

Кондратова Елена Васильевна, доцент,
Черноморское высшее военно-морское училище им. П.С. Нахимова

ДИНАМИЧЕСКИЙ СИЛОВОЙ РАСЧЕТ КУЛАЧКОВОГО МЕХАНИЗМА С ПОСТУПАТЕЛЬНО-ДВИЖУЩИМСЯ ТОЛКАТЕЛЕМ

Аннотация. В статье рассматривается силовой расчет кулачкового механизма. Проведен динамический расчет, определено угловое ускорение ролика поступательно-движущегося толкателя и сделано сравнение с кинематическим анализом того же кулачкового механизма.

Ключевые слова: Кулачковый механизм, силовой расчет, угловое ускорение ролика, уравнения равновесия.

При кинематическом анализе кулачкового механизма было получено угловое ускорение ролика ε_k .

Угловое ускорение ролика можно получить из динамического исследования. На примере кулачкового механизма (рис. 1) с вращающимся кулачком и поступательно-движущимся толкателем произведем динамическое исследование.

Кулачок 1, вращаясь по часовой стрелке, заставляет толкатель 3 с роликом 2 двигаться вверх. Основные размеры кулачкового механизма указаны на рисунке 1. Пусть на толкатель действует вдоль оси суммарная сила $\bar{Q}_3$, учитывающая силу веса, силу инерции, натяжение пружины и пр. Для того, чтобы не было размыкания толкателя с кулачком, сила $\bar{Q}_3$ должна быть направлена вниз. Кроме силы $\bar{Q}_3$ на толкатель будут действовать следующие силы: $\bar{R}_{23}$ – сила, действующая со стороны ролика 2 и касательная к кругу трения в точке B шарнира и с радиусом ρ_{23} ; $\bar{N}'_{03}$ и $\bar{F}'_{03}$ – нормальная реакция и сила трения, возникающая в опоре C' ; $\bar{N}''_{03}$ и $\bar{F}''_{03}$ – нормальная реакция и сила трения, возникающая в опоре C'' . Между нормальными реакциями и силами трения имеем следующие соотношения:

$$F'_{03} = f_{03} \cdot N'_{03} \quad (1)$$

$$F''_{03} = f_{03} \cdot N''_{03} \quad (2)$$

где f_{03} – коэффициент трения в поступательной паре.



