

Областное государственное бюджетное профессиональное образовательное  
учреждение  
«Ульяновский техникум железнодорожного транспорта»

## **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС**

**ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**ОП. 02 ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**

*обще профессиональный цикл*

*программы подготовки специалистов среднего звена  
по специальности*

*23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог*

**ДЛЯ СТУДЕНТОВ ОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ**

**Ульяновск, 2020 год**

Составитель: Козельская О.В., преподаватель ОГБПОУ УТЖТ

Учебно-методический комплекс по дисциплине *Техническая механика* составлен в соответствии с требованиями к минимуму результатов освоения дисциплины, изложенными в Федеральном государственном стандарте среднего профессионального образования по специальности 23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог, утвержденном приказом Министерства образования и науки РФ от 22 апреля 2014 г. №388.

Учебно-методический комплекс по дисциплине (далее УМКД) *Техническая механика* входит в *общепрофессиональный цикл ОПОП* и является частью основной профессиональной образовательной программы ОГБПОУ «Ульяновский техникум железнодорожного транспорта» по специальности 23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог, разработанной в соответствии с примерной образовательной программы (заключение Экспертного совета ФГАУ «ФИРО» от 16 августа 2011 г. №295).

Учебно-методический комплекс по дисциплине *Техническая механика* адресован обучающимся очной формы обучения.

УМКД включает теоретический блок, перечень практических занятий, вопросы для самоконтроля, перечень точек текущего (рубежного) контроля

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Наименование разделов</b>	<b>стр.</b>
1. Введение	4
2. Образовательный маршрут	7
3. Содержание дисциплины	8
<b>3.1. Раздел 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА. СТАТИКА</b>	8
<b>3.2 Раздел 2. Сопротивление материалов</b>	15
<b>3.3. Раздел 3. Элементы кинематики и динамики</b>	27
3.4. Раздел 4. Детали машин.	31
4. Контроль и оценка результатов освоения учебной дисциплины	43
6. Информационное обеспечение дисциплины	45

## УВАЖАЕМЫЙ СТУДЕНТ!

Учебно-методический комплекс по дисциплине *Техническая механика* создан Вам в помощь для освоения дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

УМК по дисциплине *Техническая механика* включает теоретический блок, перечень практических занятий, вопросы для самоконтроля, перечень точек текущего (рубежного) контроля.

Приступая к изучению учебной дисциплины *Техническая механика* с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, Вы должны внимательно изучить список рекомендованной учебной литературы, онлайн курсов, образовательных интернет-ресурсов и т.д.

По каждой теме в УМК перечислены вопросы, необходимые для изучения (план изучения темы).

После изучения теоретического блока приведен перечень практических работ, выполнение которых обязательно. Наличие положительной оценки по практическим работам необходимо для получения зачета по дисциплине *Техническая механика*, поэтому в случае не выполнения задания по уважительной или неуважительной причине Вам потребуется найти время и выполнить пропущенную работу.

Содержание текущего (рубежного) контроля (точек рубежного контроля) разработано на основе вопросов самоконтроля, приведенных по каждой теме.

В результате освоения дисциплины Вы должны уметь:

- производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;
- читать кинематические схемы;
- определять механические напряжения в элементах конструкции.

В результате освоения дисциплины Вы должны знать:

- основы технической механики;
- виды механизмов, их кинематические и динамические характеристики;
- методику расчета элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при различных видах деформации;
- основы расчетов механических передач и простейших сборочных единиц общего назначения

В результате освоения дисциплины у Вас должны формироваться общие компетенции (ОК):

Название ОК	Результат, который Вы должны получить после изучения содержания дисциплины
ОК 1.	Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам
ОК 2.	Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности
ОК 3.	Планировать и реализовывать собственное

	профессиональное и личностное развитие
ОК 4.	Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами.
ОК 5.	Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста.
ОК 6.	Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе общечеловеческих ценностей.
ОК 7.	Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях.
ОК 8.	Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности.
ОК 9.	Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности
ОК 10.	Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках.
ОК 11.	Использовать знания по финансовой грамотности, планировать предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере.

В таблице приведены профессиональные компетенции, к освоению которых готовит содержание дисциплины.

Название ПК	Результат, который Вы должны получить после изучения содержания дисциплины
ПК 1.1.	Выполнять наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования
ПК 1.2.	Организовывать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования
ПК 1.3	Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования
ПК 2.1.	Организовывать и выполнять работы по эксплуатации, обслуживанию и ремонту бытовой техники
ПК 4.1.	Осуществлять наладку, регулировку и проверку сложного электрического и электромеханического оборудования с электронным управлением

ПК 4.2.	Организовывать и выполнять техническое обслуживание сложного электрического и электромеханического оборудования с электронным управлением
---------	---

**Внимание!** Если в ходе изучения дисциплины у Вас возникают трудности, то Вы всегда можете задать вопрос преподавателю посредством различных каналов связи.

## ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ МАРШРУТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Таблица 1

<b>Формы отчетности, обязательные для сдачи</b>	<b>Количество</b>
лабораторные занятия	8
практические занятия	
Точки текущего (рубежного) контроля	8

**Желаем Вам удачи!**

# СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## Раздел 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА. СТАТИКА

### Тема 1.1. Введение. Основные понятия

#### **План изучения темы:**

1. задачи учебной дисциплины
2. основные понятия
3. аксиомы статики

#### **Краткое изложение теоретических вопросов:**

Теоретическая механика – это наука о равновесии в механическом движении и о механическом взаимодействии тел. Равновесие – это состояние относительного покоя и прямолинейное равномерное движение. Механическое движение – это взаимное перемещение тел в пространстве или взаимное перемещение частиц одного тела.

Одним из основных понятий механики является сила. Сила есть мера механического взаимодействия тел. Она является векторной величиной и характеризуется численным значением (или модулем), точкой приложения и направлением.

Аксиомы статики

Аксиома 1

Две силы образуют уравновешенную систему тогда и только тогда, когда эти силы равны по величине и направлены вдоль одной прямой в противоположные стороны.

Аксиома 2

Действие данной системы сил на абсолютно твёрдое тело не изменится, если к ней прибавить или от неё отнять уравновешенную систему сил.

Примечание. Из первых двух аксиом вытекает, что силу можно переносить вдоль линии действия, т.е. сила есть вектор скользящий.

Аксиома 3 (параллелограмма сил)

Две силы, приложенные к телу в одной точке, имеют равнодействующую, приложенную в той же точке и равную их векторной сумме.

Аксиома 4 (действия и противодействия)

Силы взаимодействия двух тел равны по величине, противоположны по направлению и лежат на одной прямой.

Аксиома 5 (принцип отвердевания)

Равновесие механической системы не может быть нарушено присоединением дополнительных связей.

Аксиома 6 (принцип освобождения от связей)



Несвободное твердое тело можно рассматривать как свободное, если его мысленно освободить от связей, заменив их действие реакциями.

### **Практические занятия**

- не предусмотрено

#### **Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. Определение «теоретическая механика»
2. Равновесие – это..?
3. Взаимное перемещение тел в пространстве или взаимное перемещение частиц одного тела – это ....
4. Что такое сила?
5. Назовите аксиомы статики, охарактеризуйте каждую из них.

## Тема 1.2. Плоская сходящаяся система сил

### **План изучения темы:**

1. Плоская сходящаяся система сил.

#### **Краткое изложение теоретических вопросов:**

Система сил, линии действия которых лежат в одной плоскости и пересекаются в одной точке, называется плоской системой сходящихся сил. Если силы сходящейся системы приложены к разным точкам тела, то по первому следствию из аксиом статики каждую силу можно перенести в точку пересечения линий действия и получить эквивалентную систему сил, приложенных к одной точке.

Две силы, приложенные к одной точке тела, образуют простейшую плоскую систему сходящихся сил (две пересекающиеся прямые всегда лежат в одной плоскости).

Вместо построения силового многоугольника равнодействующую системы сходящихся сил более точно и значительно быстрее находят вычислением с помощью метода проекций, который обычно называется аналитическим.

Проекцией вектора на ось называется длина направленного отрезка оси, заключенного между двумя перпендикулярами, опущенными из начала и конца вектора. Проекция силы на ось равна произведению модуля этой силы на косинус угла между направлением силы и положительным направлением оси.

Условие равновесия плоской системы сходящихся сил в аналитической форме: для равновесия плоской системы сходящихся сил

необходимо и достаточно, чтобы алгебраические суммы проекций всех сил системы на каждую из двух осей координат были равны нулю.

### **Практические занятия:**

1. Решение задач на равновесие геометрическим способом

### **Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. Назовите определение сходящейся системы сил.
2. Чему равна проекция силы на ось?
3. Как находят равнодействующую системы сходящихся сил?

Тема 1.3. Пара сил и момент силы относительно точки

### **План изучения темы:**

1. Пара сил и момент силы относительно точки (пара сил и её свойства; момент, эквивалент, условие равновесия и сложение пары сил; момент силы относительно точки)

### **Краткое изложение теоретических вопросов:**

Парой сил называется система двух равных по модулю, параллельных и направленных в противоположные стороны сил, действующих на твердое тело.

Плоскость, содержащая линии действия сил пары и называется плоскостью действия сил пары. Кратчайшее расстояние между линиями действия сил пары называется плечом пары.

Вращающее действие пары на твердое тело зависит от модуля сил пары, плеча, положения плоскости действия пары и направления вращения.

Момент пары считается положительным, если он стремится вращать тело против хода часовой стрелки и отрицательным, если - по ходу часовой стрелки.

Момент пары, как и момент силы, измеряется в (система СИ) и в (система МКГСС).

Алгебраическая сумма моментов сил пары относительно произвольной точки в плоскости ее действия не зависит от выбора этой точки и равна моменту пары. Действительно, определим сумму моментов сил и пары относительно произвольной точки, расположенной в плоскости действия пары.

