

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации**

**Трубчевский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования**

**«Брянский государственный аграрный университет»**

**Шейнова С.Ф.**

**КРАТКИЙ КУРС ЛЕКЦИЙ**

**ПО ДИСЦИПЛИНЕ ОП.02. *ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА***

для обучающихся II курса специальности

35.02.07 Механизация сельского хозяйства

**Брянская область, 2019 г.**

ДК 531.8 (07)  
ББК 30.12  
Ш 39

Шейнова, С. Ф. Краткий курс лекций по дисциплине ОП.02. Техническая механика для обучающихся II курса специальности Механизация сельского хозяйства / С. Ф. Шейнова. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2019. – 67 с.

Краткий курс лекций по учебной дисциплине ОП.02 Техническая механика и предназначен для реализации государственных требований к минимуму содержания и уровню подготовки обучающихся по специальности среднего профессионального образования 35.02.07 Механизация сельского хозяйства

Курс лекций поможет обучающимся систематизировать, углубить и конкретизировать теоретические знания, выработать способность использовать теоретические знания на практике, овладеть умениями решать профессионально значимые задачи.

Также данные курс лекций направлен на формирование у обучающихся устойчивого интереса к дисциплине и к будущей специальности.

**Составитель:**

Шейнова С.Ф. - преподаватель Трубчевского филиала ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

**Рецензент:**

Саликова Т.С. - преподаватель Трубчевского филиала ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Рекомендации одобрены к печати методическим советом филиала, протокол №4 от 18.03.19 г.

## Раздел 1: Статика

### Статика, аксиомы статики. Связи, реакция связей, типы связей

Основы теоретической механики состоят из трёх разделов: Статика, основы сопротивления материалов, детали механизмов и машин.

Механическое движение – изменение положения тел или точек в пространстве с течением времени. Тело рассматривается как материальная точка, т.е. геометрическая точка и в этой точке сосредоточена вся масса тела.

Система – это совокупность материальных точек движение и положение которых взаимосвязаны.

Сила – это векторная величина, и действие силы на тело определяется тремя факторами:

- 1) Числовым значением, 2) направлением, 3) точкой приложения.

[F]– Ньютон – [Н],  $1 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-2} = 9,81 \text{ Н} = 10 \text{ Н}$ ,  $1 \text{ кН} = 1000 \text{ Н}$ ,

$1 \text{ МН} = 1000000 \text{ Н}$ ,  $1 \text{ Н} = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-2}$

#### ^ Аксиомы статики.

**1. Аксиома** – (Определяет уравновешенную систему сил): система сил, приложенная к материальной точке, является уравновешенной, если под её воздействием точка находится в состоянии относительного покоя, или движется прямолинейно и равномерно.

Если на тело действует уравновешенная система сил, то тело находится либо: в состоянии относительного покоя, либо движется равномерно и прямолинейно, либо равномерно вращается вокруг неподвижной оси.

**2. Аксиома** – (Устанавливает условие равновесия двух сил): две равные по модулю или числовому значению силы ( $F_1 = F_2$ ) приложенные к абсолютно твёрдому телу и направленные

по одной прямой в противоположные стороны взаимно уравновешиваются.

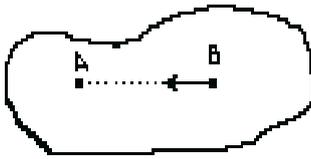


Система сил – это совокупность нескольких сил приложенных к точке или телу.

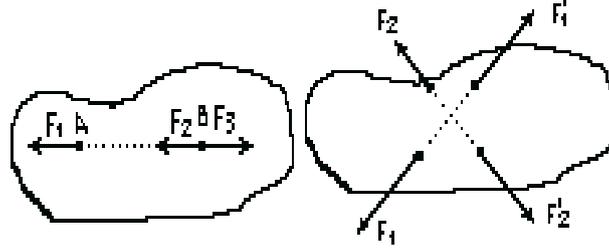
Система сил линии действия, в которой находятся в разных плоскостях, называется пространственной, если в одной плоскости то плоской. Система сил с пересекающимися в одной точке линиями действия называется сходящейся. Если взятые порознь две системы сил оказывают одинаковое воздействие на тело, то они эквивалентны.

#### ^ Следствие из 2 аксиомы.

Всякую силу, действующую на тело можно перенести вдоль линии её действия, в любую точку тела не нарушив при этом его механического состояния.

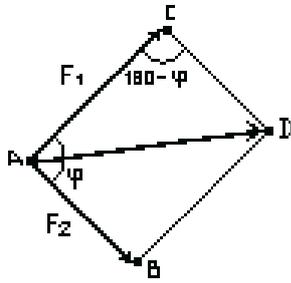


**3 Аксиома:** (Основа для преобразования сил): не нарушая механического состояния абсолютно твёрдого тела к нему можно приложить или отбросить от него уравновешенную систему сил.



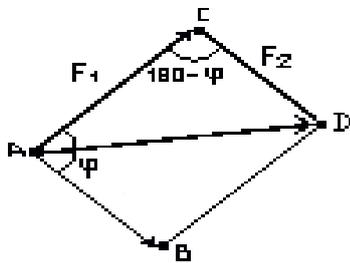
Векторы, которые можно переносить по линии их действия называются скользящими.

**4 Аксиома** – (Определяет правила сложения двух сил): равнодействующая двух сил приложенная к одной точке, приложена в этой точке, является диагональю параллелограмма построенного на этих силах.



параллелограмма

$F_{\Sigma}$  - Равнодействующая сила  $F_{\Sigma} = F_1 + F_2$  – По правилу парал-



$$F_{\Sigma}^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2 \times F_1 \times F_2 \times \cos(180^\circ - \varphi) ,$$

$$\cos(180 - \varphi) = -\cos \varphi$$

$$F_{\Sigma}^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 \times F_1 \times F_2 \times \cos \varphi$$

$$F_{\Sigma}^2 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 \times F_1 \times F_2 \times \cos \varphi} - \text{По правилу треугольника.}$$

**5 Аксиома** – (Устанавливает, что в природе не может быть одностороннего действия силы) при взаимодействии тел всякому действию соответствует равное и противоположно направленное противодействие.

Связи и их реакции.

Тела в механике бывают: 1 свободные 2 несвободные.

Свободные – когда тело не испытывает никаких препятствий для перемещения в пространстве в любом направлении.

Несвободные – тело связано с другими телами, которые ограничивают его движение.

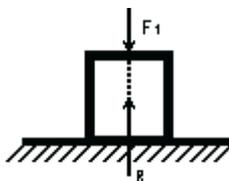
Тела, которые ограничивают движение тела, называются связями.

При взаимодействии тела со связями возникают силы, они действуют на тело со стороны связи и называются реакциями связи.

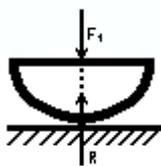
Реакция связи всегда противоположна тому направлению, по которому связь препятствует движению тела.

#### ^ Виды связи.

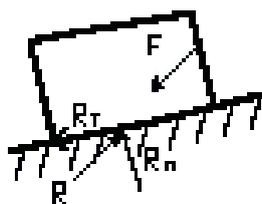
1) Связь в виде гладкой плоскости без трения.



2) Связь в виде контакта цилиндрической или шаровой поверхности.



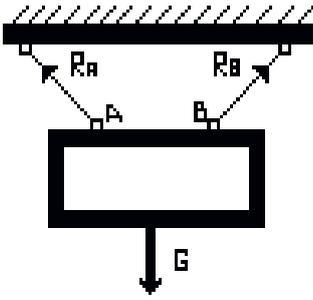
3) Связь в виде шероховатой плоскости.



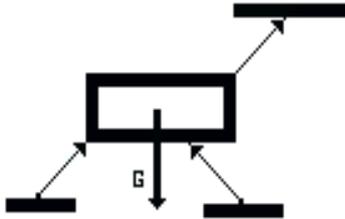
$R_n$  – сила перпендикулярна плоскости.  $R_t$  – сила трения.

$R$  – реакция связи.  $R = R_n + R_t$

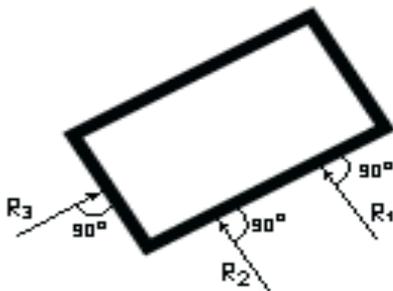
4) Гибкая связь: верёвкой или тросом.



5) Связь в виде жёсткого прямого стержня с шарнирным закреплением концов.



6) Связь осуществляется ребром двухгранного угла или точечной опоры.



$R_1 R_2 R_3$  – Перпендикулярны поверхности тела.

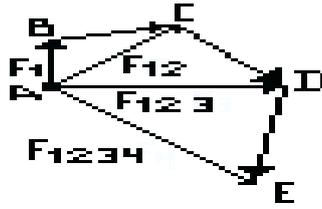
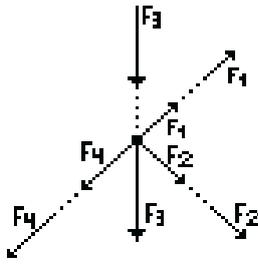
^ **Плоская система сходящихся сил. Геометрическое определение равнодействующей. Проекция силы на ось. Проекция векторной суммы на ось.**

Силы называются сходящимися, если линии их действия пересекаются в одной точке.

Плоская система сил – линии действия всех данных сил лежат в одной плоскости.

Пространственная система сходящихся сил – линии действия всех данных сил лежат в разных плоскостях.

Сходящиеся силы всегда можно перенести в одну точку, т.е. в точку пересечения их по линии действия.

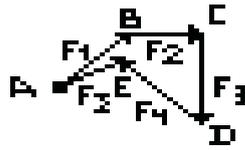
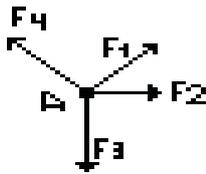


$$F_{12} = F_1 + F_2$$

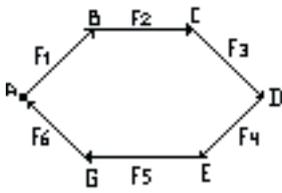
$$F_{123} = F_1 + F_2 + F_3 = \sum_{I=1}^n F_I$$

$F_{\Sigma}$  - Равнодействующая всегда направлена от начала первого слагаемого к концу последнего (стрелка направлена в сторону обхода многогранника).

Если при построении силового многоугольника конец последней силы совместится с началом первой, то равнодействующая = 0, система находится в равновесии.



Не уравновешенная



уравновешенная.

### Проекция силы на ось.

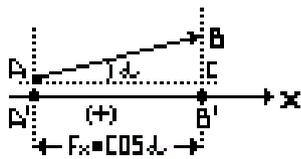
Ось – прямая линия, которой приписано определённое направление.

Проекция вектора является скалярной величиной, она определяется отрезком оси, отсекаемым перпендикулярами на ось из начала и конца вектора.

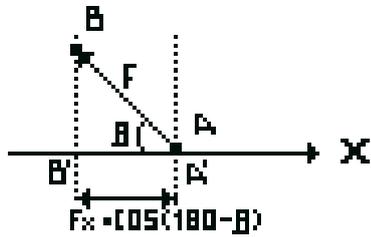


Проекция вектора положительная, если совпадает с направлением оси, и отрицательная, если противоположна направлению оси.

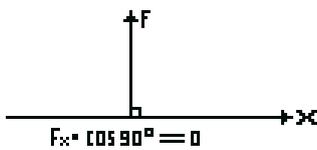
Вывод: Проекция силы на ось координат = произведению модуля силы на  $\cos$  угла между вектором силы и положительным направлением оси.



Положительная проекция.

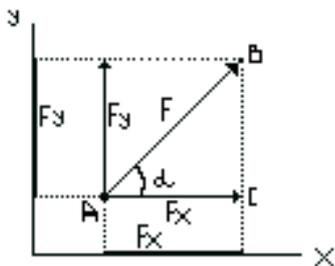


Отрицательная проекция



Проекция = 0

### Проекция векторной суммы на ось.

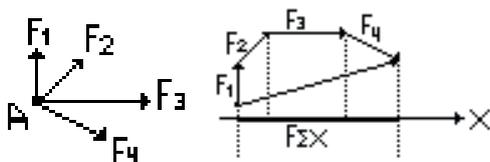


$F_y \perp F_x = 90^\circ$  Можно использовать для определения модуля и

$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$  направления силы, если известны её проекции на

$\cos(\alpha) = \frac{F_x}{F}$  координатные оси.

$\cos(\beta) = \frac{F_y}{F}$



$$F_{\Sigma x} = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} = \sum_{l=1}^n F_{lx}$$

**Вывод:** Проекция векторной суммы, или равнодействующей на каждую ось равна алгебраической сумме проекции слагаемых векторов на ту же ось.

Задача 1.

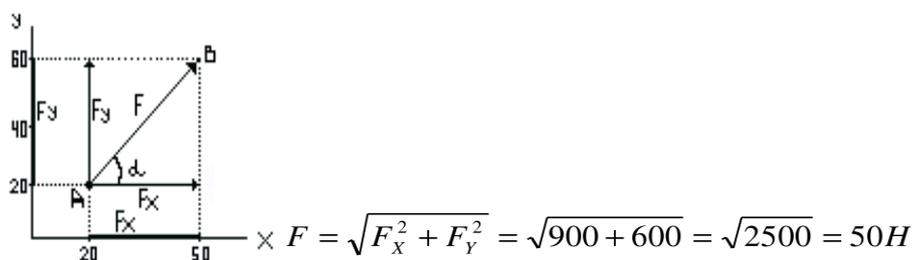
Определить модуль и направление силы, если известны её проекции.

Дано.

$$F_x = 30 \text{ Н}$$

$$F_y = 40 \text{ Н}$$

Решение.



$$\cos(F \wedge x) = \frac{F_x}{F} = \frac{30}{50} = 0,6 \quad \alpha = 53^\circ$$

Ответ:  $F = 50 \text{ Н}$ ,  $\alpha = 53^\circ$

Задача 2.

Дано.

$$F_{1y} = 40 \text{ Н}$$

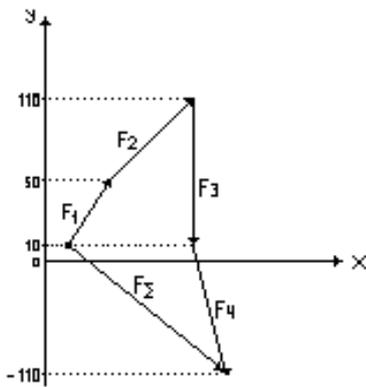
$$F_{2y} = 60 \text{ Н}$$

$$F_{3y} = -100 \text{ Н}$$

$$F_{4y} = -120 \text{ Н}$$

$$F_y = ? \quad \Sigma - ?$$

Решение.



$$F_{\Sigma Y} = F_{1Y} + F_{2Y} + F_{3Y} + F_{4Y} = -120H$$

Ответ:  $F_{\Sigma Y} = -120H$

## ^ Раздел 2. Сопротивление материалов (Сопромат).

### Основные понятия и гипотезы. Деформация. Метод сечения.

Сопротивление материалов – это наука об инженерных методах расчёта, на прочность жёсткость и устойчивость, элементов конструкций.

Прочность – свойства тел не разрушаться под действием внешних сил.

Жёсткость – способность тел в процессе деформирования изменять размеры в заданных пределах.

Устойчивость – способность тел сохранять первоначальное состояние равновесия после приложения нагрузки.

Цель науки (Сопромат) – создание практически удобных приёмов Расчёта наиболее часто встречающихся элементов конструкций.

### ^ Основные гипотезы и допущения относительно свойств материалов, нагрузок и характера деформации.

#### 1) Гипотеза (Однородности и оплошности).

Когда материал полностью заполняет тело, и свойства материала не зависят от размеров тела.

#### ^ 2) Гипотеза (Об идеальной упругости материала).

Способность тела восстанавливать свою первоначальную форму и размеры после устранения причин вызвавших деформацию.

#### ^ 3) Гипотеза (Допущение о линейной зависимости между деформациями и нагрузками, Выполнение закона Гука).

Перемещение в результате деформации прямо пропорционально вызвавшим их нагрузкам.

#### ^ 4) Гипотеза (Плоских сечений).

Поперечные сечения плоские и нормальные к оси бруса до приложения к нему нагрузки остаются плоскими и нормальными к его оси после деформации.

#### ^ 5) Гипотеза (Об изотропности материала).

Механические свойства материала в любом направлении одинаковы.

#### 6) Гипотеза (О малости деформаций).

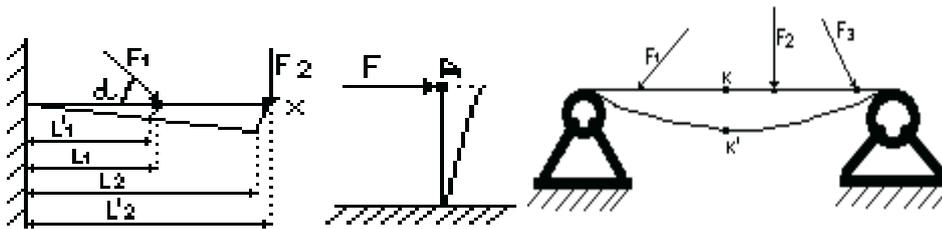
Деформации тела настолько малы, по сравнению с размерами, что не оказывают существенного влияния на взаимное расположение нагрузок.

