

Влияние поперечных сдвигов на контактные усилия и нагрузочную характеристику радиального роликового подшипника качения

© А.А. Кирюхин, Ф.Д. Сорокин, В.В. Попов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Российская Федерация

Рассмотрена задача обжатия радиального роликового подшипника на жесткое основание. Контакт роликов с кольцами подшипника учитывается традиционным образом по известной формуле Пальмгрена. Широкий контакт нагружающей штанги и внутреннего кольца исследован по теории И.Я. Штаермана. Для внешнего кольца принята расчетная схема криволинейного стержня. Удовлетворительного совпадения результатов расчета и эксперимента удастся добиться только при учете поперечных сдвигов в уравнениях деформации внешнего кольца. Для определения количества роликов, контактирующих с кольцами, предварительно проведено моделирование методом конечных элементов. Показано, что нагрузочная характеристика, рассчитанная по разработанному алгоритму, мало отличается от нагрузочной характеристики, полученной в эксперименте. Разработанный алгоритм обладает высоким быстродействием при достаточной точности, поэтому его можно рекомендовать к использованию в задачах роторной динамики.

Ключевые слова: подшипник, упругая характеристика, криволинейный стержень, сдвиговая деформация, широкий контакт

Введение. Подшипниковые узлы являются важнейшими элементами современных машин и приборов [1–4]. При решении задач роторной динамики вращающихся машин большое значение имеет знание упругих характеристик подшипниковых узлов. Методы расчета указанных характеристик, основанные на разбиении всех элементов подшипника (колец, роликов, сепаратора) на объемные конечные элементы, практически неприменимы в задачах роторной динамики из-за низкого быстродействия, но могут использоваться для контроля.

Традиционно для расчета статической нагруженности и упругих свойств роликовых подшипников пользуются решением задачи теории упругости о контакте цилиндров с параллельными осями [5, 6]. Изгибные деформации колец при этом, как правило, не рассматриваются.

Цель данного исследования — построение алгоритма расчета упругой характеристики подшипника, обжатого на жесткое основание, учитывающего изгибные деформации колец и обладающего высоким быстродействием при достаточной точности.

Предметом исследования являлся радиальный роликовый подшипник качения 12309KM (рис. 1), изготовленный из стали ШХ15, со следующими параметрами:

Внутренний диаметр d , мм	45
Наружный диаметр D , мм	100
Ширина B , мм	25
Длина ролика L , мм	14
Диаметр ролика H , мм	14
Средний диаметр D_0 , мм	73
Диаметр борта наружного кольца D_1 , мм	81,4
Диаметр борта внутреннего кольца d_1 , мм	64
Количество роликов n	12
Модуль упругости первого рода E , МПа	$2 \cdot 10^5$
Коэффициент Пуассона μ	0,3

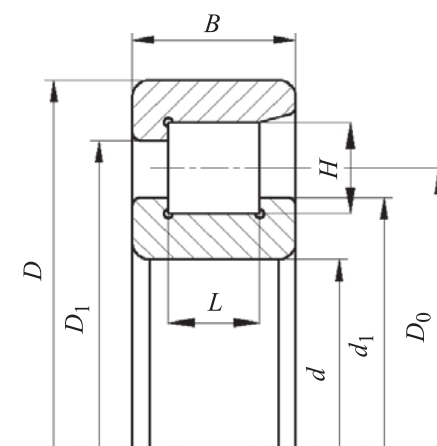


Рис. 1. Подшипник 12309KM

При расчете упругой характеристики учитывались следующие механические факторы:

- изгиб внешнего кольца подшипника с учетом сдвиговых деформаций [7–9], рассчитываемый методами механики стержней;
- контактные взаимодействия между роликами и кольцами подшипника, рассчитываемые по формуле Пальмгрена (Palmgren) [10, 11];
- контактное взаимодействие между внешним кольцом подшипника и нагружающей плитой, рассчитываемое по формуле Пальмгрена;
- контактное взаимодействие между внутренним кольцом подшипника и штангой, рассчитываемое по теории И.Я. Штаермана [12–14].

Эксперимент. Нагрузочная характеристика роликового подшипника 12309KM при действии радиальной нагрузки была определена в натурном эксперименте на универсальной испытательной машине Quasar 50 (рис. 2) [11, 15, 16].

Подшипник нагружался жесткой плитой испытательной машины, действующей на наружное кольцо. Внутреннее кольцо фиксировалось

на жесткой штанге. Штангой являлся стальной цилиндр, плотно входящий во внутреннее кольцо подшипника. Штанга опиралась на стальную вилку. Плотный контакт штанги и внутреннего кольца обеспечивал отсутствие его изгиба. Ролики располагались симметрично — по шесть роликов с каждой стороны. Измерялись перемещения нагружающей плиты.

Полученные данные аппроксимировались степенными зависимостями методом наименьших квадратов (рис. 3) [16].



Рис. 2. Постановка эксперимента по определению нагрузочной характеристики роликового подшипника [16]:
1 — нагружающая плита; 2 — радиальный роликовый подшипник качения; 3 — штанга; 4 — стальная вилка

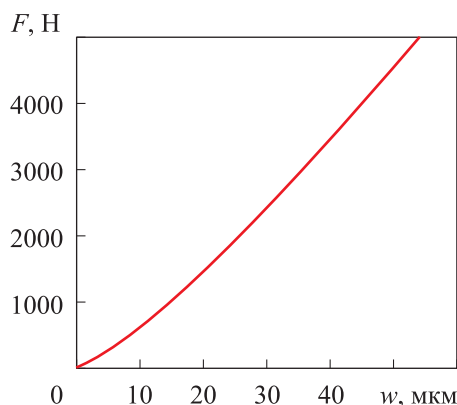


Рис. 3. Экспериментальная упругая характеристика [16]:

F — нагрузка, Н; w — перемещение нагружающей плиты испытательной машины, мм

Для наблюдения за изгибом наружного кольца применялся метод тензометрии, при этом тензорезистор был размещен в области, прилегающей к месту приложения нагрузки (рис. 4). Тензометрия показала, что наружное кольцо существенно деформируется.

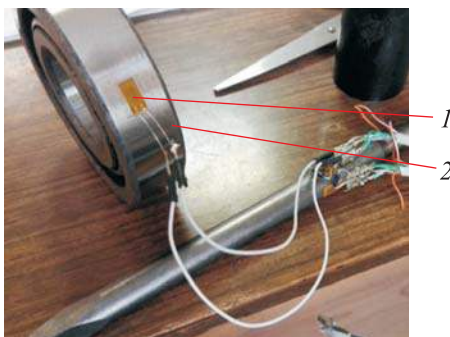


Рис. 4. Тензорезистор (1) на наружном кольце подшипника (2) [16]