

М.В. Горбенко

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ  
ПО ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН**

## Определение величины уравнивающей силы методом рычага Н.Е. Жуковского

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.

*Заметим, что 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 визуальное несогласование 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.

Запишем уравнения баланса мощности:

$$F_b v_B \sin(\widehat{F_b, v_B}) + \sum F_j v_{X_j} \sin(\widehat{F_j, v_{X_j}}) = 0,$$

Но на плане скоростей все абсолютные скорости отображаются вектором, исходящим из полюса, изображенным в масштабном коэффициенте  $\mu_v$ .

$$F_b \mu_v (p_v b) \sin(\widehat{F_b, v_B}) + \sum F_j \mu_v (p_v X_j) \sin(\widehat{F_j, v_{X_j}}) = 0,$$

Сократив обе части уравнения на масштабный коэффициент, получим размерность *сила × длина*. Это может быть работа (если сила и перемещение сонаправлены) или момент силы (сила на плечо действия, в случае, когда сила и полученное расстояние взаимно перпендикулярны). Повернув же план скоростей на  $90^\circ$ , векторы  $p_v X$ , будут векторами точки приложения силы, а их произведения на синусы углов между ними и направлениями действующих сил дадут плечи действия этих сил. Таким образом, уравнения баланса мощностей свелось к условному уравнению равновесия в форме моментов сил, составленному для условного рычага, за который принят повернутый план скоростей.

Рассмотри механизм, для которого выполнялся силовой анализ.

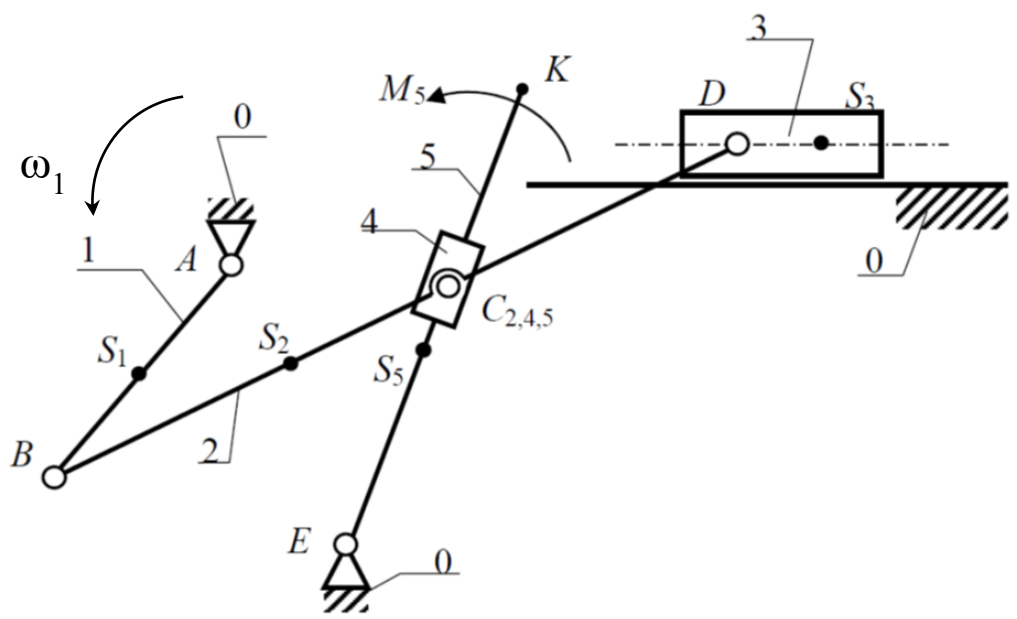


Рис. 4.1 План положений механизма ( $\mu_L = \dots$ ).

