



ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



# Силовой расчет механизмов


2020

### Силы, действующие на механизм

1. **Внешние силы** – силы, приложенные к механизму, не зависящие от строения, массо-габаритных характеристик самого механизма:
  - А) **Движущие силы** –  $F_{дв}$  – силы, вызывающие движение. Передаются механизму ведущим звеном.

$$A_d > 0$$

- Б) **Силы производственного сопротивления** -  $F_{пс}$  – силы, для преодоления которых предназначен механизм

$$A_{пс} < 0.$$


### Силы, действующие на механизм 2

2. Силы, присущие самому механизму:

а. Силы вредного сопротивления –  $F_h$  –  
например, силы трения в КП.

$$F_r = F_u + F_h$$

б. Силы тяжести –  $F_g$  (G)

$$F_g = mg$$

в. Силы инерции –  $F_i$  -

$$F_i = -ma_s$$

## Силовой анализ механизмов

- **Статический** – не учитываются силы инерции звеньев, дополнительные силы, возникающие в процессе движения (например – кориолисовы);
- **Динамический** – учитываются как статические, так и динамические нагрузки.

### Методы:

1. Аналитические
2. Графо-аналитические
3. Графические

## Силовой анализ механизмов 2

### Задачи:

1. Определение усилий, действующих на звенья механизма;
2. Определение реакций в кинематических парах;
3. Определение уравновешивающей силы или уравновешивающего момента;
4. Определение КПД механизма.

### Аналитические методы

Широкое распространение получил метод расчета на основе обыкновенных дифференциальных уравнений равновесия твердых тел

**Сущность метода:** применение к решению задач динамики уравнений равновесия в форме Даламбера (D'Alembert) .

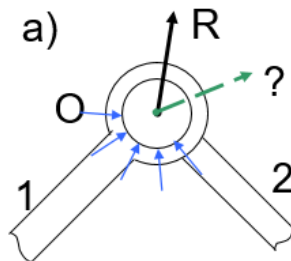
$$\begin{cases} \sum F_X = 0, \\ \sum F_Y = 0, \\ \sum M_Z = 0, \end{cases}$$

Составляется для каждого звена  $\rightarrow$  система  $3k$  уравнений

## Условия статической определимости КЦ

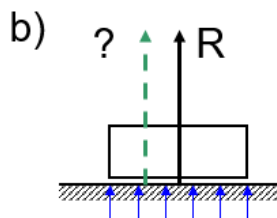
Цепи – плоские, КП –  $P_4$  и  $P_5$

Вращательная  $P_5$



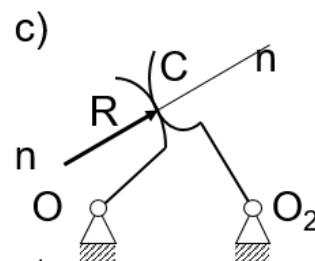
Величина – ?  
Направление – ?  
Точка приложения – !  
2x

Поступательная  $P_5$



Величина – ?  
Направление – !  
Точка приложения – ?  
2x

Высшая ВП  $P_4$



Величина – ?  
Направление – !  
Точка приложения – !  
1x

Уравнений :  $3n$ , неизвестных :  $2P_5 + P_4$

$$3n = 2P_5 + P_4 \rightarrow 3n - 2P_5 - P_4 = 0$$

## Метод планов сил (1)

- **Условия:**

Планы скоростей и ускорений построены – скорости и ускорения характерных точек механизма и звеньев определены.

**Последовательность:** расчет начинается с последней присоединенной группы Ассура, для которой известна полезная нагрузка, далее последовательно в обратном порядке присоединения к начальному механизму





## Метод планов сил (2)

- 1. Выделяем группу Ассур, строим её в масштабе в заданном положении.
- 2. Расставляем все внешние силы ( $F_u, G_2, G_3$ ).
- 3. Определяем силы инерции и моменты сил инерции:

$$F_{i2} = -m_2 a_{s2}, \quad F_{i3} = -m_3 a_{s3}, \quad M_{i2} = -J_{s2} \varepsilon_2, \quad M_{i3} = -J_{s3} \varepsilon_3$$

- 4. Расставляем неизвестные реакции во внешних кинематических парах: ( $R_{2,1}, R_{3,0}$ )
- 5. Составляем уравнение равновесия группы в форме сил (начиная с одной неизвестной реакции и заканчивая другой):

$$\vec{R}_{2,1} + \vec{F}_{i2} + \vec{G}_2 + \vec{F}_{i3} + \vec{G}_3 + \vec{F}_u + \vec{R}_{3,0} = 0$$

### Метод планов сил (3)

- 6. Раскладываем неизвестные реакции во внешних вращательных КП на направления вдоль звена и перпендикулярно ему

$$\vec{R}_{2,1} = \vec{R}_{2,1}^n + \vec{R}_{2,1}^t \quad \vec{R}_{3,0} = \vec{R}_{3,0}^n + \vec{R}_{3,0}^t$$

- 7. Переписываем уравнение равновесия, начиная и заканчивая нормальными составляющими неизвестных реакций

$$\vec{R}_{2,1}^n + \vec{R}_{2,1}^t + \vec{F}_{i2} + \vec{G}_2 + \vec{G}_3 + \vec{F}_{i3} + \vec{F}_u + \vec{R}_{3,0}^t + \vec{R}_{3,0}^n = 0$$



