

**ОПД.Ф.02.04 ДЕТАЛИ МАШИН**  
**АНАЛИЗ ПОТЕРЬ НА ТРЕНИЕ В ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ**  
Методические указания к лабораторной работе

## 1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Целью работы является экспериментальное определение потерь на трение в подшипниках качения (далее обозначено ПК); исследование зависимости момента трения в ПК различных типов от нагрузки, скорости вращения и уровня жидкой смазки; расчет приведенных (условных) коэффициентов трения по экспериментальным данным и сравнение их со статистическими рекомендациями.

## 2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Для ПК сопротивление вращению оценивается величиной статического момента трения («момента трогания») или динамического момента трения, который на 30...50% меньше статического.

Величина моментов трения зависит от типа подшипника, его геометрии, шероховатости поверхностей качения, зазоров (натягов); величины и направления приложенной нагрузки; сорта, способа подвода и уровня масла; частоты вращения.

Разделить потери на отдельные составляющие и оценить влияние каждой из них очень сложно, поэтому на практике определяют совокупный, т.е. эквивалентный момент трения [1, с. 362], [2, с. 56]:

$$T_f = Ffd/2000 \text{ Н.м}, \quad (1)$$

где  $F = F_r^2 + F_a^2$  - результирующая нагрузка (Н), на ПК ( $F_r$  и  $F_a$  - соответственно радиальная и осевая силы); при  $F_a=0$   $F = F_r$ ;

$f$  - коэффициент трения, приведенный к поверхности вала;

$d$  - диаметр вала (внутренний диаметр ПК), мм.

По более точной зависимости момент трения представляют в виде двух слагаемых:

$T_{f0}$  - не зависящего от нагрузки, при  $F=0$  (учитывает постоянные потери в конструкции ненагруженного подшипника) и

$T_{fF}$  - зависящего от нагрузки (учитывает переменные, изменяющиеся с нагрузкой, потери):

$$T_f = T_{f0} + T_{fF} = (\lambda d^2 + f_F F_r d)/2000, \quad (2)$$

где  $\lambda$  - коэффициент, учитывающий постоянные потери в подшипнике, Н/мм;

$F_r$  - радиальная нагрузка на подшипник;

$f_F$  - коэффициент трения, приведенный к поверхности вала, учитывающий переменные потери в подшипнике.

В табл.1 приведены рекомендуемые для расчетов, теоретические значения  $f$ ,  $\lambda$ ,  $f_F$  в зависимости от типа подшипника при горизонтальном

расположении вала, уровне смазки до центра нижнего тела качения и частоте вращения не более 5000 мин<sup>-1</sup>.

**Таблица 1.** Теоретические значения коэффициентов  $f$ ,  $\lambda$ ,  $f_F$

Тип подшипника	Обозначение типа	$f$	$f_F$	$\lambda$ , Н/мм
<u>Шариковые:</u>				
радиальный однорядный	0000	0,0020	0.0012	0.06
сферический двухрядный	1000	0.0015	0.0010	0.06
радиально-упорные	36000, 46000	0.0030	0.0018	0.06
<u>Роликовые:</u>				
с короткими цилиндрическими роликами	2000	0.0020	0.0010	0.006
радиально-упорный	7000	0.0080	0.0030	0.20

Мощность (кВт) потерь на трение оценивают [2, с.56] по формуле

$$P_f = T_f n / 9550, \quad (3)$$

где  $n$  - частота вращения вала, мин<sup>-1</sup>.

### **3. ОБЪЕКТ И СРЕДСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

В лабораторной работе потери на трение определяются для одного из четырех подшипников **208, 308, 1208, 7208** ( $d = 40$  мм) - по заданию преподавателя - на стенде, схема которого изображена на рис.1.

Стенд имеет четыре системы: вращения, нагружения, смазки подшипников и измерения.

