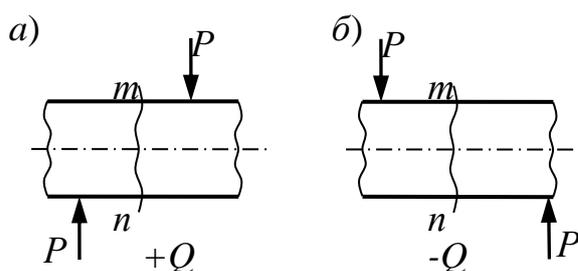
**Цель:** знать расчетные формулы для определения напряжений при изгибе, уметь строить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов, выполнять расчеты на прочность, уметь выбирать рациональные формы поперечных сечений балок.

#### Теоретические сведения

В общем случае прямого изгиба в поперечных сечениях бруса возникают два внутренних силовых фактора: поперечная сила и изгибающий момент.

Поперечная сила в любом поперечном сечении бруса численно равна алгебраической сумме проекций на ось  $y$  всех внешних сил, действующих по одну сторону от сечения.

Изгибающий момент в любом поперечном сечении бруса численно равен алгебраической сумме моментов, вычисленных относительно центра тяжести сечения, всех внешних сил, действующих по одну сторону от сечения.



График, показывающий изменение поперечной силы по длине балки, называется *эпюрой поперечных сил*, а график, показывающий изменение изгибающего момента по длине балки, называется *эпюрой изгибающих моментов*.

Рисунок 2.4 Определение знака поперечной силы

Для определения знаков поперечной силы и изгибающего момента рекомендованы следующие правила.

Внешняя сила (рисунок 2.4, а), стремящаяся повернуть отсеченную часть балки по часовой стрелке вокруг той точки оси, которая соответствует проведенному сечению, вызывает положительную поперечную силу, а внешняя сила (рисунок 2.4, б) стремящаяся повернуть отсеченную часть балки против часовой стрелки вокруг указанной точки, вызывает отрицательную поперечную силу.

Внешняя сила (пара сил) (рисунок 2.5, а), изгибающая отсеченную часть балки относительно проведенного сечения выпуклостью вниз, дает положительный изгибающий момент, а внешняя сила (пара сил) (рисунок 2.5, б), изгибающая отсеченную часть балки относительно проведенного сечения выпуклостью вверх, дает отрицательный изгибающий момент.

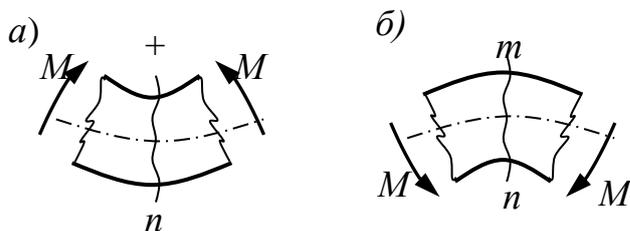


Рисунок 2.5 Определение знака изгибающего момента

сечения выпуклостью вверх, дает отрицательный изгибающий момент.

Приведем некоторые правила построения эпюр. Для эпюры поперечных сил:

- 1 На участке, нагруженном равномерно распределенной нагрузкой, эпюра изображается прямой, наклоненной к оси балки.
- 2 На участке, свободном от распределенной нагрузки, эпюра изображается прямой, параллельной оси балки.

3 В сечении балки, где приложена сосредоточенная сила, значение поперечной силы меняется скачкообразно на значение, равное приложенной силе.

4 В конечном сечении балки поперечная сила численно равна сосредоточенной силе (активной или реактивной), приложенной в этом сечении. Если в конечном сечении балки не приложена сосредоточенная сила, то поперечная сила в этом сечении равна нулю.

*Для эпюры изгибающих моментов:*

1 На участке, нагруженном равномерно распределенной нагрузкой, эпюра моментов изображается параболой. Выпуклость параболы направлена навстречу нагрузке.

2 На участке, свободном от распределенной нагрузки, эпюра моментов изображается прямой линией.

3 В сечении балки, где приложена пара сил (момент), значение изгибающего момента меняется скачкообразно на значение, равное моменту приложенной пары.

4 Изгибающий момент в конечном сечении балки равен нулю, если в нем не приложена пара сил.

5 На участке, где поперечная сила равна нулю, балка испытывает чистый изгиб, и эпюра изгибающих моментов изображается прямой, параллельной оси балки.

6 Изгибающий момент принимает экстремальное значение в сечении, где эпюра поперечных сил проходит через нуль.

Наибольшие нормальные напряжения при изгибе балки с симметричным относительно нейтральной оси сечением определяют по формуле

$$\sigma_{MAX} = \frac{M_{MAX}}{W}, \text{ н/м}^2,$$

где  $W$  – осевой момент сопротивления сечения балки,  $\text{м}^3$ .