7) Гипотеза (Принцип независимости действия сил).

8) Гипотеза (Сен-Венана).

Деформация тела вдали от места приложения статически эквивалентных нагрузок практически не зависит от характера их распределения.

Под действием внешних сил расстояние между молекулами изменяется, возникают внутренние силы внутри тела, которые противодействуют деформации и стремятся вернуть частицы в прежнее состояние – силы упругости.



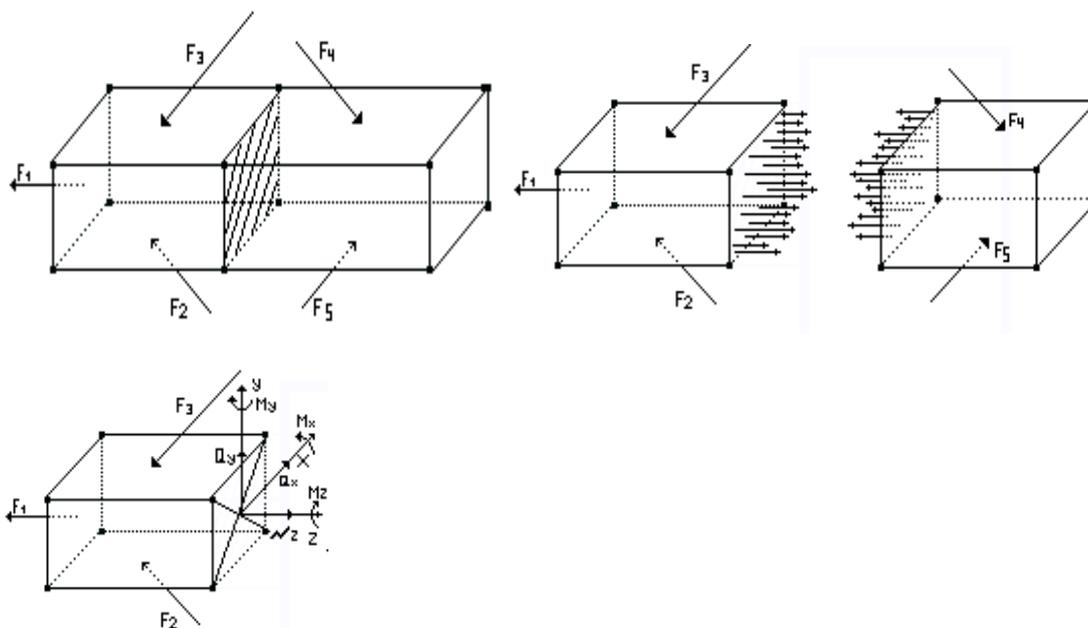
### Метод сечений.

Внешние силы, приложенные к отсечённой части тела должны уравниваться с внутренними силами, возникающими в плоскости сечения, они заменяют действие отброшенной части на остальную.

Стержень (брус) – Элементы конструкции, длина которых значительно превышает их поперечные размеры.

Пластины или оболочки – Когда толщина мала по сравнению с двумя другими размерами.

Массивные тела – все три размера примерно одинаковы.



### Условие равновесия.

$$\sum F_{iy} = 0 \quad \sum F_{ix} = 0 \quad \sum F_{iz} = 0 \quad \sum M_{iy} = 0 \quad \sum M_{ix} = 0 \quad \sum M_{iz} = 0$$

NZ – Продольная внутренняя сила.

QX и QY – Поперечная внутренняя сила.

MX и MY – Изгибающие моменты.

MZ – Крутящий момент.

При действии на стержень плоской системы сил, в его сечениях могут возникать только три силовых фактора, это: MX – Изгибающий момент,

QY – Поперечная сила, NZ – Продольная сила.

### Уравнение равновесия.

$$\sum F_{iy} = 0 \quad \sum F_{iz} = 0 \quad \sum M_{ix} = 0$$

Координатные оси всегда будут направлять ось Z вдоль оси стержня.

Оси X и Y – вдоль главных центральных осей его поперечных сечений.

Начало координат это центр тяжести сечения.

### Последовательность действий для определения внутренних сил.

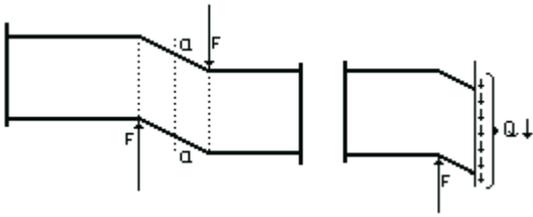
- 1) Мысленно провести сечение в интересующей нас точке конструкции.
- 2) Отбросить одну из отсечённых частей, и рассмотреть равновесие оставшейся части.
- 3) Составить уравнение равновесия и определить из них значения и направления внутренних силовых факторов.

Осевое растяжение и сжатие – внутренние силы в поперечном сечении

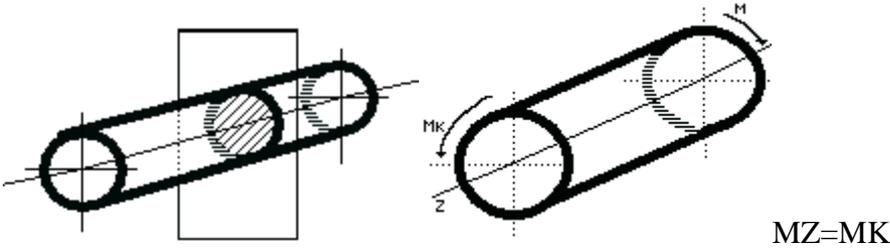
Могут быть замкнуты одной силой направленной вдоль оси стержня.



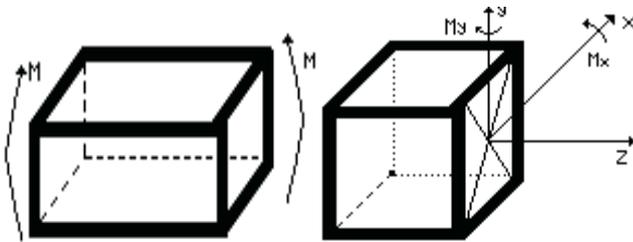
Сдвиг – возникает в том случае, когда в поперечном сечении стержня внутренние силы приводятся к одной, т.е. поперечной силе Q.



Кручение – Возникает 1 силовой фактор MZ.



Чистый изгиб – Возникает изгибающий момент MX или MY.



Для расчёта элементов конструкции на прочность, жёсткость, устойчивость, прежде всего, необходимо (с помощью метода сечения) определить возникновение внутренних силовых факторов.

### ^ Напряжения, растяжение сжатие. Построение эпюр продольных сил.

Напряжения в точке по сечению – значение внутренних сил приходящихся на единицу площади сечения, в какой либо его точке.

Па – Паскаль.

$$Па = Н / м^2$$

$$1Кг/с = 10Н$$

Полное напряжение можно разложить составляющие по нормали к площадке A.



$\tau$  - Касательное напряжение.

$\mathbf{P}$  – Полное напряжение.

$\sigma_{\text{пред}}$ ,  $\tau_{\text{пред}}$  – предельное – это напряжение, при котором происходит разрушение конструкции, или материала. Чтобы избежать разрушения,

$\sigma$  и  $\tau$  не должны превышать допустимых напряжений.

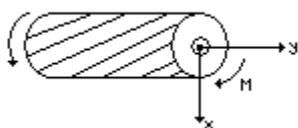
$[\sigma]$ ,  $[\tau]$  – Допускаемое напряжение.

$$[\sigma] = \sigma_{\text{пред}} / [n]$$

$$[\tau] = \tau_{\text{пред}} / [n]$$

$[n]$  – Коэффициент запаса прочности, зависит от характера действующих нагрузок.

**^ Кручение. Чистый сдвиг. Основные понятия. Эпюры крутящих моментов. Расчёты на прочность и жёсткость при кручении.**



При кручении прямые углы между гранями изменяется на величину  $\gamma$

$\gamma$  - Угол сдвига.

$\tau$  - касательное напряжение.

$\tau$  и  $\gamma$  связаны между собой законом Гука  $\tau = G * \gamma$

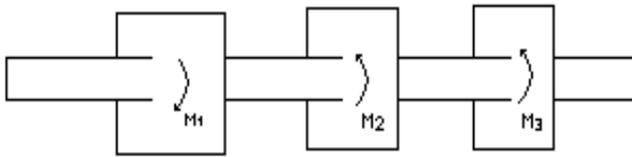
$G$  – Модуль сдвига – жёсткость материала при деформации сдвига.

$E$  – Модуль (продольной) упругости.

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \mu)}$$

$\mu$  - коэффициент поперечной деформации, для стали 0,25.

Кручение возникает при нагружении бруса парами сил расположенными в плоскости, или плоскостях перпендикулярных продольной силе.



Моменты этих пар называются вращающими моментами ( $M_{вр}$ ).

Если вал находится в равновесии и вращается равномерно, то их алгебраическая сумма равна 0.

$M_{вр}$  - можно вычислить по передаваемой мощности ( $P$ ) и частоте вращения ( $n$ ).

$$M_{вр} = 9.55P/n$$

$M_{вр}$  – это момент внутренних сил продольной оси бруса, т.е. крутящий момент. При кручении в поперечных сечениях бруса возникает 1 силовой фактор – крутящий момент  $M_k$ . Он определяется при помощи метода сечений. Крутящий момент изменяется по длине вала двигателя.

#### Вывод:

Крутящий момент, в каком либо поперечном сечении вала, численно равен сумме моментов внешних пар действующих на вал в плоскостях, перпендикулярных оси вала и приложенных по одну сторону от рассматриваемого сечения.

$M_{кр}$  положительный, когда внешние моменты вращают отсечённую часть по часовой стрелке, если смотреть со стороны проведённого сечения.

Прочность при кручении круглого поперечного сечения.

$$\tau = \frac{M_k}{W_p} \leq [\tau_k]$$

$W_p$  - полярный момент сопротивления сечения.

А) для круга  $W_p = 0,2d^3$

Б) для кольцевого сечения  $W_p = 0,2d^3 \times (1 - \alpha^4)$   $\alpha = \frac{d_B}{d_H}$

Три вида расчёта на прочность.

1) Проверка прочности (проверочный расчёт), известны размеры поперечного сечения и

наибольший  $M_k$ . проверка по формуле  $\tau = \frac{M_k}{W_p}$ .

2) Подбор сечения (проектный расчёт).  $W_p = M_k / [\tau]$

$$d = \sqrt[3]{\frac{W_p}{0,2}} = \sqrt[3]{\frac{M_K}{[\tau_K]} \times 0,2}$$

3) Определение допускаемого крутящего момента  $M_K$ . Известны размеры сечения вала и допускаемое напряжение.  $[M_K] = W_p \cdot [\tau_K]$ .

Сталь  $[\tau_K] = 80 - 50 \text{ МПа}$ .

Жёсткость.

Угол закручивания не превышает некоторой заданной величины  $\theta$

$$\theta = \frac{M_K}{G \times J_p} \quad G \times J_p = \frac{M_K}{\theta} \quad J_p = \frac{M_K}{\theta \times G}$$

$J_p$  - полярный момент инерции.

Для круга  $J_p = \frac{\pi d^4}{32}$

Для кольцевого сечения.  $J_p = 0,1 d_n^4 (1 - 2^4)$

1) Проверка жёсткости.

Заданы  $M_K$ , размеры и материал вала, находим по формуле  $\frac{M_K}{G \times J_p}$

2) Подбор сечения по условию жёсткости.

Известны  $J_p$  - находим диаметр из формулы  $J_p = \frac{\pi d^4}{32} \quad J_p = \frac{M_K}{\theta \times G}$ .

Определение допускаемого  $M_K$ .

$$[M_K] = J_p \times G \times [\theta]$$

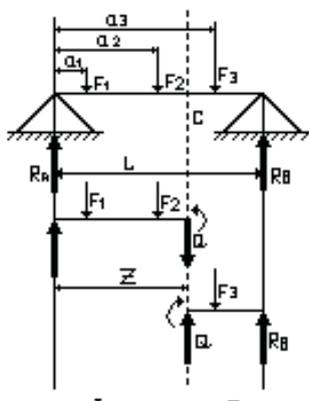
### **Изгиб. Поперечные силы и изгибающие моменты в сечении балок.**

Элементы конструкции, работающие на изгиб, называются балками.

Чаще всего встречается поперечный изгиб, т.е. когда поперечные силы перпендикулярны к продольной оси балки.

Если силы вызывающие деформации изгиба действуют в плоскости проходящей через ось балки, но не проходящих через одну из главных центральных осей поперечного сечения это кривой изгиб.

В поперечном сечении балок при изгибе возникают 2 силовых фактора: Изгибающий момент и поперечная сила. Если поперечная сила равна нулю, то изгиб называется чистым.



С – продольное поперечное сечение (метод сечения)

Левая часть: \$F\_1, F\_2, R\_A\$.

Правая часть: \$F\_3, R\_B\$.

Согласно закону равенства действия и противодействия, внутренние силы по сечению С для левой и правой части одинаковы, но противоположно направлены. Внутренние силы в любом сечении балки заменяются силой \$Q\$ и парой сил с моментом \$M\$.

\$Q\$ – Поперечная сила.

\$M\$ – изгибающий момент в поперечном сечении балки.

Из условия равновесия:

Левая часть.

$$\sum F_{iy} = 0 \quad R_A - F_1 - F_2 - Q = 0 \quad (1)$$

$$\sum M_c = 0 \quad R_A * z - F_1 (z - a_1) - F_2 (z - a_2) - M = 0 \quad (2)$$

Из (1) находим \$Q\$

$$Q = R_A - F_1 - F_2$$

Из (2) находим \$M\$

$$M = R_A * z - F_1 (z - a_1) - F_2 (z - a_2)$$

Поперечная сила в каком либо поперечном сечении балки численно равна алгебраической сумме проекций на ось \$Y\$ внешних сил,

действующих на балку по одну сторону рассматриваемого сечения.

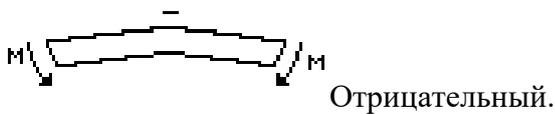
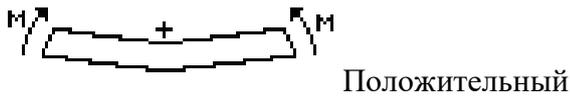
Изгибающий момент равен алгебраической сумме моментов сил взятых относительно центра

тяжести сечения.

### ^ Правила знаков для изгибающих моментов и поперечных сил.

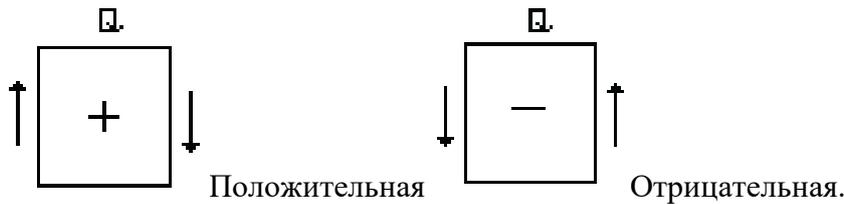
1) Когда внешняя сила, расположенная с лева от сечения и вращает относительно центра тяжести сечения по часовой стрелке изгибающий момент положительный, против – отрицательный.

2) Изгибающий момент положительный, если балка изгибается выпуклостью вниз, отрицательный – вверх.

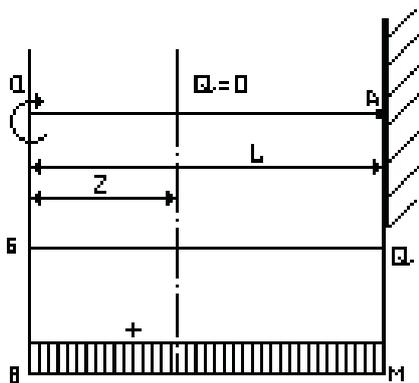


3) Поперечная сила.

Внешние силы, действующие слева от сечения вверх, а справа вниз  $Q$  – положительное и наоборот.

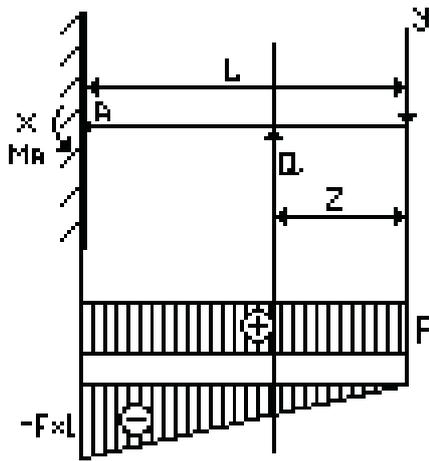


### ^ Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.



Для балок с одним закреплённым концом при построении эпюр можно не определять опорной реакции. Проводим сечение произвольно на расстоянии  $Z$  от свободного конца и рассматриваем равновесие той части балки, к которой приложены внешние силы, т.е. левую часть.

$$Q=0 \quad M=M$$

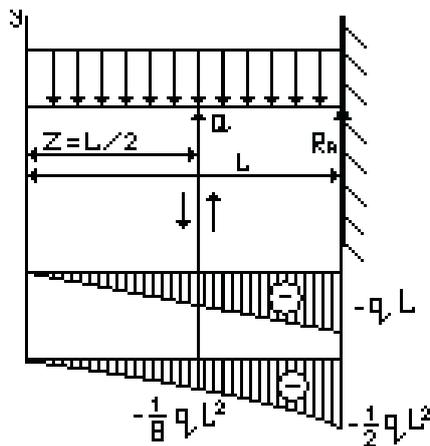


Рассмотрим правую часть, проведя сечение на расстоянии  $Z$ , и рассматриваем эту часть вместе с силой  $F$ , опорные реакции можно не определять.  $Q=F$   $M_A=-F*L$ .