**Вращение ПК** осуществляется электродвигателем **1** мощностью 0.6 кВт и частотой вращения 1350 мин<sup>-1</sup>, установленным внутри корпуса стенда. С вала двигателя при помощи клиноременной передачи **2** (сзади корпуса, закрыта крышкой) движение передается на приводной вал **3**, расположенный сверху на двух опорах **4**. Шкивы ременной передачи имеют три различных сочетания диаметров, что позволяет путем перестановки ремня на них получить три частоты вращения вала **3**: **970, 1880 и 2860 мин<sup>-1</sup>**.

**Комплект из четырех испытуемых подшипников** одного типоразмера располагается в сменной испытательной головке **5**, которая надевается втулкой **10** на консоль вала **3** и стопорится в рабочем положении шариковым фиксатором **6**. Два крайних **7** (из четырех) подшипника головки являются ее опорами на втулке **10**. Их наружные кольца закреплены в корпусе головки **5**. Два средних подшипника **8** головки использованы для передачи радиальной нагрузки с механизма нагружения на вращающийся вал **3**. Наружные кольца этих подшипников установлены в невращающейся обойме **9**. Между стенками

обоймы и корпуса головки имеется зазор. Внутренние кольца всех четырех подшипников смонтированы на общей втулке *10*, соединяющейся с валом *3* шпонкой *11*.