Свойства пар выражаются следующими теоремами, которые приводятся здесь без доказательств.

1) Действие пары на твердое тело не изменится, если перенести пару в плоскости ее действия в любое другое положение.

2) Действие пары на твердое тело не изменится, если модуль сил пары и ее плечо изменить так, чтобы модуль момента пары сохранился неизменным.

3) Действие пары на твердое тело не изменится, если перенести пару в любую другую плоскость, параллельную плоскости ее действия.

4) Система пар, приложенных к твердому телу, может быть заменена одной результирующей парой с моментом, равным геометрической сумме моментов слагаемых пар.

### **Практические занятия:**

1. Определение главного вектора и главного момента плоской системы сил.

2. Определение реакций опор при различных схемах нагружения

### **Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. Что называют парой сил?

2. В каком случае момент силы относительно точки равен нулю?

3. Что называется моментом силы относительно оси?

4. В каких случаях момент силы относительно оси равен нулю?

5. Можно ли открыть дверь, если все приложенные к ней силы располагаются в плоскости двери?

6. Какова зависимость между моментами силы относительно оси и относительно точки, лежащей на этой оси?

7. Выведите формулы для моментов силы относительно трех координатных осей, используя представление о векторе момента силы относительно точки в виде векторного произведения.

8. Что называется парой сил? Чему равен момент пары?

9. Какие факторы определяют действие пары на твердое тело?

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

### **План изучения темы:**

1. приведение сил к данной точке и системы сил к данному центру; главный вектор, равновесие и главный момент системы сил; классификацию нагрузок и виды опор; определение реакций в опорах и моментах защемления; приведение сил к данной точке и системы сил к данному центру; главный вектор, равновесие и главный момент системы сил; классификацию нагрузок и виды опор; определение реакций в опорах и моментах защемления

## 2. Определение реакций в опорах балочных систем.

### **Краткое изложение теоретических вопросов:**

Приведение силы к данной точке заключается в том, что рассматриваемую силу  $F$  переносят параллельно самой себе в произвольно выбранную точку  $O$ . Для того чтобы механическое состояние тела не изменилось, силу  $F'$  уравнивают силой  $F''$ . В результате приведения силы  $F$  к точке  $O$  получилась система сил, состоящая из силы  $F'$ , равной и параллельной данной силе  $F$ , и пары сил ( $F$  и  $F''$ ), момент которой равен моменту данной силы  $F$  относительно точки  $O$ .

Плоской системой произвольно расположенных сил называется система сил, линии, действия которых лежат в одной плоскости, но не пересекаются в одной точке. Для того чтобы привести данную систему произвольно расположенных сил к произвольно выбранной точке  $O$ , необходимо:

- 1) перенести по очереди каждую силу в эту точку;
- 2) уравновесить силы ( $F_1', F_2', F_3'$ ) силами ( $F_1'', F_2'', F_3''$ )

В результате приведения сил ( $F_1, F_2, F_3$ ) к точке  $O$  получили новую систему сил, состоящую из плоской системы сходящихся сил ( $F_1, F_2, F_3$ ), которые равны и параллельны данным силам, т.е.

$$F_1' = F_1, F_2' = F_2, F_3' = F_3.$$

Эту вновь полученную систему сходящихся сил заменяем равнодействующей силой, которая равна геометрической сумме данных сил и называется главным вектором системы:

В результате приведения получили еще одну систему пар сил моменты которых равны моментам данных сил относительно точки  $O$ , т.е.

Вновь полученную систему пар сил заменим одной равнодействующей парой, момент которой равен алгебраической сумме моментов слагаемых пар сил и называется главным моментом системы:

Таким образом, для того чтобы тело под действием плоской системы произвольно расположенных сил находилось в равновесии, необходимо, чтобы главный вектор и главный момент системы были равны нулю.

Таким образом, получаем условие равновесия плоской системы произвольно расположенных сил: алгебраическая сумма проекций всех сил на оси  $x$  и  $y$  должна быть равна нулю и алгебраическая сумма моментов всех сил относительно точки приведения должна быть равна нулю, т.е.

$\begin{aligned} \sum F_{ix} &= 0, \\ \sum F_{iy} &= 0, \\ \sum M_O(\vec{F}_i) &= 0 \end{aligned}$	— первая (основная) форма уравнения равновесия;
--	--

$\begin{aligned} \sum F_{ix} &= 0, \\ \sum M_A(F_i) &= 0, \\ \sum M_B(F_i) &= 0 \end{aligned}$	— вторая форма;
--	-----------------

$\begin{aligned} \sum M_A(F_i) &= 0, \\ \sum M_B(F_i) &= 0, \\ \sum M_C(\vec{F}_i) &= 0 \end{aligned}$	— третья форма.
--	-----------------

**Практические занятия:**

1. Определение реакций в опорах балочных систем.

**Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. Какая система сил называется произвольной плоской системой?
2. Какая система сил называется эквивалентной данной произвольной системе сил?
3. Какая сила называется равнодействующей?
4. Какая сила называется уравновешивающей?
5. Назовите аналитические условия равновесия плоской произвольной системы сил.
6. Какие аксиомы и свойства моментов использовались в данной работе?

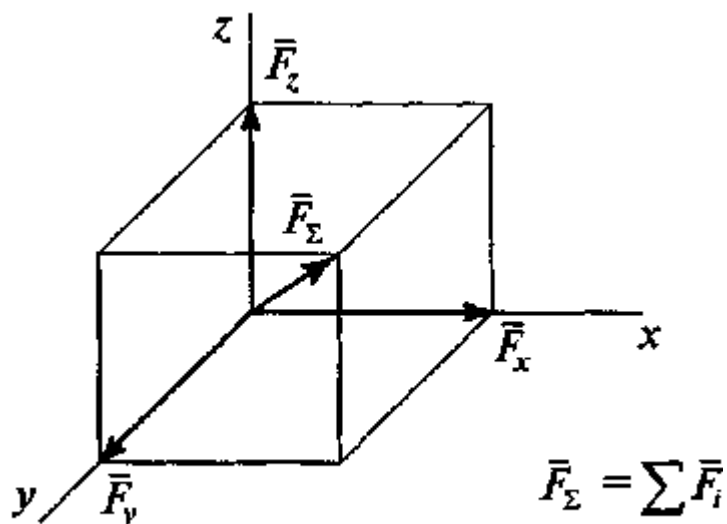
Тема 1.5. Пространственная система сил. Центр тяжести.

**План изучения темы:**

1. Пространственная система сил. Центр тяжести.
2. Определение положения центра тяжести плоской фигуры

**Краткое изложение теоретических вопросов:**

Пространственной системой сходящихся сил называется система сил, линии действия которых не лежат в одной плоскости, но пересекаются в одной точке. Равнодействующая такой системы сил изображается диагональю прямоугольного параллелепипеда, построенного на этих силах как на сторонах.



Условие равновесия пространственной системы сходящихся сил: алгебраическая сумма проекций всех сил на три взаимно перпендикулярные оси координат должны быть равны нулю, т.е.

$$\begin{aligned} \sum F_{ix} &= 0, \\ \sum F_{iy} &= 0, \\ \sum F_{iz} &= 0. \end{aligned}$$

Для того чтобы найти момент силы  $F$  относительно оси  $z$ , надо спроектировать силу  $F$  на плоскость  $H$ , перпендикулярную оси  $z$  (рис. 1.23), затем найти момент проекции  $F_H$  относительно точки  $O$ , которая является точкой пересечения плоскости  $H$  с осью  $z$ . Момент проекции  $F_H$  и будет являться моментом силы  $F$  относительно оси  $z$ .

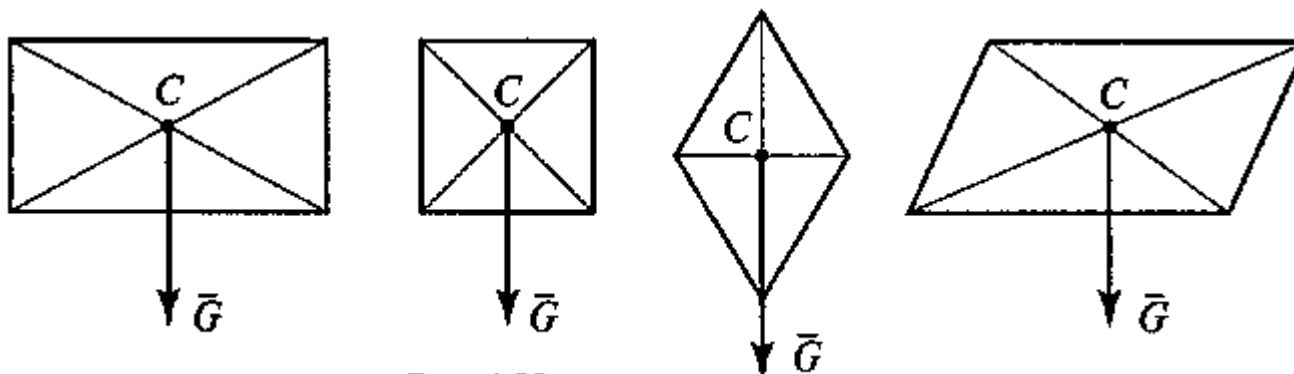
Моменты сил, перпендикулярных или параллельных оси  $z$ , будут равны нулю

$$M_z(\bar{F}) = M_O(\bar{F}_H) = \bar{F}_H l$$

Пространственной системой произвольно расположенных сил называется система сил, линии, действия которых не лежат в одной плоскости и не пересекаются в одной точке. Равнодействующая такой системы сил также равна геометрической сумме этих сил, но изображается диагональю сложных объемных фигур.