- 1) Значение  $Q$  в сечении зашпелённого конца совпадает с величиной опорной реакции.
- 2) Значение изгибающего момента = величине реактивного момента. Эти два условия необходимы для проверки правильности построения эпюр в балках с одним зашпелённым концом.

Задача.

Балка с зашпелённым концом к которой приложена нагрузка  $q$  равномерна распределённая по всей длине  $L$ .



$$Q=q*Z \quad Z=0 \quad Q=0 \quad R_A=q*L \quad Z=L \quad Q=-q*L$$

В любом поперечном сечении балки на расстоянии  $Z$ , поперечная сила  $Q$  равна алгебраической сумме всех сил действующих на левую часть и равна равнодействующей нагрузке  $q$  на участке длиной  $Z$ .

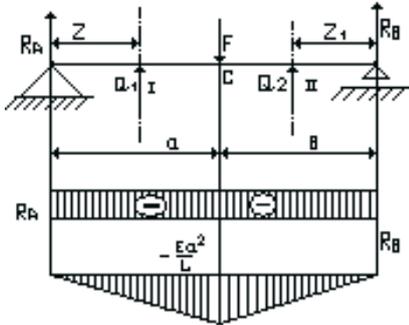
Изгибающий момент  $M$  равен алгебраической сумме всех сил действующих на левую часть, т.е. моменту равнодействующей равномерно распределённой нагрузки.

$$M = -\frac{1}{2} \times q \times z \times z \quad - \text{эпюра моментов будет равна параболе.}$$

$$M = -\frac{qz^2}{2} \quad . Z=0, M=0 \quad . Z=\frac{1}{2}L, \quad M = -\frac{1}{8}qL^2 \quad . Z=L, \quad M = -\frac{1}{2}qL^2$$

Задача.

Балка лежит на двух опорах и нагружена силой  $F$ .



Решение:

1. Составляем уравнение равновесия, из уравнения моментов найдём  $R_A$  и  $R_B$ .

$$\sum M_A = F \times a + R_B \times L = 0$$

$$\sum M_B = -F \times b + R_A \times L = 0$$

$$R_B = -\frac{F \times a}{L}$$

$$R_A = \frac{F \times b}{L}$$

2. Разделим балку на два участка AC и CB, рассмотрим поперечную силу на одном участке и поперечную силу на втором участке.

Если  $Z$ =от 0 до  $a$

$$Q_1 = R_A, \quad Q_2 = R_A - F = -F + \frac{F \times b}{L} = -\frac{F(L-b)}{L} = -\frac{F \times a}{L}$$

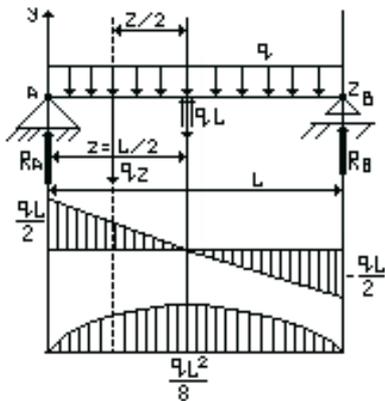
$$\text{Если } Z=a, \text{ то } M_A = R_A \times a = -\frac{F \times a}{L} \times a = -\frac{F \times a^2}{L}$$

$$M_B = R_B \times Z_1 - F \times b$$

$$M_B = \frac{F \times b \times Z_1}{L} - F \times b = \frac{F \times b(Z_1 - L)}{L} = -\frac{F \times b(L - Z_1)}{L}$$

Задача.

^ Двух опорная балка, к которой равномерно приложена нагрузка  $q$ .



Решение:

$$Q = \frac{q \times L}{2}$$

$$R_A = R_B = Q = \frac{q \times L}{2}$$

$$Q = R_A - q \times Z = \frac{q \times L}{2} - q \times Z$$

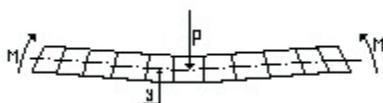
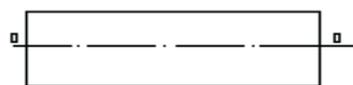
$$Z=0, \quad Q = \frac{q \times L}{2}$$

$$Z=L/2, \quad Q = 0$$

$$Z=L, \quad Q = -\frac{q \times L}{2}$$

$$M = R_A \times \frac{L}{2} - q \times Z \times \frac{Z}{2} = \frac{q \times L^2}{8}$$

^ **Нормальные напряжения при изгибе.**



$y$  – нейтральный слой – слой, длина которого не изменяется при изгибе и он не испытывает напряжений.

Нормальное напряжение, изменяясь по высоте сечения, остаётся одинаковым по ширине балки.

$Y$  – координата с плюсом, если в сторону выпуклости, с минусом, если в сторону вогнутости.

$R$  – радиус кривизны нейтрального слоя балки. Сумма моментов внутренних сил относительно нулевого сечения равна изгибающему моменту.

$$\frac{E}{R} \times Y_x = M \quad \sigma = E \times \frac{M}{R}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{M}{EY_x}$$

Величина обратная радиусу кривизны, в какой либо точке называется её кривизной.

$EY_x$  – Жёсткость сечения балки относительно центральной оси.

$E$  – модуль упругости.

$Y_x$  – осевой момент инерции.

Нормальное напряжение при чистом изгибе.

Если нейтральная ось совпадает с осью симметрии

$$\sigma \begin{matrix} MIN \\ MAX \end{matrix} = + - \frac{M \times 0,5h}{Y_x}$$

$W_x$  – осевой момент сопротивления, отношение осевого момента инерции к расстоянию до наиболее удалённых волокон от нейтральной оси.

$$|\sigma \max| = \frac{M}{W_x}$$

$$W_x = \frac{Y_x}{0,5h}$$

Расчеты на прочность при изгибе.

Для балок выбирается сечение симметричное относительно центральной оси (прямоугольное, круглое, Двутавровое).

Формулы для вычисления моментов сопротивления.

Для прямоугольника.

$$W_x = \frac{Y_x}{0,5h} = \frac{bh^2}{6}$$

Для круга.

$$Y_x = \frac{\pi d^4}{64}; h = d$$

$$W_x = \frac{Y_x}{0,5h} = \frac{\pi d^3}{32} = 0,1d^3$$

Для кольца.

$$W_x = \frac{\pi d_H^3}{32} \times (1 - \alpha^4) = 0,1d_H^3 \times (1 - \alpha^4) \dots \frac{d_B}{d_H} = \alpha$$

Для балок из чугуна, где материал не одинаково сопротивляется растяжению и сжатию, прочность по нормальным напряжениям равна:

$$\sigma^{P_{MAX}} = \frac{|M|_{MAX} \times Y_p}{Y_x} \leq [\sigma p]$$

$$\sigma^{C_{MAX}} = \frac{|M|_{MAX} \times Y_c}{Y_x} \leq [\sigma c]$$

Проверка прочности (если известны размеры сечения балки, наибольший изгибающий момент и допускаемое напряжение).

$$|\sigma_{max}| = \frac{|M_{max}|}{W_x}$$

Подбор сечения (если заданы действующие нагрузки на балку, при помощи которых можно определить наибольший изгибающий момент и допускаемое напряжение).

$$W_x \geq \frac{|M_{max}|}{[\sigma]} \quad [\sigma]$$

Определение наиболее допускаемого изгибающего момента (в том случае, если заданы сечения балки и допускаемое напряжение).

$$[M_{max}] = W_x * [\sigma]$$

Наиболее выгодны такие формы сечений, какие дают наибольший момент сопротивления при наименьшей площади. В первую очередь это двутавровое, прямоугольное, круглое сечения.

Задача.

$$\frac{H}{\sigma}$$

^ Наибольший  $M_{max} = 37.5 \text{ кНм}$ ,  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ , подобрать сечение стальной балки в трёх вариантах: Двутавр, Прямоугольник  $h:b = 4:3$ , Круг.

Определить отношение масс балок прямоугольного и круглого сечения к массе двутавра.

Решение:

Находим момент сопротивления.

$$W_x = \frac{M_{MAX}}{[\sigma]} = \frac{37,5 \times 10^6}{160} = 234375 \text{ мм}^3 = 234,4 \text{ см}^3$$

Площадь сечения двутавра находим по ГОСТ 8239 – 72

$$\text{№}20 \quad W_x = 237, \quad A = 35,5 \text{ см}^2$$

Площадь сечения прямоугольника.

$$W_x = \frac{b \times h^2}{6} = 234 \text{ см}^3$$

$$b = \frac{3h}{4} \quad W_x = \frac{h^3}{8} \quad h = \sqrt[3]{234 \times 8} = \sqrt[3]{1872} = 12,33 \text{ см}$$

$$b = \frac{3 \times 12,33}{4} = 9,25 \text{ см}$$

$$A_1 = b \times h = 9,25 \times 12,33 = 114 \text{ см}^2$$

$$\frac{A}{A_1} = \frac{114}{35,5} = 3,2$$

Ответ: Балка прямоугольным сечением в 3,2 раза тяжелее балки двутавровым сечением.

^ **Сложные виды деформированного состояния. Понятия о теории прочности, расчёт вала при совместном действии изгиба с кручением.**

Сложное деформирование возникает в тех случаях, когда элемент конструкции подвергается одновременно нескольким простейшим деформациям.

В поперечных сечениях валов, работающих на изгиб и кручение, возникают нормальные и касательные напряжения.

$\sigma$  - нормальное напряжение  $\frac{M_{из}}{W}$ ;  $W = d^3$  - осевой момент сопротивления.

$\tau$  - касательное напряжение  $\frac{M_K}{W_P}$  ;  $W_P = 0,2d^3$  - Полярный момент сопротивления.  
 $\tau = \frac{M_K}{2W}$

^ **Вывод.**

*В наиболее напряжённых точках вала при совместном действии изгиба и кручения возникают  $\sigma$  и  $\tau$*

*При совместном действии изгиба и кручения, вал может разрушиться при большом изгибающем моменте и малом крутящем, и наоборот.*

^ *Определить опытным путём предельное или опасное напряжение невозможно, из-за трудности постановки опытов и неограниченного объёма испытаний.*

**Гипотезы прочности. О появлении опасного состояния.**

- 1) Можно полагать, что опасное состояние возникает при достижении нормальными напряжениями предела текучести или предела прочности.
- 2) Опасное состояние возникает, когда наибольшее относительное удлинение достигает определённого значения.
- 3) Появление опасного состояния связано с тем, что касательное напряжение достигает определённого значения.
- 4) Возникновение опасного состояния можно связать также с достижением определённого значения энергии накапливаемой в материале при деформации.

В зависимости от принятой гипотезы прочности определяют эквивалентное напряжение  $\sigma_{\text{экр}} \leq [\sigma]$

Для расчёта валов на совместное действие изгиба и кручения применяют третью или четвёртую теорию прочности.

•  
По третьей теории.

$$\sigma_{\text{экр}} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$$

•  
По четвёртой теории

$$\sigma_{\text{экр}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

### Условие прочности.

•  
По третьей теории.

$$\sigma = \frac{[M_K]}{W} \quad W = 0,1d^3$$

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \frac{\sqrt{M_H^2 + M_K^2}}{W} = \sqrt{\delta^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma]$$

$$W = \frac{\sqrt{M_H^2 + M_K^2}}{[\delta]}$$

$M_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{M_H^2 + M_K^2}$  - Теории наибольших касательных напряжений.

•  
По четвертой теории

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \frac{\sqrt{\delta^2 + 3\tau^2}}{W} = \frac{\sqrt{M_H^2 + 0,75M_K^2}}{W} \leq [\sigma]$$

$M_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{M_H^2 + 0,75M_K^2}$  - Теория энергии формоизменения.

### Вывод.

^ *Расчётным или опасным является то сечение, в котором возникает максимальный изгибающий и крутящий моменты.*

При совместном действии изгиба с кручением для валов в поперечных сечениях одновременно возникают два внутренних силовых фактора  $M_H$  и  $M_K$ .

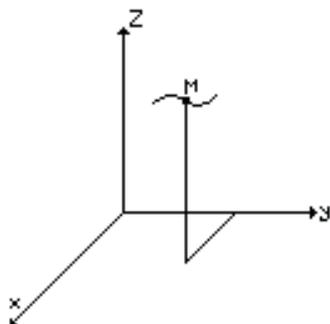
### ^ Раздел 3. Элементы кинематики и динамики.

В кинематике изучается механическое движение материальных точек и твёрдых тел без учёта причин вызывающих эти движения.

Кинематику называют геометрией движения.

Теория относительности показала, что при скоростях близких к скорости света  $C$  (300000 км/с) пространство и время зависят от скорости движения. Различные точки твёрдого тела совершают разные движения. Чтобы определить положение точки в пространстве нужно

иметь какое-то неподвижное тело, или связанную с ней систему координатных осей, которая называется системой отсчёта.



Движение точки рассматривается в условно неподвижной системе  $X, Y, Z$ . Положение точки  $M$  определяется тремя координатами, и эти координаты изменяются при переходе точки в другое положение. Кривая, которую описывает точка при движении в пространстве относительно выбранной в системе отсчёта, называется её траекторией.

Траектории делятся на:

1) Прямолинейное (движение точек поршня).

2) Криволинейные:

А) Круговые (движение точек круглой пилы).

Б) Параболические (истечение жидкости из бокового отверстия сосуда).

Движение точки в пространстве, прежде всего, определяется скоростью, она характеризует быстроту, и направление тачки в данный момент времени.

В зависимости от скорости, движение точки бывает:

1) равномерное  $const$ .

2) не равномерное.

Изменение скорости с течением времени характеризуется ускорением. Скорость и ускорение являются векторными величинами.

^ **Два важных понятия при изучении движения точки.**

1) Расстояние – определяет положение точки на её траектории и отсчитывается от некоторого начала отсчёта, расстояние является алгебраической величиной т.к. оно может быть как положительным, так и отрицательным.

2) Путь – всегда определяется положительным числом. Путь совпадает с абсолютным значением расстояния только в том случае, когда точка движется только в одном направлении от начала отсчёта.

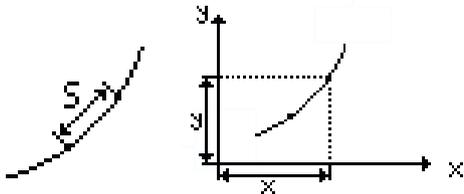
### ^ Уравнение движения точки

В общем случае точка может двигаться по криволинейной траектории.

Уравнения, определяющие положение движущейся точки в зависимости от времени, называются уравнениями движения.

Самый удобный способ задания движения точки – естественный.

Для этого задаётся траектория точки, графически или аналитически, и закон движения точки по траектории.



$$S=f(t) \quad X=f_1(t) \quad Y=f_2(t)$$

Координатный способ задания движения точки. С помощью этих уравнений можно найти траекторию точки, для этого исключается  $t$  и находится зависимость между координатами точки.

Задача 1.

При движении точки её координаты изменяются с течением времени и определяются уравнениями:

$$X=f_1(t)=8t+20\text{мм} \quad Y=f_2(t)=5t$$

Найти уравнение движения точки.

Решение

$$T=Y/5 \quad X=8 \times \frac{Y}{5} + 20\text{мм} = 1,6Y + 20\text{мм}$$

Ответ: Уравнение показывает, что точка движется по прямой линии.

Скорость точки.

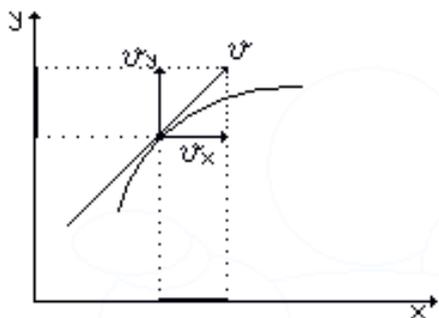
Если точка за равные отрезки времени проходит равные отрезки пути, то её движение называется равномерным.

$$v = \frac{S}{t}$$

$$1 \text{ км/ч} = 0,287 \text{ м/с}$$

$$1 \text{ м/с} = 3,6 \text{ км/ч}$$

Если точка за равные отрезки времени проходит не равные отрезки пути, то её движение называется не равномерным.



$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 \quad v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad \text{tg } \alpha = \frac{v_x}{v_y}$$

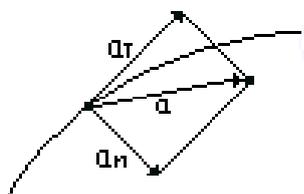
### Ускорение точки.

