

Министерство высшего и среднего специального образования
РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный
институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ МОМЕНТА СИЛ ТРЕНИЯ В ШАРИКОПОДШИПНИКАХ
ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ НАГРУЖЕНИИ

Утверждено редакционным советом
института в качестве методических
указаний к лабораторной работе № 4

Куйбышев 1984

УДК 621.822.7.001.2:621.891 (075)

Приводятся краткие сведения о зависимостях для практических расчетов сил трения в шариковых подшипниках, описание экспериментальной установки.

Рекомендуется студентам всех специальностей вузов при изучении курсов "Детали машин" и "Техническая механика".

Составители: Е.П.Жильников, О.Н.Парахонский

Рецензенты В.Ф.Парамонов, Ю.А.Еремин

ИССЛЕДОВАНИЕ МОМЕНТА СИЛ ТРЕНИЯ В ШАРИКОПОДШИПНИКАХ
ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ НАГРУЖЕНИИ

Лабораторная работа 4

Редактор Л.Балькова
Техн.редактор Н.Каленюк
Корректор М.В.Павлова

Сдано в набор 11.10.84. Формат 60х84 1/16.
Бумага оберточная белая. Печать оперативная.
Усл.п.л. 0,69. Уч.-изд.л. 0,6. Т.500 экз.
Заказ 8254 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт имени академика С.П.Королева, г.Куйбышев, ул.Молодогвардейская, 151.

Областная типография имени В.П.Мяги, г.Куйбышев, ул.Венцека, 60

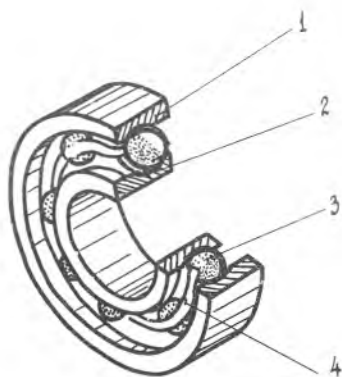
Ц е л ь р а б о т ы – экспериментальная проверка зависимостей для расчета момента сил трения в подшипнике при различных комбинациях осевой и радиальной нагрузок.

ОСНОВНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ НА ТРЕНИЕ В ПОДШИПНИКАХ

Шариковые подшипники качения – это опоры, предназначенные для поддержания валов, осей и различных деталей, совершающих вращательное движение.

Подшипник, изображенный на рис.1, состоит из наружного 1 и внутреннего 2 колец, тел качения (шариков) 3 и сепаратора 4, разделяющего и направляющего тела качения.

Потери энергии в подшипниках качения относительно невелики (обычно менее 2%), но в ряде случаев являются важной характеристикой работоспособности опоры. Они складываются из потерь на трение при перекатывании тел качения по желобам колец и проскальзывании их относительно колец, потерь при трении тел качения о сепаратор и сепаратора о направляющие буртики колец, потерь на перемешивание смазки и воздушно-масляной среды в подшипнике и в некоторых случаях – потерь в уплотнениях.



Р и с. 1. Шарикоподшипник

В практических расчетах момент трения в подшипниках обычно определяют по формуле

$$T = \mu P_o \frac{d}{2},$$

где P_o – эквивалентная статическая нагрузка на подшипник; d – диаметр отверстия подшипника; μ – приведенный коэффициент трения.

Для однорядных шарикоподшипников радиальных $\mu = 0,0015$, радиально-упорных $\mu = 0,0020$. Эквивалентная статическая нагрузка определяется как наибольшая величина, получаемая по формулам:

$$P_o = X_o F_r + Y_o F_a,$$

$$P_o = F_r,$$

где F_r и F_a - радиальная и осевая нагрузки на подшипник; X_o и Y_o - коэффициенты радиальной и осевой нагрузок, определяемые по табл.1.

