

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра общинженерных дисциплин

ИСПЫТАНИЯ ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ

Лабораторный практикум для выполнения лабораторных и самостоятельных работ по дисциплине «Детали машин и основы конструирования» для студентов очной и заочной формы обучения по направлениям подготовки:
35.03.06 - «Агроинженерия»,
23.03.03 – «Эксплуатация транспортно - технологических машин и комплексов»,
23.05.01 – «Наземные транспортно-технологические средства»



Казань, 2018

УДК 621.822

Составители: Яхин С.М., Пикмуллин Г.В., Марданов Р.Х., Мустафин А.А.

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Тракторы, автомобили и энергетические установки» Казанского ГАУ
Синицкий С.А.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование пищевых производств» КНИТУ
Николаев А.Н.

Лабораторный практикум для выполнения лабораторных и самостоятельных работ по дисциплине «Детали машин и основы конструирования» обсужден и рекомендован к печати на заседании кафедры общепрофессиональных дисциплин Казанского ГАУ (протокол №8 от 12.02.2018г.) и заседании методической комиссии Института механизации и технического сервиса Казанского государственного аграрного университета (протокол №6 от 16.02.2018г.).

Яхин С.М. Испытания подшипника качения: Лабораторный практикум для выполнения лаб. и самост. работ / С.М. Яхин, Г.В. Пикмуллин, Р.Х. Марданов. - Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2018. - 20с.

Лабораторный практикум предназначен для выполнения лабораторных и самостоятельных работ по дисциплине «Детали машин и основы конструирования» и способствуют формированию общепрофессиональных компетенций для направлений подготовки: 35.03.06 «Агроинженерия», 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», и 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства».

УДК 621.822

©Казанский государственный аграрный университет, 2018г.

Лабораторная работа

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение испытания подшипников качения, способов установки на валы и в корпус, защиты от попадания в них пыли и грязи.

Экспериментальное определение потерь на трение, условно приведённого к валу, коэффициента трения в подшипниках качения на установке ДМ-28М и выявление их зависимости от условий работы подшипников (частоты вращения вала, величины радиальной нагрузки, уровня смазки, типа подшипника).

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Подшипники служат опорами для валов и вращающихся осей. Они воспринимают радиальные и осевые нагрузки, приложенные к валу, и передают их на раму машины. При этом вал должен фиксироваться в определенном положении и вращаться вокруг заданной геометрической оси. Во избежание снижения КПД механизма потери в подшипниках должны быть минимальными. От качества подшипников в значительной степени зависит работоспособность и долговечность машин.

Подшипники качения представляют опору вращающихся или качающихся деталей, в которой используется трение качения.

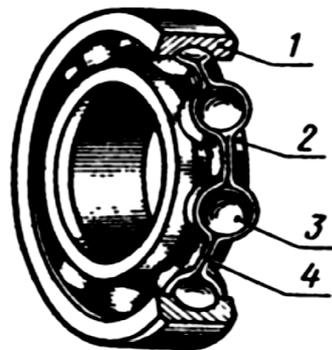


Рисунок 1 - Элементы подшипника качения

Он состоит из следующих деталей: а) наружного 1 и внутреннего 2 колец с дорожками качения; б) тел качения 3 (шариков или роликов),

катящихся по дорожкам качения; в) сепараторов 4, разделяющих и направляющих тела качения (рисунок 1).

Подшипниковые узлы, кроме подшипников качения, имеют корпуса с крышками, устройства для крепления колец подшипников, защитные и смазочные устройства.

Основные достоинства подшипников качения по сравнению с подшипниками скольжения: малые потери на трение, незначительный нагрев, высокая степень взаимозаменяемости, умеренный расход смазочного материала, малые осевые размеры, значительно меньшие требования к уходу, меньший расход цветных металлов, меньшие требования к материалу и к термической обработке валов.

К недостаткам подшипников качения относятся: повышенные диаметральные габариты, высокие контактные напряжения и поэтому ограниченный срок службы при большом его рассеивании, чувствительность к ударам и вибрационным нагрузкам.

