

Лекция № 11. Необходимость и методы уравнивания двс

1. Условия уравнивания двигателя.
2. Метод Ланчестера при уравнивании.
3. Методы уравнивания многоцилиндровых рядных двигателей

1. Условия уравнивания двигателя.

ДВС условно уравнивается, если обеспечены:

- статическое уравнивание (балансировка);
- равномерность регулировок систем и механизмов по цилиндрам;
- динамическое уравнивание сил инерции:

$$\left. \begin{array}{l} \text{а) } \sum P_{j1} = 0; \sum M_{P_{j1}} = 0; \\ \text{б) } \sum P_{j2} = 0; \sum M_{P_{j2}} = 0; \\ \text{в) } \sum P_c = 0; \sum M_{P_c} = 0; \end{array} \right\} \quad (11-1)$$

Полное уравнивание двс практически невозможно ввиду действия обратного момента от нормальной силы N , приведенной к оси поршневого пальца.

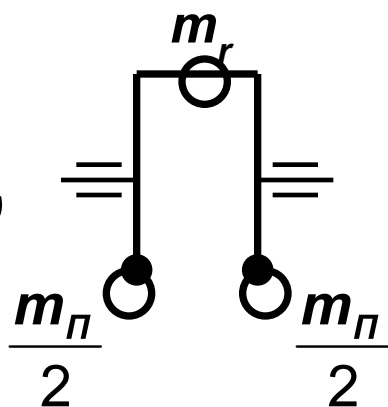
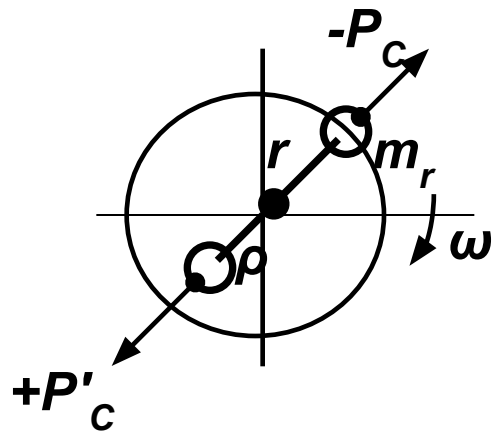
Способы уравнивания двс:

- рациональный выбор числа и расположения цилиндров, схемы коленчатого вала;
- установка противовесов.

Методы уравнивания двс:

- обеспечение равномерного чередования рабочих ходов;
- самоуравнивание КШМ;
- оптимальное расположение противовесов;
- перевод направления действия сил инерции из вертикальной в горизонтальную плоскость.

Уравнивание P_c противовесами:

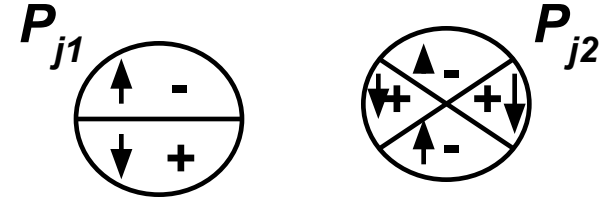


$$\left. \begin{aligned} P_c &= -m_r \cdot \omega^2 \cdot r \\ P'_c &= -m_{\Pi} \cdot \omega^2 \cdot \rho \end{aligned} \right\} (11-2)$$

$$m_{\Pi 1} = \frac{m_r \cdot r}{\rho} \quad (11-3)$$

m_{Π} - масса противовеса определяется с учетом конструктивного выбора ρ .

Частичное уравнивание P_{j1} противовесами



$m_{\Pi 1}$ - дополнительная масса
противовеса для силы P_{j1} ,

$m_2 = m_{\Pi} + m_{\Pi 1}$ - суммарная масса
для уравнивания сил P_c и P_{j1} '

$$P_c' = m_{\Pi} \omega^2 \rho; P_{c1} = m_{\Pi 1} \omega^2 \rho. \quad (11-4)$$

$$\left. \begin{aligned} P_{c1}^e &= m_{\Pi 1} \cdot \omega^2 \cdot \rho \cdot \cos \alpha \\ P_{c1}^r &= m_{\Pi 1} \cdot \omega^2 \cdot \rho \cdot \sin \alpha \end{aligned} \right\} (11-5)$$