При движении по криволинейной траектории скорость точки может изменяться по направлению и величине.

Изменение скорости в единицу времени определяется ускорением.

$\Delta v$  - приращение скорости  $(v - v_1)$  т.е. геометрическая разность предыдущей и следующей скоростей.

$$a_{CP} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$



$a_T$  – Касательное ускорение, оно совпадает с направлением скорости.

$a_n$  – Нормальное составляющее ускорения, Перпендикулярно к направлению скорости.

Ускорение раскладывается на взаимно перпендикулярные составляющие по касательной и нормали траектории точки.

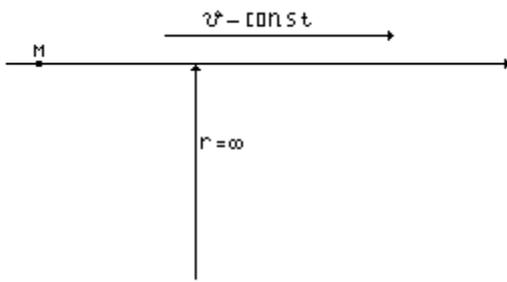
$$a_n = \frac{v^2}{r} \text{ - определяет изменение направления вектора скорости.}$$

$r$  – радиус кривизны траектории в рассматриваемой точке.

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

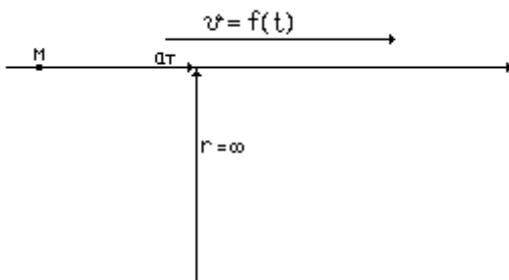
$$a = a_T + a_n$$

#### ^ Виды движения точки в зависимости от ускорения.

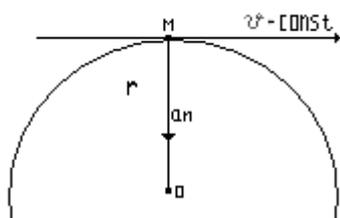


$$a_T = 0 \quad a_n = 0$$

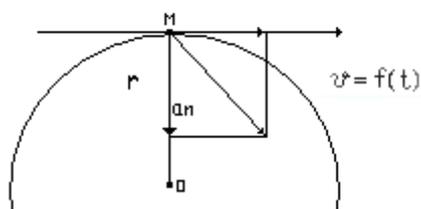
Равномерное прямолинейное движение т.к.  $a_T$  и  $a_n = 0$ , следовательно полное ускорение движения точки = 0.  $a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$



Неравномерное прямолинейное движение.  $a_t$  не равно нулю, следовательно полное ускорение точки при неравномерном прямолинейном движении равно касательному ускорению.  $a = a_t$ .



Равномерное криволинейное движение.  $a = a_n$ .  $a_n = \frac{v^2}{r}$



$$a = \frac{v^2}{r}$$

Неравномерное криволинейное.  $a_T \neq 0$   $a_n \neq 0$ .  $a = a_T + a_n$

Когда значение  $a_T = \text{const}$ , движение точки называется равнопеременным. 1) равномерно ускоренное 2) равномерно замедленное, и зависит от того увеличивается или уменьшается значение скорости.

$$a_T = \frac{v - v_0}{t} \quad v = v_0 + a_T \times t$$

При равно ускоренном движении  $a_T$  положительное, при равно замедленном  $a_T$  отрицательное.

Перемещение точки при равно переменном движении точки.

$$S = v_{cp} \times t = \frac{v_0 + v}{2} \times t = \frac{v_0 + v_0 + a_T}{2} \times t = v_0 \times t + \frac{a_T \times t^2}{2}$$

$$S = v_0 \times t + \frac{a_T \times t^2}{2}$$

Поступательное движение твёрдого тела.

Поступательным называется такое движение твёрдого тела, при котором всякая прямая проведённая внутри этого тела остаётся параллельной своему начальному положению. Поступательное движение может совершаться только твёрдым телом, а не отдельной точкой.

Вращение тела вокруг неподвижной оси.

$\varphi$  - угол поворота тела (рад) и соответствует определённому положению тела. Чтобы найти

положение тела в определённый момент времени, необходимо выразить  $\varphi = f(t)$ .  $\omega$  - угловая скорость – изменение угла поворота. Средняя угловая скорость, это отношение приращения угла поворота по времени.

$$\omega_{CP} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \dots \left(\frac{рад}{с}\right)$$

Скорость при вращательном движении тела определяется частотой вращения  $n$  – об/мин.

Угловая скорость определяется путём деления угла поворота за  $n$  оборотов на 60 сек.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30}$$

$$\varphi = \omega \times t$$

$E$  – угловое ускорение.

$$E = \frac{d\omega}{dt} \dots \left(\frac{рад}{с^2}\right)$$

Равнопеременное вращение при  $E = const$ .

$$\varphi = \omega_0 \times t + \frac{E \times t^2}{2}$$

$$\omega = \omega_0 - E \times t$$

При равно ускоренном вращении  $E$  положительное  $\omega$  всё время возрастает, и наоборот.

Задача 1.

Тело начинает вращаться равномерно ускоренно из состояния покоя, делает 7200 оборотов за первые 2 минуты.

Решение.

Находим угловое ускорение из уравнения равнопеременного движения.

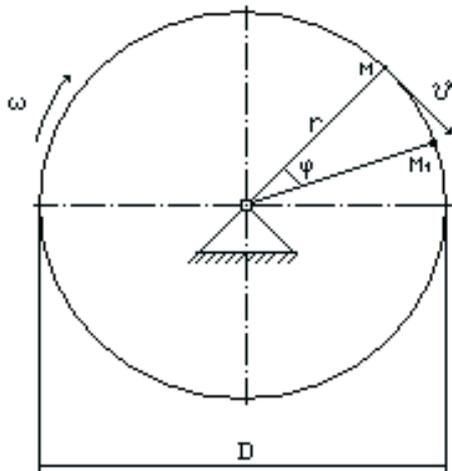
$$\varphi = \omega_0 \times t + \frac{E \times t^2}{2} \quad E = \frac{2\varphi}{t^2} \quad \varphi = \frac{Et^2}{2}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \times 3600}{30} = 376,8 \text{ рад}$$

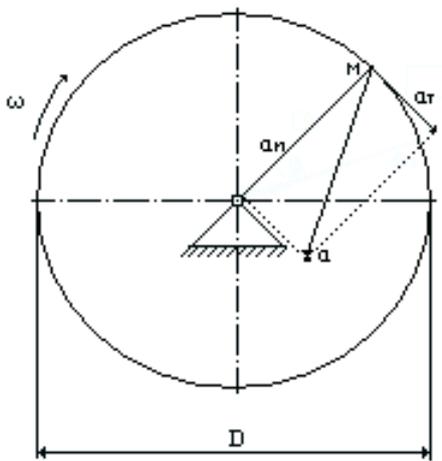
$$\varphi = \omega \times t = 376,8 \times 120 = 45216$$

$$E = \frac{2 \times 45216}{14400} = 6,28 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$$

**Скорости и ускорения вращающегося тела.**



$$v = r \times \omega \quad v = \frac{\pi n}{30} \times r = \frac{\pi D n}{60}$$



$$a_T = r \times \frac{d\omega}{dt} = r \times E$$

$$a_n = \frac{v^2}{r} = \frac{(\omega \times r)^2}{r}$$

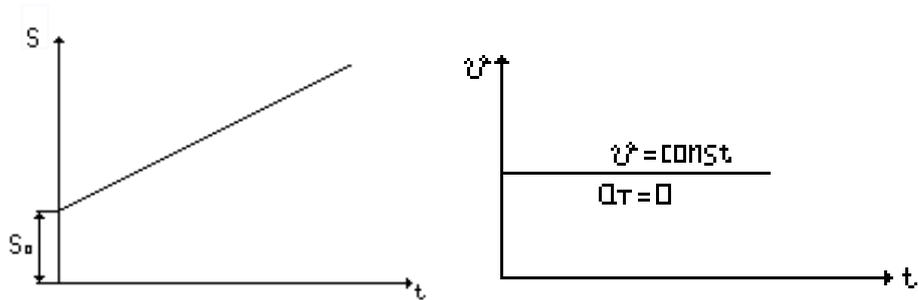
$$a_n = r \times \omega^2$$

$$a = \sqrt{a_T^2 + a_n^2} = \sqrt{(r \times E)^2 + (r \times \omega^2)^2} = r \sqrt{E^2 + \omega^4}$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{a_T}{a_n}$$

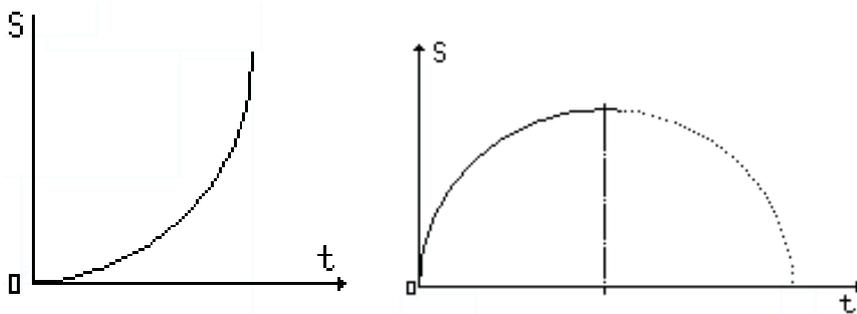
## Кинематические графики.

### Равномерное движение.

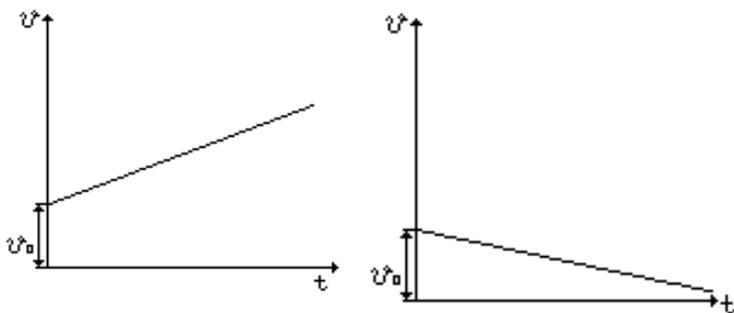


$$S = S_0 + v \times t$$

### Равнопеременное движение.



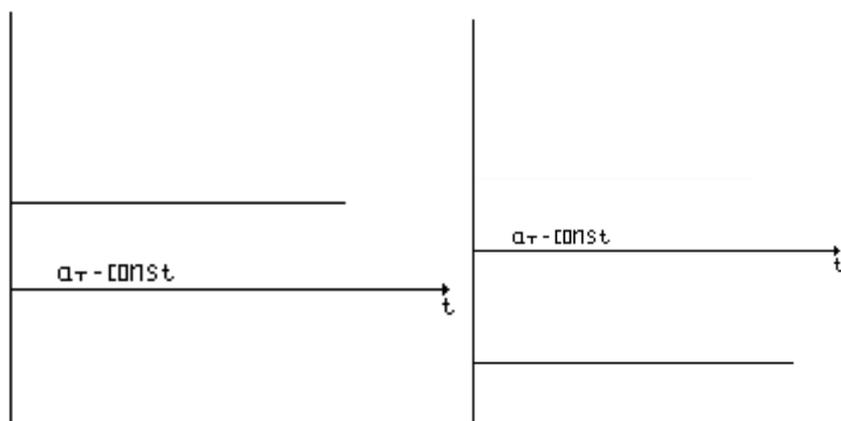
$$S = v_0 \times t + \frac{a_T \times t^2}{2} \quad \frac{a_T > 0}{v_0} \quad S = v_0 \times t + \frac{a_T \times t^2}{2} \quad \frac{a_T < 0}{v_0}$$



$$v = v_0 + a_T \times t$$

$$S = v_0 \times t + \frac{a_T \times t^2}{2}$$

## Равнопеременное ускоренное Равнопеременное замедленное.

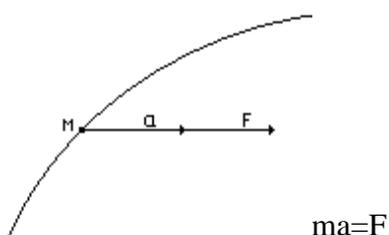


$$\frac{a_T > 0}{v_0} \quad \frac{a_T < 0}{v_0}$$

### Тема 4. Динамика.

**Аксиомы.** В динамике рассматривается движение материальных точек или тел приложенных сил, устанавливается связь между приложенными силами. Если на точку действуют неуравновешенная система сил, то точка имеет ускорение. Связь между силой и ускорением устанавливается основной аксиомой динамики.

1) Ускорение, сообщаемое материальной точке, приложенной к ней силой, имеет направление силы и по значению пропорционально ей.



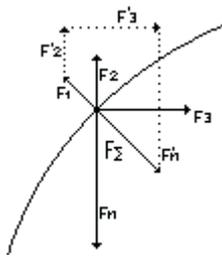
$m$  – масса материальной точки.

Если точка находится под действием силы тяжести  $G$  то  $m=G/g$

$g=9,8$  масса пропорциональна силе тяжести тела и представляет собой скалярную величину, которая положительна и не зависит от характера движения тела.

2) Аксиома независимости действия сил.

При действии на материальную точку нескольких сил, ускорение получаемое точкой будет таким же, как и при действии одной силы равной геометрической сумме этих сил.



$$ma = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n = F_{\Sigma}$$

Задачи динамики.

Прямая: по заданному движению материальной точки определить силу действующую на её.

Для решения необходимо:

- 1) Определить ускорение из условий кинематики.
- 2) по основному закону динамики найти действующую силу.

Обратная: по заданным силам определить движение точки, используя основные уравнения динамики, определить ускорение через действующую силу и заданную массу точки.

#### ^ Понятия о силах инерции, метод кинематики.

По второй аксиоме.

$$ma = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n$$

$$F_1 + F_2 + F_3 + F_n - ma = 0$$

$$-ma = F_{ин}$$

$$F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n + F_{ин} = 0$$

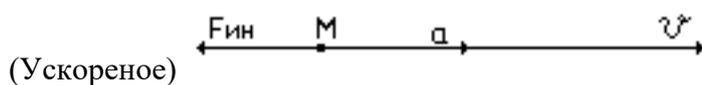
$$F_{\Sigma} + F_{ин} = 0 \quad F_{ин} = -F_{\Sigma}$$

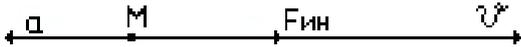
$F_{\Sigma}$  и  $F_{ин}$  – равны между собой и направлены по одной прямой в противоположные стороны.

Сила инерции – сила равная произведению массы точки на её ускорение, но направлена в сторону противоположную ускорению.

Метод кинестатики – метод, при котором задачи решаются, используя уравнения равновесия.

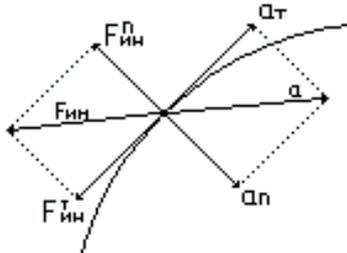
- 1) Точка М движется прямолинейно с ускорением.



(Замедленное) 

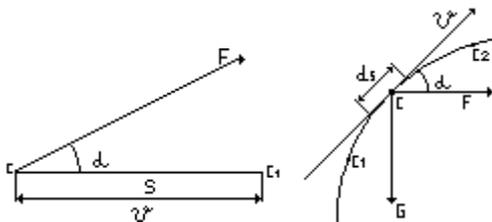
$$F_{ин} = m \cdot a$$

2) Точка М движется криволинейно и неравномерно.



### Работа и мощность.

Работа постоянной силы на прямолинейном и криволинейном перемещении.



Работа  $W = F \cdot ds \cdot \cos \alpha$

$$W = F \cdot S \cdot \cos \alpha \quad W = \int_{C_1}^{C_2} F \times ds \times \cos(F \wedge v)$$

$\alpha < 90^\circ$

; W – положительная  $W = G \cdot H$  – Работа силы тяжести равна

$\alpha > 90^\circ$

; W – отрицательная произведению силы тяжести на

вертикальное перемещение её точки

приложения т.е. на высоту.

### Мощность.

P – Работа совершаемая в единицу времени.

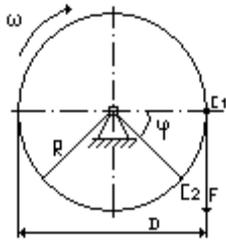
$$P_{CP} = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{F \times \Delta S \times \cos \alpha}{\Delta t} = F \times v \times \cos \alpha$$

$$P = F \times v \times \cos \alpha,$$

$$F_v = F \times \cos \alpha$$

$$P = F_v \times v,$$

Работа и мощность при вращательном движении.



W вращающего момента равна произведению  $M \times \varphi$ .

$$M = F \times \frac{D}{2} = F \times r$$

P равна произведению  $M \times \omega$

$$P = \frac{dw}{dt} = \frac{Md\varphi}{dt} = M\omega$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30}$$

$$P = \frac{M \times n}{9,55},$$

$$M = \frac{P \times 9,55}{n}$$

#### ^ Понятие о трении.

Касательная реакция двух соприкасающихся тел препятствующая движению, называется силой внешнего трения -  $R_f$  - направлена в сторону противоположную движению.