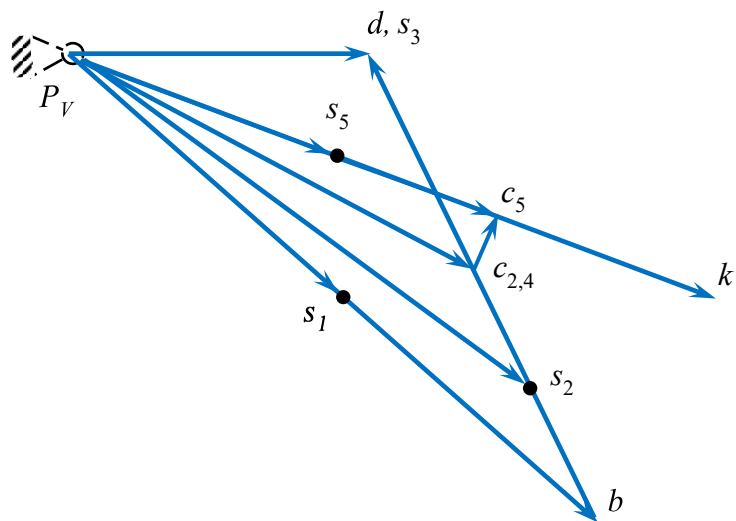


Рис. 4.2. План скоростей ( $\mu_V = \dots \text{ м/(с·мм)}$ )

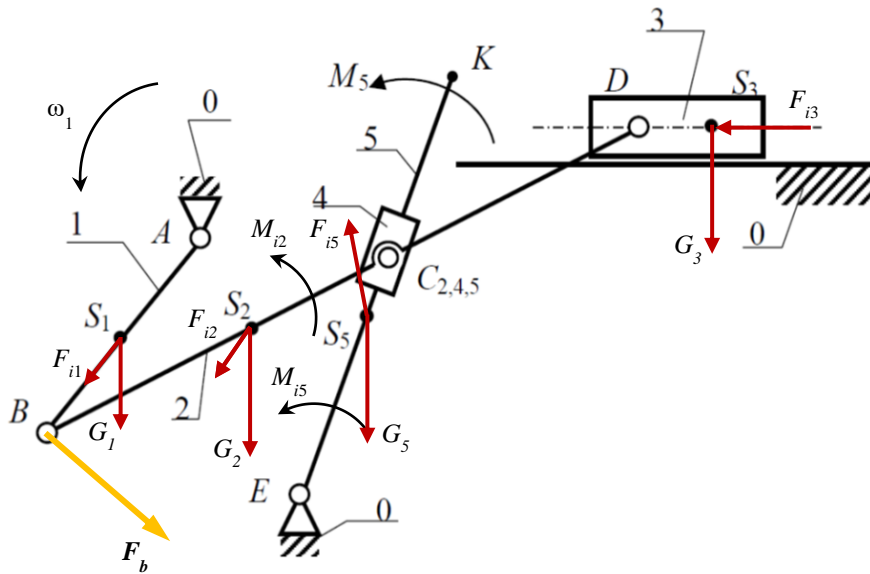


Рис. 4.3. Схема нагружения механизма.

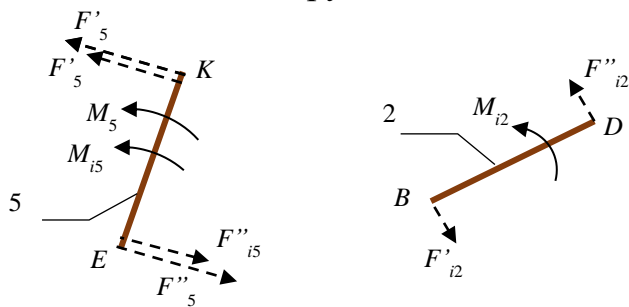


Рис. 4.4. К замене моментов сил инерции парами сил.

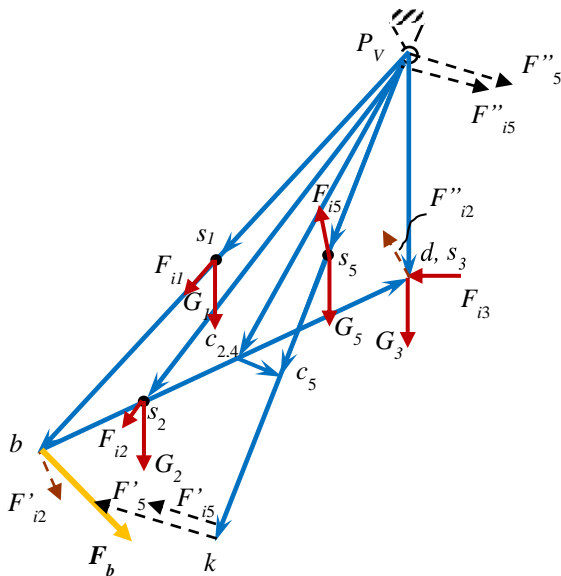


Рис.4.5. «Рычаг Жуковского» - повернутый план скоростей механизма, - с приложенной нагрузкой ( $\mu_v = \dots \text{м/с}\cdot\text{мм}$ )

На рис. 4.5 показан повернутый на  $90^\circ$  план скоростей с приложенными к концам соответствующих векторов внешними силами.