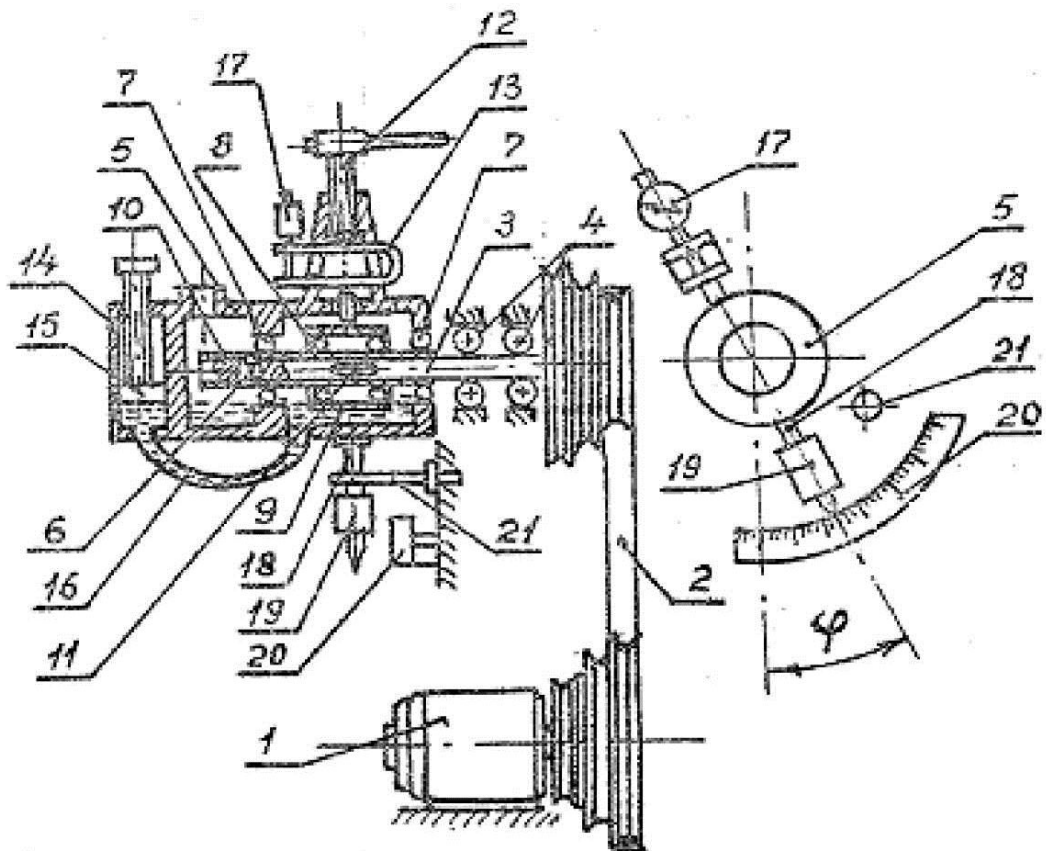


Рис. 1. Схема испытательного стенда

**Механизм нагружения** служит для создания радиальной нагрузки на испытуемые подшипники. При вращении воротком винта *12* нагрузка через динамометрическую скобу *13* воздействует на обойму *9* и через нее на два средних подшипника *8*. Одновременно в крайних подшипниках *7* возникают равные и противоположно направленные реактивные усилия. Таким образом, на каждый подшипник приходится сила  $F_r = Q/2$ , где  $Q$  - нагрузка на динамометре *13*.

**Смазочное устройство** *14* служит для изменения уровня смазки в ПК. При перемещении винтом поршня *15* масло через трубку *16* нагнетается в полость головки *5*. Для смазки применяется жидкое масло И-12А ГОСТ 20799-88 с кинематической вязкостью  $12 \text{ мм}^2/\text{с}$  (сантистокс) при  $50^\circ\text{C}$ .

**Системы измерения.** Перемещение динамометрической скобы *13* под действием винта *7* измеряется индикатором *17* часового типа с ценой деления  $0,01 \text{ мм}$ . Зависимость перемещения от нагрузки  $Q$  (тарировка) предствалена в табл.2.

**Таблица 2.** Тарировка динамометрической скобы

Усилие $Q$ , Н		2500	5000	7500	10000	12500
Перемещение скобы в делениях индикатора	прямой ход	35	71	104	139	168
	обратный ход	36	72	110	144	-

**Измерение момента трения** в четырех подшипниках осуществляется способом уравнивания опрокидывающего момента на головке балансирным устройством. В него входят штанга **18** и груз **19**. Под действием момента трения корпус головки **5** вместе с обоймой **9** и штангой **18** поворачивается на некоторый угол  $\phi$ . Груз **19** с плечом по горизонтали до оси головки создает уравнивающий момент, удерживая головку от вращения. Момент трения (Н·м) снимается со шкалы **20**. Для ограничения вращения головки при пуске двигателя предусмотрен упор **21**.

#### **4. ОХРАНА ТРУДА**

Общие правила по технике безопасности в лаборатории «Детали машин» изложены в инструкции № 289.

Для данной работы особенно следует подчеркнуть:

**1)** При установке испытательной головки на приводной вал, после приложения нагрузки на динамометре перед каждым включением электродвигателя и во время работы стенда головка всегда должна находиться в крайнем заднем положении, опираясь в выступ вала;

**2)** Перед включением двигателя необходимо убедиться в надежности закрепления ограничительного упора **21**;

**3)** При вращении винта **12** воротком (приложение нагрузки) левой рукой следует упираться в корпус головки, создавая реакцию против стаскивания головки с приводного вала;

**4)** Во избежание выброса масла из заливного патрубка при работе стенда не следует наливать его выше риски на окне головки;

**5) Категорически запрещается** снимать крышку корпуса ременной передачи при включенном двигателе, а также включать двигатель при открытой крышке;

**6)** Переключение скорости вращения вала **3** путем перестановки клинового ремня в ручьях шкивов производить при отключенном положении тумблера электрической сети на пульте управления стенда;

**7)** Первое включение двигателя и начало измерений **проводить только в присутствии преподавателя.**

## 5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1. После изучения настоящих указаний следует выполнить подготовку к проведению экспериментальной части работы:

5.1.1. По заданию преподавателя установить испытательную головку на вал станда (обозначение типоразмера подшипника указано в табличке на торце головки).

5.1.2. Установить индикатор в динамометрическую скобу с натягом в 1/4 оборота стрелки при  $Q = 0$ ; выставить шкалу его на 0.

5.1.3. Установить нулевой (а) уровень масла в подшипниках (поршень насоса в верхнем положении)

5.1.4. Снять заднюю крышку станда и перестановкой ремня на шкивах установить минимальную частоту вращения ( $970 \text{ мин}^{-1}$ ) приводного вала.