Подшипники качения классифицируются по следующим основным признакам:

- по форме тел качения - шариковые и роликовые, последние могут быть с цилиндрическими, коническими, бочкообразными, игольчатыми и витыми роликами;
- по направлению воспринимаемой нагрузки - радиальные, радиально-упорные, упорно-радиальные, и упорные;
- по числу рядов тел качения — однорядные, двух- и многорядные.

3. УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ

Описание экспериментальной установки типа ДМ-28.

Экспериментальное определение полного момента трения в подшипниках качения производится на установке ДМ -28 маятникового типа.

На установке испытываются одновременно 4 подшипника.

Основные технические данные установки:

1. Максимальная величина нагрузки, создаваемой нагрузочным устройством – 12800Н.

2. Скорости вращения внутреннего кольца подшипника:

$$n_1 = 1000 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_2 = 2000 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_3 = 3000 \text{ мин}^{-1}.$$

2. Мощность электродвигателя $N = 0,6$ кВт.

Установка укомплектована головкой с шариковыми подшипниками радиальными сферическими двухрядными № 1208 ($D_0=6,0$ см, $d_T= 0,873$ см, $z= 17 \times 2$).

Установка включает корпус, на котором в двух шарикоподшипниковых опорах смонтирован вал со сменными испытательными головками. На каждой сменной головке установлены четыре одинаковых шарикоподшипника. Нагрузочным устройством с динамометром наружные кольца подшипника попарно подтягиваются в противоположных направлениях к валу. Подвешенный на втулке маятник удерживает наружные кольца от вращения и по отклонениям позволяет измерять момент трения в подшипниках. Вал приводится во вращение электродвигателем через трёхступенчатую клиноремённую передачу. Натяжение ремня осуществляется винтовым натяжным устройством, поворачивающим подмоторную плиту с электродвигателем вокруг оси.

Установка предназначена для определения момента трения в подшипниках качения в зависимости:

- 1) от радиальной нагрузки;
- 2) от частоты вращения внутреннего кольца;
- 3) от уровня смазки в корпусе подшипника;
- 4) от типа исследуемого подшипника.

На установке могут испытываться подшипники четырех типов, которые смонтированы в соответствующих головках:

- шариковый радиальный однорядный 308, средней серии, внутренний диаметр подшипника 40 мм - головка ДМ 28 сб.1.

- роликовый конический однорядный 7208, легкой серии, внутренний диаметр подшипника 40 мм - головка ДМ 28 сб.2.

- шариковый радиальный однорядный 208, легкой серии, внутренний диаметр подшипника 40 мм - головка ДМ 28 сб.3.

- шариковый радиальный сферический двухрядный 1208, легкой серии, внутренний диаметр подшипника 40 мм - головка ДМ 28 сб.4.

В работе требуется определить:

- момент трения в подшипниках качения;
- условный, приведенный к валу коэффициент трения;
- зависимость этих величин от нагрузки, числа оборотов и уровня масла в подшипнике, частоты вращения внутреннего кольца.

Установка состоит из следующих основных узлов:

1. Асинхронного электродвигателя трёхфазного тока.
2. Клиноремённой передачи.
3. Сменных головок с испытываемыми подшипниками и силоизмерительным устройством.
4. Демпфирующего устройства.
5. Корпуса из алюминиевого сплава, связывающего перечисленные узлы.

Установка для испытания подшипников качения представлена на рисунке 2.

Электродвигатель, смонтированный внутри корпуса 1, с помощью клиноремённой передачи приводит во вращение вал 2, несущий головку 3, с испытываемыми подшипниками. Клиноремённая передача состоит из двух трёхступенчатых шкивов и клинового ремня. Один шкив закреплён на валу электродвигателя, а другой на валу 2 головки с испытываемыми подшипниками.

Включение электродвигателя производится при помощи пакетного переключателя 4, смонтированного в корпусе установки.