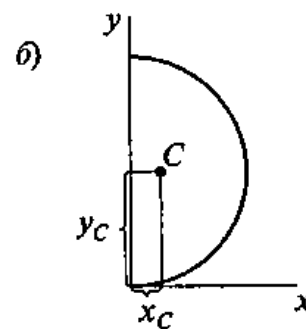
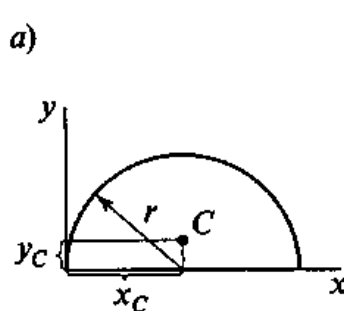
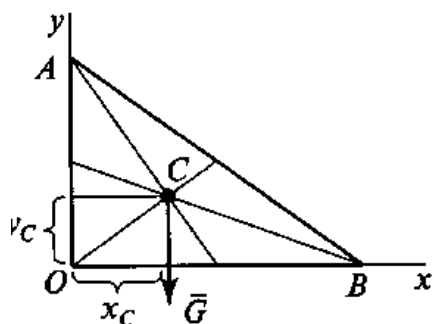
$$\begin{aligned} \sum F_{ix} &= 0, & \sum M_x(\bar{F}_i) &= 0, \\ \sum F_{iy} &= 0, & \sum M_y(\bar{F}_i) &= 0, \\ \sum F_{iz} &= 0, & \sum M_z(\bar{F}_i) &= 0. \end{aligned}$$

Сила тяжести — это сила, с которой тело притягивается к земле. Центр тяжести — это точка приложения силы тяжести. Положение центра тяжести простых геометрических фигур: 1) в прямоугольнике, квадрате, ромбе, параллелограмме — на пересечении диагоналей.



а)  $x_c = r, y_c = \frac{2r}{3\pi}$

б)  $x_c = \frac{2r}{3\pi}, y_c = r$



3) в круговом секторе или полукруге — в точке с координатами:

4) в конусе или полной пирамиде — на 1/3 высоты от основания

**Практические занятия:**

1. Определение положения центра тяжести плоской фигуры

**Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. В чём состоит сущность условия равновесия пространственной системы сил?
2. Чем отличается произвольная система сил от плоской системы сил?
3. Как определяется момент силы расположенной в пространстве относительно оси перпендикулярной заданной плоскости?
4. Запишите уравнения равновесия пространственной системы сил.

## Раздел 2. Сопротивление материалов

### Тема 2.1. Основные положения.

#### **План изучения темы:**

1. Основные понятия сопротивления материалов
2. Гипотезы и допущения; виды деформаций, сил; метод сечений; механический напряжения

#### **Краткое изложение теоретических вопросов:**

Сопротивление материалов базируется на понятии «прочность», что является способностью материала противостоять приложенным нагрузкам и воздействиям без разрушения. Сопротивление материалов оперирует такими понятиями как: внутренние усилия, напряжения, деформации. Приложенная внешняя нагрузка к некоторому телу порождает внутренние усилия в нём, противодействующие активному действию внешней нагрузки. Внутренние усилия, распределенные по сечениям тела, называются напряжениями. Таким образом, внешняя нагрузка порождает внутреннюю реакцию материала, характеризующуюся напряжениями, которые в свою очередь прямо пропорциональны деформациям тела. Деформации бывают линейными (удлинение, укорочение, сдвиг) и угловыми (поворот сечений). Основные понятия сопротивления материалов, оценивающие способность материала сопротивляться внешним воздействиям:

**Прочность** — способность материала воспринимать внешнюю нагрузку, не разрушаясь при этом;

**Жесткость** — способность материала сохранять свои геометрические параметры в допустимых пределах при внешних воздействиях;

**Устойчивость** — способность материала сохранять в стабильности свою форму и положение при внешних воздействиях.

асчет реальных конструкций и их элементов является либо теоретически невозможным, либо практически неприемлемым по своей сложности. Поэтому в сопротивлении материалов применяется модель идеализированного деформируемого тела, включающая следующие допущения и упрощения:

**Гипотеза сплошности и однородности:** материал представляет собой однородную сплошную среду; свойства материала во всех точках тела одинаковы и не зависят от размеров тела.

**Гипотеза об изотропности материала:** физико-механические свойства материала одинаковы по всем направлениям.



Гипотеза об идеальной упругости материала: тело способно восстанавливать свою первоначальную форму и размеры после устранения причин, вызвавших его деформацию.

Гипотеза (допущение) о малости деформаций: деформации в точках тела считаются настолько малыми, что не оказывают существенного влияния на взаимное расположение нагрузок, приложенных к телу.

Допущение о справедливости закона Гука: перемещения точек конструкции в упругой стадии работы материала прямо пропорциональны силам, вызывающим эти перемещения.

Принцип независимости действия сил (принцип суперпозиции): результат воздействия нескольких внешних факторов равен сумме результатов воздействия каждого из них, прикладываемого в отдельности, и не зависит от последовательности их приложения.

Гипотеза Бернулли о плоских сечениях: поперечные сечения, плоские и нормальные к оси стержня до приложения к нему нагрузки, остаются плоскими и нормальными к его оси после деформации.

Принцип Сен-Венанна: в сечениях, достаточно удалённых от мест приложения нагрузки, деформация тела не зависит от конкретного способа нагружения и определяется только статическим эквивалентом нагрузки.

Эти положения ограничено применимы к решению конкретных задач. Например, для решения задач устойчивости утверждения 4-6 не справедливы, утверждение 3 справедливо не всегда.

Прочность конструкций определяется с использованием теории разрушения — науки о прогнозировании условий, при которых твердые материалы разрушаются под действием внешних нагрузок. Материалы, как правило, подразделяются на разрушающиеся хрупко и пластично. В зависимости от условий (температуры, распределения напряжений, вида нагрузки и т. п.) большинство материалов может быть отнесено к хрупким, пластичным или обоим видам одновременно. Тем не менее, для большинства практических ситуаций, материалы могут быть классифицированы как хрупкие или пластичные. Несмотря на то, что теория разрушения находится в разработке уже более 200 лет, уровень её приемлемости для механики сплошных сред не всегда достаточен.

Математически теория разрушения выражается в виде различных критериев разрушения, справедливых для конкретных материалов. Критерием разрушения является поверхность разрушения, выраженная через напряжения или деформации. Поверхность разрушения разделяет «поврежденное» и «не поврежденное» состояния. Для «поврежденного» состояния трудно дать точное физическое определение, это понятие следует рассматривать как рабочее определение, используемое в

инженерном сообществе. Термин «поверхность разрушения», используемый в теории прочности, не следует путать с аналогичным термином, который определяет физическую границу между поврежденными и не поврежденными частями тела. Довольно часто феноменологические критерии разрушения одного и того же вида используются для прогнозирования хрупкого и пластичного разрушения.

Среди феноменологических теорий прочности наиболее известными являются следующие теории, которые принято называть «классическими» теориями прочности:

Теория наибольших нормальных напряжений

Теория наибольших деформаций

Теория наибольших касательных напряжений Треска

Теория наибольшей удельной потенциальной энергии формоизменения фон Мизеса.

Теория Мора

Классические теории прочности имеют существенные ограничения для их применения. Так теории наибольших нормальных напряжений и наибольших деформаций применимы лишь для расчета прочности хрупких материалов, причём только для некоторых определённых условий нагружения. Поэтому эти теории прочности сегодня применяют весьма ограниченно. Из перечисленных теорий наиболее часто используют теорию Мора, которую также называют критерием Мора-Кулона. Кулон (Coulomb) в 1781 г. на основе выполненных им испытаний установил закон сухого трения, который использовал для расчета устойчивости подпорных стенок. Математическая формулировка закона Кулона совпадает с теорией Мора, если в ней выразить главные напряжения через касательные и нормальные напряжения на площадке среза. Достоинством теории Мора является то, что она применима к материалам, имеющим разные сопротивления сжатию и растяжению, а недостатком то, что она учитывает влияние только двух главных напряжений — максимального и минимального. Поэтому теория Мора не точно оценивает прочность при трехосном напряженном состоянии, когда необходимо учитывать все три главных напряжения. Кроме того, при использовании эта теория не учитывается поперечное расширение (дилатацию) материала при сдвиге. На эти недостатки теории Мора неоднократно обращал внимание А. А. Гвоздев, который доказал неприменимость теории Мора для бетона.

На смену «классическим» теориям прочности в современной практике пришли многочисленные новые теории разрушения. Большинство из них используют различные комбинации инвариантов

тензора напряжений Коши (Cauchy) Среди них наиболее известны [источник не указан 2254 дня] следующие критерии разрушения:

Друкера-Прагера (Drucker-Prager)

Бреслера-Пистера (Bresler-Pister) — для бетона

Вильяма-Варнке (Willam-Warnke) — для бетона

Хенкинсона (Hankinson) — эмпирический критерий, используемый для ортотропных материалов типа древесины

Хила (Hill) — для анизотропных тел

критерий Tsai-Wu — для анизотропных материалов

критерий Хока-Брауна (Hoek-Brown) — для скальных массивов

Перечисленные критерии прочности предназначены для расчета прочности однородных (гомогенных) материалов. Некоторые из них используются для расчёта анизотропных материалов.

Для расчета прочности неоднородных (не гомогенных) материалов используется два подхода, называемые макро-моделированием и микро-моделированием. Оба подхода ориентированы на использование метода конечных элементов и вычислительной техники. При макро-моделировании предварительно выполняется гомогенизация — условная замена неоднородного (гетерогенного) материала на однородный (гомогенный). При микро-моделировании компоненты материала рассматриваются с учётом их физических характеристик. Микро-моделирование используют в основном в исследовательских целях, так как расчет реальных конструкций требует чрезмерно больших затрат машинного времени. Методы гомогенизации широко используются для расчета прочности каменных конструкций, в первую очередь для расчета стен-диафрагм жесткости зданий. Критерии разрушения каменных конструкций учитывают многообразные формы разрушения каменной кладки. Поэтому поверхность разрушения, как правило, принимается в виде нескольких пересекающихся поверхностей, которые могут иметь разную геометрическую форму.