Прочность балки, работающей на изгиб, проверяется, как правило, по наибольшим нормальным напряжениям. Условие прочности при изгибе балки по нормальным напряжениям имеет вид

$$\sigma_{MAX} = \frac{M_{MAX}}{W} \leq [\sigma_H],$$

где  $[\sigma_H]$  – допускаемое напряжение при изгибе,  $\text{н/м}^2$ .

### **Задание**

1 Подготовка к защите расчетно-графической работы

2 Выполнение расчетно-графической работы «Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов, подобрать сечение, проверить прочность». При выполнении задания следовать алгоритму решения данных задач:

- определить опорные реакции балки (если балка двухопорная); если балка консольная, то опорные реакции можно не определять, рассматривая все участки со свободного конца балки; выполнить проверку правильности определения опорных реакций

- определить поперечные силы на участках балки, построить эпюру

- построить изгибающие моменты на участках балки, построить эпюру

- найти на эпюре изгибающих моментов наиболее опасный участок, т.е. найти максимальный изгибающий момент (независимо от знака)

- определить осевой момент сопротивления сечения (перевести в см)

- по найденному значению  $W_x$  по таблицам сортамента прокатной стали подобрать сечение – двутавр (если балка двухопорная); если балка консольная подставить в условие прочности при изгибе все значения и определить нормальные напряжения, сравнить их с допускаемым значением

### **Контрольные вопросы**

1 Какие внутренние силовые факторы возникают при чистом и поперечном изгибах?

2 Как определить положение экстремального значения изгибающего момента при действии распределенной нагрузки на участке балки?

3 Запишите формулу для определения нормального напряжения при изгибе в любой точке поперечного сечения

4 Напишите формулы для определения момента инерции и момента сопротивления для прямоугольника

5 Почему в поперечных сечениях балки при поперечном изгибе возникают касательные напряжения?

## Тема 2.6 Гипотезы прочности и их применение

**Цель:** знать формулы эквивалентных напряжений по 3 и 5 гипотезам прочности, уметь рассчитать брус круглого поперечного сечения на прочность при сочетании основных деформаций

### Теоретические сведения

Расчет на прочность зависит от вида напряженного состояния в опасной точке. При растяжении (сжатии), изгибе (прямом и косом), при сочетании изгиба с растяжением (сжатием) в опасной точке бруса возникает линейное (одноосное) напряженное состояние.

Для плоского (двухосного) или объемного (трехосного) напряженного состояния определение опытным путем предельных значений, главных напряжений, которые соответствуют заданному напряженному состоянию, практически невозможно.

Расчет на прочность при плоском или объемном напряженном состоянии выполняют на основе применения гипотез прочности (теорий прочности).

Независимо от применяемой гипотезы прочности заданное напряженное состояние заменяют эквивалентным (равноопасным) ему одноосным напряженным состоянием. Напряжение, соответствующее этому воображаемому (расчетному) одноосному напряженному состоянию, называют эквивалентным и обозначают  $\sigma_{ЭКВ}$ . Сопоставление эквивалентного напряжения с допуском позволяет дать оценку прочности для заданного напряженного состояния.

Условие прочности имеет вид

$$\sigma_{ЭКВ} \leq [\sigma]$$

или

$$n = \frac{\sigma_{ПРЕД}}{\sigma_{ЭКВ}} \geq [n],$$

Для пластичных материалов применяют гипотезу наибольших касательных напряжений и гипотезу удельной потенциальной энергии изменения формы, для хрупко-пластичных и хрупких материалов – гипотезу прочности Мора.

*Гипотеза наибольших касательных напряжений (III).* Два напряженных состояния равноопасны, если максимальные касательные напряжения для них одинаковы.

Формулы для определения эквивалентного напряжения:

1 через главные напряжения в опасной точке

$$\sigma_{ЭKB} = \sigma_1 - \sigma_3,$$

2 для упрощенного плоского напряженного состояния, к которому относится напряженное состояние в точках бруса при поперечном изгибе, кручении с осевой нагрузкой, изгибе с кручением и т.п.,

$$\sigma_{ЭKB} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2},$$

где  $\sigma$  и  $\tau$  – нормальное и касательное напряжения в опасной точке поперечного сечения бруса;

3 при сочетании растяжения (сжатия) с кручением для бруса круглого поперечного сечения

$$\sigma = \frac{N}{S}, \quad \tau = \frac{M_k}{W_p};$$

4 при сочетании растяжения (сжатия), изгиба (в двух взаимно перпендикулярных плоскостях) с кручением для бруса круглого поперечного сечения

$$\sigma = \frac{N}{S} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{W_x}, \quad \tau = \frac{M_k}{W_p};$$