Натяжение ремня осуществляется поворотом плиты 5, на которой установлен электродвигатель. Регулировка натяжения и фиксация в нужном положении осуществляется при помощи специального болта б, ввёрнутого в плиту и опирающегося в основание коробки. Ведомый шкив клиноременной передачи имеет защитный кожух 7.

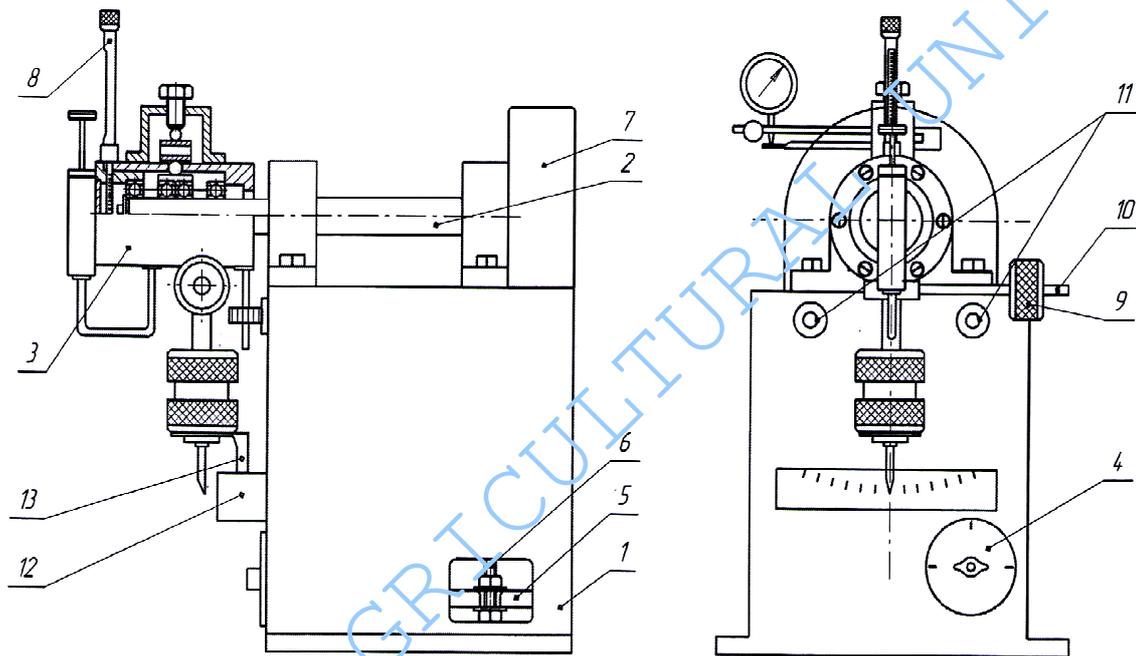


Рисунок 2 - Установка для испытания подшипников качения

Для определения начала стабильной работы подшипников предусмотрен термометр 8, показывающий температуру масла.

Уравновешивание головки в сборе производится грузом 9, перемещающейся на резьбе по штанге 10. Для ограничения поворота головки при пуске электродвигателя имеются ограничительные упоры 11.

Для быстрого успокоения возникающих колебаний при работе установки предусмотрено демпфирующее приспособление, состоящее из ванночки 12, заполненной специальной демпфирующей жидкостью и лопатки 13, перемещающейся внутри ванночки. Ванночка крепится к корпусу установки, а лопатка к колеблющемуся маятнику.

Устройство сменной головки установки представлено на рисунке 3.

На валу 2, укрепленной на двух шарикоподшипниковых опорах, установлена одна из четырёх сменных головок. В каждой сменной головке, установлены по четыре подшипника. Наружные кольца двух средних подшипников 4 и 10 расположены в общей втулке 9, а наружные кольца двух крайних подшипников 3 и 11 в корпусе 1, охватывающем с зазором одновременно и втулку 9. Нагрузочное устройство состоит из скобы 8 и винта 6, установленных на наружной поверхности корпуса 1. При вращении винта 6 через динамометр 7 и шарики 5 подшипники 4 и 10 поджимаются к валу, а реактивное усилие одновременно нагружает два крайних подшипника 3 и 9.