5.1.5. Повесить крышку на место.

5.1.6. На панели управления станда включить электрическую сеть и кнопку пуска электродвигателя. В течение 5 минут прогреть станд (при  $Q = 0$ ) для получения рабочего температурного режима.

5.1.7. Во время прогрева по данным табл.2 построить тарировочный график динамометра.

5.1.8. Заготовить табл.3 для записи результатов эксперимента (допускается одну на бригаду).

Таблица 3. Результаты эксперимента

Радиальное усилие динамометра $Q$				№	1	2	3	4	5	6	7
				кН	0						
				$P_{\text{инд}}$	0						
				Момент трения $T_f$	уровни масла	а	частота вращения вала $n \text{ мин}^{-1}$	970			
1880											
2860											
б	970										
	1880										
	2860										
в	970										
	1880										
	2860										

**Примечание.**    Обозначение уровней масла:

**а** - без заполнения подшипников маслом;

**б** - до центра нижнего тела качения;

**в** - до касания внутреннего кольца.

## 5.2. Экспериментальная часть работы

5.2.1. При установленных уровнях масла,  $n$  и  $Q = 0$  произвести замер по шкале 20 начального момента трения ненагруженных подшипников  $T_{4f0}$  и записать его в табл. 3

5.2.2. Винтом нагружения 12 по шкале индикатора установить, используя тарировочный график динамометра, следующие нагрузки  $Q$  в интервале от 0 до 10 кН (по указанию преподавателя). Замерить моменты  $T_{4f}$  и занести их в табл.3.

Для экономии времени перед каждым замером  $T_{4f}$  рекомендуется гасить маятниковые колебания головки 5 рукой.

Отсчет  $T$  по шкале следует производить с точностью до 0.01 Н·м.

5.2.3. Выключить двигатель и электрическую сеть, снять нагрузку  $Q$ , открыть заднюю крышку, изменить положение ремня на шкивах и повторить измерения для всех точек  $Q$  при следующей частоте вращения  $n$ .

5.2.4. Снять нагрузку и установить, вращая винт насоса, следующий уровень масла. Повторить все процедуры п.п. 5.2.1 ...5.2.3. То же и для третьего уровня масла.

5.2.5. По окончании измерений отключить электродвигатель и электрическую сеть, разгрузить подшипники, привести в порядок стенд (вытереть подтеки масла) и рабочее место.

5.2.6. Подписать у преподавателя таблицу результатов, каждому получить у него задание на составление индивидуального отчета, сдать выданную литературу.

## 6. УКАЗАНИЯ К СОСТАВЛЕНИЮ ОТЧЕТА

О проделанной работе каждый студент представляет индивидуальный отчет, выполненный по типовой форме.

Порядок выполнения отчета и его форма приведены в приложении.

Пояснения к содержанию отчета:

1) На рис.2 (приложение) построить тарировочный график динамометра при прямом и обратном ходах нагружения.

2) Характеристика испытуемых подшипников берется из справочников [2], [4] или измерением натуре ПК. На рис.3 изображают сечение подшипника с размерами. Значения коэффициентов  $f$ ,  $\lambda$ ,  $f_f$  - из табл. 1.

3) В левой части табл.1 отчета:  $Q$  - внешняя нагрузка на динамометре,  $F_r = Q/2$ .

Экспериментальные значения  $T_{4f}$  для уровней масла а, б, в выписывают из табл.3 результатов только из тех строк, которые соответствуют заданной преподавателем  $n$ . Момент  $T_{4f}$  возникает в четырех подшипниках; для одного ПК  $T_f = T_{4f}/4$ .

В правой части табл.1 отчета записывают расчетные значения моментов трения в одном подшипнике по формулам:

$$T_{fp} = F_r f d / 2000,$$

$$T_{fp1} = (\lambda d^2 + f_F F_r d) / 2000.$$

В табл.2 отчета определяются коэффициенты трения по экспериментальным данным левой части табл.1 отчета:

$$f = 2000 T_f / F_r d;$$

$$T_{fF} = T_f - T_{f0};$$

$$f_F = 2000 T_{fF} / F_r d ,$$

где  $T_{f0}$  - момент трения в подшипнике при  $F_r = 0$  (строка 1 табл. 1 отчета).

