



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГИЙ И УПРАВЛЕНИЯ
имени К.Г. Разумовского (ПКУ)

Кафедра Системы автоматизированного управления

Лабораторный практикум
дисциплины

Детали машин и цифровая среда
проектирования

Москва – 2022

УДК 621.81.001

Обсуждены и одобрены на заседании кафедры «Системы автоматизированного управления»
(протокол № 8 от «03» марта 2022 г.).

Содержание

Введение.....	4
Работа №1. Изучение конструкции и определение основных технических характеристик цилиндрического зубчатого редуктора	4
Работа №2. Изучение конструкции и определение технических характеристик конического редуктора	11
Работа №3. Изучение конструкции и определение технических характеристик червячного редуктора с цилиндрическим червяком	16
Работа №4. Изучение конструкций и параметров подшипников качения ..	20
Литература.....	27

Введение

Предлагаемое учебное пособие следует рассматривать как часть системы учебно-методического обеспечения процесса обучения дисциплине "Детали машин и цифровая среда проектирования".

В процессе выполнения лабораторных работ студенты знакомятся с реальными конструктивными разновидностями деталей машин, механизмами и сборочными единицами, способами измерения и расчета основных параметров закрытых зубчатых передач и подшипников качения, закрепляют навыки выполнения эскизов и схем реальных объектов, получают умения пользоваться стандартами, нормами и другими справочными материалами.

Лабораторная работа №1

Изучение конструкции и определение основных технических характеристик цилиндрического зубчатого редуктора

Цель работы: получить представление об устройстве, правилах и нормах проектирования и конструирования автономных узлов машин (редукторов); получить навыки в измерении основных параметров зубчатых передач.

Краткие теоретические сведения

Редуктором называют механизм, служащий для уменьшения угловой скорости выходного вала по сравнению с входным и соответствующего увеличения вращающего момента. В корпусе размещены одна или несколько передач зацеплением с постоянным передаточным отношением.

Редукторы широко применяют в различных отраслях машиностроения, поэтому число разновидностей их велико (рис. 1.1.).

Чтобы уменьшить габариты привода и уменьшить его внешний вид, в машиностроении широко применяют мотор редукторы, в которых объединены электродвигатель и редуктор в один моноблок.

Различают редукторы общемашиностроительного и специального применения. *Редуктор общемашиностроительного применения* – редуктор, выполненный в виде самостоятельного агрегата, предназначенный для привода различных машин и механизмов и удовлетворяющий комплексу технических требований, общему для большинства случаев применения без учета каких-либо специфических требований, характерных для отдельных областей применения.

В соответствии с ГОСТ 29067-91 редукторы и мотор – редукторы общемашиностроительного применения классифицируют в зависимости от:



Рис.1.1. Классификация редукторов

- вида выполняемых задач, числа ступеней и взаимного расположения осей входного и выходного валов (параллельное, соосное, пересекающееся, скрещивающееся);
- взаимного расположения геометрических осей входного и выходного валов в пространстве (горизонтальное, вертикальное);
- способа крепления редуктора (на приставных лапах или на плите, фланец со стороны входного выходного вала насадкой);
- расположение оси выходного вала относительно плоскости основания и оси входного вала (боковое, нижнее, верхнее) и числа входных и выходных концов валов.

Условное цифровое обозначение по ГОСТ 20373-94 варианта сборки редуктора и мотор редуктора характеризует взаимное расположение выходных концов валов, их количество и должно входить в условное обозначение изделия.

Общие технические условия регламентированы: для редукторов общемашиностроительного применения – ГОСТ Р 50891-96; для мотор редукторов – ГОСТ Р 50968-96.

Важнейший характеристический размер, в основном определяющий нагрузочную способность, габариты, массу редуктора, называют **главным параметром** редуктора. Главным параметром цилиндрических, червячных и глобоидных редукторов – *межосевое расстояние* a_w тихоходной ступени, конических – *номинальный внешний делительный диаметр* d_{e2} колеса.

Реальный диапазон передаточных отношений (чисел) редукторов – от 1 до 1000. Значения передаточных отношений должны соответствовать ряду R 20 предпочтительных чисел (ГОСТ 8032-84).