В зависимости от вида относительного движения сопротивляющихся тел различают, трение скольжения, и трение качения.

#### ^ Трение скольжения.

f – Коэффициент трения скольжения.

$F$  – Сила нормального давления, прижимающая трущиеся поверхности друг к другу.  $R_f = f \times F$ .

Сила трения прямо пропорциональна нормальному давлению и направлена против относительной скорости движения.

$$f = R_f / F = \operatorname{tg} \rho$$

$\rho$  – Угол трения.

Коэффициент трения скольжения численно равен  $\operatorname{tg}$  угла трения.

#### ^ Трение качения.

$f_k$  – коэффициент трения качения.

$h$  – Расстояние от точки приложения силы до плоскости качения.

$$F = \frac{f_k \times G}{h}, \quad f_k = \frac{F \times h}{G}$$

Коэффициент полезного действия, (КПД).

$\eta = \frac{W_{\text{ПОЛ}}}{W_{\text{ЗАТР}}}$  - При наличии сил трения и сопротивления воздуха не вся затраченная работа используется в машинах и механизмах. Полезная работа всегда меньше затраченной.  $W_{\text{вр}}$  – работа вредных сил.

$$\sum W = W_3 - W_{\text{П}} - W_{\text{ВС}}$$

$$\eta = \frac{W_3 - W_{\text{ВС}}}{W_{\text{П}}} = 1 - \frac{W_{\text{ВС}}}{W_3}$$

$$W_3 = W_{\text{П}} + W_{\text{ВС}}$$

$$W_{\text{П}} = W_3 - W_{\text{ВС}}$$

$$\frac{W_{\text{ВС}}}{W_3} \langle 0 \dots h = 1 - \frac{W_{\text{ВС}}}{W_3} \rangle \langle 0 \dots h \langle 1$$

Закон изменения количества движения.

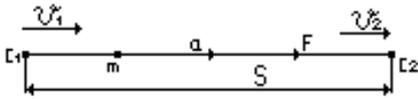
Количеством движения материальной точки называется векторная величина равная произведению массы точки на её скорость.

$$q = m \times v = \frac{\kappa z \times \mathcal{M}}{c}$$

Импульсом  $S$  постоянной силы называется векторная величина равная произведению силы на время её действия и имеющая направление силы.

$$S = F \times (t_2 - t_1) = F \times \Delta t. (H \times c)$$

прямолинейное движение.



Согласно основному уравнению динамики, точка  $C1$  движется равномерно.

$$v_2 = v_1 + at \quad a = \frac{v_2 - v_1}{t}$$

$$\text{Импульс } S = F \times (t_2 - t_1) = m \times v_2 - m v_1 = m(v_2 - v_1)$$

#### Раздел 4. Детали машин и механизмов.

##### Основные понятия и определения, классификация машин, стандартизация и взаимозаменяемость, Соединение деталей.

Машина – это устройство создаваемое человеком, выполняющее механические движения для преобразования энергии; для облегчения физическо-умственного труда человека; для повышения его производительности.

Признаки характеризующие машину преобразование энергии в механическую работу, или механическую работу в другой вид энергии.

Определённость движения всех частей машины при заданном движении одной части.

Искусственность происхождения в результате труда человека.

По характеру рабочего процесса машины делятся на классы:

- 1) Машины – двигатели (Энергетические машины предназначенные для преобразования энергии любого вида).
- 2) Машины преобразователи – предназначены для преобразования механической энергии в любую другую энергию.
- 3) Транспортные машины – для перемещения грузов, людей.
- 4) Технологические машины – для получения и преобразования обрабатываемого предмета,

т.е. изменение формы, размеров.

5) Информационные машины – для получения и преобразования информации.

Автоматическая линия – совокупность машин-автоматов соединенных между собой автоматическими транспортными устройствами, и предназначенные для выполнения определённого технологического процесса.

Основные части машин.

1) Приёмник – приводит машину в действие (поршень в двигателе).

2) исполнительные механизмы (производящие работу).

3) Передаточные механизмы или приводы (передача движения от приёмника к исполнителю).

Кинематические пары и цепи.

К. парой называется – подвижное соединение двух соприкасающихся тел.

Тела, составляющие К. пару, называются звеньями. Звено может состоять из нескольких деталей, не имеющих между собой относительного движения.

По характеру соприкосновения элементы К. пары делятся на два класса: 1) Высшие; 2) низшие.

У низших соприкосновение происходит по поверхностям.

У высших – по линиям или точкам.

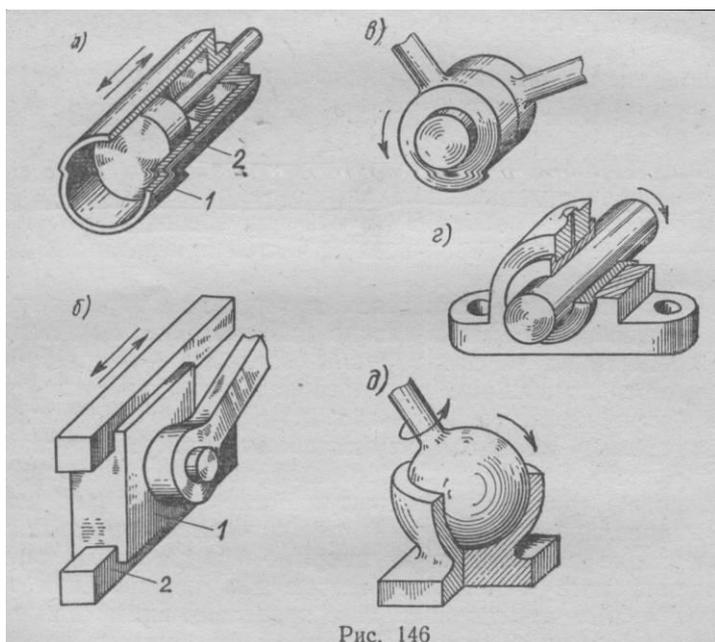


Рис. 146

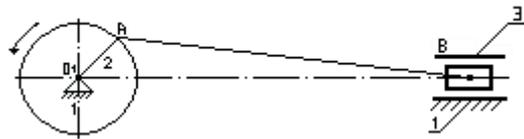
Низшие: 1) Поступательные (поршень, ползун, прямолинейные направляющие), 2) вращательные (плоский шарнир вал и подшипник, шаровой шарнир).

Высшие К. пары: 1) колесо и рельс, фрикционные катки (Соприкосновение по линиям), 2) Кулачковая пара с острым толкателем (Соприкосновение в точке).

Низшие пары долее износостойкие т.к. сила давления размещается по поверхности соприкосновения.

Кинетическая цепь – связанная система звеньев образующая между собой К. пары.

Механизм – система тел, предназначенная для преобразования одного или нескольких тел в требуемые движения других твёрдых тел.



1) Неподвижное, 2) ведущее, 3) ведомое звенья.

Общие требования предъявляемые к машинам:

- 1) Высокая производительность.
- 2) высокий КПД.
- 3) Удобство и простота сборки и разборки, управления и обслуживания.
- 4) Низкая стоимость изготовления.
- 5) Надёжность.
- 6) Долговечность и безопасность.
- 7) Малые габариты и масса.

Основные требования к деталям любой машины:

- 1) Прочность.
- 2) Жёсткость.
- 3) Износостойкость.
- 4) Малая масса.
- 5) Минимальные габариты.
- 6) Не дефицитность материалов.
- 7) Технологичность.
- 8) Безопасность.

9) Соответствовать ГОСТу.

#### **^ Краткие сведения о стандартизации и взаимозаменяемости деталей машин.**

Стандартизация – обязательные нормы, которым должны соответствовать типы, марки, параметры, качественные характеристики, методы испытаний, Правила маркировки, упаковки, хранения продукции.

Для обеспечения единых норм и требований к продукции установлены государственные общесоюзные стандарты ГОСТы.

Кроме того существует ведомственная стандартизация – нормализация: она проводится в пределах какой либо одной отрасли производства или одного завода.

Унификация – устранение излишнего многообразия изготавливаемых изделий путём сокращения их номенклатуры.

Взаимозаменяемость – свойства деталей или узлов машин обеспечивающие возможность их использования при сборке, дополнительной обработке при соблюдении технических требований которые предъявляются к работе данного механизма.

Комплексная программа по стандартизации предусмотрена для стран членов Социалистического Экономического Содружества.

ЕСПД СЭВ – Единая система допусков и посадок, страны экономической взаимопомощи.

#### **^ Соединение деталей.**

1) Заклёпочные и сварные соединения.

2) Клеевые.

3) Другие неразъёмные соединения.

Соединения.

*Разъёмные: Неразъёмные:*

Болтовые Клеевые

Винтовые Заклёпочные

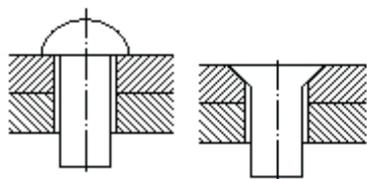
Шлицевые Сварные

Шпоночные

Штифтовые

Заклёпка состоит из цилиндрического стержня с головкой . Типы заклёпок различаются по формам головок с полукруглой и потайной головкой; Пистоны для заклёпок используют

сталь марки СТ2 СТ3, медь, Алюминий и т.д. в зависимости от назначения шва и составляемых деталей.



Место соединения листов называют заклёпочным швом. Они бывают прочные и плотные.

По взаимному расположению листов швы бывают внахлёстку и встык. В зависимости от расположения заклёпок швы делятся на однорядные и многорядные. Заклёпки могут располагаться шахматными рядами, или параллельными.

**Сварка** – процесс соединения металлических частей путём местного нагрева с доведением свариваемых участков до тестообразного пластинчатого или жидкого состояния.

Основные преимущества сварки по сравнению с заклёпочными соединениями:

1. Экономия материала, облегчение конструкции в сварном соединении;
2. Уменьшение трудоёмкости в связи с исключением операций разметки и сверления отверстий, сварка может быть автоматизирована;
3. Возможность соединять детали с криволинейным профилем;
4. Плотность и непроницаемость соединения;
5. Бесшумность технологического процесса.

### **Виды сварки:**

Электродуговая, Электромеханическая (контактная), Химическая (газовая).

*Электродуговая:* металл расплавляется теплом Электра дуги; металл электрода расплавляясь занимает промежутки между свариваемыми деталями.

Электрод – стальная проволока покрытая спец. составом который защищает металл от окисления. Температура в электрической дуге достигает 3900 гр. Цельсия. Электродуговая сварка может производиться как в ручную, так и на высокопроизводительных автоматах. Сварные швы делятся на стыковые и угловые.

^ *Электромеханическая сварка:* металл разогревается теплом выделяющимся при прохождении тока через стык соединяемых элементов до тестообразного состояния и сдавливается.

*Химическая:* свариваемый материал доводится до плавления; температура необходимая для сварки получается при сгорании горючих газов (ацетилен и водород) в струе кислорода.

Химической сваркой свариваются тонкие листы из стали, чугуна, цветных металлов.

## ^ Клеевое соединение.

Основные преимущества при сравнении со сварными и заклёпочными соединениями:

1. Возможность надёжного соединения деталей из очень тонких листовых материалов.
2. Возможность скрепления разнородных материалов.
3. Отсутствие или очень малое значение концентраций напряжений.
4. Отсутствие ослабляющих конструкцию отверстий необходимых при заклёпочных соединениях.
5. Герметичность и стойкость против коррозии.

Недостатки:

1. Сравнительно низкая теплостойкость.
2. Невысокое сопротивление отдиранью.
3. Снижение прочности клеев с течением времени.

Неразъемные соединения.

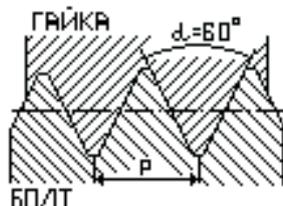
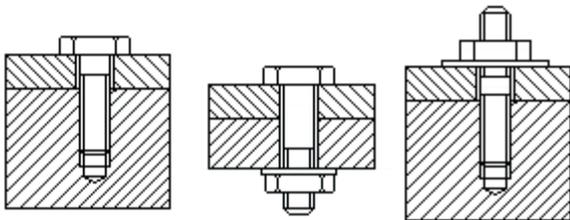
Соединения пайкой (осуществляются с помощью припоя).

Припой – канифоль, олово, хлористый цинк.

Соединения запрессовкой – для неподвижного соединения деталей цилиндрической формы.  
Применение (соединение зубчатого колеса с валом, втулка с валом).

Соединение заформовкой (соединяют металлическую деталь с пластмассой).

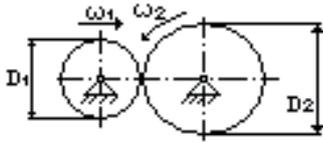
Винтовые соединения Болтовые соединения Шпильчатые соединения



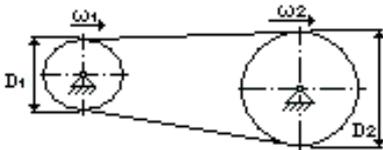
Общие сведения о резьбах

БД/ЛТ

**Кинематические и силовые соотношения в передаточных механизмах.**



С непосредственным касанием (червячные, зубчатые, фрикционные).



С передаточным звеном (ременные, канатные, цепные).

$$v_1 = \omega_1 \times \frac{D_1}{2}$$

$$v_1 = v_2 \Rightarrow \omega_1 \times \frac{D_1}{2} = \omega_2 \times \frac{D_2}{2} \Rightarrow \frac{\pi D_1 n_1}{2} = \frac{\pi D_2 n_2}{2} ; \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

$i$  – передаточное отношение.

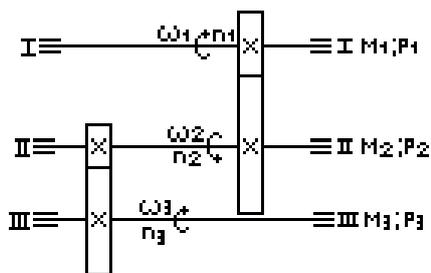
$$P_2 = P_1 \times \eta$$

если  $P = M \times \omega$  тогда  $M_2 \times \omega_2 = M_1 \times \omega_1 \times \eta \Rightarrow M_2 = M_1 \times \frac{\omega_1}{\omega_2} \times \eta = M_1 \times i \times \eta$

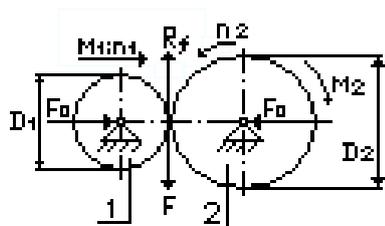
Многоступенчатая передача.

$$i_{in} = i_1 \times i_2 \times \dots \times i_n \quad \eta_{in} = \eta_{i1} \times \eta_{i2} \times \dots \times \eta_{in}$$

Двухступенчатая передача.



### Фрикционные передачи.



Фрикционная передача основана на использовании  $R_f$  возникающей в месте контакта контактов 1 и 2 в результате прижатия их друг к другу силой  $F_0$  и приложения к ведущему 1 момента  $M_1$ . В зависимости от расположения геометрических осей относительно волн делятся передачи: 1 с параллельными осями (цилиндрические катки, конические), 2 с пересекающимися осями, 3 с цилиндрическими катками – лобовая передача.

Достоинства:

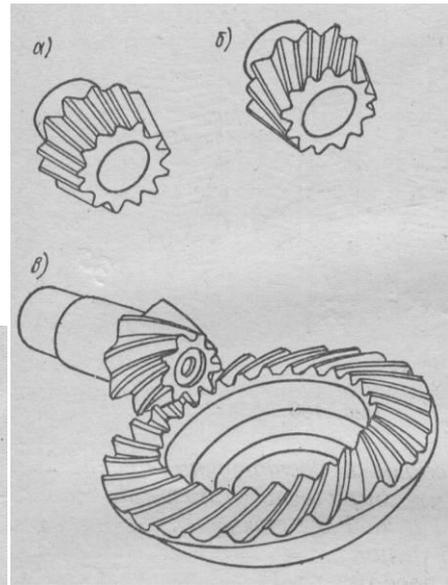
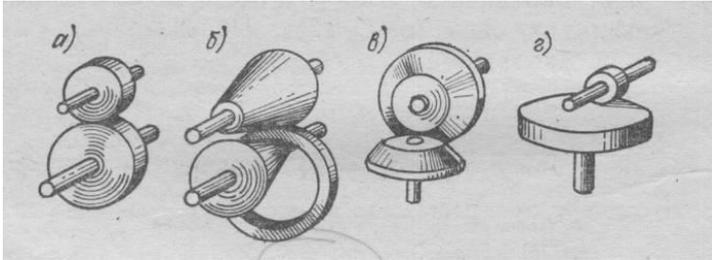
1. Простота конструкции.
2. Плавность.
3. Бесшумность работы.
4. Возможность осуществления передач с плавным изменением передаточного отношения.
5. Возможность проскальзывания фрикционных катков при перегрузках.