На рис.4 строятся графики экспериментальных  $T_f$  и расчетных моментов  $T_{fp}$ ,  $T_{fp1}$  в зависимости от  $F_r$  для уровней масла а, б, в (максимум 5 графиков).

На рис.5 выполняются графики  $f$  и  $f_F$  в зависимости от  $F_r$  для трех уровней масла (максимум 6 графиков). Здесь же следует указать линии теоретических значений  $f$  и  $f_F$ . Все графики должны иметь однозначные обозначения.

4) В табл.3 отчета записывают из табл.3 результатов только те столбцы  $T_f = T_{4f} / 4$ , которые соответствуют величине  $F_r$  согласно индивидуальному заданию.

В остальных графах табл.3:

$$f = 2000 T_f / F_r d, \quad \text{увеличенное в } 10^3 \text{ раз};$$

$$T_{f0} \text{ при } F_r = 0 - \text{ первый столбец из табл.3 (стр.7);}$$

$$\lambda = 2000 T_{f0} / d^2, \text{ увеличенное в } 10^2 \text{ раз};$$

$$T_{fF} = T_f - T_{f0};$$

$$f_F = 2000 T_{fF} / F_r d, \text{ увеличенное в } 10^3 \text{ раз.}$$

На рис.6 изображается зависимость  $T_f$  от  $n$  для уровней масла а, б, в. На рис.7 - зависимость  $f$ ,  $\lambda$ ,  $f_F$  от  $n$  для трех уровней масла. Здесь же следует провести линии теоретических значений  $f$ ,  $\lambda$ ,  $f_F$ .

5) В анализе результатов необходимо отметить:

- а) характер и причины изменения  $T_f, f, f_F$  от  $F_r$  при  $n - \text{const}$ ;
- б) то же для  $T_f, f, \lambda, f_F$  от  $n$  при  $F_r - \text{const}$ ;
- в) влияние уровня масла на потери в подшипниках;
- г) определить среднеарифметические значения экспериментальных  $f$ ,  $\lambda$  и  $f_F$  соответственно при  $n - \text{const}$  и  $F_r - \text{const}$  и дать оценку расхождения их с теоретическими рекомендациями.



## 7. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1) Особенности кинематики ПК.
- 2) Характер распределения радиальной нагрузки по телам качения.
- 3) Характер напряжений в ПК.
- 4) Причины и характер разрушения ПК.
- 5) Источники потерь на трение в ПК.
- 6) Составляющие момента трения  $T_f$  в ПК.
- 7) Мероприятия по уменьшению потерь на трение в ПК.
- 8) Назначение и способы смазки ПК.
- 9) Как влияет скорость вращения на выбор способа смазки ПК.
- 10) Как влияет изменение нагрузки на  $T_f$  и  $f$ ?
- 11) Как влияет изменение скорости вращения на  $T_f$  и  $f$ ?
- 12) Как влияет количество смазки на  $T_f$  и  $f$ ?
- 13) Что такое и чем различаются  $f$ ,  $f_F$  и  $\lambda$ ?
- 14) Сравнение результатов экспериментальных и теоретических величин  $f$ ,  $f_F$  и  $\lambda$ . В чем причина их различия?
- 15) Конструкция испытательного стенда.
- 16) В каких отношениях сочетаются диаметры шкивов ременной передачи для заданных  $n$ ?
- 17) Расчетная схема и зависимость для тарировки шкалы  $T_f$  на стенде.
- 18) Расшифровка обозначения и характеристика испытуемых ПК.
- 19) Порядок выполнения работы
- 20) Методика обработки результатов измерения
- 21) Как практически определить к.п.д. ПК?