Критерием технического уровня редуктора служит относительная масса. *Относительная масса редуктора* или редукторной части мотор редуктора – есть частное от деления массы m в килограммах на номинальный вращающий момент $T_{\text{вых}}$ на выходном валу в Ньютон метрах.

$$\gamma = m/T_{\text{вых}}$$

При значении $\gamma = 0,1 \dots 0,2$ – средний уровень; при $\gamma = 0,06 \dots 0,1$ – высокий уровень.

Определение массы и значения γ производят по специальным методикам и графикам.

Вопросы входного контроля

1. Как обозначают на кинематических схемах цилиндрические зубчатые передачи (прямозубые, косозубые, шевронные), валы, подшипники качения и скольжения?

2. Что такое модуль зацепления и как его можно определить?

3. Укажите отличие между нормальным и торцевым модулями в косозубом зацеплении (обосновать ответ и привести расчетные формулы)? Который из этих модулей стандартизирован?

4. Что такое передаточное число и как его можно определить всеми известными способами?

5. Как определяют общее передаточное число многоступенчатого редуктора?

6. Дайте определение начального и делительного диаметров зубчатых колес. В каком случае они совпадают?

7. Как определяют главный параметр зубчатой цилиндрической передачи – межосевое расстояние (геометрический расчет)?

8. Дайте определение термину «Редуктор». В какой механизм можно его преобразовать, не меняя конструкции?

9. Какими основными параметрами характеризуют редуктор?

10. Назовите основные разновидности цилиндрических зубчатых редукторов по кинематическим схемам и вариантам сборки.

Оборудование, приборы и принадлежности

Цилиндрический одно- или двухступенчатый (предпочтительно стандартный) редуктор с прямо- косозубыми колесами; набор гаечных ключей, отвертки, масштабную линейку, штангенциркуль, штангензубомер, угломер универсальный, кронциркуль, транспортир школьный, сборочный чертеж редуктора, таблицы основных параметров стандартных редукторов.

Основные задачи исследования

На примере цилиндрического редуктора ознакомиться с назначением деталей, принципом их действия, нормами их конструирования; схемой установки и способом смазывания подшипников; измерить параметры зубчатых колес и составить их сводную таблицу, получить навыки регулировки подшипниковых узлов.

Последовательность выполнения работы

1. Произвести внешний осмотр редуктора, сверить соответствие редуктора и сборочного чертежа.
2. Изучить конструкцию корпуса, наметить план разборки редуктора.
3. Редуктор цилиндрический разбирать в следующем порядке: отвинтив соединительные болты, снять крышку редуктора и крышки подшипниковых узлов.
4. Ознакомиться с внутренним устройством редуктора и назначением деталей (с наименованием деталей ознакомиться по спецификации чертежа), обратить внимание на способ смазывания зацепления и подшипников.
5. Снять входной и выходной валы редуктора с деталями и подшипниками, установленными на них;
6. Замерить угол наклона зубьев непосредственно по диаметру выступов с помощью универсального угломера или по отпечаткам зубьев на бумаге, предварительно нанеся на них тонкий слой краски посредством школьного транспортира. Разумеется, такое измерение даст ориентировочное значение угла наклона зубьев.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Название и тип исследуемого редуктора.
3. Кинематическая схема редуктора (выполненная в масштабе согласно с требованием ГОСТ 2.402-68).
4. Эскиз одного из элементов зацепления (шестерня или колесо).
5. Характеристика конструкции редуктора (перечень основных деталей; конструкция колес, способ соединения их с валами и способы осевой фиксации их на валах; конструкция подшипниковых узлов, схема их установки и способ смазки, наблюдение за состоянием редуктора и др.) уплотнения на выступающих концах валов редуктора.
6. Таблица основных параметров редуктора (см. табл. 1.1.);
7. Сравнительная характеристика данного редуктора с другими однотипными, стандартными конструкциями.
8. После выполнения всех замеров, необходимых для заполнения таблицы 1.1., эскизов и кинематической схемы редуктора, собрать редуктор до рабочего состояния.