Т а б л и ц а 1

Тип однорядного шарикоподшипника	Коэффициенты	
	X_o	Y_o
Радиальный	0,6	0,50
Радиально-упорный при $\alpha = 18^\circ$	0,5	0,43
$\alpha = 20^\circ$	0,5	0,42
$\alpha = 26^\circ$	0,5	0,37
$\alpha = 30^\circ$	0,5	0,33
$\alpha = 36^\circ$	0,5	0,28

При проведении более точных расчетов используют двучленную формулу

$$T = T_o + T_F,$$

где T_o - момент трения, зависящий от конструкции подшипника, частоты вращения и вязкости смазки; T_F - момент трения, зависящий от нагрузки на опору.

Для шарикоподшипников момент трения, зависящий от нагрузки, определяют по формуле

$$T_F = f P_o \left(\frac{P_o}{C_o} \right)^c D_o,$$

где f - коэффициент трения; C_o - статическая грузоподъемность подшипника; D_o - средний диаметр подшипника ($D_o = (D+d)/2$); C - константа.

Величины f и C для шарикоподшипников приведены в табл.2.

Т а б л и ц а 2

Тип однорядного шарикоподшипника	Константы	
	f	C
Радиальный	0,0009	0,55
Радиально-упорный $\alpha < 30^\circ$	0,0010	0,33
$\alpha \geq 30^\circ$	0,0013	0,33

Момент трения, зависящий от конструкции и частоты вращения определяют по формуле

$$T_f = f_0 D_0^3 n^{2/3},$$

где f_0 - константа, зависящая от типа подшипника, способа и вязкости смазки.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ ДППА

Экспериментальное определение момента сил трения в подшипнике производится на установке типа ДППА, показанной на рис.2.

Техническая характеристика установки

1. Внутренний диаметр испытуемых подшипников, мм - 5; 8; 12
2. Масса сменных грузов, кг - 0,5; 1,0; 2,0
3. Шаг изменения направления нагрузки от осевой до радиальной, град. - 15
4. Номинальная частота вращения электродвигателя установки, мин⁻¹ - 3600...4600
5. Передаточное число ременной передачи - 1,5

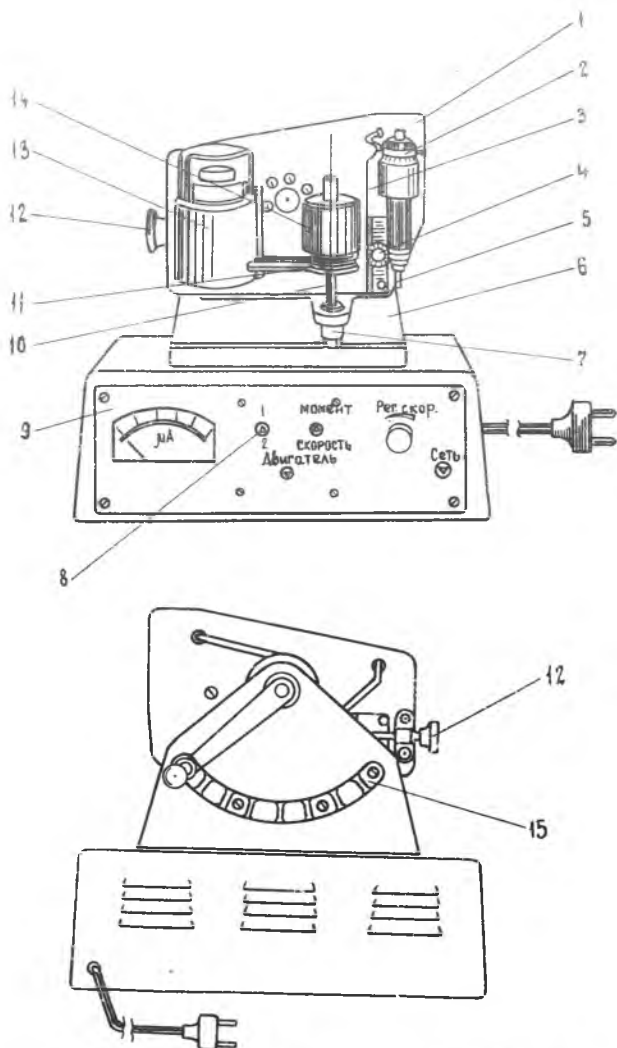
На установке можно определять зависимости момента трения в подшипниках от скорости вращения, величины и направления действующей на подшипник нагрузки, которая создается сменными грузами и зависит от наклона оси вращения, а также от размеров испытуемых подшипников.

