

## Практическое занятие 5

### РАСЧЕТ ОЖИДАЕМОГО УРОВНЯ ВИБРАЦИИ АД, ВОЗБУЖДАЕМОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ СИЛАМИ

*Постановка задачи.* Для расчета уровней вибрации конструкции, на которую действуют вынуждающие силы, необходимо разработать модель механических колебаний системы. Такая модель формализует представление механизма в виде одномассовой системы и учитывает особенности его крепления к неподвижному фундаменту. На рис 7.1 представлены модели колебаний при действии момента и радиальной силы. Пульсирующий момент и радиальная электромагнитная сила вызывают крутильные колебания невращающихся частей механизма и радиальные перемещения статора АД.

*Исходные данные.* Амплитуда пульсирующего момента  $M(t)$ , Н·м; амплитуда радиальной электромагнитной силы, действующей на единицу площади,  $P$ , Н; угловая частота пульсирующего момента  $\omega_m$ , рад/с; угловая частота радиальной силы  $\omega_p$ , рад/с.

Массогабаритные характеристики АД: масса статора  $M_{st}$ , кг; модуль упругости материала статора  $E$ , Н/м<sup>2</sup>; радиус внутреннего статора  $R_B$ , м; радиус наружный статора  $R_H$ , м; высота спинки статора  $h$ , м; длина статора  $l$ , м; средний радиус спинки статора  $R_c$ , м.

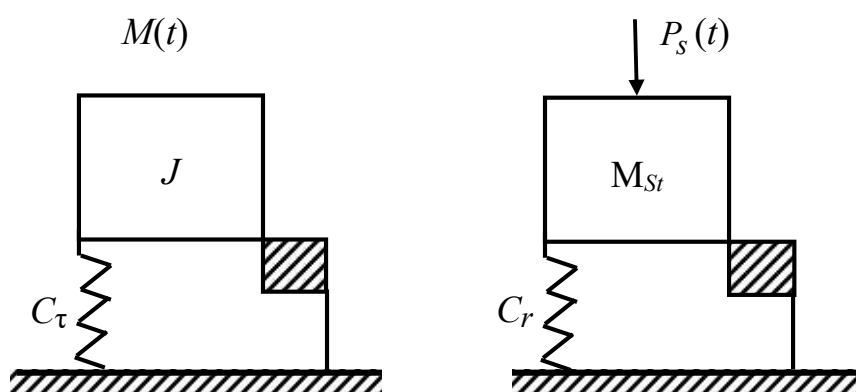


Рис 7.1

Характеристики крепления АД к неподвижному фундаменту: коэффициенты жесткости виброизоляторов в направлении осей  $Y$  и  $Z$  – соответственно  $C_y$  и  $C_z$ , Н/м; расстояние между амортизаторами  $R_a$ , м; ко-

ээффициент механического сопротивления поступательному движению  $R_r$ ; количество амортизаторов  $n$ ; угол между направлением действия силы с осью  $Z - \psi, \dots^\circ$ .

*Требуется найти* : Амплитуды колебания АД от действия приложенных момента и силы  $Z_m, Z_p$  и соответствующие уровни колебаний  $L_m, L_p$ .

*Алгоритм расчета:*

Расчет ожидаемых уровней колебаний от действия пульсирующего момента  $M(t)$ . Момент инерции статора вместе с корпусом и присоединенными массами:

$$J = 0,5 M_{st} (R_B^2 + R_H^2).$$

Коэффициент жесткости виброизоляторов в направлении действия тангенциальной силы:

$$C_a = \frac{C'_y C'_z}{\sqrt{(C'_z \sin \psi)^2 + (C'_y \cos \psi)^2}},$$

где  $C'_y = n C_y, C'_z = n C_z$ .

Коэффициенты жесткости и сопротивления виброизоляторов крутильным колебаниям соответственно:

$$C_\tau = C_a R_H^2; K_\tau = \alpha \sqrt{C_\tau J},$$

где  $\alpha = 0,1 \dots 0,2$  – коэффициент демпфирования.