5 при сочетании изгиба (в двух взаимно перпендикулярных плоскостях) с кручением для бруса круглого поперечного сечения

$$\sigma_{ЭKB} = \frac{M_{ЭKB}}{W_x} = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_k^2}}{W_z}.$$

*Гипотеза удельной потенциальной энергии изменения формы (V).* Два напряженных состояния равноопасны, если удельная потенциальная энергия изменения формы для них одинакова

Формулы для определения эквивалентного напряжения:

1 через главные напряжения в опасной точке "

$$\sigma_{ЭKB} = \sqrt{0,5[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]};$$

2 для упрощенного плоского напряженного состояния

$$\sigma_{ЭKB} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2},$$

где  $\sigma$  и  $\tau$  – нормальное и касательное напряжения в опасной точке поперечного сечения бруса;

3 при сочетании растяжения (сжатия) с кручением для бруса круглого поперечного сечения

$$\sigma = \frac{N}{S}, \quad \tau = \frac{M_k}{W_p};$$

4 при сочетании растяжения (сжатия), изгиба (в двух взаимно перпендикулярных плоскостях) с кручением для бруса круглого поперечного сечения

$$\sigma = \frac{N}{S} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{W_x}, \quad \tau = \frac{M_k}{W_p};$$

5 при сочетании изгиба (в двух взаимно перпендикулярных плоскостях) с кручением для бруса круглого поперечного сечения

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \frac{M_{\text{ЭКВ}}}{W_x} = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2 + 0,75M_k^2}}{W_x}.$$

### **Задание**

1 Подготовка к защите расчетно-графической работы

2 Выполнение расчетно-графической работы «Расчет вала при сочетании основных деформаций». При выполнении задания следовать алгоритму решения данных задач:

- определяем крутящий момент на валу
- определяем усилия на колесах вала
- составляем расчетную схему вала в вертикальной плоскости
- определяем реакции в опорах, выполнить проверку правильности определения опорных реакций
  - определяем изгибающие моменты на каждом участке вала в вертикальной плоскости, строим эпюру
  - составляем расчетную схему вала в горизонтальной плоскости
  - определяем реакции в опорах, выполнить проверку правильности определения опорных реакций
  - определяем изгибающие моменты на каждом участке вала в горизонтальной плоскости, строим эпюру
  - определяем суммарные изгибающие моменты
  - определяем эквивалентный момент согласно гипотезе прочности
  - определяем диаметр вала (расчет проводим для наиболее нагруженного сечения), округляем полученную величину до стандартного значения

### **Контрольные вопросы**

- 1 Что такое эквивалентное напряжение?
- 2 Поясните назначение гипотез прочности.
- 3 Напишите формулы для расчета эквивалентных напряжений при расчетах по 3 и 5 гипотезам прочности
- 4 Какое напряженное состояние возникает в поперечном сечении вала при совместном действии изгиба и кручения?
- 5 Напишите условие прочности для расчета вала
- 6 Как выбирается опасное сечение при расчете вала?

## **Раздел 3 Детали машин**

### **Тема 3.2 Общие сведения о передачах**

**Цель:** знать кинематические и силовые соотношения в передаточных механизмах, формулы для определения передаточного отношения и КПД многоступенчатой передачи; уметь производить кинематические и силовые расчеты многоступенчатого привода.

## Теоретические сведения

*Механическими передачами*, или просто *передачами* называют механизмы, передающие работу двигателя исполнительному органу машины. Передавая механическую энергию, передачи одновременно могут выполнять следующие функции: понижать и повышать угловые скорости, соответственно повышая или понижая вращающие моменты; преобразовывать один вид движения в другой (вращательное в возвратно-поступательное, равномерное и прерывистое и т.д.); регулировать угловые скорости рабочего органа машины; реверсировать движение (прямой и обратный ходы); распределять работу двигателя между несколькими исполнительными органами машины.

В зависимости от принципа действия все механические передачи делятся на две группы: передачи трением – фрикционные и ременные; передачи зацеплением – зубчатые, червячные, цепные.

Все передачи трением имеют повышенную изнашиваемость рабочих поверхностей, так как в них неизбежно проскальзывание одного звена относительно другого.

В зависимости от способа соединения ведущего и ведомого звеньев бывают: передачи непосредственного контакта – фрикционные, зубчатые, червячные; передачи гибкой связью – ременные, цепные. Передачи гибкой связью допускают значительные расстояния между ведущим и ведомым валами.

Особенности каждой передачи и ее применение определяются следующими основными характеристиками мощностью на ведущем  $P_1$  и ведомом  $P_2$  валах, угловой скоростью ведущего  $\omega_1$  ведомого  $\omega_2$  валов.

