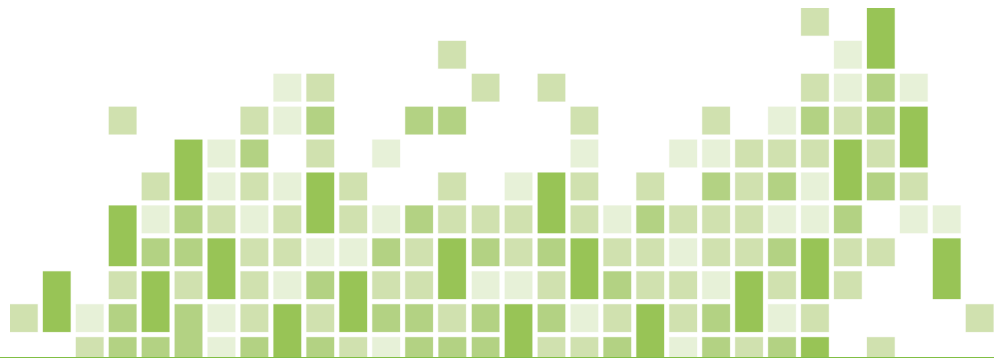




ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



# Метод «рычага Жуковского»

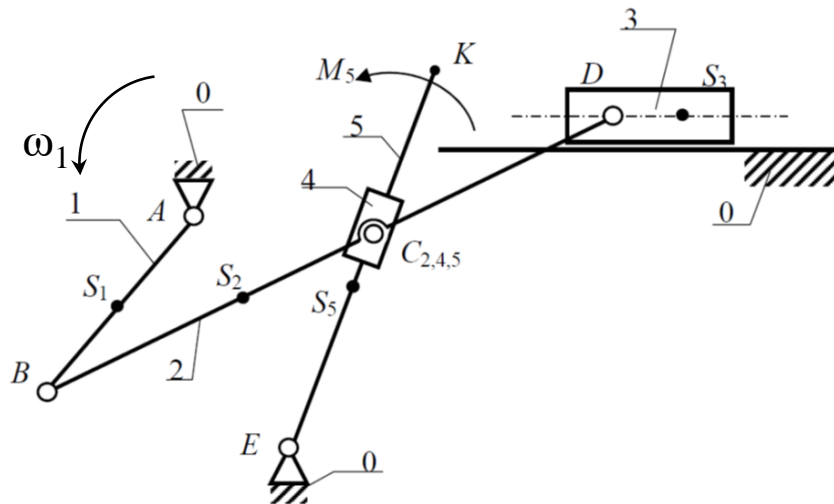
2020

Этот метод позволяет определить величину уравнивающей силы без определения реакций в кинематических парах, т. е. без выполнения силового расчета групп Ассура.

Рычаг Жуковского представляет повернутый на  $90^\circ$  план скоростей, принимаемый как твердое тело, с неподвижной точкой в полюсе, к концам векторов одноименных точек которого приложены внешние силы, в том числе уравнивающая сила. Из условия равновесия этого рычага и определяется величина уравнивающей силы.

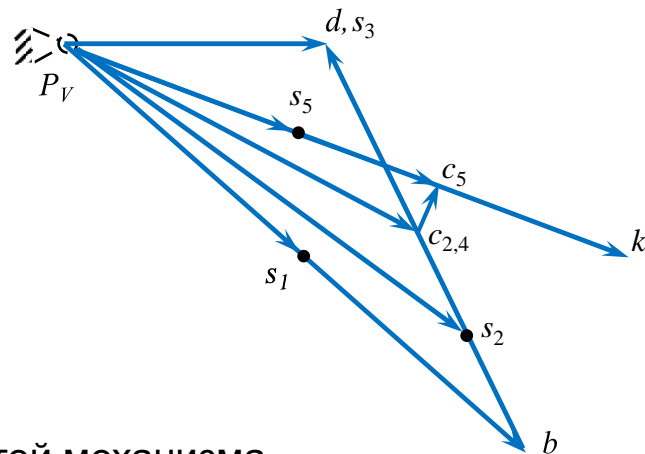
*План скоростей рекомендуется повернуть на  $90^\circ$  против вращения ведущего звена (обычно кривошипа). В этом случае уравнивающая сила будет вращать план скоростей, принятый за твердое тело, в том же направлении, как и действительно вращается начальный механизм и визуального несогласования движения не будет. С точки зрения определения численного значения уравнивающей силы – направление поворота плана скоростей роли не играет.*