## 8. ЛИТЕРАТУРА

1. Решетов Д.Н. Детали машин.- М.: Машиностроение, 1989.
2. Подшипники качения: Справочник-каталог / Под ред. В.Н.Нарышкина и Р.В. Коросташевского.- М.: Машиностроение, 1984.
3. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин.- М.: Высш. шк., 1985.
4. Перель Л.Я., Филатов А.А. Подшипники качения: Справочник.- М.: Машиностроение, 1992.
5. Подшипниковые узлы современных машин и приборов: Энциклопедический справочник / Под общей ред. В.Б. Носова.- М.: Машиностроение, 1997. – 640 с.

# АНАЛИЗ РАБОТЫ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Цель работы: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## 1. Устройство стенда

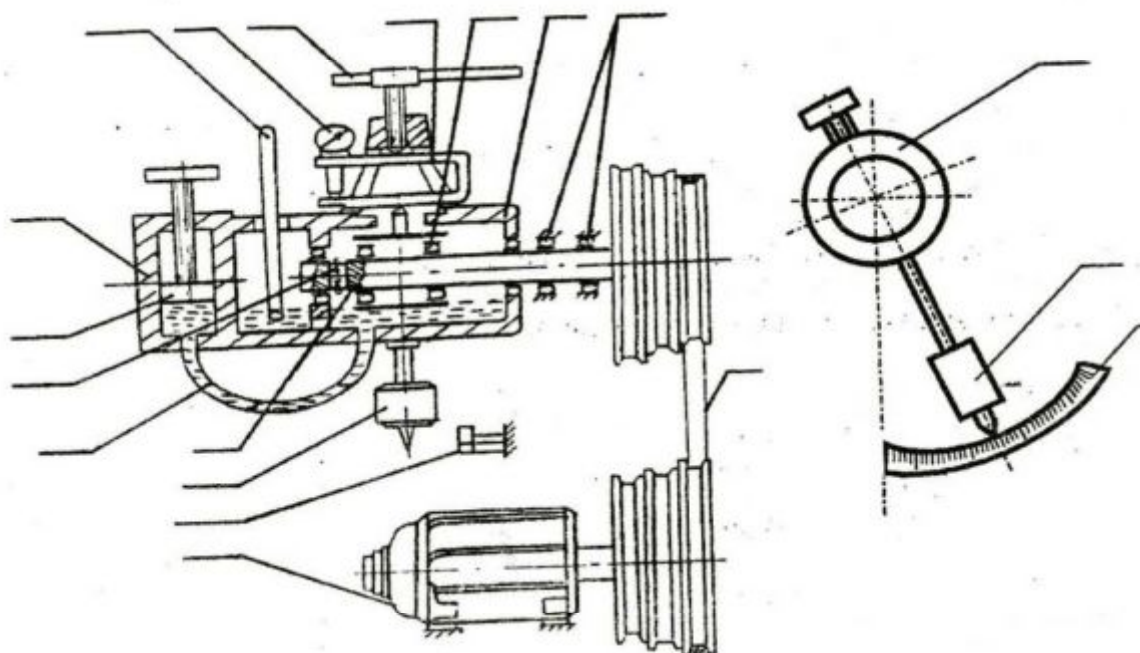


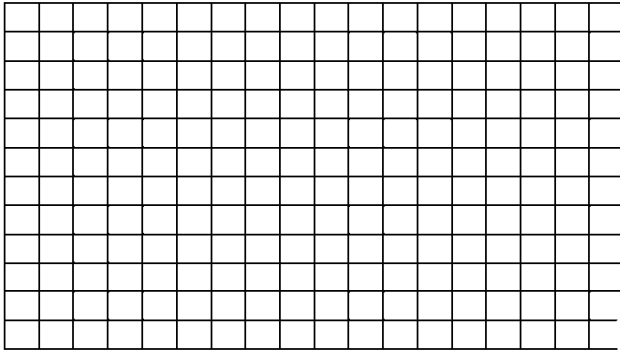
Рис.1 Схема испытательного стенда

Обозначение позиций на рис.1:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Измерительная аппаратура:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

