

УДК 621.822.811

ЭФФЕКТИВНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ В РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКАХ

Клебанов Я.М., Поляков К.А., Петров В.Р.

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия, jklebanov@mail.ru

Ключевые слова: динамика подшипника, модель трения, скорость скольжения, контактная сила.

Поскольку динамическое поведение подшипников существенно зависит от характеристик контактного гидродинамического трения, при моделировании динамики подшипников коэффициент трения скольжения необходимо пересчитывать на каждом шаге интегрирования в контактах всех роликов с внутренней и наружной дорожками качения, что существенно замедляет процедуру счета и увеличивает необходимый объем оперативной памяти компьютера. Целью данной работы явилась разработка численной процедуры моделирования динамики роликовых подшипников, повышающей эффективность расчёта с сохранением его точности. Для её достижения решается задача введения одинакового для всех роликов осреднённого за один оборот сепаратора коэффициента трения.

Введём два эффективных коэффициента трения: между роликами, с одной стороны, и наружной или внутренней дорожками качения, с другой. Это одинаковые для всех тел качения усреднённые коэффициенты, при которых суммарный момент от сил трения на данной дорожке равен суммарному моменту трения при фактических значениях этих коэффициентов. Осреднение выполняется за один оборот вращающегося кольца для заданных условий работы подшипника: температуры деталей, частоты вращения, внешних нагрузок, рабочего радиального зазора, перекосов [1] и других параметров. Эффективный коэффициент зависит от условий работы подшипника, при которых он был определён. Корректность такого осреднения обусловлена тем, что в рабочем диапазоне скоростей вращения подшипника продолжительность одного оборота вращающегося кольца на один или два порядка меньше продолжительности переходного процесса вращения сепаратора, который возникает в случае изменения вращающего момента.

Эффективные коэффициенты трения контактов с внутренним и наружным кольцами рассчитываются для диапазона заданных значений проскальзывания. В результате получаются зависимости эффективных коэффициентов трения от проскальзывания и сепаратора, и тел качения. Для расчёта эффективного коэффициента трения сначала выполняется квазистатический расчёт контактных сил между телами и дорожками качения [2] для ряда моментов времени, равномерно распределённых в пределах одного оборота вращающегося кольца подшипника. Расчет эффективных коэффициентов трения выполняется по формуле (1):

$$\mu_e = \frac{\sum_k \sum_m (\mu_{km} Q_{km})}{\sum_k \sum_m Q_{km}}, \quad (1)$$

где k – номер тела качения; m – номер момента времени; Q_{km} – контактная сила и μ_{km} – коэффициент трения для соответствующего ролика и момента времени, который в данной

работе рассчитывался по модели [4, 5]. Суммирование в формуле (1) выполняется по всем телам качения и моментам времени в пределах одного оборота вращающегося кольца.

На рис. 1 в качестве иллюстрации приводятся зависимости коэффициентов трения в контактах роликов и внутреннего кольца и эффективного коэффициента трения на внутреннем кольце подшипника от проскальзывания сепаратора. Пунктирные кривые – графики коэффициента трения на отдельных роликах при разных значениях действующих на них нормальных сил. Из рис. 1 видно, что эффективный коэффициент трения меньше, чем коэффициент трения на наиболее нагруженном ролике. Это отличие зависит от характера распределения сил по всем роликам.

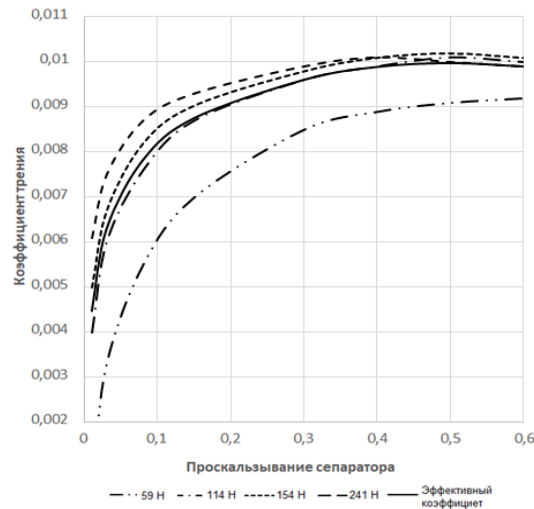


Рис. 1. Зависимость коэффициентов трения и эффективного коэффициента трения в контактах роликов и внутреннего кольца

Зависимости эффективных коэффициентов трения от проскальзывания роликов на внутреннем и наружном кольцах используются в динамическом расчете подшипников. На рис. 2 сопоставляются изменения угловой скорости ролика подшипника при указанных выше условиях, полученные с использованием обычных и эффективных коэффициентов гидродинамического трения.