Дополнительными характеристиками являются *механический к.п.д.* передачи

$$\eta = \frac{P_2}{P_1};$$

для многоступенчатой передачи состоящей из нескольких отдельных последовательно соединенных передач общий к.п.д.

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_1 \eta_2 \dots \eta_n,$$

где  $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$  - к.п.д. каждой кинематической пары (зубчатой, червячной, ременной и других передач подшипников, муфт);

*окружная скорость* ведущего или ведомого звена м/с:

$$v = \frac{\omega d}{2},$$

где  $d$  – диаметр колеса шкива и др. Окружные скорости обоих звеньев при отсутствии скольжения равны т.е.  $v_1 = v_2$ ;

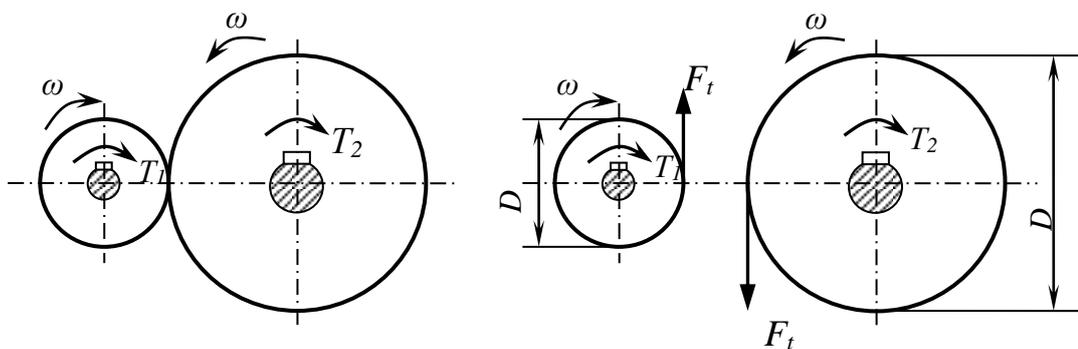


Рисунок 3.1 Схема для определения направления вращающих моментов в передаче

окружная сила (рисунок 3.1), Н:

$$F_t = \frac{P}{v} = \frac{2T}{d},$$

где  $P$  – мощность, Вт;

вращающий момент (рисунок 3.1), Н·м;

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{F_t d}{2},$$

где  $P$  – в Вт;  $d$  в м

Вращающий момент  $T_1$  ведущего вала является моментом движущих сил, его направление совпадает с направлением вращения вала. Момент ведомого вала – момент сил сопротивления, поэтому его направление противоположно направлению вращения вала.

Передаточное отношение  $i$ , передаточное число  $u$ . При  $v_1 = v_2$  или

$$\frac{\omega_1 d_1}{2} = \frac{\omega_2 d_2}{2}$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d_2}{d_1} = i = u.$$

Передаточным отношением называется отношение угловых скоростей ведущего и ведомого звеньев. Передаточные отношения для всех типов передач будем условно называть передаточными числами и обозначать  $u$ .

### Задание

- 1 Проработка конспекта занятия, учебной литературы (приложение А).
- 2 Решение задач, подготовка к тестированию. Решить задачи.

### Контрольные вопросы

- 1 Как классифицируют механические передачи по принципу действия?
- 2 Каково назначение механических передач?
- 3 По каким формулам определяют кинематические и силовые соотношения в передачах?
- 4 Как определяется передаточное отношение?

### Тема 3.3 Фрикционные и ременные передачи

**Цель:** знать устройство и материалы фрикционных передач, формулы для расчетов, причины выхода из строя и критерии работоспособности; знать геометрические зависимости ременных передач, формулы для расчета передаточного отношения; уметь выполнять кинематический, силовой и геометрический расчет.

#### Теоретические сведения

Работа фрикционных передач основана на использовании сил трения, возникающих в месте контакта жестких фрикционных катков 1 и 2 (рисунок 3.2) в результате прижатия их друг к другу и приложения к ведущему катку момента  $M_1$ , а к ведомому – момента  $M_2$ .

Простейшие фрикционные передачи состоят из двух катков, которые прижимаются к друг другу. Сила прижатия катков может создаваться собственным весом конструкции, рычагами, пружинами или специальными устройствами.

В качестве материалов фрикционных катков применяют: закаленную сталь по закаленной стали; сталь (чугун) по пластмассе (текстолиту, фибре) или древесине прессованной; чугун по чугуну или стали.