$n_{\text{инд}}$ 

Масштабно-тарировочный коэффициент:

$$K = \frac{Fr}{n_{\text{инд}}} = \frac{H}{\text{число делений индикатора}}$$

При  $\Delta H_r = 1000 \text{ Н}$

$n_{\text{инд}} =$  \_\_\_\_\_

При  $\Delta H_r = 2000 \text{ Н}$

$n_{\text{инд}} =$  \_\_\_\_\_

 $F_r$ 

### 2. Характеристики испытуемых подшипников:

Подшипник \_\_\_\_\_  
 Тип \_\_\_\_\_  
 Серия \_\_\_\_\_  
 Внутренний диаметр  $d =$  \_\_\_\_\_ мм  
 Наружный диаметр  $D =$  \_\_\_\_\_ мм  
 Ширина  $B =$  \_\_\_\_\_ мм  
 Диаметр тел качения  $D_w =$  \_\_\_\_\_ мм  
 Число тел качения  $z =$  \_\_\_\_\_

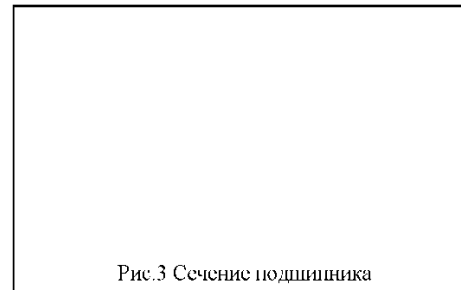


Рис.3 Сечение подшипника

Значения коэффициентов (по литературным данным)

$f =$  \_\_\_\_\_,  $\lambda =$  \_\_\_\_\_,  $f_0 =$  \_\_\_\_\_

### 3. Зависимость приведённого коэффициента трения от нагрузки $F_r$ при $n =$ \_\_\_\_\_ $\text{мин}^{-1}$

Таблица 1

Зависимость моментов трения  $T$  от  $F_r$

№ п/п	$F_r, \text{ Н}$	Эксперимент: $T, \text{ Н}\cdot\text{м}$			Расчётные значения $T$	
		Уровни масла			$T = 0,5fF_r d$	$T = 0,5(\lambda d^2 + f_0 F_r d)$
		<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>		
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	2

Таблица 2

Экспериментальные значения  $f$  и  $f_0$  в зависимости от  $F_r$

№ п/п	$F_r$ , Н	$f = 2T / F_r d$			$T_F = T - T_0$ , Н·м			$f_0 = 2T_F / F_r d$		
		<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										

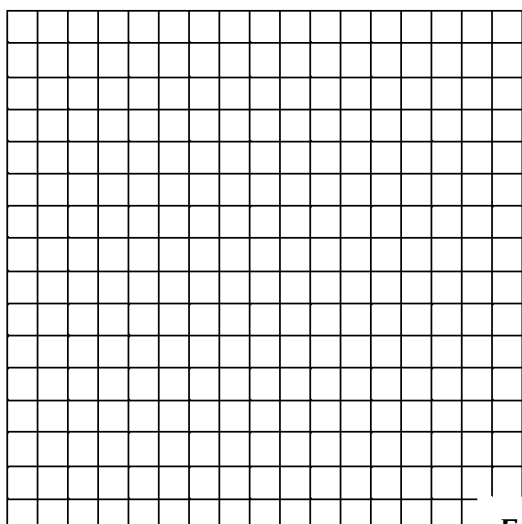
Примечания к табл. 1, 2.

1. Уровни масла: *a* - без заполнения подшипника; *б* - до центра нижнего тела качения; *в* - до внутреннего кольца.