Физическая сущность метода «рычага Жуковского» – **мгновенное энергетическое равновесие**. Вся подводимая к механизму мощность посредством уравнивающей силы  $F_b$  равна сумме мощностей всех действующих на механизм сил, включая силы полезного сопротивления, силы трения, силы инерции.



План положений механизма

$$\mu_L = \dots\dots$$



План скоростей механизма

$$\mu_V = \dots\dots$$

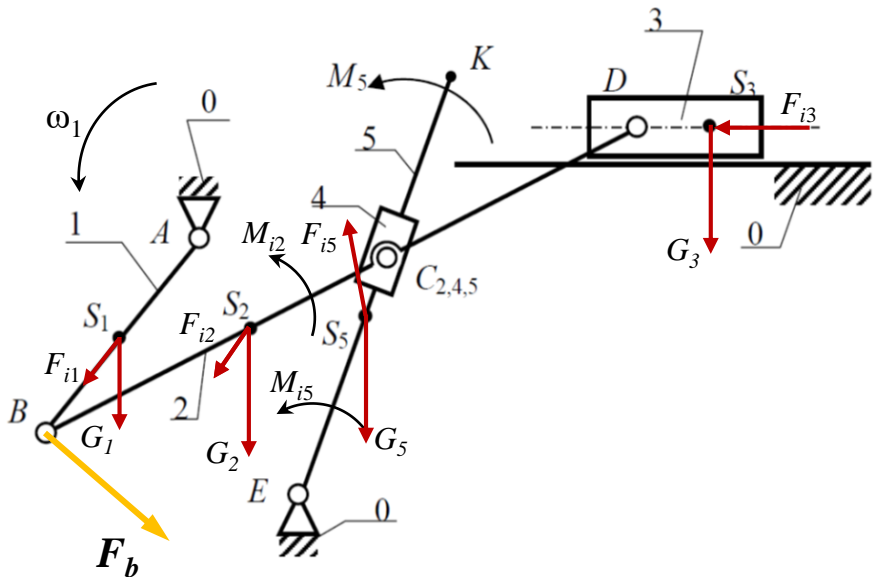
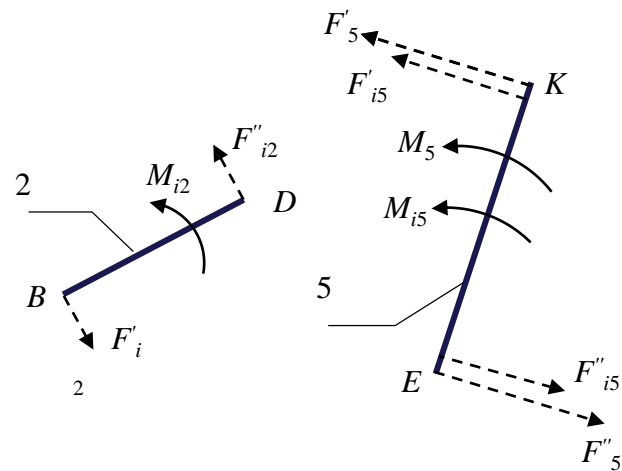


Схема нагружения  
механизма

К замене моментов сил  
инерции силами



Величины сил инерции звеньев:

$$F_{i1} = m_1 \cdot a_{S1} = \dots \text{ Н}$$

$$F_{i2} = m_2 \cdot a_{S2} = \dots \text{ Н}$$

$$F_{i3} = m_3 \cdot a_{S3} = \dots \text{ Н}$$

$$F_{i5} = m_5 \cdot a_{S5} = \dots \text{ Н}$$

где  $a_{S1}$ ,  $a_{S2}$ ,  $a_{S3}$ ,  $a_{S5}$  – ускорения центров масс, определяемые из *плана ускорений*.