Вопросы зачетного контроля

1. Конструкция и принцип работы универсального угломера. Как измеряют угол наклона линии зуба?
2. Какие предельные значения угла наклона для косозубых и шевронных колес? Какие положительные свойства придает этот угол характеристике зубчатого зацепления?
3. Дайте характеристику одного из узлов (быстроходного, промежуточного или тихоходного валов) редуктора; охарактеризуйте конструкцию тихоходного колеса, способ его соединения с валом и фиксирование вдоль оси вала.
4. Какой способ смазывания предусмотрен для подшипников редуктора?
5. Какая цель применения, и какая конструкция уплотнений на выступающих концах валов?
6. Как определить передаточное число редуктора?
7. Почему диаметр выступающего конца выходного вала больше диаметра конца быстроходного вала?
8. В каких случаях выполняют вал заодно с шестерней?
9. По какой схеме установлены подшипники на валах редуктора?
10. С какой целью применяют отдушину? Где ее устанавливают?
11. Исследуемый редуктор с врезными крышками подшипниковых узлов или привертными? Дайте оценку этим типам крышек.
12. Приведите сравнительную характеристику конструкции исследуемого редуктора с другими однотипными конструкциями.

Таблица 1.1.

**Основные геометрические, кинематические и силовые параметры
исследуемого редуктора**

Наименование параметра и его единица	Обозначение	Способ определения	Результаты измерений и вычислений	
			Быстроходная ступень	Тихоходная ступень
1	2	3	4	5
Число зубьев шестерни	z_1	Сосчитать		
Число зубьев колеса	z_2	\gg		
Передаточное число ступени	u_1 u_2	$u_1 = z_2 / z_1$ $u_2 = z_4 / z_3$		
Общее передаточное число редуктора	$u_{общ}$	$u_{общ} = u_1 \cdot u_2$		
Межосевое расстояние	a_w	Измерить		
Угол наклона зуба по вершинам, град	β_a	Измерить		
Угол наклона по делительному диаметру, град	β	$\beta = \arctg \frac{z_1}{z_1 + 2} \operatorname{tg} \beta_a$		
Модуль нормальный, мм	m_n	$m_n = \frac{2a_w}{z_1 + z_2} \cos \beta$		
Модуль торцевой, мм	m_t	$m_t = m_n / \cos \beta$		
Делительный диаметр, мм	d_1 d_2	$d_1 = m_t z_1$ $d_2 = m_t z_2$		
Диаметры вершин зубьев, мм	d_{a1} d_{a2}	$d_{a1} = d_1 + 2m$ $d_{a2} = d_2 + 2m$		

1	2	3	4	5
Ширина венцов колес, мм	b_1 b_2	Измерить		
КПД	η	$\eta = \eta_n \eta_3$		
Крутящий момент на ведомом валу	T_T	$T_T = P_T / \omega_T$		
Мощность и частота вращения ведущего вала	P_1 ω_1	Задается >>		
Силы в зацеплении				
Окружная	F_t	$F_t = 2T_1 / d_1$		
Радиальная	F_r	$F_r = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha$		
Осевая	F_a	$F_a = F_t \cdot \operatorname{tg} \beta$		

- Примечания:
1. Межосевое расстояние сравнить со стандартным для данного типа редуктора.
 2. Модуль зацепления округлить до ближайшего стандартного значения.
 3. Если редуктор одноступенчатый, то $U_{\text{общ}} = U_1$.
 4. Кинематическая схема исследуемого редуктора (выполнить на обороте листа).
 5. Эскиз вал шестерни или колеса (выполнить на обороте листа).
 6. Анализ сравнительной характеристики исследуемого редуктора со стандартными параметрами.

Работа №2

Изучение конструкции, определение технических характеристик конического редуктора

Цель работы: получить представление о правилах и нормах проектирования автономных узлов машин (редукторов); получить навыки в измерении параметров зубчатых передач.

Краткие теоретические сведения

Они приведены в работе №1. Здесь необходимо обратить внимание на сравнение конической зубчатой передачи с цилиндрической, преимущества и недостатки, а также область применения конической передачи.

Вопросы входного контроля

1. Как обозначают на кинематических схемах конические (прямозубые, тангенциальные и круговыми зубьями) и цилиндрические (прямо-косозубые и алочные) зубчатые передачи, валы и подшипники?

2. Назовите область применения, преимущества и недостатки конической зубчатой передачи.

3. Сколько различают модулей конической передачи, который из них принимают в качестве стандартного?

4. Как определить передаточное число редуктора (общее и его составных для многоступенчатых редукторов)?

