

УДК 625.76.08

Е.А.Мацканюк (бкурс, каф. ПТСМ), Кузьмичев В.А., д.т.н., проф.

### ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ПОДШИПНИКОВ ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЕЙ

Важным узлом, который подвергается большим вибрационным нагрузкам в вибрационных машинах, является узел подшипника. В отличие от подшипников стационарных механизмов в вибрационном механизме подшипник совершает колебания, и центр тяжести его перемещается, например, по круговой траектории. При этом возникают дополнительные силы инерции, которые оказывают влияние на работу отдельных его элементов (сепаратора, тел качения).

Для примера рассмотрим подшипник, совершающий круговые колебания с эксцентриситетом "e" и частотой "ω". Расчетная схема представлена на рис.1. Совместим неподвижную систему координат XOY с центром колебаний, а подвижную систему X<sup>1</sup>O<sup>1</sup>Y<sup>1</sup> с центром подшипника. Рассмотрим перемещение центра тяжести тела качения, условно помещенного в точку (•) А. В процессе работы подшипника тело качения совершает сложное движение, состоящее из переносного плоско-поступального вместе с системой X<sup>1</sup>O<sup>1</sup>Y<sup>1</sup> и относительного вращательного по отношению к этой системе.

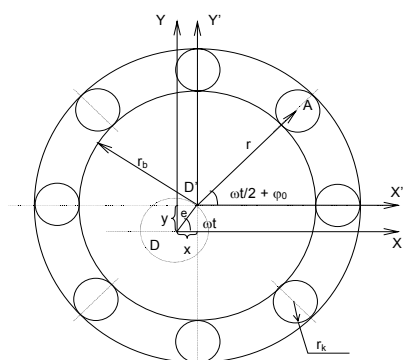


Рис.1. Расчетная схема

Угловая скорость ω<sub>0</sub> относительного движения (•)А определяется по формуле:

$$\omega_0 = \omega r_b / 2(r_b + r_k),$$

где ω- угловая скорость абсолютного движения; r<sub>b</sub>,r<sub>k</sub> - соответственно радиусы внутреннего кольца и тела качения. Полагая, что r<sub>b</sub> >> r<sub>k</sub>, получим ω<sub>0</sub>≅ω/2. Рассмотрение конструкций различных подшипников показывает, что в этом случае погрешность расчетов не превышает 15%.

Запишем уравнение движения (•) А в проекциях на оси координат XOY:

$$x = e \cos \omega t + r \cos(\omega t / 2 + \varphi), \quad y = e \sin \omega t + r \sin(\omega t / 2 + \varphi), \quad (1)$$

где r=(D+d)/4, D и d - соответственно наружный и внутренний диаметры подшипника.

Величину абсолютного ускорения и угол φ, определяющий его направление, как известно, можно вычислить по формулам:

$$W_a = \sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2}, \quad \varphi = \arctg \frac{\ddot{y}}{\ddot{x}}, \quad (2)$$

где  $\ddot{x}$  и  $\ddot{y}$  - проекция абсолютного ускорения на неподвижные оси координат.

Продифференцируем равенства (1) дважды и подставим найденные значения в (2),

получим величину абсолютного ускорения при φ = 0:  $W_a = \omega^2 \sqrt{e^2 + er \cos \omega t + \frac{r^2}{16}}$

Зная направление и величину ускорения, можно определить силу инерции, действующую на шарик по формуле:  $P_i = mW_a$ , где  $m$  - масса шарика.

Ниже представлены результаты расчетов для шарикоподшипника вибросмесителя М-200-1,5. В табл.1 можно видеть, как изменяется величина и направление абсолютного ускорения  $W_a$ , действующего на один шарик в различных положениях.

Таблица 1

| Положение            | 1     | 2          | 3          | 4          | 5           | 6           | 7           | 8          | 9           |
|----------------------|-------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| $\omega t$           | 0     | $\pi/8$    | $\pi/4$    | $3\pi/8$   | $\pi/2$     | $5\pi/8$    | $3\pi/4$    | $7\pi/8$   | $\pi$       |
| $W_a, \text{ м/с}^2$ | 156,4 | 153,1      | 142,2      | 135,6      | 120,3       | 103,9       | 87,5        | 73,4       | 67,8        |
| $\beta$              | 0     | $27^\circ$ | $55^\circ$ | $84^\circ$ | $-68^\circ$ | $-44^\circ$ | $-24^\circ$ | $-5^\circ$ | $180^\circ$ |

Очевидно, что сила инерции, действующая на шарик, в процессе работы подшипника, меняет свое направление. При этом на одном участке она создает момент, способствующий качению шарика а на другом - препятствующий.

Касательная составляющая силы инерции создает дополнительную силу трения на контакте шарик-сепаратор. Проведем оценку дополнительной силы трения. В разгруженной зоне подшипника качение шариков осуществляется сепаратором. Величина силы  $P_c$ , действующей со стороны сепаратора на шарик, определяется равенством

движущего и тормозного моментов:  $P_c = \frac{fP_i \cos \alpha}{r_k}$ , где  $f$  - коэффициент трения

качения;  $\alpha$  - угол между направлением силы инерции и радиусом, соединяющим центры подшипника и шарика. Касательная составляющая силы инерции шарика равна  $P_i^k = P_i \sin \alpha$ . При отсутствии вибрации подшипника  $\alpha = 0$  и отношение  $P_c/P_i$  определяется величиной  $f/r_k$  равной  $\sim 0,004$ . В то же время отношение  $P_i^k/P_i$  определяется  $\sin \alpha$ , равным в рассматриваемых расчетных случаях  $0,2 \div 0,7$ . Следовательно, в условиях вибрации подшипника сила трения на контакте шарик-сепаратор на два порядка больше. Будет ли шарик перемещаться качением или скольжением определяет соотношение сил и коэффициентов трения на контактах шарик-сепаратор, либо шарик-кольцо. Кроме того, на сепаратор также действует сила инерции  $P_i^c = m_c e \omega^2$ , где  $m_c$  - масса сепаратора.

Таким образом, рассмотренные силы, возникающие в результате колебаний, создают дополнительное трение между элементами подшипника с одной стороны, и ухудшают условие смазки, с другой. Это в целом приводит к сильному нагреву подшипника.