Недостатки:

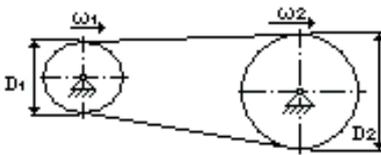
1. Ограниченная величина передаваемой мощности.
2. большая нагрузка.
3. Непостоянство передаточного отношения.
4. Повышенный износ катков.
5. Сравнительно низкий КПД.

При работе всегда имеется проскальзывание между звеньями  $E$  – скольжение.

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1(1 - E)}$$



## ^ Ременные передачи.



Передачу вращательного движения с одного вала на другой при значительных расстояниях между валами можно осуществлять гибкой связью используя силу трения между поверхностью шкива и гибким телом. Гибкой связью служат ремни.

В зависимости от формы поперечного сечения ремня передачи делятся на плоскоремennую, клиноремennую, круглоремennую и зубчаторемennую.

Плоские ремни изготавливают из кожи, хлопчатобумажные, цельнотканые, прорезиненные, шерстяные, шелковые и из синтетического волокна. Наиболее широкое распространение получили плоские резинотканевые ремни. Они применяются как для малых, так и для больших мощностей. Пригодны для условий с повышенной влажностью. Их нельзя применять в среде содержащей пары нефтепродуктов.

Достоинства:

1. Простота и низкая стоимость.
2. Плавность хода.
3. Способность смягчать удары и предохранять от поломок.
4. Возможность передачи мощности на больших расстояниях между осями ведущего и ведомого валов.
5. Бесшумность работы.

6. Простота хода и обслуживания.

Недостатки:

1. Непостоянное передаточное отношение.
2. Сравнительно большие габариты.
3. Вытягивание ремня.

Плоские ременные передачи делятся на: открытые (с параллельными валами), перекрёстные, полуперекрёстные, угловые.

Передача зубчатым ремнём:

Зубчатый ремень состоит из скрученных кордных нитей имеющих высокую разрывную прочность по всей длине и ширине ремня. Зубчатая поверхность ремня облицована тканью на основе нейлона. Ремень имеет высокую выносливость.

#### **^ Цепные передачи.**

Цепная передача относится к числу передач с промежуточным звеном (гибкой связью). Цепная передача осуществляется при помощи бесконечной цепи, охватывающая две и более звёздочки – колеса с зубьями специального профиля.

Достоинства:

1. Компактность.
2. Меньшая нагрузка на валы.
3. Возможность передачи движения на значительные расстояния.
4. Возможность передачи движения одной цепью нескольким валам.
5. Сравнительно высокий КПД.

Недостатки:

1. Увеличение шага цепи, что требует применение натяжных устройств.
2. Более сложный уход.
3. повышенный шум.
4. Сложные в конструкции.

Цепные передачи широко используют в станках для обработки металла и дерева, в токарных устройствах и тд. По характеру выполняемой работы цепи, применяемые в машиностроении делятся на три группы: приводные, грузовые, тяговые.

Все приводные цепи стандартизированы:

Роликовые и втулочные по ГОСТ 10947 – 64.

Зубчатые цепи по ГОСТ 13522 – 68.

#### **^ Червячные передачи.**

Червячная передача применяется между валами, которые пересекаются. Червяк, насаженный на вал или чаще изготавливаемый заодно с валом вращает червячное колесо, расположенное на другом валу. Червячная передача относится к числу так называемых зубчатовинтовых, т.е. имеющих признаки, характеризующие и зубчатые и винтовые передачи. Червячная передача может быть представлена образованной из кинематической пары винт-гайка.

Достоинства:

1. Плавность и бесшумность работы.
2. Возможность получения больших передаточных чисел при сравнительно небольших габаритах.
3. Компактность.
4. Возможность выполнения передачи обладающей свойством самотормоза.

#### **Варианты заданий для контрольной работы №1**

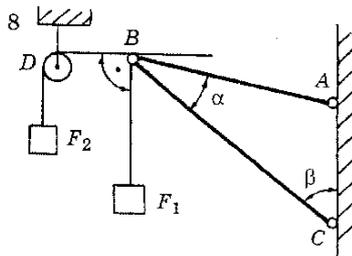
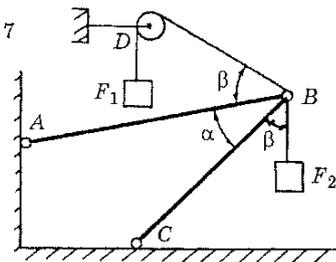
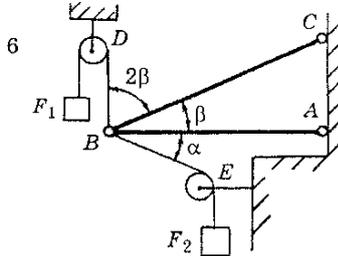
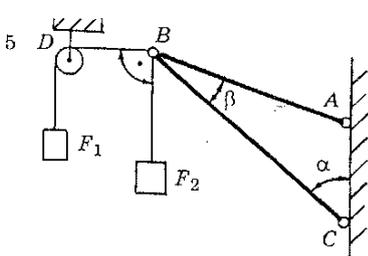
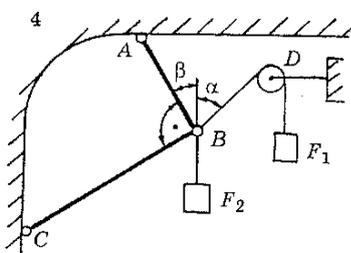
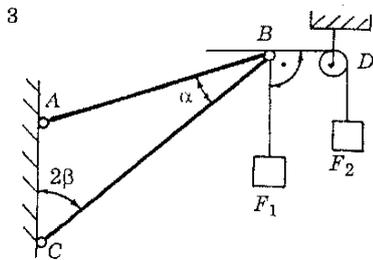
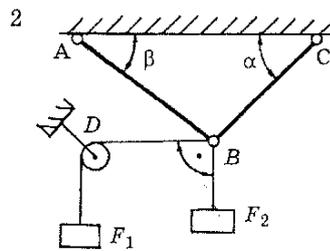
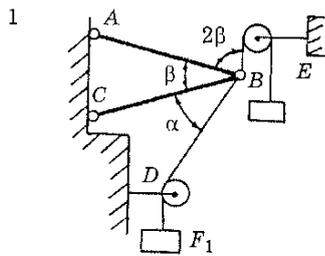
##### ***Задача 1.1. Проверочный расчёт стержневой системы.***

Для шарнирно-стержневой системы ABC, нагруженной в шарнире В:

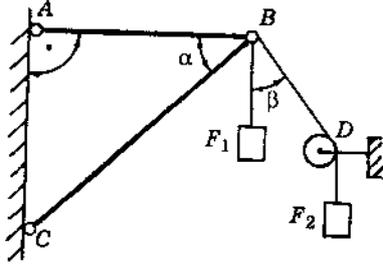
Определите продольные силы в стержнях 1 и 2.

Проверьте прочность стержней, если они выполнены из стали СТ5.

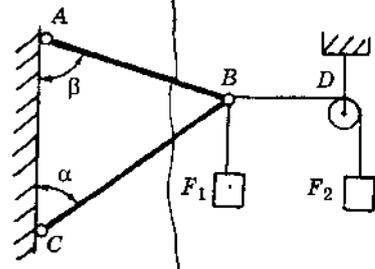
Ва- ри- ант	Угол наклона, град		Сила, кН		Площадь поперечных сечений стержней, см <sup>2</sup>	
	$\alpha$	$\beta$	$F_1$	$F_2$	$A_1$	$A_2$
1	50	40	100	190	10	16
2	40	30	240	100	12	14
3	50	20	220	200	14	12
4	60	10	200	190	16	10
5	70	10	190	180	18	8
6	80	20	180	120	8	10
7	80	30	200	170	10	12
8	70	40	210	180	12	14
9	60	50	220	190	14	16
10	50	30	240	200	16	18
11	40	30	220	200	18	20
12	40	20	240	190	20	18
13	50	40	220	180	18	16
14	60	50	220	170	16	14
15	70	60	180	160	14	12
16	80	70	100	160	12	10
17	80	60	180	170	10	8
18	70	50	190	180	8	10
19	60	40	200	190	10	12
20	50	30	220	200	12	14
21	40	20	210	100	14	16
22	40	20	240	100	16	18
23	50	30	140	190	18	20
24	60	30	100	180	20	8
25	70	40	100	170	18	10
26	80	60	110	160	16	12
27	80	45	120	200	14	14
28	70	30	120	190	12	16
29	60	30	100	180	10	18
30	50	30	90	170	8	20



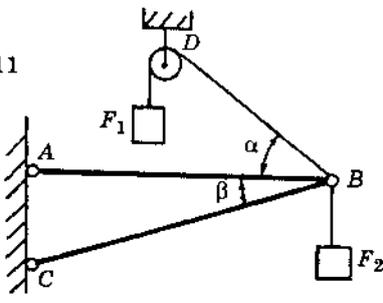
9



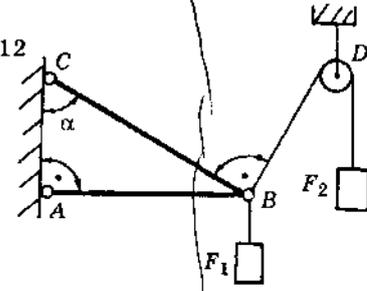
10



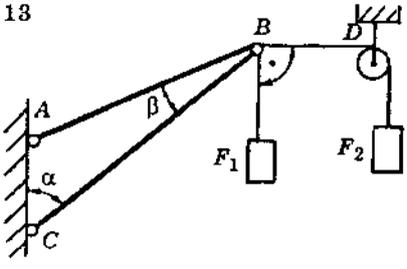
11



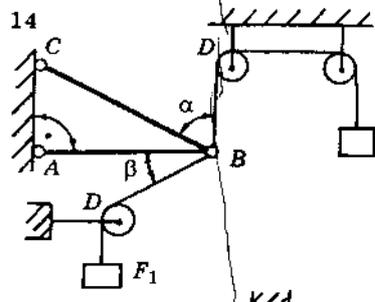
12



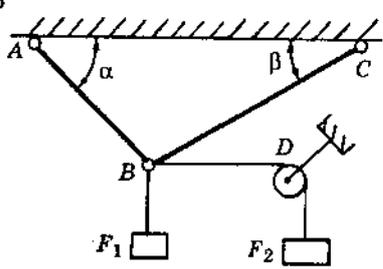
13



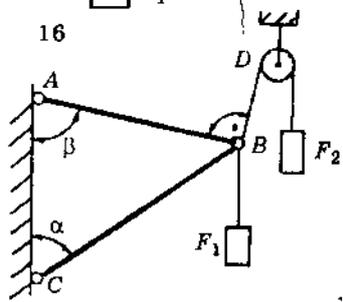
14



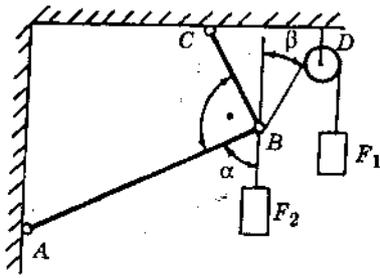
15



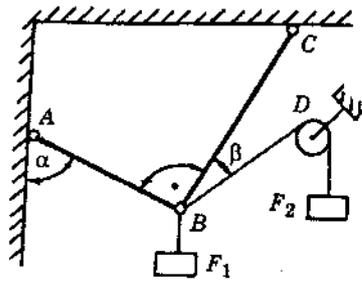
16



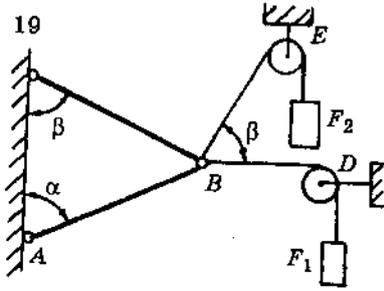
17



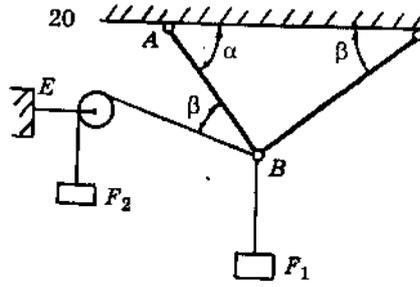
18



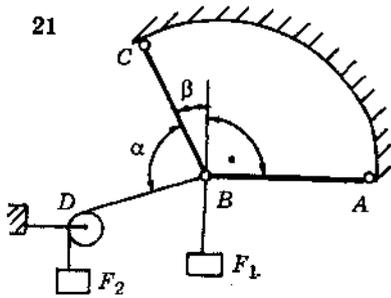
19



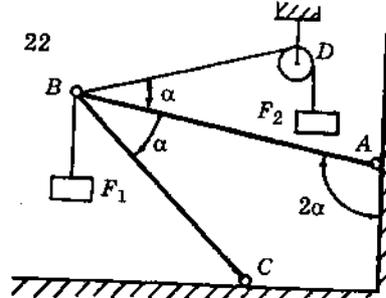
20



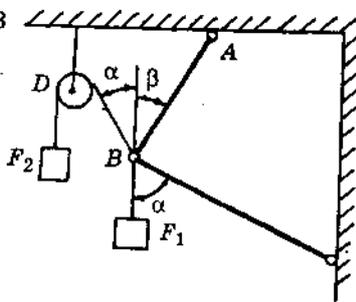
21



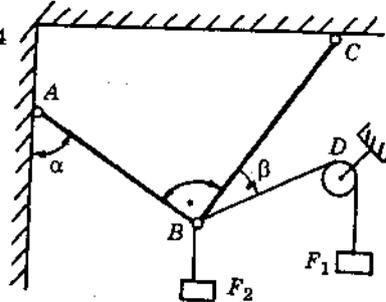
22

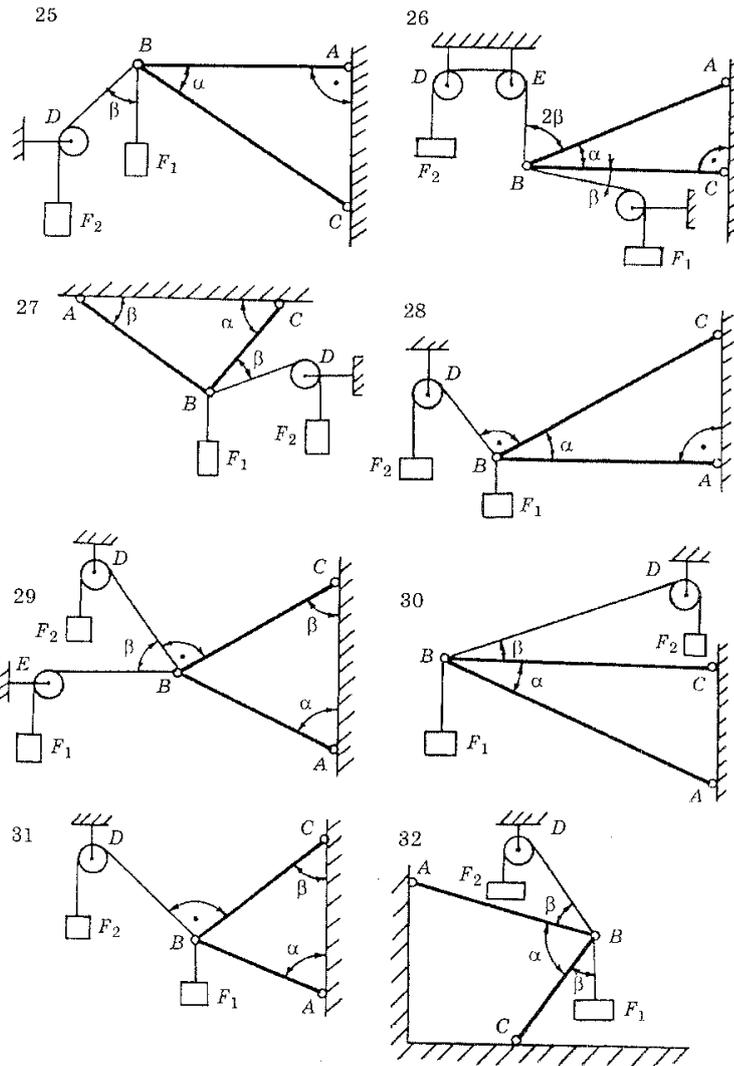


23



24





**Задача 1.2. Проектировочный расчёт стержневой системы.**

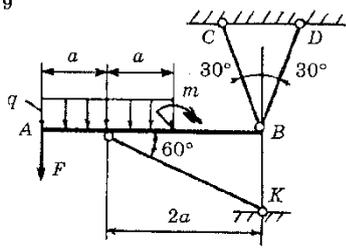
Для шарнирно-стержневой системы:

1. Определите продольные силы в стальных стержнях, поддерживающих абсолютно жёсткий брус АВ.
2. Из расчёта на прочность подберите сечения стержней (двутавр, швеллер или два уголка).