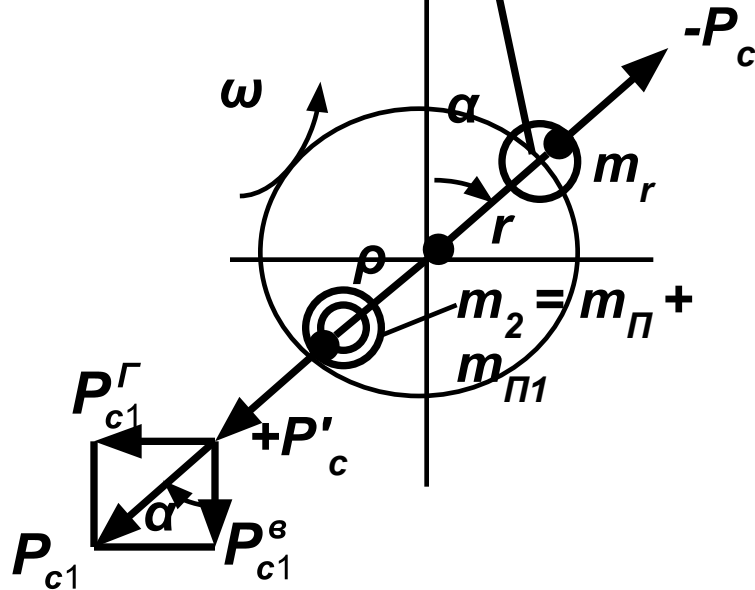
Дополнительная масса $m_{\Pi 1}$
определяется из условия

$$-P_{j1} = P_{c1}^e, \quad (11-6)$$

$$m_{\Pi 1} = \frac{m_1 \cdot r}{\rho}. \quad (11-7)$$

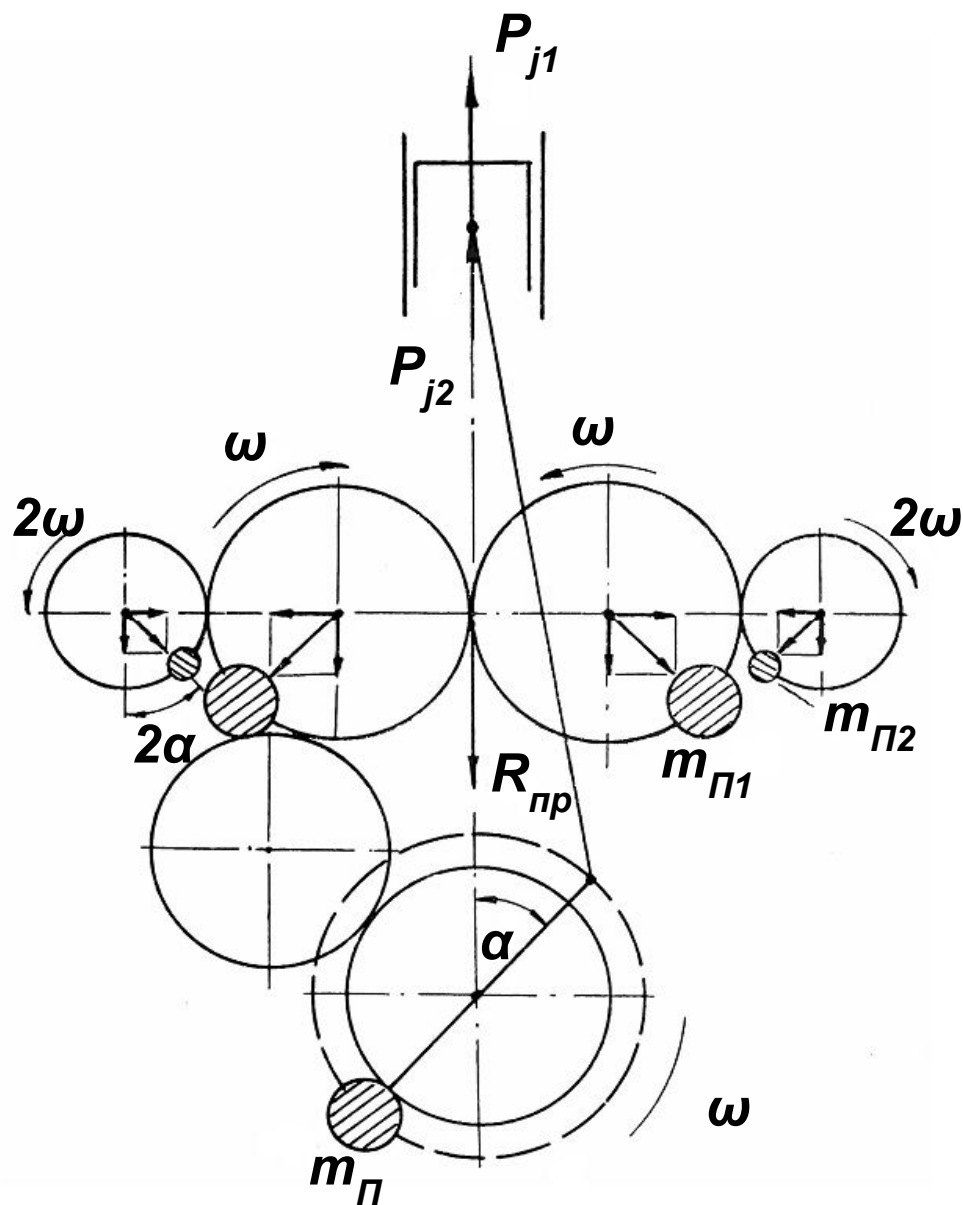
$$P_{j1} = -m_1 \omega^2 \cdot r \cos \alpha$$