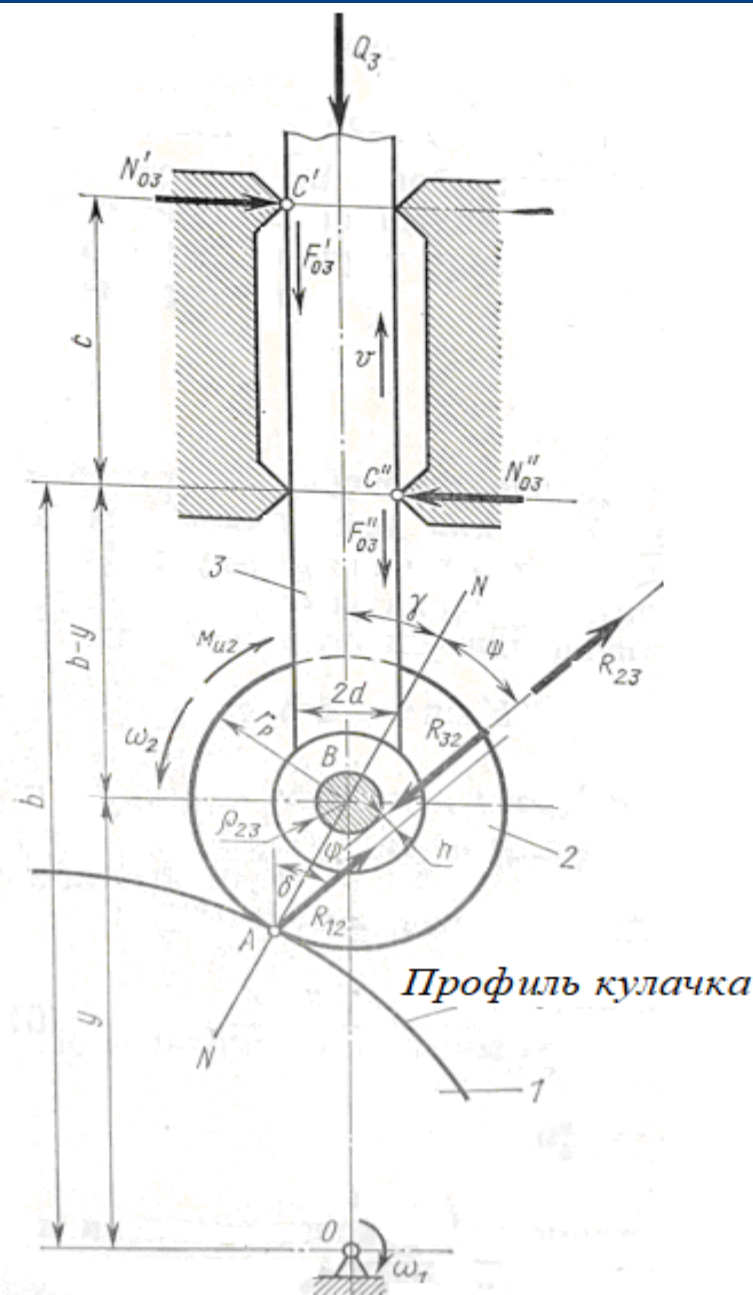


Рисунок 1. Кулачковый механизм

В качестве допущения силу веса $\bar{G}_2$ и силу инерции $\bar{P}_{u2}$ в поступательном движении ролика 2 учтем вместе с силой $\bar{Q}_3$, действующей на толкатель 3, и обозначим их $\bar{Q}_3 = \bar{G}_2 + \bar{P}_{u2}$. Тогда на ролик 2 будут действовать следующие две силы и момент: $M_{u2} = -I_2 \cdot \varepsilon_2$ – инерционный момент, направленный против углового ускорения ε_2 ролика 2 и появляющийся вследствие неравномерного вращения ролика относительно его центра тяжести B; $\bar{R}_{32} = -\bar{R}_{23}$ – сила, действующая со стороны толкателя 3 и касательная круга трения с центром в точке B; $\bar{R}_{12}$ – сила, действующая со стороны кулачка и направленная под углом трения ψ к нормали NN профиля кулачка.



Так как на ролик действуют только две силы $\bar{R}_{32}$ и $\bar{R}_{12}$, то

$$\bar{R}_{32} = -\bar{R}_{12}, \quad (3)$$

и линии действия этих сил должны быть параллельны. Силы $\bar{R}_{32}$ и $\bar{R}_{12}$ представляют собой пару сил. Момент этой пары равен инерционному моменту по величине и противоположен по знаку

$$M_{u2} = -R_{12} \cdot h = -R_{32} \cdot h, \quad (4)$$

где плечо пары (рис.1)

$$h = r_p \sin \psi - \rho_{23}. \quad (5)$$

Поэтому

$$M_{u2} = -R_{12}(r_p \sin \psi - \rho_{23}). \quad (6)$$

Проведем оси координат: ось y – вдоль вертикальной оси толкателя и ось x – горизонтально. Напишем уравнения равновесия сил и моментов, действующих вместе на толкатель и ролик. Сумма проекций всех сил на ось x :

$$\sum x = N'_{03} - N''_{03} + R_{12} \sin \delta = 0, \quad (7)$$

где $\delta = \gamma + \psi$. Сумма проекций всех сил на ось y :

$$\sum y = f_{03}N'_{03} + f_{03}N''_{03} - R_{12} \cos \delta + (Q_3 + Q_2) = 0. \quad (8)$$