Силы тяжести и силы инерции приложены в центрах масс звеньев, т. е. в точках  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_5$ . Силы тяжести всегда направлены к центру Земли, т. е. вертикально вниз. Силы инерции направлены противоположно ускорениям центров масс (это главные векторы сил инерции). Поэтому для большей точности и наглядности на листе, где выполняется силовой расчет, следует привести планы скоростей и ускорений.

$$F'_{i5} = F''_{i5} = \frac{M_{i5}}{l_{KF}},$$

$$F'_5 = F''_5 = \frac{M_5}{l_{KF}},$$

$$F'_{i2} = F''_{i2} = \frac{M_{i2}}{l_{BD}}.$$



Главные моменты сил инерции определяются по формуле

$$M_i = J_S \cdot \varepsilon \quad [\text{Нм}]$$

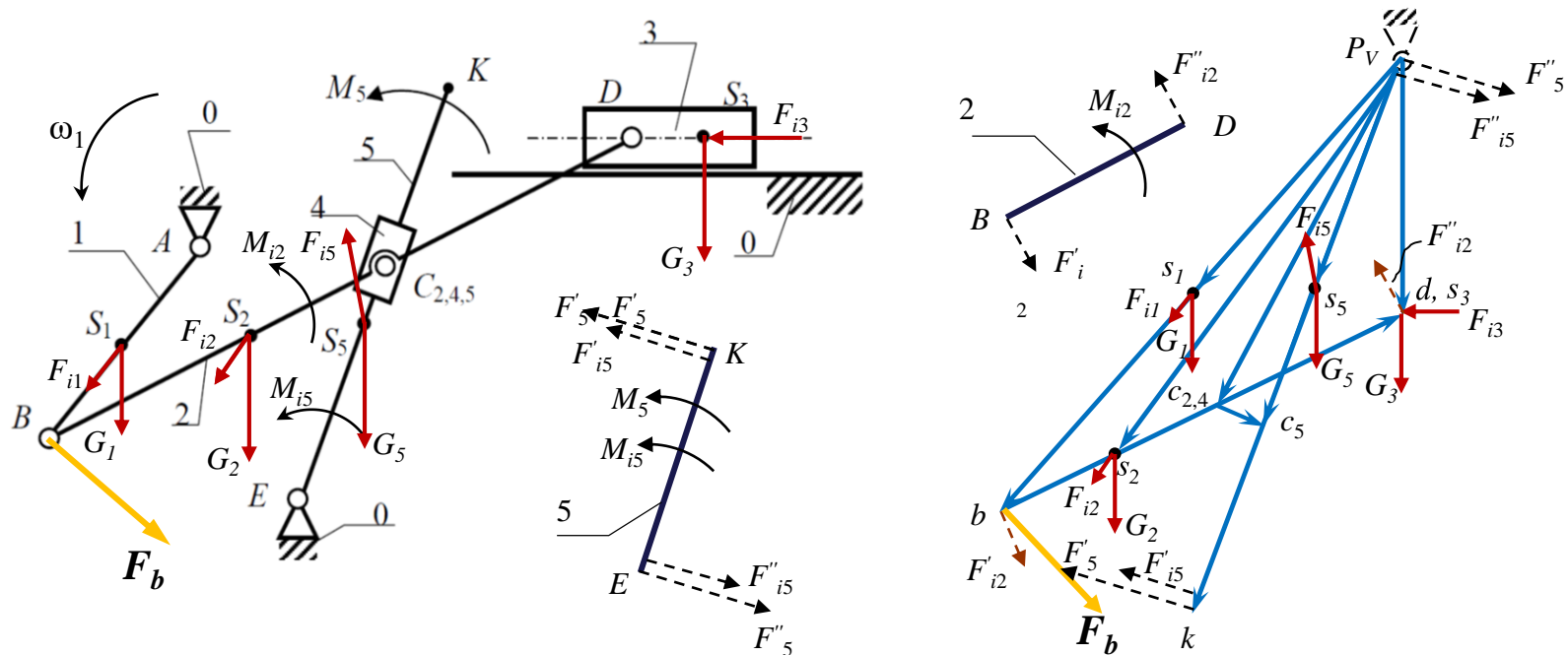
где  $J_S$  – момент инерции массы звена относительно оси, проходящей через центр масс,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$\varepsilon$  – угловое ускорение звена, определенное ранее из кинематического исследования,  $1/\text{с}^2$ .