Амплитуда угловых виброперемещений статора АД при действии на него, пульсирующего момента:

$$\gamma = \frac{M(t)}{\sqrt{(C_\tau - J\omega^2)^2 + (K_\tau \omega)^2}}.$$

Амплитуда линейных виброперемещений лапы АД в направлении оси  $Z$  :

$$Z_m = 0,5 R_a \gamma \cos \psi.$$

Уровень ожидаемой вибрации лапы АД, возбуждаемой пульсирующем моментом на частоте  $\omega_m$ , дБ:

$$L_m = 20 \lg \frac{Z_m \omega_m^2}{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 10^{-4}}.$$

Расчет ожидаемых уровней вибрации от действия радиальных электромагнитных сил. Колебания статора рассматриваются в плоскости сечения

кольца и характеризуются порядком колебаний  $r$ . Коэффициент жесткости кольца статора:

$$C_r = \frac{r^2(r^2 - 1)^2}{r^2 + 1} \frac{2\pi E l h^2}{12 R_c^3}, \quad r \geq 2.$$

Амплитуда радиальной электромагнитной силы, приложенной к полной поверхности статора:

$$P_s = 2\pi R_b l P.$$

Амплитуда радиальных перемещений статора при действии на него радиальной электромагнитной силы:

$$Z_p = \frac{P_s}{\sqrt{\left(C_r - M_{st} \omega_p^2\right)^2 + \left(R_r \omega_p\right)^2}}.$$

Уровень колебаний лапы АД от действия радиальной силы на частоте  $\omega_p$ :

$$L_p = 20 \lg \frac{Z_p \omega_p^2}{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 10^{-4}}.$$

*Пример расчета.* Данные по вынуждающим силам и моментам взяты из предыдущих расчетов. Численные значения исходных данных следующие:  $M(t) = 2,03 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;  $\omega_p = \omega_m = 2\pi \cdot 100 \text{ рад/с}$ ;  $P = 20128 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$ ;  $h = 0,018 \text{ м}$ ;  $l = 0,08 \text{ м}$ ;  $R_c = 0,07 \text{ м}$ ;  $M_{st} = 40 \text{ кг}$ ;  $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$ ;  $R_b = 0,05 \text{ м}$ ;  $R_H = 0,1 \text{ м}$ ;  $C_z = 0,65 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$ ;  $C_y = 0,35 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$ ;  $R_a = 0,2 \text{ м}$ ;  $n = 4$ ;  $r = 2p = 4$ ;  $R_r = 0$ ;  $\psi = 0$ .

Расчет ожидаемых уровней вибрации от действия  $M(t)$ .

$$J = 0,5 \cdot 40(0,05^2 + 0,1^2) = 0,25 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2; \quad C'_z = 4 \cdot 0,65 \cdot 10^6 = 2,6 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1};$$

$$C_a = C'_z = 2,6 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}; \quad C_\tau = 2,6 \cdot 10^{-2} \cdot 10^6 = 2,6 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$K_\tau = 0,1 \sqrt{2,60 \cdot 10^4 \cdot 0,25} = 8,1;$$

$$\gamma = \frac{2,03}{\sqrt{\left(8,6 \cdot 10^4 - 0,25(2\pi \cdot 100)^2\right)^2 + 8,1^2 (2\pi \cdot 100)^2}} = 0,27 \cdot 10^{-4} \text{ рад};$$

$$Z_m = 0,1 \cdot 0,27 \cdot 10^{-4} = 0,27 \cdot 10^{-5} \text{ м}; L_m = 20 \lg \frac{0,27 \cdot 10^{-5} (2\pi \cdot 100)^2}{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 10^{-4}} = 68 \text{ дБ.}$$

Расчет ожидаемых уровней вибрации от действия силы  $P_s$ .

$$C_r = \frac{4^2(4^2 - 1)^2}{4^2 + 1} \frac{2\pi \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,08 \cdot 0,018^3}{12 \cdot 0,07^3} = 2,87 \cdot 10^{10} \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1};$$

$$P_s = 2\pi \cdot 0,05 \cdot 0,08 \cdot P = 2\pi \cdot 0,05 \cdot 0,08 \cdot 20128 = 505,6 \text{ Н};$$

$$Z_p = \frac{505,6}{2,87 \cdot 10^{10} - 40(2\pi \cdot 100^2)} = 1,76 \cdot 10^{-8} \text{ м};$$

$$L_p = 20 \lg \frac{(2\pi \cdot 100)^2 1,76 \cdot 10^{-8}}{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 10^{-4}} = 24 \text{ дБ.}$$

*Варианты для расчета.*

Данные по АД одинаковые для всех вариантов, а значения вынуждающих моментов и сил можно взять из предыдущих расчетов. Необходимо провести исследование влияния исходных параметров на уровень вибрации (например, масса и габаритные размеры АД, частоты и т.д.).