5. Дайте пояснение сути угла делительного конуса конического зубчатого колеса и его связь с передаточным числом передачи.

6. Что такое конусное расстояние (внешнее и среднее) конической передачи?

Оборудование, приборы и принадлежности

Конический редуктор, набор гаечных ключей и отверток, штангенциркуль, кронциркуль, масштабную металлическую линейку, универсальный угломер, краску для проверки пятна контакта, набор регулировочных прокладок, справочную таблицу стандартных значений модулей зубьев, таблицы технических характеристик стандартных редукторов, сборочный чертеж исследуемого редуктора.

Основные задачи исследования

На примере конического редуктора ознакомиться с назначением деталей, принципом их действия, нормами их конструирования; схемой установки и способом смазывания подшипников; измерить параметры зубчатых колес и

составить их сводную таблицу; получить навыки регулировки зацепления конической передачи и подшипниковых узлов.

Последовательность выполнения работы

1. Произвести внешний осмотр редуктора, сверить соответствия редуктора и чертежа.

2. Изучить конструкцию корпуса и назначение деталей (с наименованием деталей ознакомиться по спецификации чертежа), наметить план разборки редуктора.

3. Редуктор конический разобрать в следующем порядке:

3.1. Отвинтить винты крепления крышки редуктора и крышек подшипников узлов;

3.2. Снять крышку редуктора и ознакомиться с его устройством;

3.3. Снять крышки подшипников узлов, вынуть из корпуса узел быстроходной шестерни и зубчатое колесо с валом;

3.4. Замерить и рассчитать параметры, приведенные в таблице 2.1.;

3.5. Установить узлы, шестерни и колеса на свои рабочие места.

4. Составить кинематическую схему редуктора.

5. Выполнить эскиз подшипникового узла шестерни.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.

2. Название типа исследуемого редуктора.

3. Кинематическая схема редуктора (выполненная в масштабе в соответствии с требованиями ГОСТ 2.402-68).

4. Эскиз одного из элементов зацепления (шестерни или колеса).

5. Характеристика конструкции редуктора (перечень основных деталей; конструкция колеса, способ соединения их с валами и способы осевой фиксации их на валах; конструкция подшипниковых узлов, схема их установки и способ смазывания редуктора, контроль уровня масла, наблюдение за состоянием редуктора и др.) уплотнения на выступающих концах валов редуктора;

6. Таблица основных параметров редуктора (см. таблицу 2.1.);

7. Сравнительная характеристика данного редуктора с другими однотипными и стандартными конструкциями по ГОСТ 2185-78.

8. После выполнения замеров, необходимых для заполнения таблицы 2.1., эскизов и кинематической схемы редуктора, собрать редуктор до рабочего состояния.

Вопросы зачетного контроля

1. Дайте сравнительную характеристику конических колес с круговыми и прямозубыми колесами.
2. Есть ли постоянное значение модуля у конических зубчатых колес?
3. Каким образом из графического изображения конического зубчатого зацепления определяют его передаточное отношение?
4. Как осуществляется смазывание зубчатого зацепления и подшипников исследуемого редуктора?
5. Каково назначение крюков (отверстий в приливах) на корпусе редуктора и болтов (отверстий в приливах на его крышке)?
6. Почему подшипниковый узел вал шестерни смонтирован в стакане?
7. Каково назначение прокладок между стаканами и корпусом, между стаканом и крышкой подшипника?
8. Дайте характеристику одного из узлов редуктора (быстроходного или тихоходного валов); дайте конструктивную характеристику колес, способов крепления их на валах (для передачи момента и осевого смещения).
9. Поясните назначение штифтов в сопряжении крышки с корпусом редуктора; при помощи, какой детали редуктора обеспечивается разъединение его крышки и корпуса?
10. Почему диаметр конца выходного вала редуктора больше, чем входного?
11. Во сколько раз частота вращения тихоходного вала будет меньше, чем быстроходного?
12. Дайте сравнительную характеристику конструкции исследуемого редуктора и других однотипных конструкций.

Таблица 2.1.