$$P_{j2} = -m_1 \omega^2 \cdot r \lambda \cos 2\alpha$$



Неуравновешенная P_{c1}^r сила раскачивает двигатель
в горизонтальной плоскости.

2. Метод Ланчестера при уравнивании одноцилиндрового двигателя.



Противовесы на щеках коленвала m_{Π} уравнивают центробежную силу P_c т.е. $\Sigma P_c = 0$.

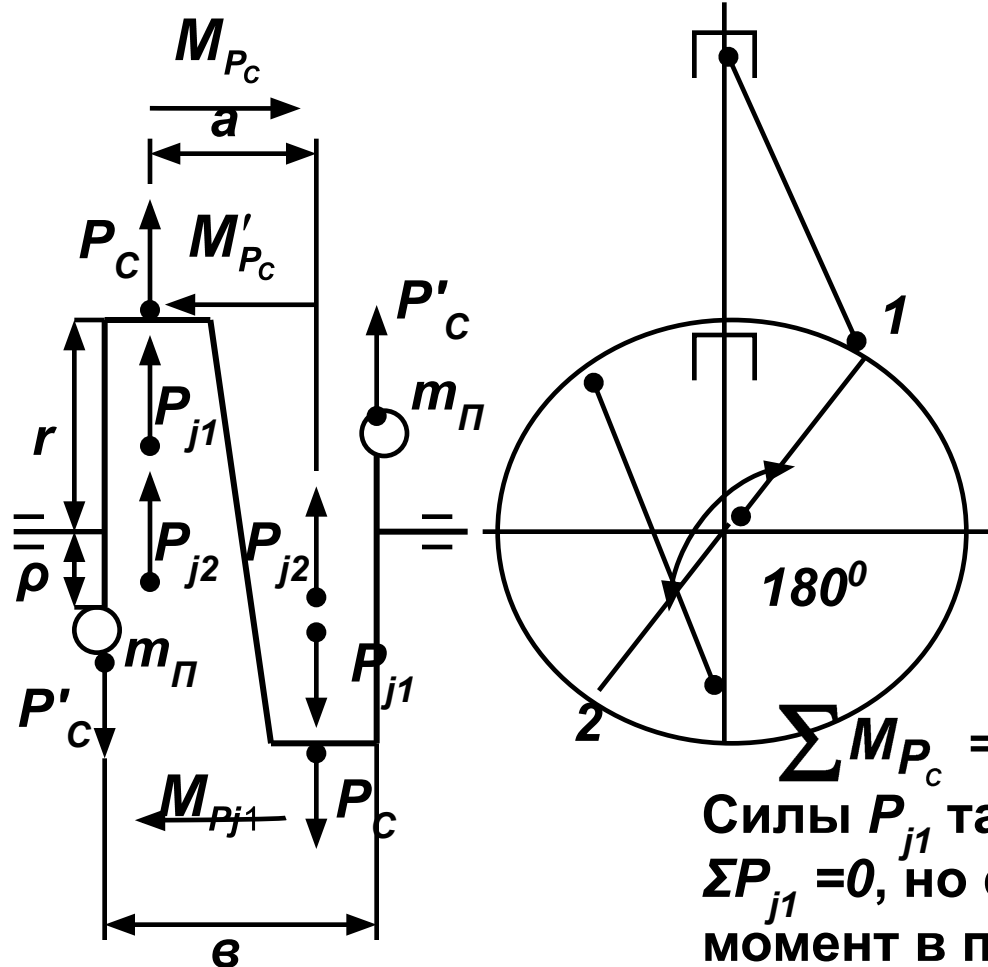
Противовесы $m_{\Pi 1}$ на дополнительных валах при угловой скорости ω уравнивают P_{j1} , т.е. $\Sigma P_{j1} = 0$.