#### **Практические занятия:**

не предусмотрено

#### **Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. Что называют напряжением?
2. Дайте определения: прочность, жесткость, устойчивость.
3. Назовите гипотезы и упрощения, используемые при расчете реальных конструкций.

Тема 2.2. Растяжение и сжатие.

#### **План изучения темы:**

1. Растяжение и сжатие.
2. условия прочности при растяжении и сжатии
3. эпюры продольных сил и нормальных напряжений
4. продольные и поперечные деформации
5. закон Гука

### **Краткое изложение теоретических вопросов:**

Растяжение-сжатие в сопротивлении материалов — вид продольной деформации стержня или бруса, возникающий в том случае, если нагрузка к нему прикладывается по его продольной оси (равнодействующая сил, воздействующих на него, нормальна поперечному сечению стержня и проходит через его центр масс).

Осевое (центральное) растяжение или сжатие прямого бруса вызывается внешними силами, вектор равнодействующей которых совпадает с осью бруса. При растяжении или сжатии в поперечных сечениях бруса возникают только продольные силы  $N$ . Продольная сила  $N$  в некотором сечении равна алгебраической сумме проекции на ось стержня всех внешних сил, действующих по одну сторону от рассматриваемого сечения. По правилу знаков продольной силы  $N$  принято считать, что от растягивающих внешних нагрузок возникают положительные продольные силы  $N$ , а от сжимающих - продольные силы  $N$  отрицательны.

Определенная методом сечений продольная сила  $N$ , является равнодействующей внутренних усилий распределенных по поперечному сечению стержня. Исходя из определения напряжений, согласно выражению, можно записать для продольной силы:

$$N = \int_A \sigma dA$$

где  $\sigma$  — нормальное напряжение в произвольной точке поперечного сечения стержня.

Чтобы определить нормальные напряжения в любой точке бруса необходимо знать закон их распределения по поперечному сечению бруса. Рассмотрим деформации, возникающие при растяжении (сжатии) стержня (рис.6, а). Под действием силы  $F$  брус удлиняется на некоторую величину  $\Delta l$  называемую абсолютным удлинением, или абсолютной продольной деформацией, которая численно равна разности длины бруса после деформации  $l_1$  и его длины до деформации  $l$

$$\Delta l = l_1 - l$$

Отношение абсолютной продольной деформации бруса  $\Delta l$  к его первоначальной длине  $l$  называют относительным удлинением, или относительной продольной деформацией:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

При растяжении продольная деформация положительна, а при сжатии – отрицательна. Для большинства конструкционных материалов на стадии упругой деформации выполняется закон Гука (4), устанавливающий линейную зависимость между напряжениями и деформациями:

$$\sigma = E\varepsilon$$

где модуль продольной упругости  $E$ , называемый еще модулем упругости первого рода является коэффициентом пропорциональности, между напряжениями и деформациями. Он характеризует жесткость материала при растяжении или сжатии.

### **Практические занятия:**

не предусмотрено

### **Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. Назовите условия прочности при растяжении и сжатии
2. Перечислите правила построения эпюры продольных сил и нормальных напряжений
3. Охарактеризуйте продольные и поперечные деформации
4. Объясните закон Гука

## Тема 2.3. Практические расчеты на срез и смятие

### **План изучения темы:**

1. Срез
2. сдвиг
3. смятие
4. условие прочности

### **Краткое изложение теоретических вопросов:**

Срезом называют деформацию, представляющую собой смещение поперечных плоскостей тела под действием силы параллельной этой плоскости.

Касательные напряжения при срезе (напряжения среза) определяются по формуле

$$\tau_{ср} = \frac{F}{A} \leq [\tau_{ср}] = \frac{\sigma_T}{s}$$

де - действительные напряжения среза;

- допускаемые напряжения растяжения (сжатия);

Смятием называют деформацию, представляющую собой нарушение первоначальной формы поверхности под действием силы перпендикулярной к этой поверхности.

Нормальные напряжения при смятии (напряжения смятия) определяются по формуле:

$$\sigma_{см} = \frac{F}{A} \leq [\sigma_{см}] = \frac{\sigma_T}{s}$$

Смятие – разрушение от давления между поверхностями соединительной детали и отверстия (при штифтовом, шпоночном соединениях и т.д.). При изменении формы отверстия от давления соединение разрушается.

Допущения при расчете на срез:

- силы давления распределены по поверхности смятия равномерно

- силы давления перпендикулярны поверхности смятия

Условие прочности при расчете на смятие:

$$\sigma_{см} = \frac{F}{iA_{см}} \leq [\sigma_{см}]$$

F/i – нагрузка на один соединительный элемент

i – число соединительных элементов

A<sub>см</sub> – площадь смятия

допускаемое напряжение при расчете на смятие - допускаемое напряжение

### **Практические занятия:**

**1. Расчеты заклепочных и сварных соединений**

### **Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. Что такое срез в технической механике?
2. Сдвиг - это
3. Смятие - это
4. Назовите условия прочности

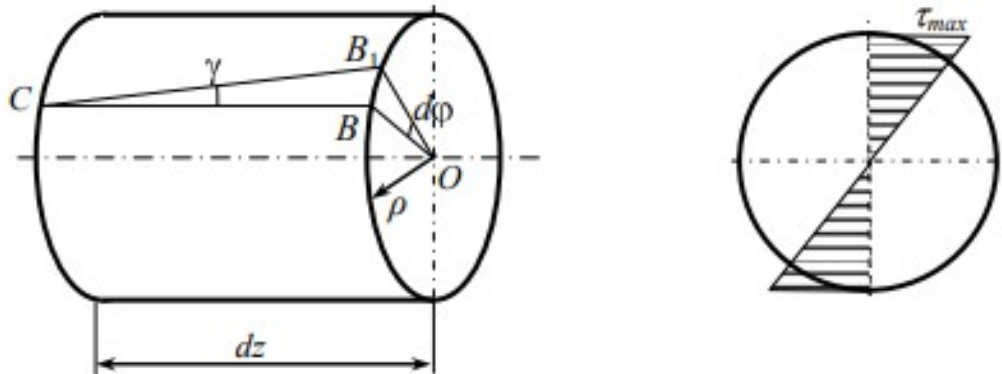
## Тема 2.4. Кручение

### **План изучения темы:**

1. Кручение
2. Внутренние силовые факторы при кручении
3. Эпюры крутящих моментов
4. Деформации при кручении

**Краткое изложение теоретических вопросов:**

Кручение - вид нагружения, при котором в поперечных сечениях возникает только крутящий момент —  $M_k$ .



При кручении происходит поворот одного сечения относительно другого на угол закручивания -  $\phi$ .

При кручении круглого бруса (вала) материал находится в напряженном состоянии чистого сдвига. Возникают только касательные напряжения (нормальные напряжения отсутствуют).

Касательные напряжения равны:

$$\tau = \frac{T\rho}{J_p}; \quad \tau_{\max} = \frac{T}{W_p}$$

где  $\rho$  – радиус точки, где определяются напряжения.

Касательные напряжения в точках сечения изменяются пропорционально расстоянию точек от оси. Касательные напряжения в центре

равны нулю, чем дальше от центра, тем они больше.

**Практические занятия:**

1. Расчет на прочность круглого вала
2. Выполнение расчетов на прочность и жесткость при кручении

**Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. Кручение – это..
2. Назовите внутренние силовые факторы при кручении
3. Правила построения эпюр крутящих моментов

## Тема 2.5 Изгиб

### План изучения темы:

1. Изгиб
2. Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов

### Краткое изложение теоретических вопросов:

Изгиб - вид нагружения стержня, при котором все приложенные внешние силы приводятся к равнодействующему моменту, плоскость действия которого проходит через продольную ось. В поперечных сечениях стержня возникают изгибающие моменты.

Стержень, работающий на изгиб, называется балкой.

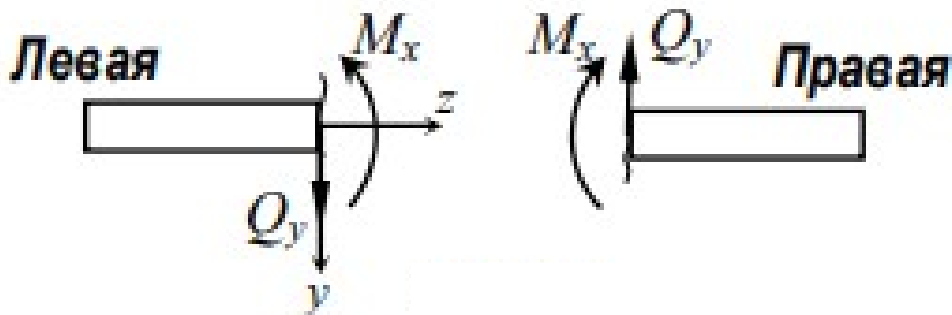
Изгиб называется плоским, если плоскость действия момента проходит через главную центральную ось инерции сечения.

Если изгибающий момент  $M_x$  является единственным внутренним силовым фактором, то такой изгиб называется чистым.

Если возникают два внутренних силовых фактора: поперечная сила  $Q_y$  и изгибающий момент  $M_x$ , то изгиб называется поперечным.

Нормальная сила  $N$  при изгибе равняется нулю.

Принято правило знаков: Для левой и правой отсеченных частей показаны положительные направления поперечной силы и изгибающего момента.



Между изгибающим моментом, поперечной силой и распределенной силой существуют дифференциальные зависимости: то есть первая производная от изгибающего момента по длине участка равна поперечной силе, а также производная от поперечной силы

равна интенсивности распределенной нагрузки.

Перемещения при плоском изгибе

При изгибе балки определяются перемещения: прогиб и угол поворота поперечного сечения.