Основные узлы установки собраны на вертикальной плате 1, которая смонтирована на литой стойке 6, закрепленной на основании 9. Органы управления и микроамперметр расположены на передней панели.

Электродвигатель постоянного тока типа СП-261 смонтирован в корпусе 13, снабженном амортизаторами для уменьшения вибрации. Вращение на рабочий валик передается при помощи ременной передачи 11. Регулировка натяжения ремня осуществляется перемещением корпуса в горизонтальной плоскости с помощью винта 12.

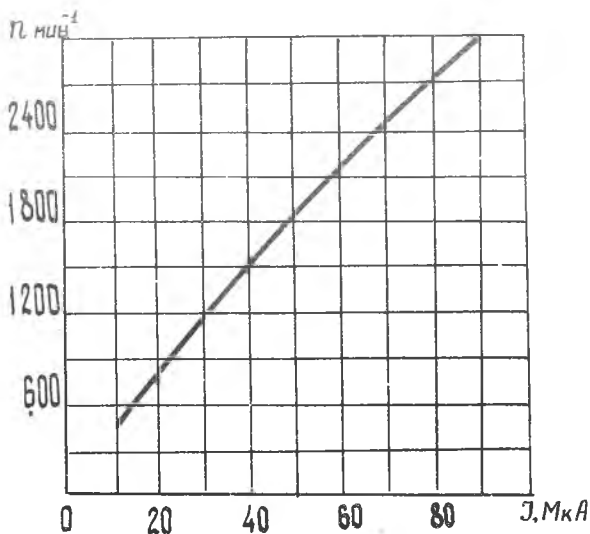
Рабочий валик 10 установки смонтирован на двух шарикоподшипниках, установленных в шпинделе 14. Верхняя часть валика имеет резьбовое отверстие, в которое ввинчивается узел испытуемого подшипника. На узел испытуемого подшипника устанавливаются и закрепляются винтом грузы 0,5, 1,0 и 2,0 кг. На грузах имеются поводки, которые входят в седловину плоской измерительной пружины 3.

С рабочим валиком связан тахогенератор 7, служащий для определе-



Р и с. 2. Общий вид установки ДІ ІІА: а - вид спереди; б - вид сзади

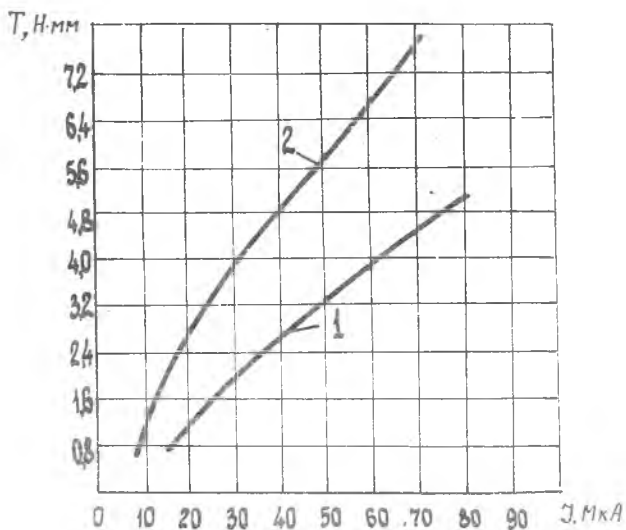
ния частоты вращения. Ток в цепи тахогенератора измеряется микроамперметром. График тарировки микроамперметра по частоте вращения приведен на рис.3.