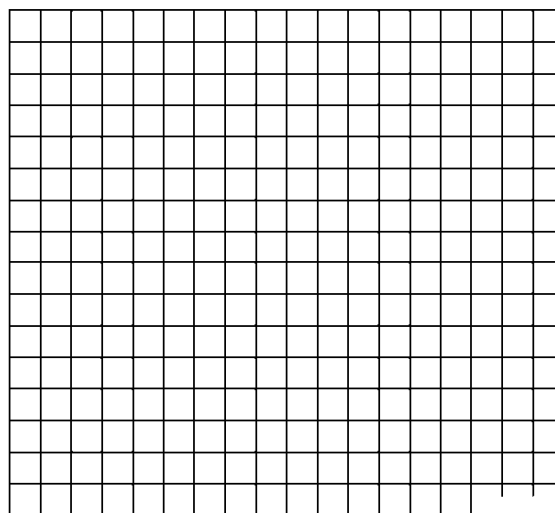
2.  $T_0$  – момент при  $F_r = 0$ .

$T$ , Н·м

$f, f_0 \cdot 10^3$



$F_r$ , Н



$F_r$ , Н

Рис.4. Зависимость  $T$  от  $F_r$  (табл.1)

Рис.5. Зависимость  $f$  и  $f_0$  от  $F_r$  (табл.2)

4. Зависимость приведённого коэффициента трения от частоты вращения  $n$  при

$$F_r = \text{Н}$$

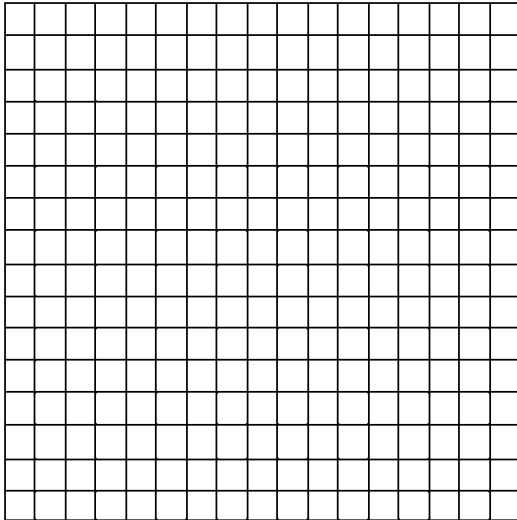
Таблица 3

Зависимость  $T, f, \lambda, f_0$  от  $n$

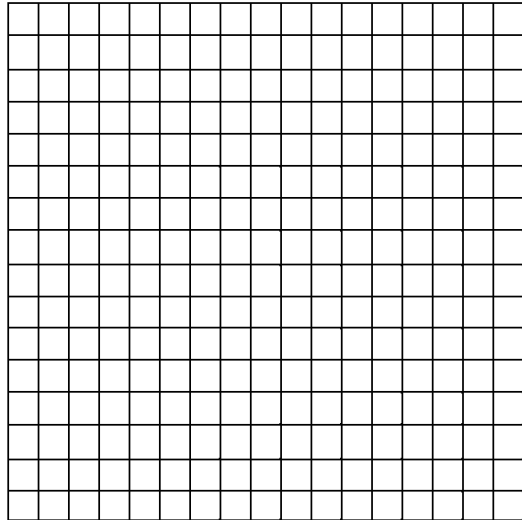
$n, \text{ мин}^{-1}$	$T$ , Н·м			$f = \frac{2000 \cdot 10^3 T}{F_r d}$			$T_0 (F_r = 0)$			$\lambda = \frac{2000 \cdot 10^2 T}{d}$			$T_F = T - T_0$			$f_0 = \frac{2000 \cdot 10^3 T_F}{F_r d}$			
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	
970																			
1880																			
2860																			

																			Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата															3

$T, \text{ Н}\cdot\text{м}$



$f, f_0,$



$n, \text{ мин}^{-1}$

Рис. 6. Зависимость  $T$  от  $n$  (табл.3)

$n, \text{ мин}^{-1}$

Рис. 7. Зависимость  $f, f_0, \lambda$  от  $n$  (табл.3)

**5. Анализ результатов и выводы:**

Blank area for writing the analysis of results and conclusions, consisting of multiple horizontal lines.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4