Прогибом балки  $\delta$  называется величина, на которую перемещается центр тяжести поперечного сечения в направлении, перпендикулярном первоначальной оси балки.

Углом поворота поперечного сечения называется угол, на который поворачивается поперечное сечение при деформации балки.

**Практические занятия:**

1. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов
2. Расчет на прочность при изгибе

**Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. Назовите виды изгиба
2. Что такое балка?

Тема 2.6. Гипотезы прочности и их применение.

**План изучения темы:**

1. гипотезы прочности и их применение
2. виды упругих состояний
3. напряженное состояние в точке упругого тела
4. назначение гипотез прочности; эквивалентное напряжение

**Краткое изложение теоретических вопросов:**

Применение гипотез прочности избавляет от необходимости проведения огромного количества экспериментов. Тот или иной критерий эквивалентности может быть основой для практических расчетов на прочность лишь при условии, что для ряда частных случаев он проверен опытным путем, и результаты эксперимента оказались достаточно близки к результатам теоретического расчета.

Определение истинной причины разрушения материала является труднейшей задачей. Это обстоятельство не позволяет создать единую общую гипотезу прочности и повлекло за собой появление многих теорий, каждая из которых основывается на своей гипотезе о причине разрушения материала.

Независимо от принятой гипотезы прочности, условие прочности после определения эквивалентного напряжения представляется в виде одного из неравенств: изображение гипотезы прочности сопроматили, при заданном коэффициенте запаса, изображение гипотезы прочности сопромат.

В зависимости от того, испытывает параллелепипед «растяжение» («сжатие») в одном, в двух или в трех направлениях, различают виды напряженного состояния:

линейное (одноосное) напряженное состояние,  
плоское (двухосное) напряженное состояние,  
объемное (трехосное) напряженное состояние.

С линейным напряженным состоянием мы уже сталкивались при изучении центрального растяжения (сжатия).

плоское напряженное состояние. Его характерным признаком является полное отсутствие нормальных и касательных напряжений на двух параллельных гранях параллелепипеда.

Будем полагать, что при плоском напряженном состоянии напряжения не возникают на гранях элементарного параллелепипеда с нормалью  $x$ . Тогда вместо объемного параллелепипеда с целью упрощения, мы будем на рисунках показывать проекцию параллелепипеда на плоскость изображение Виды напряженного состояния сопромат. (штриховкой будем указывать внутреннюю область элемента).

Напряженным состоянием в точке тела называют совокупность нормальных и касательных напряжений, возникающих на всевозможных площадках, проходящих через данную точку.

Изучение напряженного состояния начинается того, что в окрестности исследуемой точки, например точки  $K$ , из нагруженного тела, находящегося в равновесии, мысленно вырезается элементарный параллелепипед со сторонами.

Параллелепипеда можно считать, что напряженное состояние во всех его внутренних точках одинаково (то есть однородно) и совпадает с напряженным состоянием в непосредственно исследуемой точке  $K$ . Предположение, что по граням и по любым сечениям элементарного параллелепипеда нормальные и касательные напряжения распределяются равномерно, позволяют исследовать закон изменения напряжений по наклонным сечениям элементарного параллелепипеда, считая, что эти сечения проходят через исследуемую точку  $K$ .

Эквивалентное напряжение ( $\sigma_{экв}$ ) – это напряжение, под действием которого материал в условиях простого растяжения-сжатия оказывается в равно опасном состоянии с рассматриваемым сложным напряженным состоянием.

Тогда, для того чтобы провести расчет на прочность при сложном напряженном состоянии, необходимо сначала «перейти» от сложного напряженного состояния к простому растяжению, то есть, используя наиболее подходящий для данного случая критерий прочности или пластичности, найти эквивалентное напряжение. Затем необходимо

сравнить это эквивалентное напряжение с допусковым, найденным из опытов на растяжение:

$$\sigma_{\text{экв}} \leq \sigma[ ].$$

Основной же задачей при выработке критерия прочности оказывается правильный выбор основного фактора, влияющего на прочность материала при сложном напряженном состоянии.

### **Практические занятия:**

1. Расчет вала при совместном действии изгиба и кручения

### **Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. Назовите гипотезы прочности и их применение
2. Какие есть виды упругих состояний?
3. Назовите напряженное состояние в точке упругого тела?
4. Расскажите назначение гипотез прочности; эквивалентное напряжение.

## Раздел 3. Элементы кинематики и динамики

### Тема 3.1. Кинематика. Основные понятия. Кинематика точки и твердого тела.

#### **План изучения темы:**

1. Кинематика. Основные понятия.
2. Кинематика точки и твердого тела.

#### **Краткое изложение теоретических вопросов:**

Кинематика – это раздел механики, который рассматривает движение тел без объяснения вызывающих его причин.

Механическое движение тела – это изменение положения данного тела в пространстве относительно других тел во времени.

Для характеристики движения тела указывается, по отношению к какому из тел рассматривается это движение. Это будет тело отсчета.

Система отсчета – система координат, которая связана с телом отсчета и временем для отсчета. Она позволяет определить положение передвигающегося тела в любой отрезок времени.

Механическое движение называют поступательным, в случае если все части тела перемещаются одинаково.

Поступательное движение наблюдается у кабин в аттракционе «Колесо обозрения» или у автомобиля на прямолинейном участке пути.

Точки, располагаемые в пустом пространстве, не различаются. Поэтому о точке рассуждают при условии нахождения в ней материальной точки.

Определить ее положение можно при помощи измерений в системе координат, где и проводится нахождение пространственных координат. Если рассматривать в виде примера поверхность Земли, то следует учитывать широту и долготу располагаемой точки.

В теории используется декартова прямоугольная система координат, где определение точки возможно при наличии радиус-вектора  $\vec{r}$  и трех проекций  $x, y, z$  – ее координат. Могут быть применены другие:

- сферическая система с положением точек и ее радиус-вектором, определенных координатами  $r, \vartheta, \varphi$ ;
- цилиндрическая система с координатами  $\rho, z, \alpha$ ;
- на полярной плоскости с параметрами  $r, \varphi$ .

В теории зачастую не принимают во внимание реальную систему отсчета, а сохраняют только ту, которая представляет собой ее математическую модель, применяемую во время практических измерений.

При условии положения и определения материальной точки в данной системе отсчета считается, что ее движение задано или описано.

Это возможно при использовании **кинематического уравнения движения**:

$$\vec{r} = \vec{r}(t) \quad (1)$$

Ее перемещение по уравнению (1) определено, если имеется указанное положение в любой момент времени  $t$ . Для этого следует задавать декартовы координаты точки в качестве однозначных и непрерывных функций времени:

$$x(t)=x, y(t)=y, z(t)=z \quad (2)$$

Прямоугольные декартовы координаты  $x, y, z$  – это проекции радиус-вектора  $\vec{r}$ , проведенного из начала координат. Очевидно, что длину и направление  $\vec{r}$  можно найти из соотношений, где  $\alpha, \beta, \gamma$  являются образованными радиус-вектором углами с координатными осями.

Определение движения точки возможно с помощью задания траектории и мгновенного положения точки на ней. Ее положение на кривой определяется с помощью указания только одной величины: расстояния вдоль кривой от некоторой начальной точки с положительным направлением:

$$s=s(t)$$

Это и есть **уравнение движения точки по траектории**. Способ его задания относят к естественному или траекторному.

**Практические занятия:**

Не предусмотрено

**Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. Назовите уравнение движения точки; скорость и ускорение точки
2. Какие виды движения в зависимости от ускорения; поступательное и вращательное движение твердого тела; скорости и ускорения точек вращающегося тела

Тема 3.2. Динамика. Основные положения. Работа и мощность.

**План изучения темы:**

1. Динамика.
2. Основные положения.
3. Работа и мощность. (трение, виды трения; законы трения скольжения; работа и мощность постоянной силы на прямолинейном пути; работа силы тяжести; КПД.)

**Краткое изложение теоретических вопросов:**

Дина́мика (греч. δύναμις «сила, мощь») — раздел механики, в котором изучаются причины изменения механического движения. В классической механике этими причинами являются силы. Динамика оперирует также такими понятиями, как масса, импульс, момент импульса, энергия.

Трёние — процесс механического взаимодействия соприкасающихся тел при их относительном смещении в плоскости касания (внешнее трение) либо при относительном смещении параллельных слоёв жидкости, газа или деформируемого твёрдого тела (внутреннее трение, или вязкость). Далее в этой статье под трением понимается лишь внешнее трение. Изучением процессов трения занимается раздел физики, который называется механикой фрикционного взаимодействия, или трибологией.

Трение главным образом имеет электронную природу при условии, что вещество находится в нормальном состоянии. В сверхпроводящем состоянии вдалеке от критической температуры основным «источником» трения являются фононы, а коэффициент трения может уменьшиться в несколько раз.

При наличии относительного движения двух контактирующих тел силы трения, возникающие при их взаимодействии, можно подразделить на:

Трение скольжения — сила, возникающая при поступательном перемещении одного из контактирующих/взаимодействующих тел относительно другого и действующая на это тело в направлении, противоположном направлению скольжения.

Трение качения — момент сил, возникающий при качении одного из двух контактирующих/взаимодействующих тел относительно другого.

Трение покоя — сила, возникающая между двумя контактирующими телами и препятствующая возникновению относительного движения. Эту силу необходимо преодолеть для того, чтобы привести два контактирующих тела в движение друг относительно друга. Возникает при микроперемещениях (например, при деформации) контактирующих тел. Она действует в направлении, противоположном направлению возможного относительного движения.

Трение вращения — момент силы, возникающий между двумя контактирующими телами при вращении одного из них относительно другого и направленный против вращения.

Первый закон. Сила трения скольжения равна сдвигающей силе и заключена между нулем и максимальным значением, которое достигается в момент выхода тела из положения равновесия

$$0 \leq F_{\text{тр}} \leq F_{\text{тр} / \text{max}} \quad (\text{условие отсутствия скольжения тела}).$$

Второй закон. Максимальная сила трения скольжения при всех прочих условиях не зависит от площади соприкосновения трущихся поверхностей.