Противовесы $m_{\Pi 2}$ на дополнительных валах при угловой скорости 2ω уравнивают P_{j2} , т.е. $\Sigma P_{j2} = 0$.

Моменты от действия сил инерции в одноцилиндровом двигателе не возникают.

3. Методы уравнивания многоцилиндровых рядных двигателей

3.1. Двигатель Р-2.



Силы P_c двух цилиндров взаимно уравниваются $\Sigma P_c = 0$, однако создают момент

$$M_{P_c} = m_r \cdot \omega^2 \cdot r \cdot a. \quad (11-4)$$

Установкой противовесов m_{π} создается момент

$$M'_{P_c} = -m_{\pi} \cdot \omega^2 \cdot \rho \cdot v. \quad (11-5)$$

Тогда $\Sigma M_{P_c} = 0$, т.е.

$$\Sigma M_{P_c} = m_r \cdot \omega^2 \cdot r \cdot a - m_{\pi} \cdot \omega^2 \cdot \rho \cdot v = 0$$

Силы P_{j1} также взаимно уравниваются $\Sigma P_{j1} = 0$, но создают опрокидывающий момент в плоскости осей цилиндров

$$M_{P_{j1}} = P_{j1} \cdot a. \quad (11-6)$$

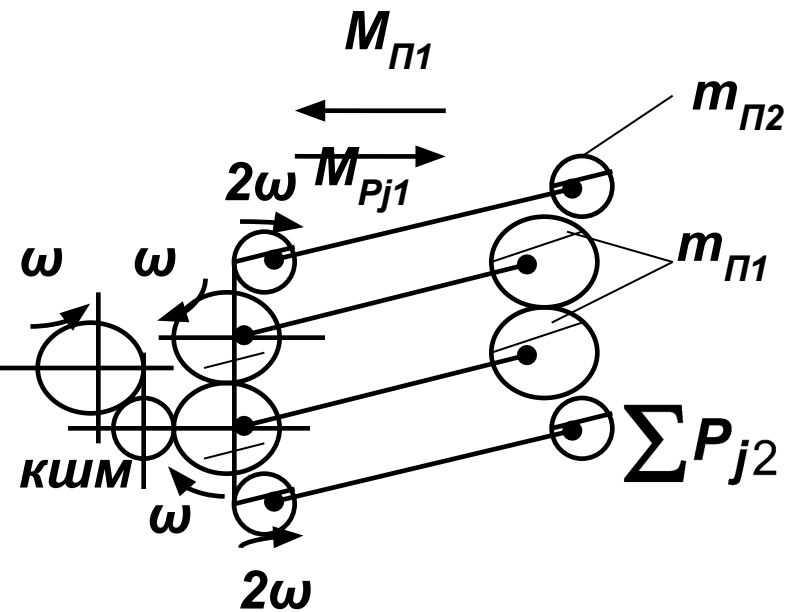
Силы P_{j2} , изменяясь синхронно, складываются

$$\Sigma P_{j2} = -2m_1 \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \lambda \cdot \cos 2\alpha \quad (11-7)$$

и раскачивают двигатель в вертикальной плоскости.