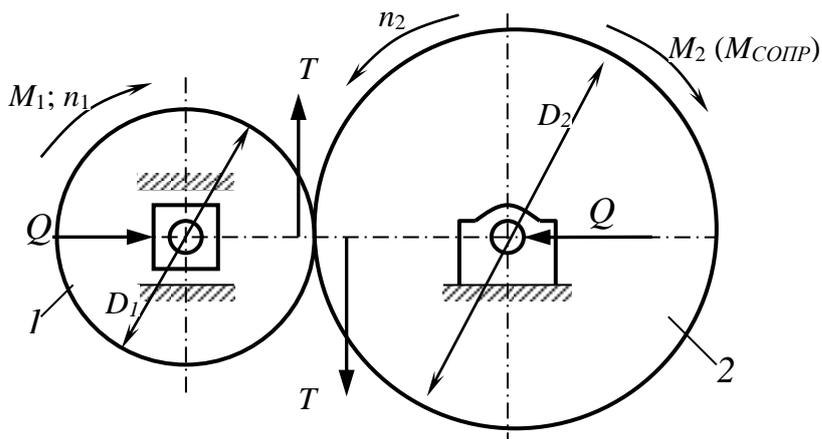


Рисунок 3.2 Фрикционная передача

Расчет фрикционных передач с катками из материалов, деформации которых хотя бы приближенно следуют закону Гука, основан на теории контактных напряжений. Этот расчет применяют для катков, изготовленных из стали, чугуна, текстолита, древесины прессованной. При этом предполагается, что различные виды разрушения рабочих поверхностей катков – усталостное выкрашивание, износ, задиры – зависят от величины напряжений в месте контакта.

Таким образом, расчет на контактную прочность должен обеспечить отсутствие разрушения рабочих поверхностей катков. Это требование будет выполнено при соблюдении условия

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma]_K,$$

где  $[\sigma]_K$  – допускаемое поверхностное (контактное) напряжение.

Если материал хотя бы одного из катков при деформировании не следует закону Гука, расчет передачи ведут на износостойкость по нагрузке на единицу длины линии контакта катков.

*Ременной передачей* называется механизм, служащий для преобразования вращательного движения при помощи шкивов, закрепленных на валах, и приводного ремня, охватывающего шкивы. Ременная передача применяется для соединения валов, расположенных на значительном расстоянии друг от друга. Для нормальной работы передачи необходимо предварительное натяжение ремня.

Ременные передачи широко применяются во всех отраслях машиностроения и являются одно из старейших механических передач.

Основным критерием работоспособности ременной передачи является тяговая способность передачи и долговечность ремня.

### **Задание**

1 Проработка конспекта занятия, учебной литературы, подготовка к тестам (приложение А).

### **Контрольные вопросы**

1 Какие виды фрикционных передач вы знаете, в каких случаях их применяют?

2 Каковы достоинства и недостатки фрикционных передач?

3 Какие материалы применяют для изготовления рабочей поверхности фрикционных катков?

4 Какие устройства называют вариаторами? Их достоинства и недостатки?

5 Какая передача называется ременной, какие применяют типы ремней?

6 Как определяют передаточное число ременной передачи с учетом скольжения ремня на шкивах?

7 В чем сущность упругого скольжения ремня на шкивах?

8 Какие применяют типы ремней?

9 Почему предварительное натяжение ремня – необходимое условие работы передачи?

10 Как подбирают клиновые ремни по ГОСТу?

### **Тема 3.4 Зубчатые и цепные передачи**

**Цель:** знать устройство, принцип работы, классификацию зубчатых и цепных передач; основные характеристики, кинематические, геометрические и силовые соотношения в передачах; уметь выполнять расчеты зубчатых и цепных передач, уметь проводить подбор приводных роликовых цепей и выполнять проверочный расчет.

### Теоретические сведения

В зубчатых передачах движение передается за счет зацепления пары зубчатых колес. Меньшее колесо сцепляющей пары называют *шестерней*, большее – *колесом*.

В зависимости от относительного расположения геометрических осей ведущего и ведомого валов различают: зубчатые передачи цилиндрическими колесами (рисунок 3.3), применяемые при параллельных осях валов; зубчатые передачи коническими колесами (рисунок 3.4), применяемые при пересекающихся осях валов; зубчатые передачи винтовыми (рисунок 3.5) и гипоидными колесами, применяемые при скрещивающихся осях валов.

По расположению зубьев относительно образующей цилиндрические зубчатые колеса подразделяются на прямозубые (а), косозубые (б) и шевронные (в) (рисунок 3.3).

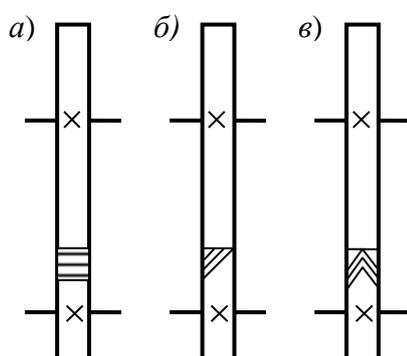


Рисунок 3.3 Зубчатые передачи цилиндрическими колесами

Конические зубчатые колеса бывают (рисунок 3.4): прямозубые (а), косозубые (б) и с круговым зубом (в)

Цилиндрические колеса могут быть с внешним и с внутренним зацеплением.