Третий закон. Максимальная сила трения скольжения пропорциональна силе нормального давления тела на опорную поверхность

$$F_{\text{тр} / \text{max}} = f N \quad (\text{условие начала скольжения тела}).$$

$$\bar{N} = -\bar{Q}; \quad N = Q;$$

$\bar{N}$  - нормальная реакция опорной поверхности;

$\bar{Q}$  - сила давления тела на эту поверхность.

Безразмерный коэффициент  $f$  называют коэффициентом трения скольжения или коэффициентом трения 1-го рода.

Четвертый закон. Коэффициент трения скольжения зависит от материала и физического состояния трущихся поверхностей (степени шероховатости, влажности, температуры и других условий).

Работа постоянной силы  $P$  на прямолинейном участке пути  $s$ , пройденном точкой приложения силы, определяется по формуле (1)  $A = Ps \cos \alpha$ , где  $\alpha$  – угол между направлением действия силы и направлением перемещения. При  $\alpha = 90^\circ \cos \alpha = \cos 90^\circ = 0$  и  $A = 0$ , т. е. работа силы, действующей перпендикулярно к направлению перемещения, равна нулю.

Работа силы тяжести на каждом из участков будет равна произведению силы тяжести на высоту данного участка. Если изменения высот на отдельных участках равны, то работы силы тяжести на них равны.

### **Практические занятия:**

1. Расчет на трение, работу и мощность, КПД

### **Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. Дайте определение, что такое трение.
2. Назовите виды трения; законы трения скольжения;
3. Охарактеризуйте работу и мощность постоянной силы на прямолинейном пути; работа силы тяжести; КПД.

## Раздел 4. Детали машин.

### Тема 4.1. Основные положения.

### **План изучения темы:**

1. Основные понятия раздела детали машин
2. механизм, машина, деталь, сборочная единица
3. критерии и работоспособности, основные понятия о надежности
4. классификация механических передач

### **Краткое изложение теоретических вопросов:**

Механизм (греч. μηχανή — приспособление, устройство) — внутреннее устройство машины, прибора, аппарата, приводящее их в действие[1]. Механизмы служат для передачи движения и преобразования энергии (редуктор, насос, электрический двигатель). Теория механизмов и машин определяет механизм как такую кинематическую цепь, в которой при заданном движении одного или нескольких звеньев относительно любого из них, все остальные звенья совершают однозначно определяемые движения.

Механизм характеризуется числом степеней свободы — количеством независимых скалярных параметров, задание которых в виде функций времени однозначно определяет траектории и скорости всех точек механизма.

Как преобразователь движения механизм видоизменяет скорости или траектории (или же и то, и другое). Он преобразует скорости, если при известной скорости одной из его частей другая его часть совершает движение, подобное движению первой, но с другой скоростью. Механизм преобразует траекторию, если, в то время как одна из его точек описывает известную траекторию, другая описывает другую заданную траекторию.

Определённость движения механизма достигается надлежащим попарным соединением его частей. Если требуется поставить тело А в такие условия, чтобы оно могло проходить последовательно только через определенные положения, то определяют поверхность, касательную ко всем этим положениям тела А (такая поверхность называется огибающей) и делают в неподвижном теле В канал, имеющий форму найденной огибающей. Тело А, помещённое в такой канал, будет способно только к определённому движению.

Машина (лат. *machina* — «устройство, конструкция», от др.-греч. *μηχανή* — «приспособление, способ») — техническое приспособление, выполняющее механические движения для преобразования энергии, материалов и информации.

В более расширенном современном определении, появившемся с развитием электроники, машиной является технический объект, состоящий из взаимосвязанных функциональных частей (деталей, узлов, устройств, механизмов и др.), использующий энергию для выполнения возложенных на него функций[2]. В этом понимании машина может и не содержать механически движущихся частей. Примером таких устройств служат электронно-вычислительная машина (компьютер), электрический трансформатор, ускоритель заряженных частиц.

Машины используются для выполнения определённых действий:  
с целью уменьшения нагрузки на человека  
полной замены человека при выполнении конкретной задачи.

Они являются основным средством для повышения производительности труда.

Сборочная единица — не окончательное изделие, состоящее из нескольких деталей, соединяемых в процессе его изготовления между собой в одну общую конструкцию при помощи различного вида сборочных операций (свинчивания, сочленения, клёпки, сварки, пайки, опрессовки, развальцовки, склеивания, сшивания, укладки, и т. п.), как, например, микромодуль, редуктор, водопроводный вентиль и т. П.

К сборочным единицам также относятся:



а) составные части готового изделия, которые перед отправкой заказчику разбираются предприятием-изготовителем на составные части для удобства упаковки и транспортирования;

б) совокупность сборочных единиц и (или) деталей, имеющих общее функциональное назначение и совместно устанавливаемых на предприятии-изготовителе в другой сборочной единице, например: электрооборудование станка, автомобиля, самолёта; комплект составных частей врезного замка (замок, запорная планка, ключи);

в) совокупность сборочных единиц и (или) деталей, имеющих общее функциональное назначение, совместно уложенных на предприятии-изготовителе в укладочные средства (футляр, коробку и т. п.), которые предусмотрено использовать вместе с уложенными в них изделиями, например: готовальня, комплект концевых плоскопараллельных мер длины.

Работоспособность — это состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданную функцию с параметрами, установленными требованиями технической документации. Отказ — это нарушение работоспособности. Свойство элемента или системы непрерывно сохранять работоспособность при определённых условиях эксплуатации (до первого отказа) называется безотказностью. Безотказность — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки. Работоспособность — потенциальная возможность индивида выполнять целесообразную деятельность на заданном уровне эффективности в течение определённого времени. Работоспособность зависит от внешних условий деятельности и психофизиологических ресурсов индивида.

По способу передачи движения:

– передачи трением, использующие силы трения между звеньями (фрикционные, ременные передачи);

– передачи зацеплением, работающие в результате давления между звеньями (зубчатые, червячные, винтовые).

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

По способу соединения звеньев:

– передачи с непосредственным контактом (фрикционные, зубчатые, червячные, винт-гайка);

– передачи с гибкой связью (ременные, цепные).

Передачи с гибкой связью допускают значительные расстояния между ведущим и ведомыми валами.

По взаимному расположению осей валов в пространстве:

- между параллельными (зубчатые цилиндрические);
- между пересекающимися (зубчатые конические);
- между перекрещивающимися (червячные).

По характеру изменения скорости:

- понижающие (скорость вращения ведущего звена больше скорости вращения ведомого);
- повышающие (скорость вращения ведущего звена меньше скорости вращения ведомого).

Понижение частоты вращения называют редуцированием, а закрытые передачи, понижающие частоты вращения – редукторами.

Устройства, повышающие частоты вращения, называют ускорителями или мультипликаторами.

По характеру изменения передаточного отношения:

- передачи с постоянным (неизменным) передаточным отношением;
- передачи с переменным передаточным отношением, изменяемым или по величине, или по направлению или и то и другое вместе.

По характеру движения осей валов:

- простые: оси валов в пространстве неподвижны (коробки скоростей, редукторы);
- планетарные: оси валов перемещаются в пространстве (планетарные передачи, вариаторы с поворотными роликами).

По конструктивному исполнению:

- открытые;
- закрытые.

По числу ступеней отдельных передач, взаимно связанных и одновременно участвующих в передаче движения:

- одноступенчатые;
- многоступенчатые.

### **Практические занятия:**

1. Кинематический и силовой расчет многоступенчатой передачи

### **Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. Что такое механизм, машина, деталь, сборочная единица?
3. Назовите критерии и работоспособности, основные понятия о надежности.
4. Перечислите классификации механических передач.

Тема 4.2. Передачи зацеплением. Зубчатые передачи

### **План изучения темы:**

1. Передачи зацеплением.
2. зубчатые передачи

### **Краткое изложение теоретических вопросов:**

Механической передачей называют устройство для передачи механического движения от двигателя к исполнительным органам машины. Может осуществляться с изменением значения и направления скорости движения, с преобразованием вида движения. Необходимость применения таких устройств обусловлена нецелесообразностью, а иногда и невозможностью непосредственного соединения рабочего органа машины с валом двигателя. Механизмы вращательного движения позволяют осуществить непрерывное и равномерное движение с наименьшими потерями энергии на преодоление трения и наименьшими инерционными нагрузками.

Механические передачи вращательного движения делятся:

- по способу передачи движения от ведущего звена к ведомому на передачи трением (фрикционные, ременные) и зацеплением (цепные, зубчатые, червячные)
- по соотношению скоростей ведущего и ведомого звеньев на замедляющие (редукторы) и ускоряющие (мультипликаторы);
- по взаимному расположению осей ведущего и ведомого валов на передачи с параллельными, пересекающимися и перекрещивающимися осями валов.

Зубчатые передачи

Зубчатой передачей называется трехзвенный механизм, в котором два подвижных звена являются зубчатыми колесами, или колесо и рейка с зубьями, образующими с неподвижным звеном (корпусом) вращательную или поступательную пару.

Зубчатая передача состоит из двух колес, посредством которых они сцепляются между собой. Зубчатое колесо с меньшим числом зубьев называют шестерней, с большим числом зубьев – колесом.

Основными преимуществами зубчатых передач являются:

- постоянство передаточного числа (отсутствие проскальзывания);
- компактность по сравнению с фрикционными и ременными передачами;
- высокий КПД (до 0,97...0,98 в одной ступени);
- большая долговечность и надежность в работе (например, для редукторов общего применения установлен ресурс ~ 30 000 ч);
- возможность применения в широком диапазоне скоростей (до 150 м/с), мощностей (до десятков тысяч кВт).