[11-5]

Уравновешивание опрокидывающего момента M_{Pj1} и раскачивание двигателя силами P_{j2} в вертикальной плоскости возможно методом Ланчестера, т.е. установкой противовесов на дополнительных валах.



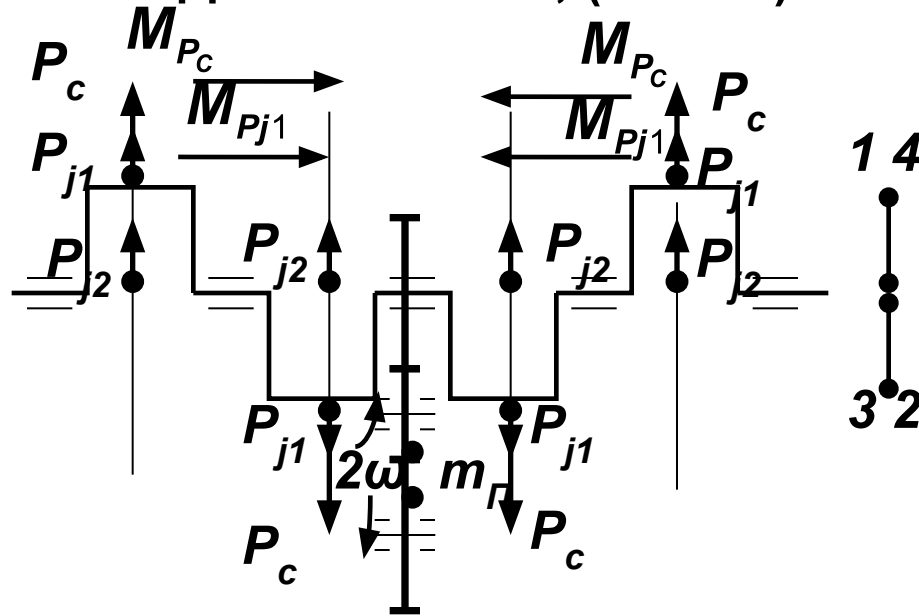
$$\sum P_{j2} = -2P_{j2} + 2m_{П2}\omega^2\rho \cdot \lambda \cdot \cos 2\alpha = 0. \quad (11 - 8)$$

При этом противовесы должны создавать $-M_{П1} = M_{Pj1}$, обеспечивая выполнение условия $\sum M_{Pj1} = 0$, а также противодействовать раскачиванию двигателя силами P_{j2} обеспечивая равенство

Ввиду сложности конструктивного исполнения метода Ланчестера уравновешивание двухцилиндрового

рядного двигателя практически ограничивается установкой противовесов на щеках коленчатого вала или в форме приливов на маховике и шкиве привода вентилятора. Иногда массу увеличивают для частичного перевода действия силы P_{j1} в горизонтальную плоскость.

3.2. Двигатель Р-4, (1-3-4-2).



Реализация условий
уравновешенности:

- а) $\sum P_{j1} = 0; \sum M_{Pj1} = 0;$
 б) $\sum P_{j2} = -4m_1\omega^2 r \cdot \lambda \cdot \cos 2\alpha;$
 $\sum M_{Pj2} = 0.$
 в) $\sum P_c = 0; \sum M_{Pc} = 0;$

Зеркальное расположение кривошипов через 180° обеспечивает самоуравновешивание по силам P_{j1} и P_c , а сумма сил P_{j2} раскачивает двигатель в вертикальной плоскости.