Основные геометрические и кинематические параметры исследуемого редуктора

Наименование параметра и его единица	Обозначение	Способ определения	Результаты измерений и вычислений
1	2	3	4
Число зубьев:			
Шестерни	z_1	Сосчитать	
Колеса	z_2	>>	
Передаточное число редуктора	u	$u = z_2 / z_1$	
Угол делительного конуса:			
Шестерни	δ_1	$tg \delta_1 = z_1 / z_2$	
Колеса	δ_2	$tg \delta_2 = 90 - \delta_1$	
Внешний окружной модуль	m_e		
Число зубьев (теоретического) плоского колеса	z_c	$z_c = \sqrt{z_1^2 + z_2^2}$	
Ширина зубчатого венца:			
Шестерни	b_1	Замерить	
Колеса	b_2	>>	
Внешнее конусное расстояние	R_e	$R_e = 0,5m_e z_c$	
Среднее конусное расстояние	R	$R = R_e - 0,5b$	
Средний окружной модуль	m	$m = m_e R / R_e$	
Средний делительный диаметр:			
Шестерни	d_1	$d_1 = m z_1$	
Колеса	d_2	$d_2 = m z_2$	
Внешний делительный диаметр:			
Шестерни	d_{e1}	$d_{e1} = m_e z_1$	

1	2	3	4
Колеса	d_{e2}	$d_{e2} = m_e z_2$	
Внешний диаметр вершин зубьев:			
Шестерни	d_{ae1}	$d_{ae1} = d_{e1} + 2m_e \cos \delta_1$	
Колеса	d_{ae2}	$d_{ae2} = d_{e2} + 2m_e \cos \delta_2$	
Крутящий момент на ведомом валу	T_T	$T_T = P_T / \omega_T$	
Мощность и частота вращения ведущего вала	P_T ω_1	Задается >>	
Силы в зацеплении			
Окружная	F_t	$F_{t1} = 2T_1 / d_1$	
Радиальная	F_r	$F_{r1} = F_{t1} \operatorname{tg} \alpha \cos \delta_1$	
Осевая	F_a	$F_{a1} = F_{t1} \operatorname{tg} \alpha \sin \delta_1$	

Примечание: 1. Внешний окружной модуль колеса необходимо привести до стандартного значения.

2. Кинематическую схему исследуемого редуктора выполнить на обороте листа.

3. Эскиз вал шестерни или колеса выполнить на обороте листа.

Работа №3

Изучение конструкции и определение технических характеристик червячного редуктора с цилиндрическим червяком

Цель работы: получить представление о правилах и нормах проектирования и конструирования автономных узлов машин (редукторов). Получить навыки в измерении параметров червячной передачи, регулировке ее зацепления и подшипников.

Краткие теоретические сведения

Общие сведения о редукторах приведены в работе №1. Червячные передачи отличаются от зубчатых своим происхождением: они содержат в себе свойства передачи «винт-гайка» и зубчатых. Это определяет условия их работы и выдвигает требования к конструктивно-технологическим решениям. Надежность работы червячной передачи зависит от равномерности контакта зацепления, т.е. от точности взаимного расположения червяка и колеса; трения, которое зависит от свойств материалов венца колеса и винтиков червяка, шероховатости их рабочих элементов и качества смазки.

Одноступенчатые передачи применяют при необходимости редуцирования угловой скорости между перекрещивающимися валами в диапазоне передаточных отношений $u = 8 \dots 63$. Вследствие сравнительно низкого значения КПД червячные редукторы применяются для передачи мощности, как правило, до 50 кВт.

Вопросы входного контроля

1. Как обозначают на кинематических схемах червячные передачи, валы, подшипники?
2. Пояснить суть параметра «число витков червяка». Какие значения этого параметра регламентированы стандартом?
3. Дайте определение и поясните суть параметра «коэффициент диаметра червяка»; при определении каких параметров используют его значения?
4. Как влияет число витков червяка на значение КПД червячной передачи?

Оборудование, приборы и принадлежности

Для выполнения данной работы необходимо иметь: червячный редуктор (предпочтительно стандартный), набор гаечных ключей и отверток, штангенрейсмас, штангенциркуль, масштабную линейку, графитную краску для проверки пятна контакта, набор регулировочных прокладок, сборочный чертеж редуктора, справочные таблицы параметров червячных передач.