Моменты сил инерции направлены противоположно угловым ускорениям.

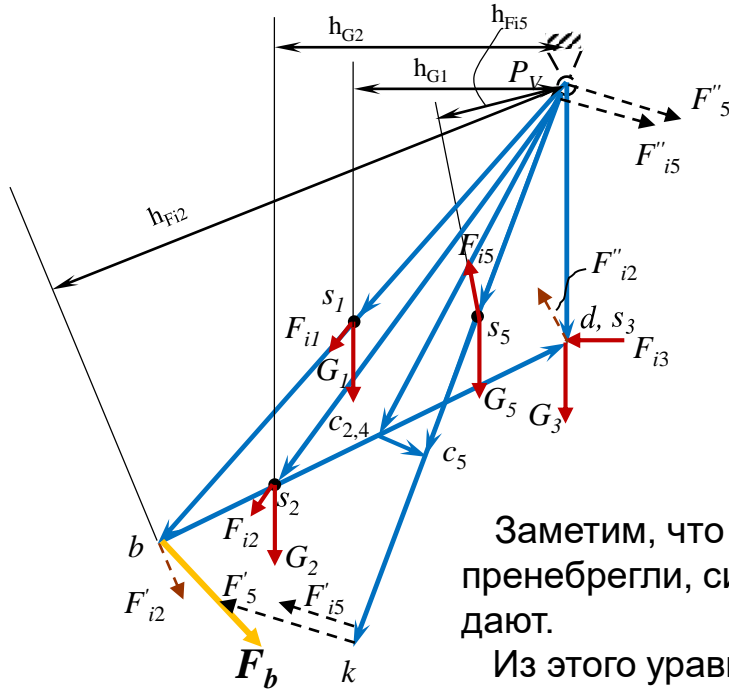
Момент сопротивления  $M_5$ , а также моменты сил инерции  $M_{i5}$  и  $M_{i2}$  звеньев 5 и 2 на рычаге Жуковского заменены парами сил, приложенными в точках К и Е, перпендикулярными звену 5, и силами приложенными в точках В и D перпендикулярно звену 2. Значения этих сил определяются из выражений:

$$F'_{i5} = F''_{i5} = \frac{M_{i5}}{l_{KF}}, \quad F'_5 = F''_5 = \frac{M_5}{l_{KF}}, \quad F'_{i2} = F''_{i2} = \frac{M_{i2}}{l_{BD}}.$$



«Рычаг Жуковского» - повернутый план скоростей  
механизма, - с приложенной нагрузкой  
 $\mu_V = \dots\dots$





Здесь чтобы не загромождать чертёж показаны плечи не всех действующих сил.

Принимая повернутый на  $90^\circ$  план скоростей как твёрдое тело (рычаг), напишем уравнение равновесия

$$M_{P_V} = F_b \cdot p_V b + F_{G_1} \cdot h_{G_1} + F'_{i_2} \cdot h_{Fi_2'} + \\ + F_{G_2} \cdot h_{G_2} - F''_{i_2} \cdot h_{Fi_2''} + F_{G_5} \cdot h_{G_5} - F_{i_5} \cdot h_{G_5} - \\ - (F'_5 + F'_{i_5}) \cdot p_V k + F_{i_2} \cdot h_{Fi_2} - F_{i_3} \cdot p_V d = 0.$$

Заметим, что в данном случае силой тяжести камня кулисы  $G_4$  пренебрегли, сила тяжести  $G_5$ , силы  $F_{i_1}$ ,  $F_5''$  и  $F_{i_5}''$  момента не дают.

Из этого уравнения и определится уравнивающая сила  $F_b$ . (Заметим, что в этом уравнении «плечи» сил могут определяться непосредственно по чертежу.)