Р и с. 3. График тарировки по частоте вращения

Измерение момента производят измерительным устройством, смонтированным на основании, которое крепится к плите винтом. Величина светового потока, создаваемого осветителем 5, измеряется фотодиодом 2 и зависит от положения шторки, укрепленной на конце деформируемой пружины. Для регулировки жесткости измерительной пружины предусмотрен хомут 4 с зажимной рукояткой. Графики тарировки микроамперметра по величине момента приведены на рис.4.

Конструкция установки обеспечивает поворот плиты с установленными на ней механизмами на 90° в вертикальной плоскости. С противоположной стороны стойки смонтирован сектор 15 (см.рис.3) с пазами, позволяющими фиксировать положение плиты через каждые 15° . На лицевой панели размещены микроамперметр и потенциометр "рег.скорос-



Р и с. 4. Графики тарировки по величине момента трения: 1 - при переключении тумблера I4 в положение "1"; 2 - при переключении тумблера I4 в положение "2".

сти" для бесступенчатого регулирования частоты вращения, предохранитель и четыре тумблера.

Тумблер "Сеть" предназначен для включения установки в сеть постоянного тока 110 В. Тумблер "1-2" предназначен для изменения чувствительности измерительного прибора-микроамперметра. Тумблер "Двигатель" предназначен для включения электродвигателя. Тумблер "Скорость-Момент" предназначен для переключения микроамперметра с измерения скорости вращения рабочего валика на измерение момента трения.

МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Перед включением электродвигателя необходимо убедиться в надежности закрепления груза на подшипнике.

2. Во время работы запрещается прикасаться к вращающимся частям установки.

3. Запрещается открывать лицевую панель при включенной в сеть установке.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Перед выполнением работы микроамперметр должен быть отрегулирован и протарирован по моменту и частоте вращения валика шпинделя.

2. В рабочий валик ввинчивают выбранный узел испытуемого подшипника, устанавливают на него груз и фиксируют его сбоку стопорным винтом. Поводок груза должен быть введен в седловину измерительной пружины.

3. Тумблеры на передней панели ставят в положение "Сеть", "2", "Скорость" и "Двигатель". Регулятором скорости по тарировочному графику и показаниям микроамперметра устанавливают выбранную частоту вращения вала.

4. Тумблер ставят в положение "Момент" и по показаниям микроамперметра, пользуясь тарировочным графиком, определяют момент трения в подшипнике. При недостаточной чувствительности микроамперметра тумблер переводится в положение "I".

5. Меняя угол наклона оси вращения рабочего валика, скорость его вращения и величину груза, определяют зависимости момента трения от перечисленных факторов.

Результаты измерений заносятся в табл.3.

Т а б л и ц а 3

Частота вращения n , мин ⁻¹	Момент сил трения при угле наклона, Н·мм						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
	груз $Q = 0,5$ кг						
I	2	3	4	5	6	7	8
800							
1200							
1600							
2000							
2400							

Продолжение табл.3

1	2	3	4	5	6	7	8
груз $Q = 1,0$ кг							
800							
1200							
1600							
2000							
2400							
груз $Q = 2,0$ кг							
800							
1200							
1600							
2000							
2400							

6. Для анализа результатов измерений вычисляются осевая и радиальная нагрузки на подшипник по формулам:

$$F_o = 9,81 Q \cos \beta ; F_r = 9,81 Q \sin \beta .$$

Затем определяются значения эквивалентных статических нагрузок по приведенным выше зависимостям.

7. Производится обработка результатов измерений и их анализ в зависимости от поставленной задачи.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Задача 1. Исследование приведенного коэффициента трения

1. Значение приведенного коэффициента трения определяется для каждой частоты вращения по формуле

$$\mu = \frac{2 \sum_{i=1}^m T_i P_{oi}}{d \sum_{i=1}^m P_{oi}^2} ,$$

где m - число измерений при данной частоте вращения.