Возникающий в четырех подшипниках момент трения передается на корпус 1, который удерживается от вращения укрепленным внизу маятником (грузом) 15. В зависимости от изменения момента трения в подшипниках будет изменяться угол отклонения маятника, который указателем 16 отмечает на шкале 17, проградуированной в кгсм момент трения.

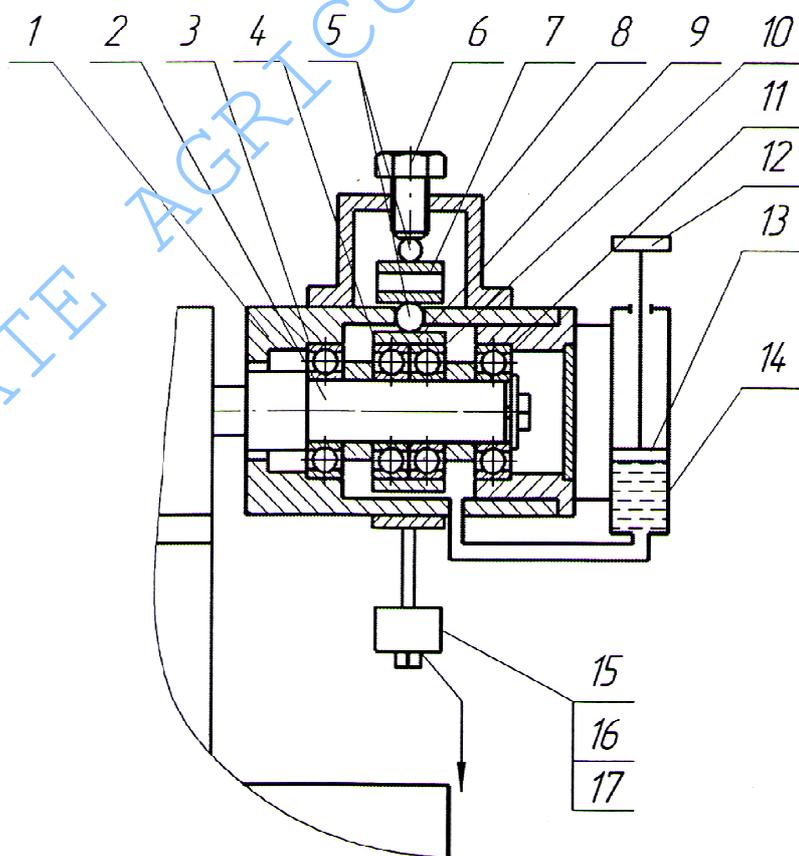


Рисунок 3 - Устройство сменной головки

Смазочное устройство, состоящее из цилиндра 14 и поршня 13, позволяет передвижением поршня изменять уровень масла в подшипниках.

Шток поршня снабжен наружной резьбой и ввинчивается в отверстие верхней крышки цилиндра. Передвижение поршня осуществляется вращением накатанной головки штока 12.

Перечисленные подшипники по каталогу имеют следующие данные (таблица 1).

Таблица 1 - Характеристика исследуемых подшипников

Параметры	Обозначение	308	7208	208	1208
Диаметр отверстия	d , мм	40	40	40	40
Наружный диаметр	D , мм	90	80	80	80
Динамическая грузоподъемность	C , кН	41,0	46,5	32,0	19,0
Диаметр шарика	$d_{ш}$, мм	15,08	9,6	12,7	8,73
Количество шариков	$Z_{ш}$	8	15	9	17 в 1 ряду

Испытания могут проводиться при различных числах оборотов $n_1 = 1000$ мин⁻¹, $n_2 = 2000$ мин⁻¹, $n_3 = 3000$ мин⁻¹, за счет изменения числа оборотов вала сменной головки, путем перестановки ремня на шкивах.

4. РАСЧЕТНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ

Полный момент трения в подшипнике удобно представить в виде суммы:

$$M = M_o + M_m, \quad (1)$$

где M_o - момент трения, не зависящий от нагрузки;

M_m - момент трения, зависящий от нагрузки на подшипник.

При радиальной нагрузке на подшипник усилия между телами качения распределяются, как показано на рисунке 4.

В случае роликового подшипника усилие, приходящееся на ролик, определяется выражением:

$$N_i = N_0 \cos \theta_i, \quad (2)$$

где N_0 - усилие на максимально нагруженный ролик;

θ_i - угловая координата i -того ролика.

Условие равновесия внутреннего кольца:

$$R = N_0 \sum_{i=0}^{z-1} \cos^2 \theta_i, \quad (3)$$

где z - число роликов в подшипнике.

Для $z \geq 10$ при присутствии зазора между роликами и беговыми дорожками колец:

$$\sum_{i=0}^{z-1} \cos^2 \theta_i = \frac{z}{4} \quad (4)$$

Тогда

$$N_0 = 4R / z, \quad (5)$$

где R - радиальная нагрузка на подшипник.

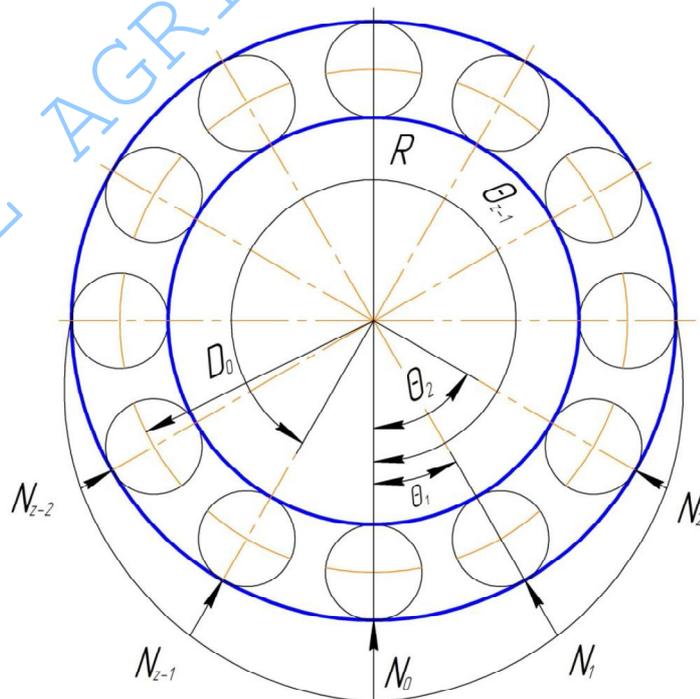


Рисунок 4 - Распределение усилий между телами качения при радиальной нагрузке R на подшипник

При вращении внутреннего кольца к каждому ролику должна быть приложена касательная сила F_i , момент которой, как показано на рисунке 5, равен моменту реакции при качении ролика.

Условие равновесия:

$$F_i d_T = 2N_i f. \quad (6)$$

Отсюда:

$$F_i = 2N_i f / d_T. \quad (7)$$

Для преодоления момента силы F_i и момента реакции N_i к внутреннему кольцу должен быть приложен момент:

$$M_i = 0,5 F_i \cdot (D_0 - d_T) + N_i f = N_i f D_0 / d_T, \quad (8)$$

где D_0 - диаметр окружности, проходящей по центрам тел качения;

d_T - диаметр тела качения;

f - коэффициент трения качения.