### Метод планов сил (4)

- 8. Для звеньев группы, входящих во внешние вращательные пары, составляем уравнения равновесия в форме моментов сил относительно внутренней КП

$$-R_{2,1}^t \cdot L_{BC} + G_2 \cdot h_{G2} - F_{i2} \cdot h_{Fi2} + M_{i2} = 0 \rightarrow$$

$$R_{2,1}^t = \frac{G_2 h_{G2} - F_{i2} h_{Fi2} + M_{i2}}{L_{BC}}$$

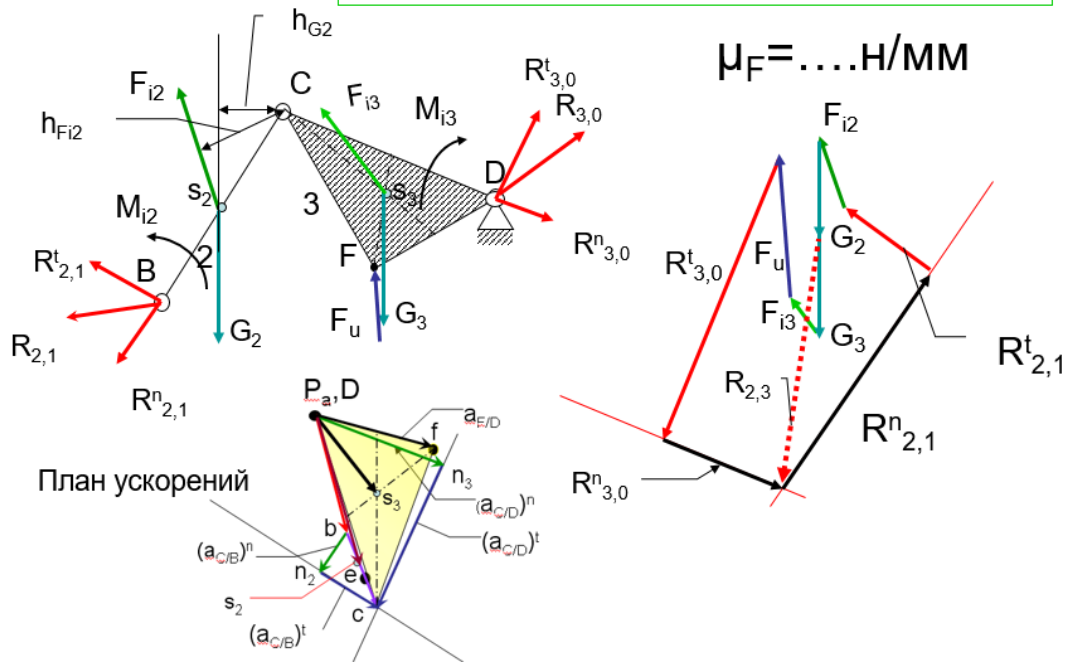
$$R_{3,0}^t \cdot L_{CD} + F_{i3} \cdot h_{Fi3} - G_3 \cdot h_{G3} - F_u \cdot h_{Fu} - M_{i3} = 0 \rightarrow$$

$$R_{3,0}^t = \frac{M_{i3} + G_3 h_{G3} + F_u h_{Fu} - F_{i3} h_{Fi3}}{L_{CD}}$$

## План сил

$$\mu_L = \dots \text{мм/мм}$$

$$\vec{R}_{2,1}^n + \vec{R}_{2,1}^t + \vec{F}_{i2} + \vec{G}_2 + \vec{G}_3 + \vec{F}_{i3} + \vec{F}_u + \vec{R}_{3,0}^t + \vec{R}_{3,0}^n = 0$$



### Метод планов сил (5) Определение реакций во внутренних кинематических парах

- 9. Составляем уравнение равновесия любого звена в форме сил

Зв. 2:  $\vec{R}_{2,1}^n + \vec{R}_{2,1}^t + \vec{F}_{i2} + \vec{G}_2 + \vec{R}_{2,3} = 0$

12

$$\vec{R}_{2,3} = -\vec{R}_{3,2}$$

### Силовой анализ с учетом сил трения

#### • Условие:

Силовой анализ без учета сил трения выполнен – реакции в кинематических парах определены.

11

#### • Действия:

1. Определяем силы трения в поступательных кинематических парах:

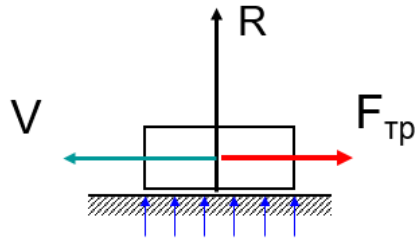
$$F_{\text{тр пост}} = -f \cdot R^{(0)} \rightarrow R \text{ – неизвестная.}$$

2. Определяем моменты сил трения во вращательных КП

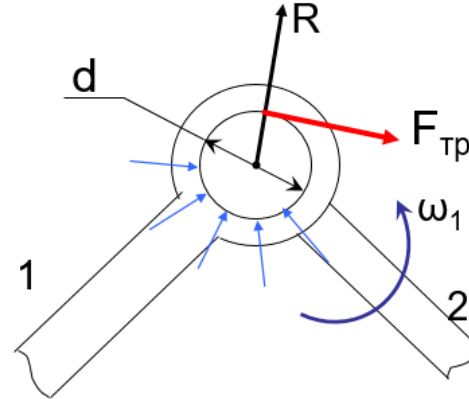
$$M_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} \cdot d/2 = f \cdot R^{(0)} \cdot d/2 \rightarrow R \text{ – неизвестная.}$$

## Силовой анализ с учетом сил трения 2

Поступательная  $P_5$



Вращательная  $P_5$



$$R_{2,1}^n + R_{2,1}^t + F_{i2} + G_2 + G_3 + F_{i3} + F_u + \mathbf{F_{тр}} + R_{3,0}^t + R_{3,0}^n = 0$$