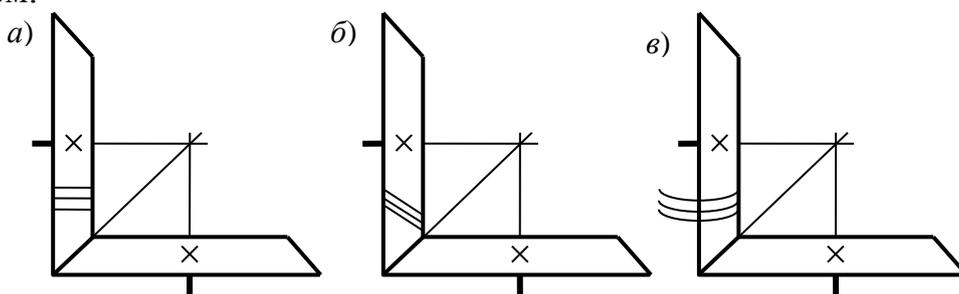


Рисунок 3.4 Зубчатые передачи коническими колесами

Если ведущий и ведомый валы находятся на значительном расстоянии друг от друга, передача осуществляется последовательным рядом зубчатых колес.

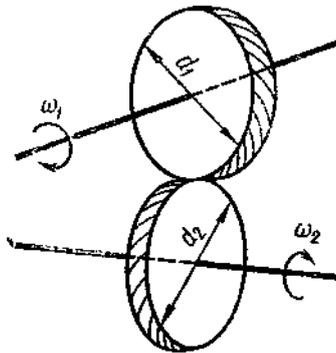


Рисунок 3.5 Зубчатая передача винтовыми колесами

Общее передаточное число такого ряда зубчатых колес равно отношению числа зубьев последнего зубчатого колеса ряда к числу зубьев первого.

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_n} = u = \frac{z_n}{z_1}$$

Для получения больших передаточных чисел применяют многоступенчатую передачу. Передаточное число многоступенчатой передачи равно произведению передаточных чисел отдельных пар зубчатых колес, входящих в неё:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_n} = u_1 u_2 u_3 \dots u_n = \frac{z_2 z_4 z_6 \dots}{z_1 z_3 z_5 \dots}$$

Определение размеров зубчатых передач, при которых исключались бы поломки и выкрашивание поверхностей зубьев, производится расчетом зубьев на изгиб и рабочих поверхностей зубьев на контактную прочность.

Размеры зубчатых колес открытых передач определяют расчетом на прочность по изгибу.

Размеры колес закрытых передач определяют расчетом на контактную прочность и проверяют на прочность по изгибу.

Расчет зубьев на прочность по напряжению изгиба сводится к определению величины модуля зацепления, т.к. модулем определяются все остальные размеры зубьев и самих колес.

Основным материалом зубчатых колес является сталь, используют также чугун и пластмассу. Для уменьшения опасности повреждения поверхности зубьев применяют термообработку. Твердость поверхности должна быть такой, чтобы получить колеса необходимой точности.

*Цепная передача* – передача зацеплением гибкой связью. Гибкую связь образует шарнирная цепь, охватывающая звездочки.

Основной геометрический параметр цепи – шаг  $t$ , мм. В настоящее время применяют шарнирные роликовые, втулочные и зубчатые цепи.

В роликовых цепях зацепление цепи со звездочкой осуществляется через ролик: долговечность цепи возрастает, но возрастает масса и стоимость цепи. Зубчатые цепи работают более плавно, обеспечивают большую

кинематическую точность, могут передавать большую мощность, имеют высокий КПД, но их масса и стоимость значительно выше.

После подбора цепи по стандарту выбранная передача проверяется на износостойкость.

### **Задание**

1 Проработка конспекта занятия, учебной литературы, подготовка к опросу (приложение А).

### **Контрольные вопросы**

- 1 Достоинства и недостатки зубчатых передач, классификация.
- 2 Какие передачи называют закрытыми? В каких случаях применяют открытые зубчатые передачи?
- 3 Что такое модуль и шаг зубчатого зацепления?
- 4 Каковы достоинства и недостатки косозубой передачи по сравнению с прямозубой?
- 5 Каково назначение конических зубчатых передач?
- 6 Достоинства и недостатки цепных передач, виды приводных цепей.
- 7 Назовите основной критерий работоспособности цепных передач?
- 8 Какие виды приводных цепей наиболее распространены?
- 9 Для чего применяют натяжные устройства в цепных передачах и на какой ветви цепи их устанавливают?