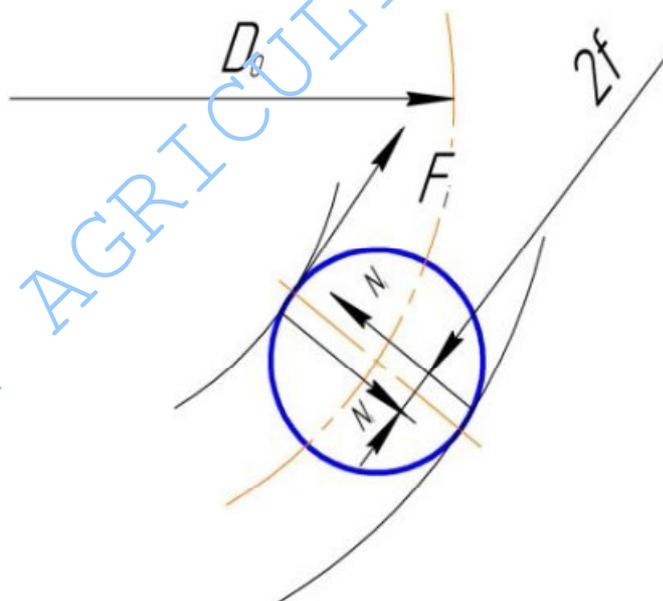


Рисунок 5 - Схема приложения сил к телу качения

где D_0 - диаметр окружности, проходящей по центрам тел качения;

d_T - диаметр тела качения;

f - коэффициент трения качения.

Учитывая наличие зазоров в радиальных подшипниках, момент M_{mp} для радиальных шариковых, роликовых и двухрядных шариковых сферических подшипников при радиальной нагрузке определяется зависимостью:

$$M_{mp} = 1,25f \cdot R D_o / d_T, \quad (9)$$

В подшипниках, работающих при невысоких оборотах, коэффициент трения качения $f = 0,0003 \dots 0,001$.

Большие значения принимают при густой смазке и малых нагрузках.

В радиальных однорядных шариковых и роликовых подшипниках при нормальных числах оборотов в минуту момент трения M_{mp} , обусловленный трением качения на дорожках, может быть определен по формуле:

$$M_{mp} = a \mu F_r D_m / d_u, \quad (10)$$

где $a = \sum F_{ri} / F_r \approx 1,2$ - численный коэффициент;

F_{ri} - радиальная нагрузка на отдельных шариках подшипника;

F_r - радиальная нагрузка на подшипник;

μ - коэффициент трения качения (плечо пары сил при перекатывании шарика по поверхности внутреннего кольца) (для стального закаленного шарика, перекатывающегося по стальной поверхности $\mu = 0,01$ мм);

D_m - диаметр окружности расположения центров тел качения (шариков);

d_u - диаметр шарика;

$$D_m = \frac{d+D}{2}, \quad (11)$$

где d - диаметр отверстия внутреннего кольца;

D - диаметр наружного кольца подшипника.

Помимо трения качения в подшипнике имеет место трение шариков о сепаратор и вязкое трение в смазке, заполняющей подшипник. Суммарный момент трения можно вычислить по простейшей формуле, применяемой для подшипников, работающих при средних и тяжелых нагрузках.

Если привести момент трения M_{mp} в подшипнике к посадочному диаметру вала d_s , равного диаметру внутреннего кольца d , то получим следующее выражение:

$$M_{mp} = f_{np} F_r d_6 / 2, \quad (12)$$

где f_{mp} - приведенный (условный) коэффициент трения;

d_6 - диаметр вала под подшипником.

Если принять при малом количестве смазки, что трение обусловлено только качением шариков, то из формулы (10) и (12) получим:

$$f_{np} = 1,2 \frac{2\mu}{d_b} \frac{D_m}{d_{ш}}. \quad (13)$$

В установке усилие на динамометре F создает на каждом из подшипников радиальную нагрузку:

$$F_r = F/2 \quad (14)$$

Отсюда момент трения, получаемый на всех четырех подшипниках:

$$M_{mp} = 4 f_{np} F_r \frac{d_b}{2}. \quad (15)$$

или после подстановки значения F_r :

$$M_{mp} = F d_6 f_{np}. \quad (16)$$

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить конструкцию подшипников качения, способы их установки (на валы и в корпус) и защиты их от попадания пыли и грязи.
2. Ознакомиться с конструкцией установки (рисунки 2, 3).
3. Начертить схему испытательной головки установки (рисунок 3).
4. Установить на вал головку с соответствующим подшипником (по указанию преподавателя).