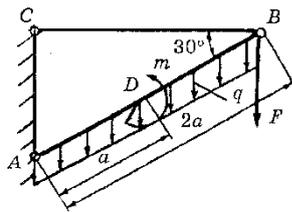
Определите процент перегрузки (П) или недогрузки (Н) стержней принятого сечения, если  $\sigma_{adm} = 160 \text{ МПа}$

Вариант	Сила, кН	Интен-сивность нагрузки, кН/м	Момент силы, кН·м	Длина, м	Вариант	Сила, кН	Интен-сивность нагрузки, кН/м	Момент силы, кН·м	Длина, м
	$F$					$q$			
1	20	-	20,0	2,0	16	-	5,0	40,0	4,0
2	-	5	25,0	2,5	17	10	-	30,0	3,5
3	30	-	30,0	3,0	18	-	10,0	30,0	3,0
4	-	10	35,0	3,5	19	20	-	25,0	2,5
5	40	-	40,0	4,0	20	-	15,0	20,0	2,0
6	-	15	15,0	1,5	21	30	-	15,0	1,5
7	50	-	20,0	2,0	22	-	20,0	10,0	1,0
8	-	20	15,0	1,5	23	40	-	30,0	3,0
9	60	-	10,0	1,0	24	-	30,0	40,0	4,0
10	-	25	15,0	1,5	25	50	-	15,0	1,5
11	70	-	20,0	2,0	26	-	40,0	10,0	1,0
12	-	30	25,0	2,5	27	60	-	15,0	1,5
13	80	-	30,0	3,0	28	-	5,0	20,0	2,0
14	-	35	35,0	3,5	29	70	-	25,0	2,5
15	90	-	40,0	4,0	30	-	10	30,0	3,0

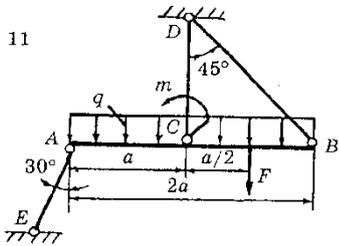
9



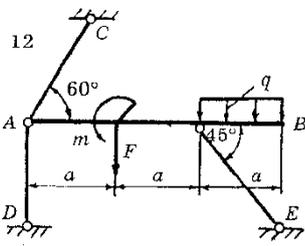
10



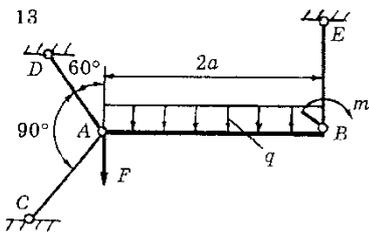
11



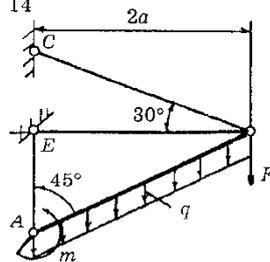
12



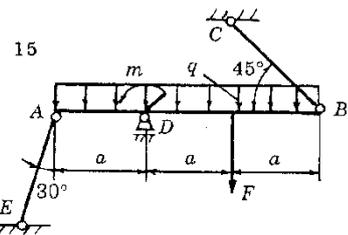
13



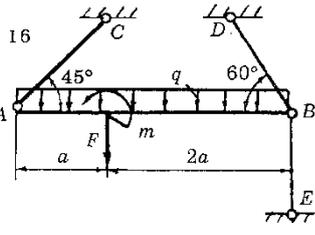
14



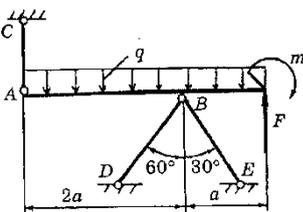
15



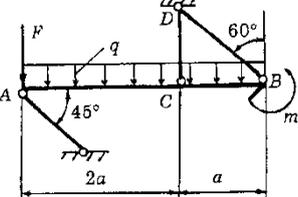
16



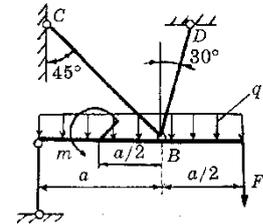
17



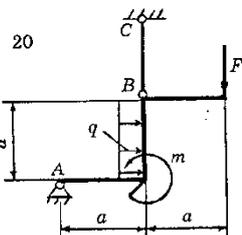
18



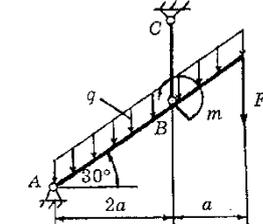
19



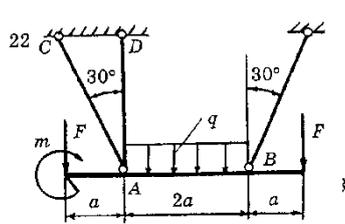
20



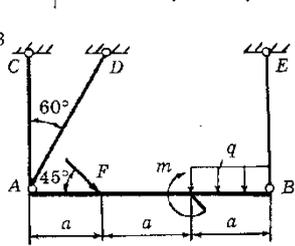
21



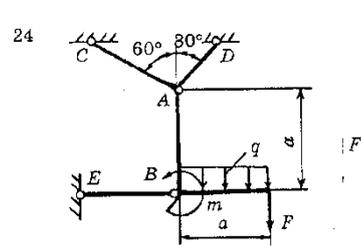
22



23



24



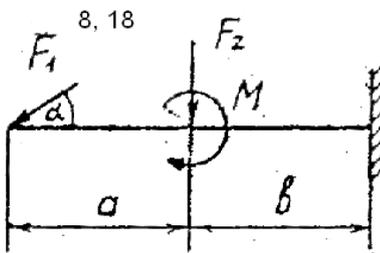
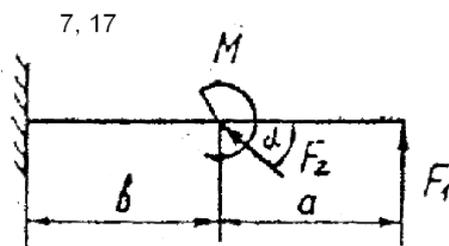
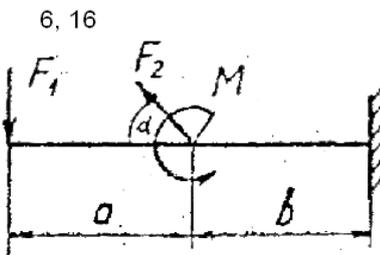
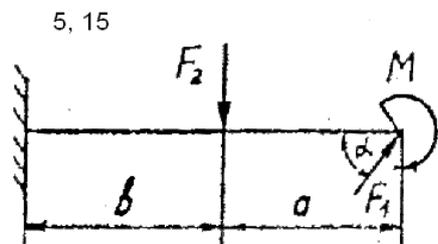
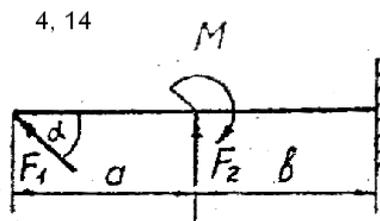
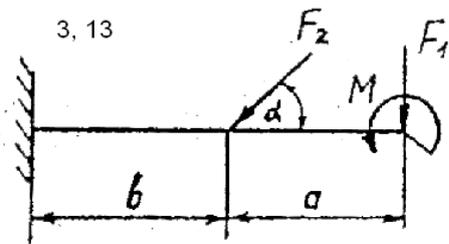
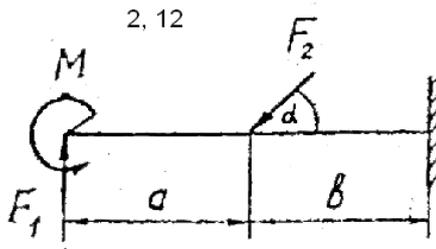
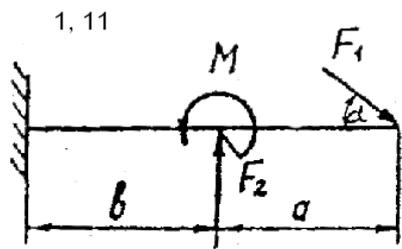
JD

K E

Задача 1.3.

Определить опорные реакции, возникающие в консольной балке.

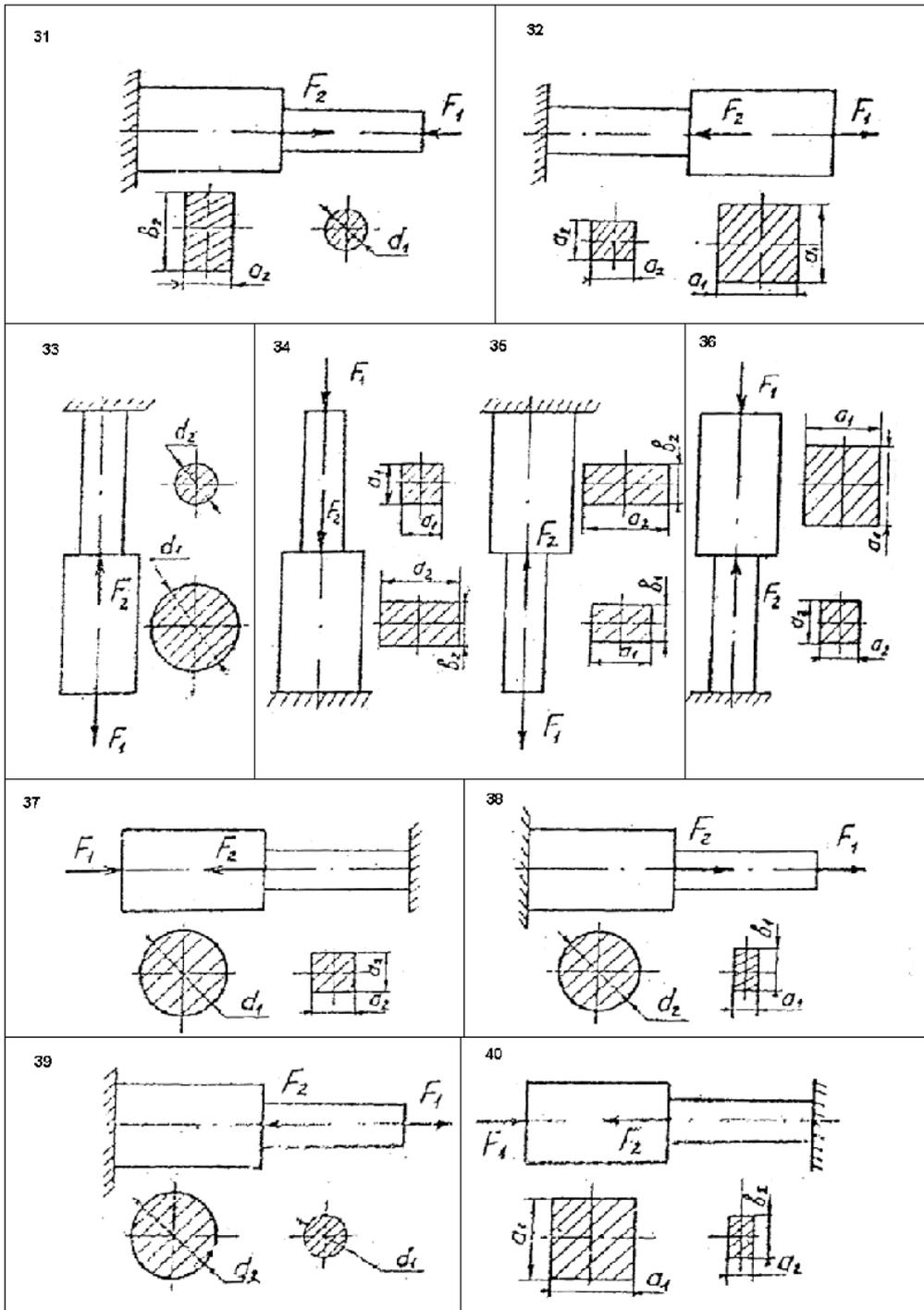
$N$ зада- чу	$F_1, кН$	$F_2, кН$	$M, кН·м$	$\alpha, град$	$a, м$	$b, м$	$N$ зада- чу	$F_1, кН$	$F_2, кН$	$M, кН·м$	$\alpha, град$	$a, м$	$b, м$
1, 11	3	2	5	30	1,5	2,5	6, 16	8	2	1	60	2,4	1,6
2, 12	4	6	2	45	1,2	2,8	7, 17	7	4	3	30	2,2	1,8
3, 13	2	5	4	60	2,6	1,4	8, 18	2	3	2	45	1,7	2,3
4, 14	6	2	3	30	3,0	1,0							
5, 15	5	3	6	45	2,7	1,3							



#### Задача 1.4.

Для заданного стального бруса построить эпюру продольных сил и проверить прочность, если допускаемые напряжения при растяжениях  $[\sigma_p] = 150$  МПа, а при сжатиях  $[\sigma_c] = 100$  МПа.

$N_{3020}$ 41	$F_1, KH$	$F_2, KH$	$d_1, MM$	$d_2, MM$	$a_1, MM$	$a_2, MM$	$b_1, MM$	$b_2, MM$	$N_{3020}$ 44	$F_1, KH$	$F_2, KH$	$d_1, MM$	$d_2, MM$	$a_1, MM$	$a_2, MM$	$b_1, MM$	$b_2, MM$
31	5,0	2,4	7,6	-	-	3,8	-	6,0	36	7,0	10,0	-	-	7,8	4,5	-	-
32	6,0	8,0	-	-	7,0	4,0	-	-	37	8,0	2,8	9,3	-	-	6,6	-	-
33	3,0	4,0	5,0	3,3	-	-	-	-	38	1,5	4,5	-	7,0	2,2	-	4,4	-
34	4,0	3,0	-	-	5,8	II	-	5,5	39	3,5	6,8	5,5	6,0	-	-	-	-
35	2,0	6,5	-	-	4,2	7,5	3,0	5	40	4,3	7,5	-	-	6,0	3,7	-	5,5

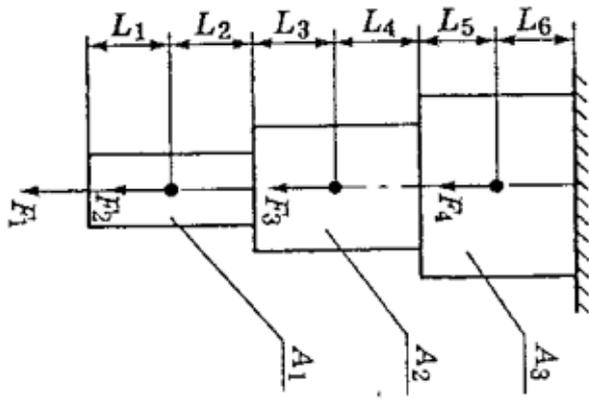


**Задача 1.5.**

1. Определить продольные силы  $N$  и напряжения  $\sigma$  на каждом участке стержня. Построить эпюры  $N$  и  $\sigma$ .
2. Произвести оценку прочности на участках стержня и вычислить действительный запас прочности, если  $\sigma_{pr} = 200$  МПа,  $\sigma_y = 240$  МПа.
3. Построить эпюру перемещений  $\lambda$ .

Указание: в случае, если найденное в п.2 действительное напряжение окажется больше  $\sigma_{pr}$ , следует подобрать на этом участке такую площадь сечения, чтобы это условие выполнялось.