Недостатки:

- шум при высоких скоростях;
- невозможность бесступенчатого изменения передаточного числа;
- необходимость высокой точности изготовления и монтажа;
- незащищенность от перегрузок;
- наличие вибраций, которые возникают в результате неточного изготовления и неточной сборки передач.

**Практические занятия:**

1. Геометрический и силовой расчет цилиндрической прямозубой передачи

**Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. Назовите сведения о зубчатых передачах
2. Перечислите классификацию и области применения зубчатого зацепления
3. Перечислите виды разрушений зубчатых колес.

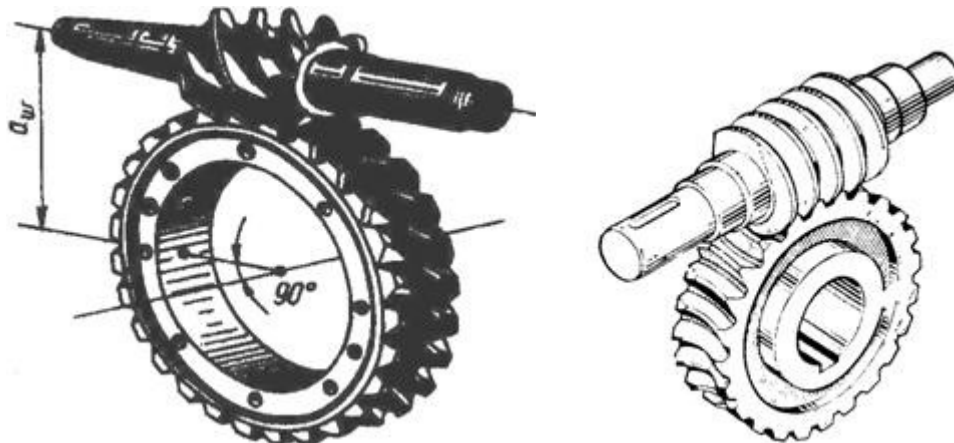
### Тема 4.3. Червячные передачи

**План изучения темы:**

1. Червячные передачи

**Краткое изложение теоретических вопросов:**

Червячная передача применяется для передачи вращения от одного вала к другому, когда оси валов перекрещиваются. Угол перекрещивания в большинстве случаев равен  $90^\circ$ . Наиболее распространенная червячная передача (рис. 2.10) состоит из так называемого архимедова червяка, то есть винта, имеющего трапецеидальную резьбу с углом профиля в осевом сечении, равным двойному углу зацепления ( $2\alpha = 40^\circ$ ), и червячного колеса.



Геометрия червячных передач. В червячной передаче, так же как и в зубчатой, различают диаметры начальных и делительных цилиндров (рис. 2.11):  $d_{w1}$ ,  $d_{w2}$  – начальные диаметры червяка и колеса;  $d_1$ ,  $d_2$  – делительные диаметры червяка и колеса. В передачах без смещения  $d_{w1} = d_1$ ,  $d_{w2} = d_2$ . Точка касания начальных цилиндров является полюсом зацепления.

Червяки различают по следующим признакам: по форме поверхности, на которой образуется резьба, – цилиндрические и глобоидные; по форме профиля резьбы – архимедовы и эвольвентные цилиндрические червяки.

вольвентный червяк представляет собой косозубое зубчатое колесо с малым числом зубьев и большим углом их наклона. Профиль витка в торцевом сечении очерчен эвольвентой.

Наибольшее применение в машиностроении находят архимедовы червяки, так как технология их производства проста и наиболее отработана. Архимедовы червяки обычно не шлифуют. Их используют, когда требуемая твердость материала червяка не превышает 350 НВ. При твердости 45 HRC и малой шероховатости рабочих поверхностей витков червяки делают эвольвентными, так как после термообработки шлифование их рабочих поверхностей по сравнению с архимедовыми червяками проще.

Профиль зубьев червячных колес в передачах эвольвентный. Поэтому зацепление в червячной передаче представляет собой эвольвентное зацепление зубчатого колеса с зубчатой рейкой. Угол наклона линии зуба червячного колеса  $\beta$  равен углу подъема  $\gamma$  линии витка червяка. Минимальное число зубьев колеса из условия отсутствия подрезания  $z_2 = 24$ . Число витков (заходов) червяка определяется количеством ниток нарезки, отстоящих друг от друга на расстояние, называемое шагом, и начинающихся на торцах нарезной части червяка. Направление витков может быть правым или левым. Чаще применяется правая нарезка с числом заходов  $z_1 = 1...4$ . Рекомендуют  $z_1 = 4$  при передаточном отношении  $u = 8...15$ ;  $z_1 = 2$  при  $u = 15...30$ ;  $z_1 = 1$  при  $u > 30$ .

### **Практические занятия:**

1. Геометрический и силовой расчет червячной передачи

### **Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. Назовите устройство, геометрические и силовые соотношения червячных передач.
2. Расскажите особенности рабочего процесса; КПД передачи; причины выхода из строя.

## Тема 4.4. Передачи гибкой связью. Ременная и цепная передачи.

### План изучения темы:

1. Передачи гибкой связью.
2. Ременная и цепная передачи.

### Краткое изложение теоретических вопросов:

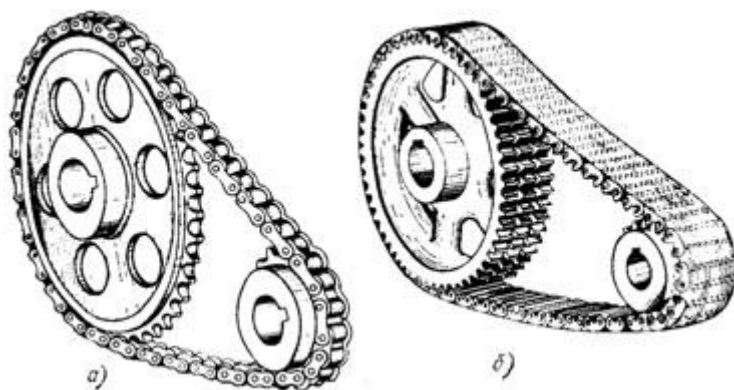
Цепная передача состоит из двух колес с зубьями (звездочек) и охватывающей их цепи. Наиболее распространены передачи с втулочно-роликовой цепью (а) и зубчатой (б) цепью. Цепные передачи применяются для передачи средних мощностей (не более 150 кВт) между параллельными валами в случаях, когда межосевые расстояния велики для зубчатых передач.

Преимуществами цепных передач являются:

- отсутствие проскальзывания;
- достаточная быстроходность (20-30 м/с);
- сравнительно большое передаточное число (7 и более);
- высокий КПД;
- возможность передачи движения от одной цепи нескольким звездочкам;
- небольшая нагрузка на валы, т.к. цепная передача не нуждается в предварительном натяжении цепи необходимом для ременной передачи.

Недостатками цепных передач являются:

- вытяжка цепей вследствие износа шарниров;
- более высокая стоимость передачи по сравнению с ременной;
- необходимость регулярной смазки;
- значительный шум.



По назначению цепи подразделяют на приводные, используемые в приводах машин; тяговые, применяемые в качестве тягового органа в

конвейерах, и грузовые, используемые в грузоподъемных машинах для подъема грузов.

Цепные передачи применяются, например, для управления рулем направления самолета, для привода механизма отклонения триммера руля высоты.

**Звездочки.** По конструкции звездочки похожи на зубчатые колеса. Делительная окружность звездочки проходит через центры шарниров цепи. Профилирование их зубьев выполняют по стандарту. Ширина  $b$  зубчатого венца звездочки принимается несколько меньшей расстояния между внутренними пластинками. Звездочки больших размеров выполняют составными.

### **Практические занятия:**

Не предусмотрено

### **Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. Расскажите о передачах гибкой связью.
2. Охарактеризуйте ременную и цепную передачи.

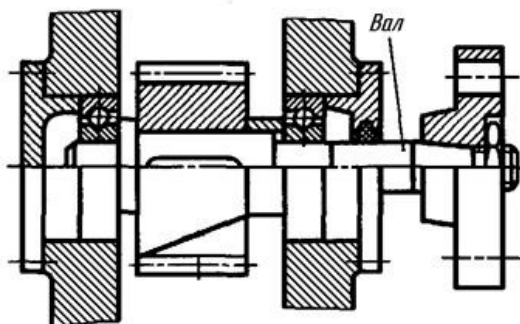
Тема 4.5 Валы и оси. Муфты. Соединения деталей.

### **План изучения темы:**

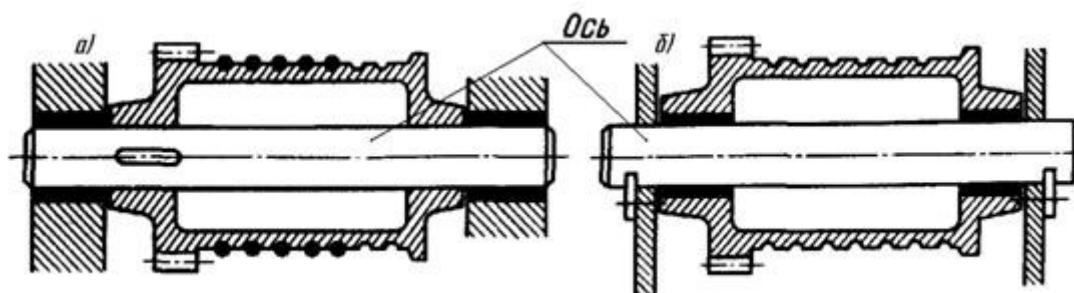
1. Валы и оси.
2. Муфты.
3. Соединения деталей.

### **Краткое изложение теоретических вопросов:**

Вал – деталь машины или механизма предназначенная для передачи вращающего или крутящего момента вдоль своей осевой линии. Большинство валов – это вращающиеся (подвижные) детали механизмов, на них обычно закрепляются детали, непосредственно участвующие в передаче вращающего момента (зубчатые колёса, шкивы, звёздочки цепных передач и т.п.).