## **Тема 3.6 Подшипники**

**Цель:** знать конструкции, смазывание, материалы и КПД подшипников скольжения; основные типы подшипников качения, маркировку; уметь подбирать подшипники для опор валов и осей, проводить проверку подшипников качения на долговечность.

### **Теоретические сведения**

Опоры валов и осей подразделяются на две группы: опоры скольжения и опоры качения. Опоры, служащие для восприятия радиальных нагрузок, называют подшипниками, а опоры, предназначенные для восприятия осевых нагрузок, называют подпятниками. Подшипники, работающие по принципу трения скольжения, называются подшипниками скольжения.

Подпятники скольжения делятся на три основных типа: неразъемные, разъемные, подшипники с самоустанавливающимися вкладышами. Применяют эти подшипники в турбинах, центрифугах, в молотах, для валов очень больших диаметров и т.д.

Подшипники скольжения, работающие в режиме смешанного или граничного трения, рассчитывают по условной методике на износостойкость и нагрев.

Подшипники, работающие по принципу трения качения, называются подшипниками качения. Они являются наиболее распространенными и стандартизированы. Подшипник качения маркируют путем нанесения на торец кольца ряда цифр и букв, условно обозначающих внутренний диаметр, серию, тип, конструктивную разновидность, и в некоторых случаях ряд дополнительных сведений (класс точности, зазор, шумность и т.д.).

Подшипники обеспечивают валам заданное положение и возможность вращения в заданном направлении, с заданной скоростью и нагрузкой при минимальных потерях на трение.

Основными критериями работоспособности подшипников качения являются износостойкость рабочих поверхностей и долговечность подшипника, а так же сопротивление пластическим деформациям.

### **Задание**

1 Проработка конспекта занятия, учебной литературы, подготовка к опросу (приложение А).

### **Контрольные вопросы**

- 1 Что называется подшипником?
- 2 Какими достоинствами и недостатками обладают подшипники скольжения?
- 3 Из каких материалов изготавливают вкладыши и для каких целей они предназначены? Какие различают смазочные материалы?
- 4 Из каких деталей состоят подшипники качения? Какие различают типы подшипников качения?
- 5 Достоинства и недостатки подшипников качения по сравнению с подшипниками скольжения
- 6 Как осуществляется смазка подшипников качения, какие основные конструкции уплотняющих устройств?

## **Тема 3.7 Разъемные соединения деталей машин**

**Цель:** знать виды резьбовых соединений и крепежных изделий, типы соединений шпонками; уметь выполнять расчеты одиночного болта при постоянной нагрузке, подбирать шпонки и шлицевые соединения и производить их проверочный расчет.

### **Теоретические сведения**

*Резьбовые соединения* – разъемные соединения с помощью крепежных деталей или резьбы, непосредственно нанесенной на соединяемые детали.

Резьба образуется путем нанесения на поверхность деталей винтовых канавок с различным профилем. Профили крепежных резьб треугольные,

основная треугольная резьба – метрическая. К крепежным резьбам относится дюймовая резьба, трубная резьба.

Основными резьбовыми соединениями являются соединения винтами с гайками (болтовые) и без гаек и соединения шпильками.

Болтовые соединения наиболее простые и дешевые, поскольку не требуют нарезания резьбы на соединяемых деталях, но требуют места для размещения гаек. Винт ввинчивают в резьбовое отверстие детали. Соединения шпилькой применяют там, где требуется частая сборка.

В зависимости от характера нагружения и способа сборки деталей резьбовых соединений их делят на соединения без предварительной затяжки и с предварительной затяжкой.

*Шпоночные соединения* служат для окружной фиксации деталей на валах и осях и передачи вращающего момента. Шпоночные соединения бывают ненапряженными, в них используют призматические и сегментные шпонки, которые при сборке не вызывают деформации вала и ступицы. Напряженное соединение создается клиновыми и тангенциальными шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов стандартизированы.

*Шлицевые (зубчатые) соединения* образуются наружными зубьями на валу и внутренними зубьями в отверстии ступицы. Зубья на валу выполняют фрезерованием, строганием, иногда накатыванием, зубья в отверстии – протягиванием и долблением. По форме боковых поверхностей зубья шлицевых соединений выполняют прямобочными, эвольвентными и треугольными.

### **Задание**

1 Проработка конспекта занятия, учебной литературы, подготовка к тестам (приложение А)

### **Контрольные вопросы**

- 1 Какие соединения называются резьбовыми?
- 2 Как классифицируются резьбы по геометрической форме и по назначению?
- 3 Каковы достоинства болтового соединения?
- 4 В каких случаях применяют шпильки?
- 5 Когда применяют мелкие резьбы?
- 6 Как осуществляется стопорение резьбовых соединений?
- 7 Как рассчитывают болты при действии на них постоянных нагрузок?
- 8 Каково основное преимущество шлицевых соединений по сравнению со шпоночными?
- 9 По какой величине подбирают шпоночные и шлицевые соединения?