Для стального ступенчатого стержня ( $E = 2 \cdot 10^5$  МПа). Стержень расположить вертикально(обязательно)



Вариант	Длина участков стержня, м						Площадь поперечных сечений, см <sup>2</sup>			Сила, кН			
	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	$l_6$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0,25	0,25	0,20	0,30	0,15	0,35	10	14	18	+100	-	-160	-
2	0,30	0,20	0,25	0,25	0,20	0,30	18	12	8	+140	-120	-	-
3	0,20	0,30	0,30	0,20	0,25	0,25	16	8	10	+120	-	-160	-
4	0,25	0,25	0,35	0,15	0,30	0,20	12	10	16	+110	-80	-	-
5	0,35	0,15	0,15	0,35	0,35	0,15	8	12	16	+90	-	-	-90
6	0,15	0,35	0,20	0,30	0,30	0,20	10	8	12	-100	140	-	-
7	0,20	0,30	0,25	0,25	0,25	0,25	14	10	18	-140	-	180	-
8	0,25	0,25	0,30	0,20	0,20	0,30	12	14	10	-110	-	-	160
9	0,30	0,20	0,35	0,15	0,15	0,35	18	16	14	+160	-	-90	-
10	0,35	0,15	0,30	0,20	0,35	0,15	16	18	10	-120	160	-	-
11	0,15	0,35	0,20	0,30	0,25	0,25	10	16	18	+100	-	-120	-
12	0,20	0,30	0,35	0,15	0,20	0,30	12	8	16	+110	-	-	-160
13	0,25	0,25	0,15	0,35	0,20	0,30	14	16	10	+140	-	-90	-
14	0,30	0,20	0,20	0,30	0,35	0,15	12	8	16	-110	90	-	-
15	0,35	0,15	0,25	0,25	0,15	0,35	18	14	12	-160	90	-	-
16	0,35	0,15	0,30	0,20	0,20	0,30	16	14	10	+120	-	-	-80
17	0,30	0,20	0,35	0,15	0,25	0,25	18	12	14	+160	-	-100	-

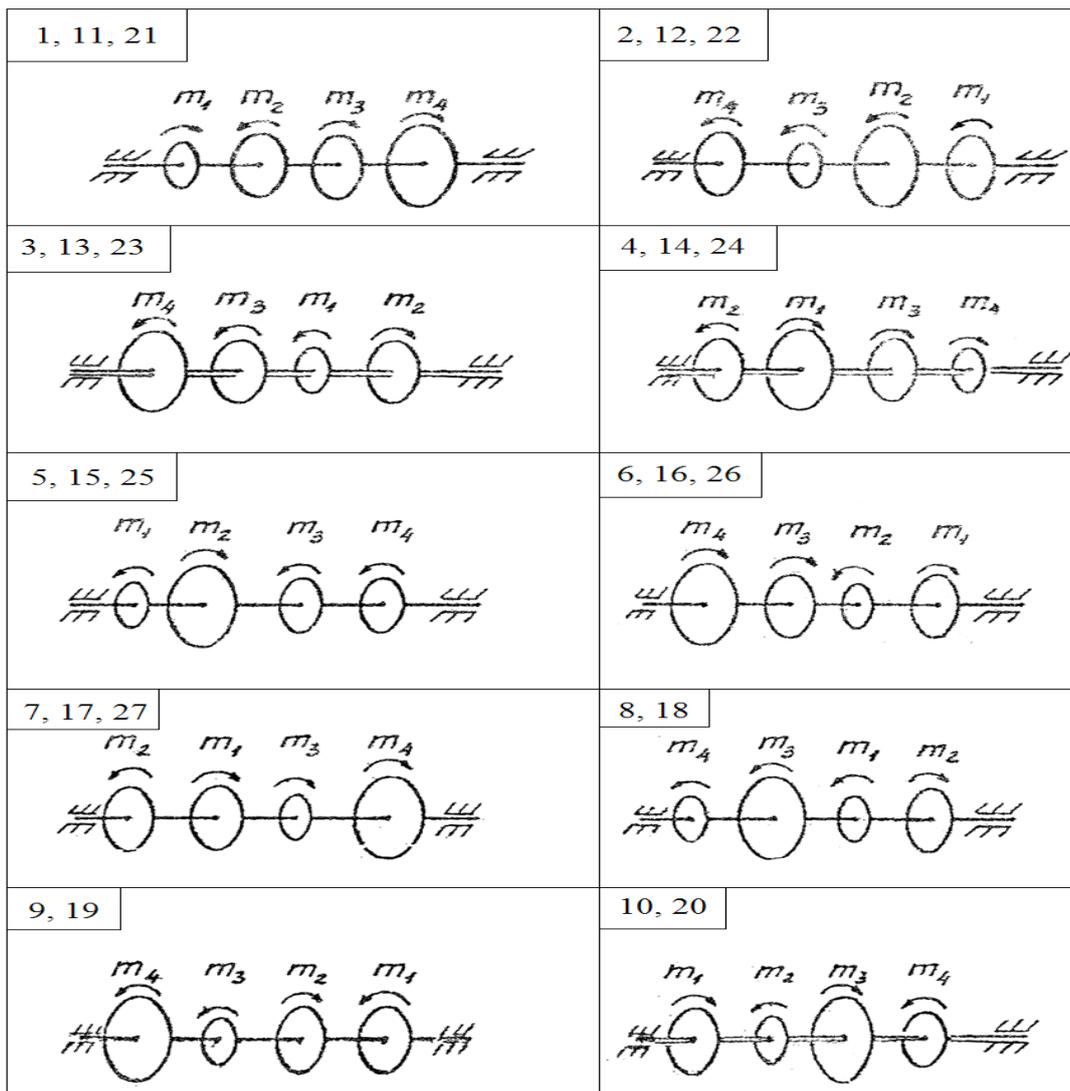
18	0,25	0,25	0,35	0,15	0,30	0,20	18	14	16	160	-	-	110
19	0,20	0,30	0,30	0,20	0,35	0,15	10	13	8	-110	-	+120	-
20	0,15	0,35	0,25	0,25	0,35	0,15	14	10	12	-140	-180	-	-
21	0,15	0,35	0,20	0,30	0,20	0,20	8	10	8	90	-	140	-
22	0,20	0,30	0,15	0,35	0,25	0,25	12	10	12	+110	-	-	-160
23	0,25	0,25	0,20	0,30	0,20	0,30	16	10	8	-120	-	140	-
24	0,30	0,20	0,25	0,25	0,15	0,35	18	12	10	+160	-120	-	-
25	0,35	0,15	0,30	0,20	0,25	0,25	10	14	10	-120	-	110	-
26	0,40	0,10	0,20	0,15	0,35	0,25	14	16	20	-140	-	-	110
27	0,25	0,15	0,35	0,20	0,40	0,15	18	14	10	-160	-	+90	-
28	0,30	0,10	0,25	0,25	0,15	0,40	12	10	8	+160	-70	-	-
29	0,35	0,15	0,35	0,10	0,35	0,15	8	18	10	90	-	200	-

## ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 2

### Задача 1.

Для вращающегося равномерно стального круглого вала с насаженными на него зубчатыми колёсами определить вращающий момент  $m_2$  на ведущем зубчатом колесе, построить эпюру крутящих моментов, вычислить диаметр вала на каждом участке из условия его прочности, если  $[\tau_k] = 40$  МПа.

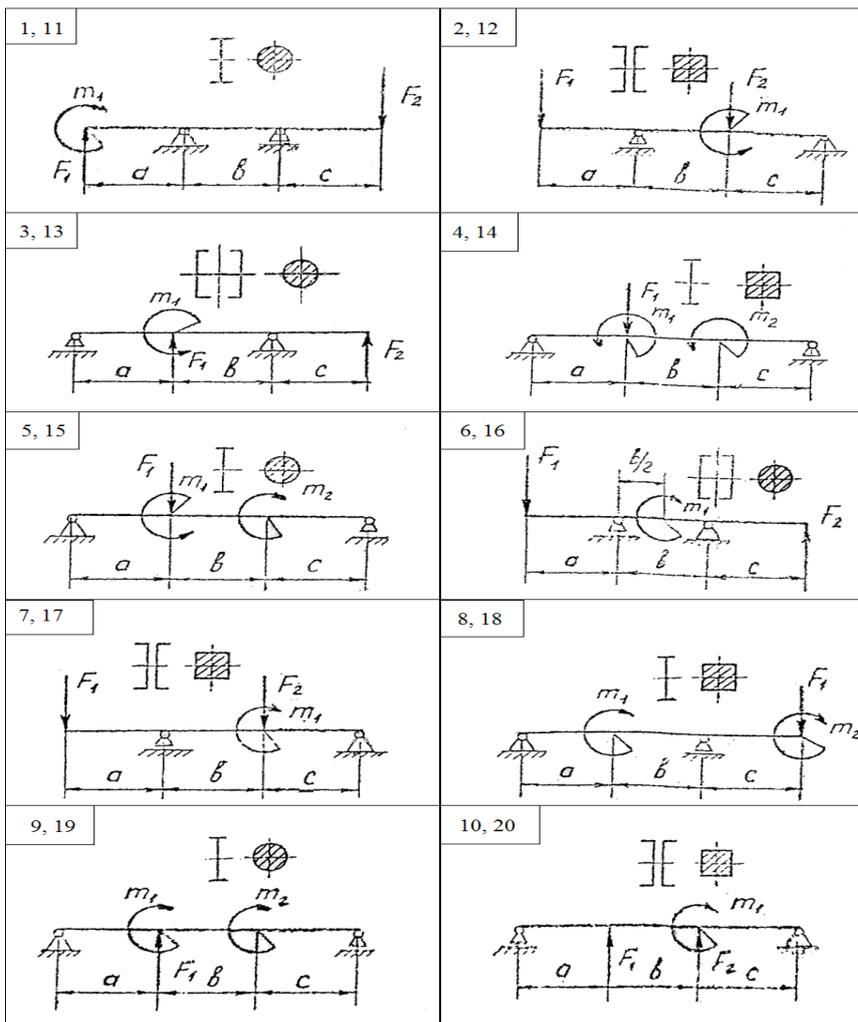
№ вар.	$m_1$ , кН·м	$m_3$ , кН·м	$m_4$ , кН·м	№ вар.	$m_1$ , кН·м	$m_3$ , кН·м	$m_4$ , кН·м
1, 11, 21	0,4	1,2	0,8	6, 16, 26	1,4	0,5	1,5
2, 12, 22	1,1	0,6	1,3	7, 17	0,3	0,8	0,4
3, 13, 23	1,4	0,3	0,6	8, 18	0,9	0,2	0,5
4, 14, 24	0,2	0,8	1,5	9, 19	2,1	1,6	1,3
5, 15, 25	1,8	1,1	1,3	10, 20	1,7	2,3	1,2



### Задача 2.

Для стальной двухопорной балки определить опорные реакции, построить эпюру изгибающих моментов и подобрать размеры поперечного сечения в следующих двух вариантах: а) двутавр или сдвоенный швеллер; б) квадрат или круг. Сравнить массы балок по обоим расчётным вариантам. Принять для материала балки  $[\sigma_{и}] = 150$  МПа.

№ варианта	$F_1$ , кН	$F_2$ , кН	$m_1$ , кН·м	$m_2$ , кН·м	$a$ , м	$b$ , м	$c$ , м	№ варианта	$F_1$ , кН	$F_2$ , кН	$m_1$ , кН·м	$m_2$ , кН·м	$a$ , м	$b$ , м	$c$ , м
1, 11, 21	10	20	45	-	2,5	4	1,5	6, 16	16	6	9	-	1,1	5	1,9
2, 12	20	35	10	-	2	4	2	7, 17	17	15	24	-	3	3,8	2,2
3, 13	15	22	30	-	1,6	3,4	3	8, 18	24	-	18	20	2,7	2,3	3
4, 14	5	-	28	13	3,4	1,8	2,8	9, 19	35	-	24	21	2,2	5,5	0,3
5, 15	25	-	38	5	4,2	2	1,8	10, 20	15	24	50	-	2,8	3,2	2

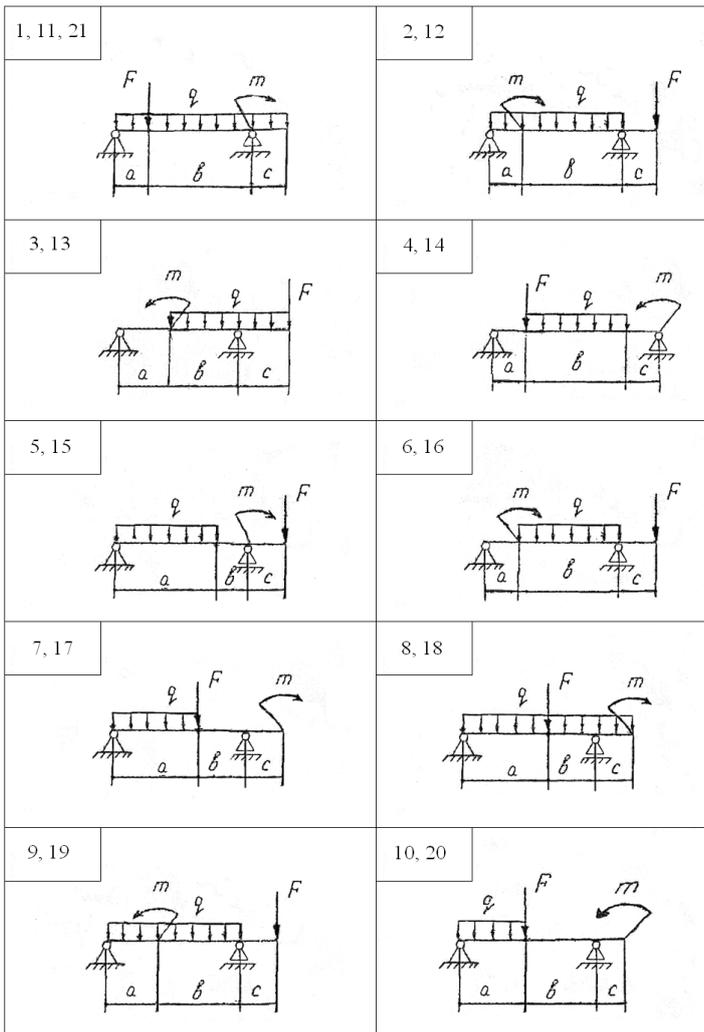


### Задача 3.

Для заданной стальной двухопорной балки определить опорные реакции, построить эпюры поперечных сил, изгибающих моментов и, исходя из условий прочности при  $[\sigma_{и}] = 150 \text{ МПа}$ , подобрать размеры поперечного сечения в следующих двух вариантах: а) двутавр или сдвоенный швеллер; б) квадрат или прямоугольник с соотношением сторон 1:2. Сравнить массы балок по обоим расчётным вариантам.

В вариантах 1 – 5 (1, 11, 21 – 5, 15) подобрать сечения двутавра и прямоугольника, а в вариантах 6 – 10 (6, 16 – 10, 20) – сдвоенного швеллера и квадрата.

№ варианта	F, кН	q, кН	m, кН·м	a, м	b, м	c, м	№ варианта	F, кН	q, кН	m, кН·м	a, м	b, м	c, м
1, 11, 21	25	30	13	1	3	1	6, 16	20	25	15	1	4	1
2, 12, 22	20	25	16	1	3	1	7, 17	15	20	20	4	2	1,5
3, 13	15	20	12	2	4	2	8, 18	10	15	9	5	2	1
4, 14	10	15	35	1,5	5	1,5	9, 19	20	20	15	2	3	1
5, 15	25	30	20	3	4	2	10, 20	15	10	6	3	3	1,5



### Задача 4.

Для стального вала постоянного поперечного сечения с двумя зубчатыми колёсами (размеры даны в мм), передающего мощность  $P$ , при угловой скорости  $\omega$ :

1. определить вертикальные и горизонтальные составляющие реакций подшипников;
2. построить эпюру крутящих моментов;
3. построить эпюры изгибающих моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях;
4. определить диаметр вала, приняв  $[\sigma] = 70$  МПа и полагая  $F_{21} = 0,4F_1$ ,  $F_{22} = 0,4F_2$ .

№ варианта	$P$ , кВт	$\omega$ , рад/с	№ варианта	$P$ , кВт	$\omega$ , рад/с
1, 11, 21	40	60	6, 16	24	15
2, 12, 22	20	50	7, 17	40	35
3, 13	15	25	8, 18	50	40
4, 14	25	30	9, 19	45	30
5, 15	10	20	10, 20	30	25

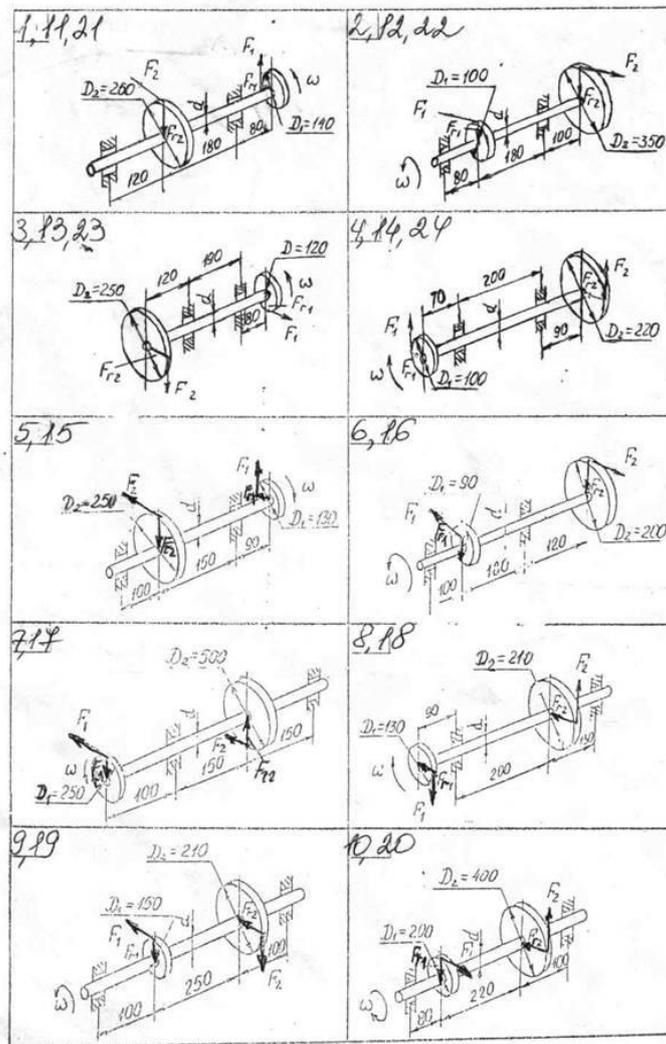


Рис. 16

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мовнин М.С., Израелит А.Б., Рубашкин А.Г. Основы технической механики. Л., 1982.
2. Николаенко В.Л. Механика: учеб. пособие. Минск: Новое знание, 2011.
3. Сетков В.И. Сборник задач по технической механике: учеб. пособие для СПО. М.: Академия, 2014.
4. Олофинская В.П. Техническая механика. Курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий: учеб. пособие для СПО. М.: Форум, 2013.

**Учебное издание**

**Шейнова С.Ф.**

**КРАТКИЙ КУРС ЛЕКЦИЙ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ ОП.02. *ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА***

для обучающихся II курса специальности

35.02.07 Механизация сельского хозяйства

Редактор Павлютина И.П.

---

Подписано к печати 17.09.2019 г. Формат 60x84 1/16.

Бумага печатная. Усл. п.л. 3,89. Тираж 100 экз. Изд. №6480.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