Ось – деталь машины или механизма, предназначенная для поддержания вращающихся частей и не участвующая в передаче вращающего или крутящего момента. Ось может быть подвижной вращающейся или неподвижной.



Классификация валов и осей:

1. По форме продольной геометрической оси:

1.1. прямые (продольная геометрическая ось – прямая линия), например, валы редукторов, валы коробок передач гусеничных и колёсных машин;

1.2. коленчатые (продольная геометрическая ось разделена на несколько отрезков, параллельных между собой смещённых друг относительно друга в радиальном направлении), например, коленвал двигателя внутреннего сгорания;

1.3. гибкие (продольная геометрическая ось является линией переменной кривизны, которая может меняться в процессе работы механизма или при монтажно-демонтажных мероприятиях), часто используются в приводе спидометра автомобилей.

2. По функциональному назначению:

2.1. валы передач, они несут на себе элементы, передающие вращающий момент (зубчатые или червячные колёса, шкивы, звёздочки, муфты и т.п.) и в большинстве своём снабжены концевыми частями, выступающими за габариты корпуса механизма;

2.2. трансмиссионные валы предназначены, как правило, для распределения мощности одного источника к нескольким потребителям;

2.3. коренные валы – валы, несущие на себе рабочие органы исполнительных механизмов (коренные валы станков, несущие на себе обрабатываемую деталь или инструмент называют шпинделями).

3. Прямые валы по форме исполнения и наружной поверхности:

3.1. гладкие валы имеют одинаковый диаметр по всей длине;

3.2. ступенчатые валы отличаются наличием участков отличающихся друг от друга диаметрами;

3.3. полые валы снабжены сквозным или глухим отверстием, соосным наружной поверхности вала и простирающимся на большую часть длины вала;



3.4. шлицевые валы по внешней цилиндрической поверхности имеют продольные выступы – шлицы, равномерно расположенные по окружности и предназначенные для передачи моментной нагрузки от или к деталям, непосредственно участвующим в передаче вращающего момента;

3.5. валы, совмещённые с элементами, непосредственно участвующими в передаче вращающего момента (вал-шестерня, вал-червяк).

Муфта — устройство (деталь машины), предназначенное для соединения друг с другом концов валов и свободно сидящих на них деталей для передачи крутящего момента. Служит для соединения двух валов, расположенных на одной оси или под углом друг к другу.

Муфта передаёт механическую энергию без изменения её величины.

По видам управления

Управляемые — сцепные, автоматические

Неуправляемые — постоянно действующие.

По группам муфт (механические)

Жёсткие (глухие) муфты:

втулочные (по ГОСТ 24246-96) ;

фланцевые (по ГОСТ 20761-96);

продольно-свёртные (по ГОСТ 23106-78).

Компенсирующие муфты — компенсируют радиальные, осевые и угловые смещения валов:

шарнирные муфты — угловое смещение до 45° (по ГОСТ 5147-97)

зубчатые;

цепные (по ГОСТ 20742-93).

Упругие муфты — компенсация динамических нагрузок:

муфты с торообразной оболочкой (по ГОСТ 20884-93);

втулочно-пальцевые (по ГОСТ 21424-93);

муфты со звёздочкой (по ГОСТ 14084-93).

Сцепные муфты — соединение или разъединение валов или валов с установленными на них деталями.

муфты кулачково-дисковые (по ГОСТ 20720-93);

кулачковые муфты;

фрикционные;

центробежные.

Самоуправляемые (автоматические) муфты:

обгонные муфты — передача вращения только в одном направлении;

центробежные — ограничение частоты вращения;

предохранительные муфты — ограничение передаваемого момента (с разрушающимся элементом и автоматические).

Гидравлические (гидродинамические).

Электромагнитные и магнитные.

Соединение - совокупность сборочных операций по соединению деталей различными способами (свинчиванием, сочленением, клепкой, сваркой, пайкой, опресовкой, развальцовкой, склеиванием, сшивкой, укладкой и т.п.).

Классификация видов соединения деталей

По конструкции и условиям эксплуатации соединения деталей могут быть разделены на подвижные и неподвижные.

Соединение неподвижное - соединение деталей, обеспечивающее неизменность их взаимного положения при работе. Например, сварные, соединения с помощью крепежных изделий и др.

Соединение подвижное - соединение, при котором детали имеют возможность относительного перемещения в рабочем состоянии. Например, зубчатое соединение.

В зависимости от возможности демонтажа соединения подразделяются на разъемные и неразъемные.

Соединение разъемное - соединение, которое можно многократно разъединять и соединять, не деформируя при этом ни соединяемые, ни крепежные детали. Например, резьбовое, соединение болтом, винтом, клиновое, шпоночное, зубчатое, и др.

Соединение неразъемное - соединение, которое нельзя разъединить без нарушения формы деталей или их соединяющего элемента. Например, соединение сварное, паяное, заклепочное и др.

#### **Практические занятия:**

Не предусмотрено

#### **Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. Что такое вал?
2. Что такое ось?
3. Муфты- это..
4. Перечислите виды соединения деталей.

## КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### Текущий контроль

<b>Перечень точек Текущего (рубежного) контроля</b>	<b>Охват тем</b> <i>(указать номера тем, подлежащих контролю)</i>	<b>Форма контроля</b>
Решение задач на равновесие геометрическим способом Решение задач на равновесие геометрическим способом	Тема 1.2. Плоская сходящаяся система сил	отчет по практическому занятию
Определение главного вектора и главного момента плоской системы сил.	Тема 1.3. Пара сил и момент силы относительно точки	отчет по практическому занятию
Определение реакций опор при различных схемах нагружения	Тема 1.3. Пара сил и момент силы относительно точки	отчет по практическому занятию
Определение реакций в опорах балочных систем.	Тема 1.4. Плоская система произвольно расположенных сил	отчет по практическому занятию
Определение положения центра тяжести плоской фигуры	Тема 1.5. Пространственная система сил. Центр тяжести.	отчет по практическому занятию
Самостоятельная работа	Тема 2.2. Растяжение и сжатие.	Подготовить презентацию по теме: «Растяжение и сжатие»
Определение механических испытаний	Тема 2.2. Растяжение и сжатие.	отчет по практическому занятию

материалов		
Расчеты заклепочных и сварных соединений	Тема 2.3. Практические расчеты на срез и смятие	отчет по практическому занятию
Расчет на прочность круглого вала	Тема 2.4. Кручение	отчет по практическому занятию
Выполнение расчетов на прочность и жесткость при кручении	Тема 2.4. Кручение	отчет по практическому занятию
Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов	Тема 2.5. Изгиб	отчет по практическому занятию
Расчет на прочность при изгибе	Тема 2.5. Изгиб	отчет по практическому занятию
Расчет вала при совместном действии изгиба и кручения	Тема 2.6. Гипотезы прочности и их применение.	отчет по практическому занятию
Расчет на трение, работу и мощность, КПД	Тема 3.2. Динамика. Основные положения. Работа и мощность.	отчет по практическому занятию
Кинематический и силовой расчет многоступенчатой передачи	Тема 4.1. Основные положения.	отчет по практическому занятию
Геометрический и силовой расчет цилиндрической прямозубой передачи	Тема 4.2. Передачи зацеплением. Зубчатые передачи	отчет по практическому занятию
Геометрический и силовой расчет червячной передачи	Тема 4.3. Червячные передачи	отчет по практическому занятию

## **ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основные источники (для студентов)**

1. Олофинская В.П. Техническая механика: курс лекций. – М.: Форум, 2015.
2. ГОСТ 2 105 – 95 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Общие требования к текстовым документам.(Введен в действие Постановлением Госстандарта РФ от 08.08. 1995 №426, ред. От 22.06.2006)
3. ГОСТ 57837-2017 Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия.
4. ГОСТ 8240 – 97 Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент. (утв. Постановлением Госстандарта РФ от 05.04.2001 N 166-ст) (ред. от 14.11.2011)
5. ГОСТ 8509 – 93 Уголки стальные горячекатаные равнополочные.
- 6.ГОСТ 23360-78. Соединения шпоночные с призматическими шпонками.
8. ГОСТ 2.402-68 Условные изображения зубчатых колес на рабочих чертежах.
9. ГОСТ 2.315-68 (ред. от 01.04.1998); ГОСТ 22032-76; ГОСТ 1491-80 (ред. от 01.04.1986). Разъемные и неразъемные соединения.
10. ГОСТ 16093-2004 (ИСО 965-1:1998, ИСО 965-3:1998). Межгосударственный стандарт. Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором" (введен в действие Приказом Ростехрегулирования от 02.03.2005 N 39-ст)
11. ГОСТ 2.311-68 (ред. от 01.04.1987). Классификация резьбы.

### **Дополнительные источники (для студентов)**

1. Кривошапко С.Н., Копнов В.А.Соппротивление материалов. Практикум. Учебное пособие для СПО. М.: Юрайт, 2017.- 353 с.
2. Эрдеди, А.А. Теоретическая механика. Соппротивление материалов: учеб. пособ. для СПО / А.А. Эрдеди, Н.А. Эрдеди. – 13-е изд., стереотип. - М.: Академия, 2017.

### **Образовательные интернет-ресурсы**

1. Сопромат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.sopromatt.ru](http://www.sopromatt.ru).
2. Лекции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://technical-mechanics.narod.ru>.
3. Лекции, примеры решения задач. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.isopromat.ru/>.
4. Лекции, примеры решения задач. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://teh-meh.ucoz.ru>.
5. Этюды по математике и механике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.etudes.ru>.

6. Лекции, расчётно-графические работы, курсовое проектирование, методические указания; [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.detalmach.ru/>.

7. Иванов М.Н. Детали машин. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [lib.mexmat.ru/books/](http://lib.mexmat.ru/books/).