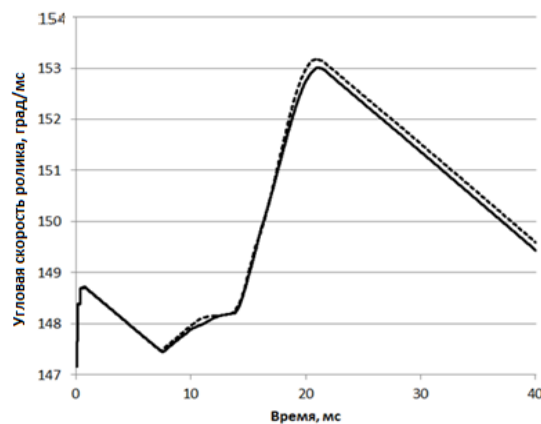


Рис. 2. Изменение угловой скорости ролика подшипника, полученное в динамических расчётах с использованием эффективных коэффициентов трения (—) и обычных коэффициентов трения (---)

Расчёты выполнены с использованием модели многомассовой динамики подшипника, аналогичной представленной в [3]. Неравномерное распределение контактных сил по длине

роликов и профиль роликов в этой модели учитываются разбиением роликов на короткие цилиндры – слайсы.

Использование эффективных коэффициентов трения существенно сокращает время счета при моделировании динамики роликовых подшипников по сравнению с обычными коэффициентами. Для пересчёта коэффициента трения в одном контакте на текущем шаге численного решения при использовании эффективного коэффициента трения требуется 3 операции, а при использовании обычных коэффициентов трения – 115 операций. Для сравнения заметим, что при счёте с постоянным наперёд заданным коэффициентом трения число таких операций равно нулю. Затраты времени на предварительный расчёт зависимостей эффективных коэффициентов трения от проскальзывания на персональном компьютере средней производительности занимает несколько минут, что примерно на порядок меньше времени счета динамической задачи, необходимого для получения установившегося решения.

Список литературы

1. Балякин, В.Б. Исследование влияния перекоса колец подшипников качения на момент трения и долговечность опор / В.Б. Балякин, Е.П. Жильников, Б.Б. Косенок, А.В. Лаврин // Трение и износ. – 2016. – Т. 37. – № 6. – С. 693-698.
2. Harris, T.A. Rolling Bearing Analysis. Essential Concepts of Bearing Technology / T.A. Harris, M.N. Kotzalas // Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor and Francis Group. – 2007.
3. Клебанов, Я.М. Динамическая нагруженность массивных сепараторов высокоскоростных шарикоподшипников / Я.М. Клебанов, В.В. Мурашкин, К.А. Поляков, А.И. Данильченко // Вестник машиностроения. – 2017. – №11. – С. 3-9.

Сведения об авторах

Клебанов Яков Мордухович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой. Область научных интересов: механика деформируемого твердого тела, прочность машин и конструкций, методы компьютерного моделирования.

Поляков Константин Анатольевич, к.ф.-м.н., доцент. Область научных интересов: многомассовая динамика, механика деформируемого твердого тела, методы компьютерного моделирования

Петров Виктор Робертович, аспирант. Область научных интересов: анализ и проектирование подшипников качения, методы компьютерного моделирования.

EFFECTIVE COEFFICIENT OF HYDRODYNAMIC FRICTION IN ROLLER BEARINGS

Klebanov I.M., Polyakov K.A., Petrov V.R.

Samara State Technical University, Samara, Russia, jklebanov@mail.ru

Keywords: bearing dynamics, friction model, sliding speed, contact force.

The purpose of this work is to develop a numerical procedure for roller bearings dynamics modeling, which increases the calculation efficiency while maintaining its accuracy. To achieve it, two effective friction coefficients are introduced: between the rollers, on the one hand, and the outer or inner raceways, on the other. The use of effective friction coefficients significantly reduces the computational time compared to conventional coefficients.