2. Строятся зависимости приведенного коэффициента трения от частоты вращения.

3. Строится график функции $T = \mu P_o d/2$ для одного значения частоты вращения при найденном значении μ и приводятся на поле графика экспериментальной точки.

4. Делаются выводы относительно влияния на коэффициент μ частоты вращения и допустимости использования исследуемой формулы.

Задача 2. Исследование зависимости момента сил трения от частоты вращения

1. Для трех значений нагрузки из уравнения

$$T = f_0 D_0^3 n^{2/3} + T_F$$

методом наименьших квадратов находятся значения коэффициента f_0 и момента T_F по формулам:

$$f_0 = \frac{1}{D_0^3} \frac{m \sum_{i=1}^m T_i N_i - \sum_{i=1}^m T_i \sum_{i=1}^m N_i}{m \sum_{i=1}^m N_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m N_i \right)^2},$$

$$T_F = \frac{\sum_{i=1}^m T_i \sum_{i=1}^m N_i^2 - \sum_{i=1}^m T_i N_i \sum_{i=1}^m N_i}{m \sum_{i=1}^m N_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m N_i \right)^2},$$

где m - число измерений при данном значении нагрузки; $N_i = n_i^{2/3}$.

2. Строятся графики функции $T = \varphi(n)$ при найденных значениях f_0 и T_F и на поле графика приводятся экспериментальные точки.

3. Делаются выводы о зависимости f_0 и T_F от нагрузки и допустимости использования исследуемой формулы для момента трения.

Задача 3. Исследование зависимости момента сил трения от эквивалентной статической нагрузки

1. Для трех значений частоты вращения из уравнения

$$T = T_0 + f P_0 \left(\frac{P_0}{C_0} \right)^c D_0$$

методом наименьших квадратов находятся значения коэффициента f и момента T_0 по формулам:

$$f = \frac{C_0^c}{D_0} \frac{m \sum_{i=1}^m T_i Q_i - \sum_{i=1}^m T_i \sum_{i=1}^m Q_i}{m \sum_{i=1}^m Q_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m Q_i \right)^2},$$

$$T_0 = \frac{\sum_{i=1}^m T_i \sum_{i=1}^m Q_i^2 - \sum_{i=1}^m T_i Q_i \sum_{i=1}^m Q_i}{m \sum_{i=1}^m Q_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m Q_i \right)^2},$$

где m - число измерений при данной частоте вращения; $Q_i = P_{0i}^{1+C}$;
 $C = 0,55$ - для радиальных шарикоподшипников.

2. Строятся графики функции $T = \varphi(P_0)$ при найденных значениях f и T_0 и на поле графика приводятся экспериментальные точки.

3. Делаются выводы о зависимости f и T_0 от частоты вращения и допустимости использования исследуемой формулы для момента трения.

Основные характеристики подшипников, применяемых для исследований на установке, приведены в табл.4.

Т а б л и ц а 4

Тип подшипника	Обозначение	Диаметр отверстия, d , мм	Средний диаметр, D_0 , мм	Статическая грузоподъемность, C_0 , Н
Шариковый радиальный однорядный сверхлегкой серии диаметров 9	1000095	5,0	9,0	392
Шариковый радиальный однорядный облегченной серии	18	8,0	13,5	1354
То же	101	12,0	20,0	2227

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Схема установки.
2. Краткое описание установки и условий опыта.
3. Данные испытуемых подшипников.
4. Таблица результатов измерений (табл.3).
5. Графики зависимостей, указанные для каждой задачи.
6. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как зависят полный момент сил трения T , моменты T_0 и T_c от нагрузки и частоты вращения?
2. Как зависят коэффициенты f_0 и f от нагрузки и частоты вращения?
3. Какие факторы могут быть использованы для снижения потерь на трение в подшипнике?
4. На чем основано измерение частоты вращения и моментов сил трения на установке ДИ-11А?