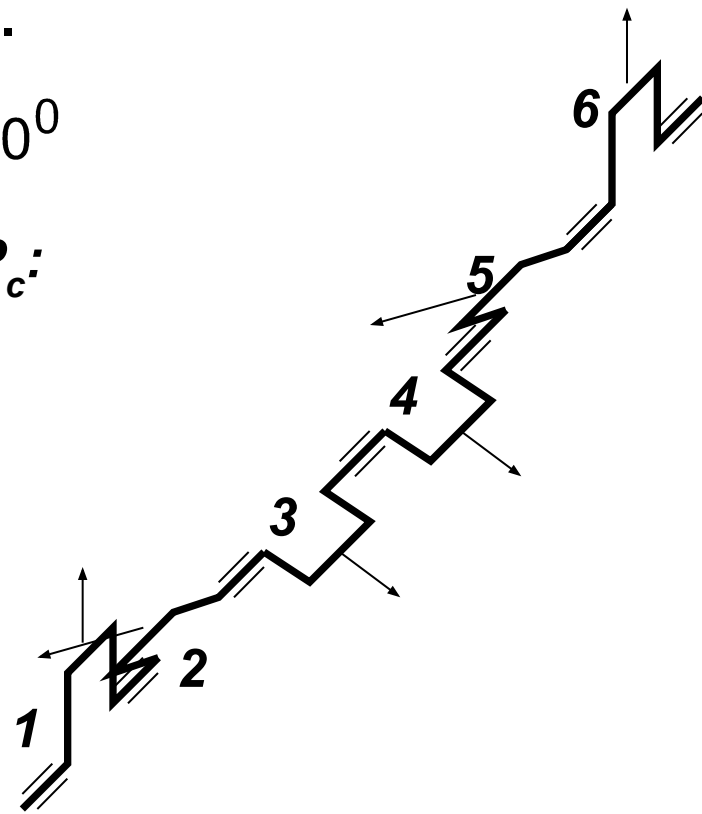
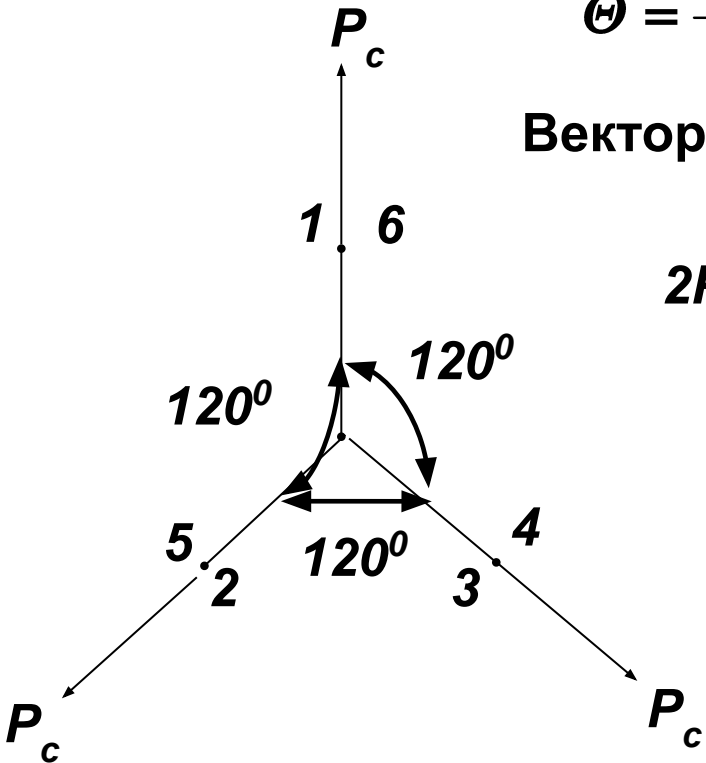
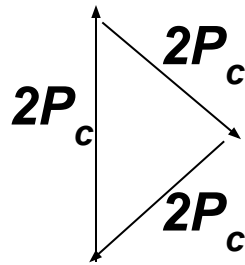
Практически уравновешивание достигается:

- выбором формы коленвала;
- установкой противовесов на щеках коленвала для снижения изгибающих моментов и нагрузок на коренные подшипники;
- иногда противовесами на дополнительных шестернях для сил P_{j2} (например двигатель А-41)

3.3. Двигатель Р-6, (1-5-3-6-2-4).

$$\Theta = \frac{720^0}{6} = 120^0$$

Векторы силы P_c :



Зеркальное расположение кривошипов через 120^0 и равномерное чередование рабочих ходов обеспечивает полное самоуравновешивание сил P_{j1} , P_{j2} , P_c и создаваемых ими моментов.

С целью разгрузки коренных подшипников от изгибающих моментов устанавливаются противовесы на щеках коленвала.