Момент сопротивления  $M_5$ , а также моменты сил инерции  $M_{i5}$  и  $M_{i2}$  звеньев 5 и 2 на рычаге Жуковского заменены парами сил  $F'_5 = -F''_5$ ,  $F'_{i5} = -F''_{i5}$ , приложенными в точках  $K$  и  $E$ , перпендикулярными звену 5, и силами  $F'_{i2} = -F''_{i2}$ , приложенными в точках  $B$  и  $D$  перпендикулярно звену 2 (рис. 4.1,б, в). Значения этих сил определяются из выражений:

$$F'_5 = F''_5 = \frac{M_5}{l_{KF}}, \quad (4.1)$$

$$F'_{i5} = F''_{i5} = \frac{M_{i5}}{l_{KF}}, \quad (4.2)$$

$$F'_{i2} = F''_{i2} = \frac{M_{i2}}{l_{BD}}. \quad (4.3)$$

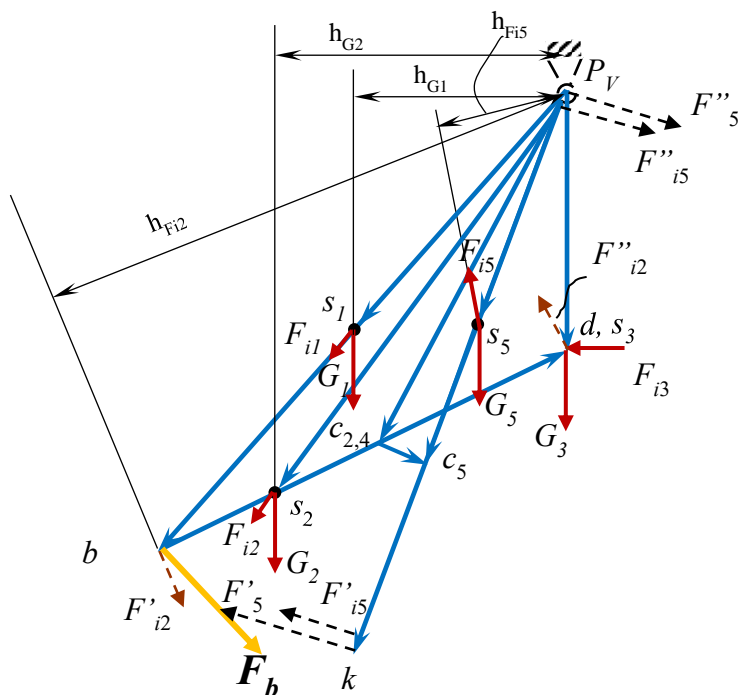


Рис. 4.6. Рычаг Жуковского (чтобы не загромождать чертеж показаны плечи не всех действующих сил).

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

$$M_{P_V} = F_b \cdot p_V b + F_{G1} \cdot h_{G1} + F'_{i2} \cdot h_{Fi2}' + F_{G2} \cdot h_{G2} - F''_{i2} \cdot h_{Fi2}'' + \\ + F_{G5} \cdot h_{G5} - F_{i5} \cdot h_{G5} - (F'_5 + F'_{i5}) \cdot p_V k + F_{i2} \cdot h_{Fi2} - F_{i3} \cdot p_V d = 0. \quad (4.4)$$

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

Расхождения в значениях величины уравновешивающей силы, полученных из плана сил и рычага Жуковского, определяемые по формуле

$$\Delta F_b = \frac{F_b^{\text{пл}} - F_b^{\text{ж}}}{F_b^{\text{пл}}} \cdot 100 \%, \quad (4.5)$$

обычно не превышают 5...7 %.

Результаты определения реакций в кинематических парах и уравновешивающей силы удобно свести в таблицу.

### Контрольные вопросы

1. Когда целесообразно применять метод «рычага Жуковского»?
2. В чем суть метода «рычага Жуковского»?