

УДК 621.82

## МОДЕЛЬ НАГРУЖЕНИЯ ТЕЛА КАЧЕНИЯ ПОДШИПНИКА ПРИ ПУЛЬСИРУЮЩЕМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Попов М.И., Рекадзе П.Д.

Самарский университет, г. Самара, [mikhail7020@gmail.com](mailto:mikhail7020@gmail.com)

*Ключевые слова:* подшипник, ресурсные испытания, тело качения, нагрузка, пульсирующее воздействие, осциллограмма.

Для проведения ресурсных испытаний объёмных гидромашин плунжерного типа предложена модель нагружения тела качения конического подшипника и показана её графическая реализация в виде осциллограммы при высокочастотном пульсирующем воздействии генератора. Из классической теории расчёта подшипников качения используется расчетная зависимость в виде действующей на тело качения нагрузки и контактного напряжения в зависимости от его углового положения. В ходе преобразований получена модель огибающей и несущей кривой нагружения тела качения, учитывающая кинематику тела качения, частотные параметры работы генератора колебаний.

На подшипник действуют радиальная и осевая нагрузки  $F_r$  и  $F_a$ , определяющие величину нагрузки, воспринимаемую наиболее нагруженным телом качения  $Q_{\max}$  [1, с. 90].

Нагрузка, действующая на тело качения, в зависимости от его углового положения  $\psi$  находится по формуле (1) [1]:

$$Q(\psi) = Q_{\max} \left[ 1 - \frac{1}{2\varepsilon} (1 - \cos \psi) \right]^n, \quad (1)$$

где  $Q_{\max}$  – нагрузка, воспринимаемая наиболее нагруженным телом качения;  $\varepsilon$  – коэффициент, зависящий от отношения радиальной нагрузки к осевой нагрузке;  $n$  – коэффициент, зависящий от вида контакта тела качения с дорожками качения.

Нормальные напряжения, действующие в зонах контакта тела качения с наружным и внутренним кольцами подшипника, находятся по формуле из справочника [1, с. 75], с учётом зависимости (1). Максимальные нормальные напряжения действуют в зоне контакта наиболее нагруженного тела качения с внутренним кольцом подшипника.

Построим осциллограмму нагружения тела качения в зависимости от его углового положения при постоянной нагрузке на подшипник (рис. 1) по формуле (1).

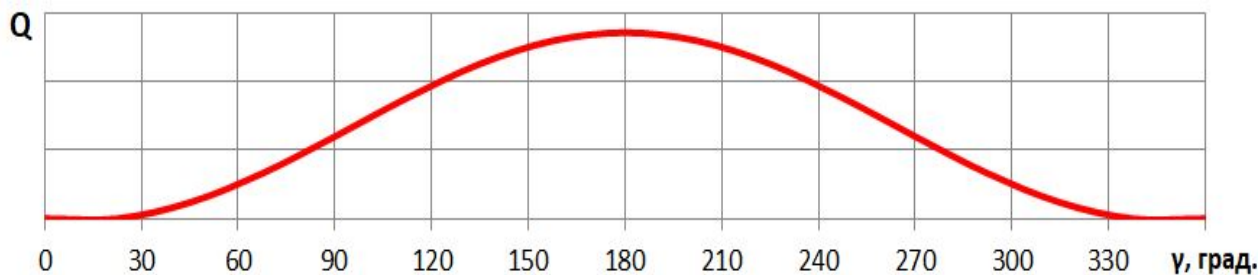


Рис. 1. Зависимость нагрузки на тело качения  $Q$  от его углового положения при постоянном внешнем воздействии

Для получения модели нагружения тела качения подшипника при пульсирующем воздействии воспользуемся функцией, используемой в электротехнике для амплитудной модуляции сигнала, позволяющей учитывать отношение частоты работы пульсатора, генерирующего высокочастотное воздействие на подшипник, к роторной частоте через коэффициент  $k$  [2]. Функция несущей кривой нагружения  $Q_{KH}$  тогда имеет вид:

$$Q_{KH}(\psi) = \frac{1}{2}Q(\psi) + \frac{1}{2}Q(\psi)\cos(k\omega_{ген}t + \varphi_{ген}), \quad (2)$$

где  $\omega_{ген}$  – циклическая частота колебаний, создаваемых генератором;  $\varphi_{ген}$  – начальная фаза работы генератора. При этом огибающая для функции (2) определяется формулой (1).

Построим осциллограмму кривой нагружения и огибающей, полученным по формулам (1) и (2) (рис. 2).

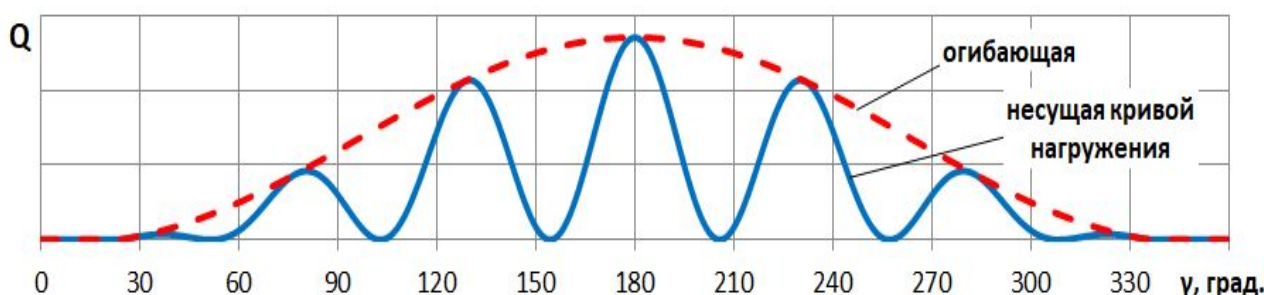


Рис. 2. Зависимость нагрузки на тело качения  $Q$  от его углового положения при пульсирующем внешнем воздействии

Для синхронизации работы генератора и подшипника необходимо управлять начальной фазой генератора в формуле (2) относительно фазы функции огибающей нагружения.

Таким образом, разработана модель огибающей и несущей кривой нагружения тела качения, учитывающая кинематику тела качения, частоту и начальную фазу работы генератора. Также полученные зависимости возможно использовать при определении контактных напряжений, действующих в зоне контакта тел качения.

Результаты исследования были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России (Проект №FSSS-2024-0015).

### Список литературы:

1. Бейзельман Р.Д. Подшипники качения. Справочник. – 6-е изд., перераб. и доп., – М: Машиностроение, 1975. – 572 с.
2. Хазанова С.В., Нежданов А.В., Николичев Д.Е. Исследование процесса амплитудной, частотной и фазовой модуляции. Практикум. – Н. Новгород: Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского, 2021 – 24с.

Сведения об авторах

Попов М.И., магистрант. Область научных интересов: авиационная техника.

Рекадзе П.Д., к.т.н., старший научный сотрудник. Область научных интересов: динамика и испытания объёмных гидромашин.

## MODEL OF THE BEARING ROLLING ELEMENT LOADING WITH PULSATING FORCE

Popov M.I., Rekadze P.D.

Samara University, Samara, Russia, [mikhail7020@gmail.com](mailto:mikhail7020@gmail.com)

*Keywords: bearing, life-cycle tests, rolling element, loading, pulsating action, oscillogram.*

The paper presents a model of loading the rolling element of a conical bearing with high-frequency pulsating action of a generator and shows its graphical implementation in the form of an oscillogram. A model of the envelope and the load-bearing curve of the rolling element was obtained, taking into account the kinematics of the rolling element, the frequency parameters of the oscillator operation.