Сумма моментов всех сил относительно центра B ролика:

$$\sum M_B = N'_{03}(c + b + y) - f_{03}N'_{03}d - N''_{03}(b - y) + f_{03}N''_{03}d - R_{12}r_p \sin \psi + I_2 \varepsilon_2 = 0,$$

или после преобразований

$$\sum M_B = N'_{03}(c + b + y - f_{03}d) - N''_{03}(b - y + f_{03}d) - R_{12}r_p \sin \psi + I_2 \varepsilon_2 = 0. \quad (9)$$

Обозначим $j = b - y - f_{03}d$. Тогда на основании этого уравнение (9) примет вид:

$$\sum M_B = N'_{03}(c + b + y - f_{03}d) - N''_{03}j - R_{12}r_p \sin \psi + I_2 \varepsilon_2 = 0. \quad (10)$$

Решая совместно уравнения (7) и (8), получим:

$$N'_{03} = \frac{R_{12}(\cos \delta - f_{03} \sin \delta)}{2 f_{03}} - \frac{Q_3 + Q_2}{2 f_{03}}; \quad (11)$$

$$N''_{03} = \frac{R_{12}(\cos \delta + f_{03} \sin \delta)}{2 f_{03}} - \frac{Q_3 + Q_2}{2 f_{03}}. \quad (12)$$

Значение $\bar{N}'_{03}$ и $\bar{N}''_{03}$ из уравнений (11) и (12) подставляем в уравнение (9) и после преобразований получим

$$R_{12}[c \cos \delta - f_{03}(c + 2j) \sin \delta - 2 f_{02}r_p \sin \psi] - (Q_3 + Q_2)c + 2 f_{03}I_2 \varepsilon_2 = 0. \quad (13)$$

Из уравнения (6) определяем

$$R_{12} = \frac{M_{u2}}{r_p \sin \psi - \rho_B} = \frac{I_2 \varepsilon_2}{r_p \sin \psi - \rho_B} \quad (14)$$

и значение $\bar{R}_{12}$ подставляем в уравнение (13):

$$\frac{I_2 \varepsilon_2}{r_p \sin \psi - \rho_B} [c \cos \delta - f_{03}(c + 2j) \sin \delta - 2 f_{02}r_p \sin \psi] - (Q_3 + Q_2)c + 2 f_{03}I_2 \varepsilon_2 = 0,$$

откуда получим

$$I_2 \varepsilon_2 \left[\frac{c \cos \delta - f_{03}(c + 2j) \sin \delta - 2 f_{02}r_p \sin \psi}{r_p \sin \psi - \rho_{23}} + 2 f_{03} \right] = (Q_3 + Q_2)c$$



или

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_{2Д} = \frac{(Q_3 + Q_2)c(r_p \sin \psi - \rho_{23})}{I_2[c \cos \delta - f_{03}(c + 2j) \sin \delta + 2 f_{03} \rho_{23}]} . \quad (15)$$

Из уравнения (15) можно получить угловое ускорение $\varepsilon_{2Д}$ при динамическом силовом расчете.

Выводы

При отсутствии проскальзывания ролика по профилю кулачка необходимо, чтобы угловое ускорение $\varepsilon_{2Д}$ из уравнения (15) было меньше, чем угловое ускорение $\varepsilon_{2К}$, полученное при кинематическом анализе кулачкового механизма с поступательно-движущимся толкателем: $\varepsilon_{2Д} < \varepsilon_{2К}$.

Список литературы:

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – Москва: Альянс, 2008. – 640 с.
2. Кожевников С. Н. Механизмы: справочник / С. Н. Кожевников, Я. И. Есипенко, Я. М. Раскин; под ред. С. Н. Кожевникова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1976. – 784 с.
3. Зинovieв В.А. Курс теории механизмов и машин – Москва: Наука, 1975. – 640 с.