Привести данные подшипника в виде таблицы 2.

Таблица 2 - Характеристика подшипника качения

Параметр	Обозначение и размерность	Величина параметра
Диаметр отверстия	d , мм	
Наружный диаметр	D , мм	
Диаметр шариков	d_w , мм	
Диаметр центров шариков	D_m , мм	
Количество шариков	Z_w	

5. При помощи трехступенчатой клиноременной передачи обеспечить необходимую частоту вращения подшипника (заданную преподавателем).

6. С помощью поршневого насоса установить необходимый уровень масла согласно таблице 3. Первое испытание проводится без заполнения подшипника маслом. Перед отсчетами необходимо, чтобы установка проработала 3...5 минут без нагрузки для разогрева подшипников.

7. По тарировочному коэффициенту измерительной пружины определить величины показаний стрелки индикатора динамометра, соответствующих заданным усилиям, и записать в таблицу 3

$$\lambda = F/K,$$

где λ - величина показания стрелки индикатора динамометра, мм;

K - тарировочный коэффициент пружины ($K = 7,1$ кН/мм).

8. Включить электродвигатель и записать в таблицу 3 значение момента трения при нулевой нагрузке.

Таблица 3- Результаты испытания подшипника № ___ при $n =$ ___ мин⁻¹

Параметр		Величина параметров при нагрузке F, Н				
		0	2000	4000	6000	8000
Показания индикатора динамометра λ , мм						
Нагрузка на один подшипник F_r , Н		0	1000	2000	3000	4000
1. Подшипник не заполнен маслом	Момент трения $M_{тр}$, Нм					
	Условный коэффициент трения, $f_{пр}$					
2. Подшипник заполнен маслом по центру нижнего шарика	Момент трения $M_{тр}$, Нм					
	Условный коэффициент трения, $f_{пр}$					
3. Подшипник заполнен маслом на толщину подшипника	Момент трения $M_{тр}$, Нм					
	Условный коэффициент трения, $f_{пр}$					

9. Нагружать подшипник ступенчато при помощи винта до требуемого усилия, соответствующего расчетному показанию стрелки индикатора, и на каждой ступени зафиксировать величину момента трения и занести в таблицу 3.

10. Следующие испытания провести с заполнением подшипника маслом. Уровни заполнения принимают следующие:

- по центру нижнего шарика (ролика);
- на толщину подшипника.

При испытании с заполнением подшипника маслом первый отчет сделать без нагрузки и затем при тех же нагрузках, что и при предыдущем испытании.

11. После окончания испытаний построить зависимости $M_{mp} = f(F_r)$ момента M_{mp} трения от нагрузки F_r , указав на графике номер линии, согласно таблице 3. Если есть точки, резко отличающиеся от общей закономерности, опыты должны быть повторены. Ошибки в измерениях имеют место вследствие различной температуры подшипников при отдельных испытаниях и отсюда - различной вязкости масла. Поэтому все испытания проводить по достижении подшипниками установившейся температуры.

12. Произвести расчет условного коэффициента трения f_{np} по формуле 11 и занести значения в таблицу 3. По полученным значениям f_{np} построить графики $f_{np} = f(F_r)$ зависимости условного коэффициента трения от нагрузки F_r , также указав номер линии.

13. Повторить все измерения при частотах вращения 2000 и 3000 мин⁻¹. Построить графики экспериментальной зависимости от частоты вращения внутреннего кольца подшипника.

14. По выполненной лабораторной работе в заключении необходимо отметить:

- Как изменяется момент трения с изменением нагрузки?

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

KAZAN STATE AGRICULTURAL UNIVERSITY

Список литературы

1. Решетов, Д.Н. Детали машин: учебник / Д.Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.

KAZAN STATE AGRICULTURAL UNIVERSITY