## Приложение А

### Работа с конспектом лекции, составление плана и тезисов ответа

Цель данной работы состоит в том, чтобы максимально сосредоточиться на уже выбранном материале и усвоить его. Без обработки множества первоисточников усвоить данный учебный материал. Конспект лекции уже содержит в себе основные идеи и положения изучаемой темы. Поэтому прежде чем переходить к составлению плана ответа, тезисов ответа или изучению данной темы, необходимо тщательно прочитать и проанализировать данную информацию. Если необходимо, то обратиться к учебнику или первоисточнику. После чего можно переходить к непосредственной работе с конспектом лекции.

При изучении, разборе темы записывайте себе план ответа, тезисные ответы к этим пунктам плана. Подведите итог, выводы по данной теме, включая собственное отношение к тем или иным идеям. Подготовка будет закончена, если вы сможете ответить на контрольные вопросы темы, выделите логические связи и определите последовательность в изучении темы.

Просмотрите конспект сразу после занятий, отметьте материал конспекта лекций, который вызывает затруднения для понимания. Попытайтесь найти ответы на затруднительные вопросы, используя рекомендуемую литературу. Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, сформулируйте вопросы и обратитесь за помощью к преподавателю на консультации или ближайшей лекции.

Регулярно отводите время для повторения пройденного материала, проверяя изученный материал по контрольным вопросам.

## Приложение Б

### Работа над рефератом, реферативным сообщением, докладом

Реферат представляет собой самостоятельное исследование, свидетельствующие об умении автора ставить и обсуждать теоретико-методологические вопросы, подбирать и анализировать литературу по избранной теме, систематизировать и логично излагать материал.

Тема реферата может быть избрана самостоятельно, либо являться уточнением стандартной темы. Рекомендуется выбирать тему реферата по тем разделам курса, которые вызывают наибольший интерес, либо ориентироваться на литературу, имеющуюся в распоряжении. Как тему, так и предполагаемые к использованию источники необходимо согласовать с преподавателем.

Реферат или реферативное сообщение оформляются на основании индивидуального задания, выданного преподавателем, либо по выбору студента, но по согласованию с преподавателем.

При выполнении рефератов и реферативных сообщений должны использоваться компьютерные технологии.

Объем рефератов должен содержать 10 - 15 листов текста, реферативных сообщений - 5- 10 листов текста.

Рефераты и реферативные сообщения должны быть выполнены на белой бумаге формата А4 по ГОСТ 2.301 (210x297 мм) с одной стороны листа.

Поля: левое - не менее 20 мм, правое - не менее 10 мм, верхнее - не менее 20 мм, нижнее - не менее 20 мм.

Отступ красной строки: 1,25 см (5 знаков).

Междустрочный интервал: 1,5 см (полуторный).

Шрифт: Times New Roman.

Размер: 14.

На титульном листе указывается название образовательного учреждения, дисциплина, шифр и название специальности, тема реферата, Ф.И.О. автора, Ф.И.О. преподавателя.

Структура работы

- Титульный лист.

- Содержание с указанием нумерации начальных страниц каждого раздела или главы работы. Название раздела (главы) печатается заглавными буквами с указанием порядкового номера и названия рубрики (Раздел 1 Название).

- Введение (актуальность выбранной темы, анализ использованных источников и литературы, структура и цель работы).

- Основная часть (делится на главы, главы - на параграфы).

- Заключение (выводы, обобщающие результаты изучения).

- Список использованных источников и литературы. Список литературы должен включать не менее 5 источников.

- Приложения (если есть).

Этапы работы над рефератом

- Формулирование темы. Тема должна быть не только актуальной по своему значению, но и интересной по содержанию.

- Подбор и изучение основных источников по теме (как правило, не менее 8-10).

- Составление библиографии.

- Обработка и систематизация информации.

- Разработка плана реферата.

- Написание реферата.

- Публичное выступление с результатами исследования.

Содержание работы должно отражать

- Знание современного состояния проблемы.

- Обоснование выбранной темы.

- Использование известных результатов и фактов.

- Полноту цитируемой литературы, ссылки на работы ученых, занимающихся данной проблемой.

- Актуальность поставленной проблемы.

- Материал, подтверждающий научное, либо практическое значение в настоящее время.

## Литература

Основные источники:

1 Олофинская В.П. Техническая механика: Курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий. – М. ФОРУМ, 2013.

Дополнительные источники:

1 Трофимова Т.И. Механика: учеб.пособие. – М.: Кнорус, 2015.