Основные задачи исследования

На примере заданного редуктора ознакомиться с его устройством, конструкцией и взаимодействием деталей, нормами их проектирования. Измерить параметры зубчатого колеса и червяка, определить заданные в таблице 3.2. параметры и занести их в таблицу отчета, выполнить кинематическую схему и эскиз червяка (колеса).

Последовательность выполнения работы

- Осмотреть редуктор и наметить план его разработки.
- Замерить 2-3 раза расстояние между осями валов и округлить его до ближайшего стандартного по ГОСТу, если оно лежит в пределах последнего. Значения a_w занести в таблицу 3.2. отчета.
- Отвинтить крепежные элементы крышки корпуса и крышек подшипниковых узлов, снять крышки и ознакомиться с внутренним устройством редуктора. Особое внимание обратить на способ регулировки подшипников и правильность зацепления червячной пары.
- Вынуть червячное колесо редуктора вместе с валом, а также червяк с деталями на нем (детали и подшипники с валов не снимать).
- Ознакомиться с конструкцией колеса и червяка. Путем замера, осмотра и расчета определить их размеры и параметры. Результаты занести в таблицу 3.2. отчета.
- Параметры червячной пары, регламентируемые стандартом, сверить с ГОСТ 2144-93.
- Выполнить кинематическую схему редуктора и эскизы элементов зацепления (червяка и колеса) в соответствии со СТ СЭВ 859-78.
- Собрать редуктор в последовательности, обратной разборке.

Вопросы зачетного контроля

1. Как измеряются межосевое расстояние a_w и осевой шаг червяка p_x ?
2. Как определяют количество витков Z_1 реального червяка?

3. Дайте характеристику одного из узлов (червяка или вала червячного колеса) рассмотренного редуктора; поясните конструкцию червяка и колеса, способ крепления на валу, тип подшипников и т.д.
4. В редуктор заливают определенное количество масла. Почему необходимо контролировать уровень масла в процессе эксплуатации редуктора? Как определяют уровень масла? Как обеспечивают поддержание рабочих качеств масла на стадии проектирования?
5. Почему подшипники червяка редуктора преимущественно монтируют в стаканах?
6. Как осуществляют смазывание подшипников червяка при верхнем и нижнем его расположении?
7. Какие конструктивные решения применяют для улучшения теплового режима работы червячных редукторов?
8. Выполните возможные схемы установки подшипников на валах червяка и червячного колеса.
9. Как обеспечивают точность монтажа червячной пары, и на что она влияет?
10. Какие факторы влияют на КПД червячного редуктора?
11. Назовите отличительные особенности червячной передачи по сравнению с зубчатой конической.

Содержание отчета

Отчет о работе оформить в виде таблицы 3.2., кинематической схемы исследуемого редуктора и эскиза одного из элементов кинематической пары (червяка или колеса). Для определения КПД значения угла трения ρ' приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1.

Зависимость угла трения ρ' от скорости скольжения v_s

v_s м/с	ρ'	v_s м/с	ρ'	v_s м/с	ρ'
0,1	4°30'...5°10'	1,5	2°20'...2°50'	3	1°30'...2°00'
0,5	3°10'...3°40'	2	2°00'...2°30'	4	1°30'...1°40'
1,0	2°30'...3°10'	2,5	1°40'...2°20'	7	1°00'...1°30'

Примечание: Меньшее значение ρ' относится к передачам с венцом колеса из оловянной бронзы, большее значение ρ' - к передачам с венцом колеса из безоловянной бронзы, латуни или чугуна.

Таблица 3.2.

Таблица основных геометрических, кинематических и силовых параметров исследуемого червячного редуктора

Наименование параметра и его единица	Обозначение	Способ определения	Результаты измерений и вычислений
Червяк			
Число витков (заходов)	z_1	Сосчитать	
Шаг осевой, мм	p^1	Измерить	
Модуль расчетный*	m^1	$m^1 = p / \pi$	
Диаметр вершин витков, мм	d_{a1}	Измерить	
Делительный диаметр, мм	d_1	$d_1 = d_{a1} - 2m$	
Диаметр впадин витков, мм	d_{f1}	$d_{f1} = d_1 - 2,4m$	
Коэффициент диаметра червяка*	q_1	$q_1 = d_1 / m$	
Угол подъема витка винтовой линии, град	γ	$tg\gamma = z_1 / q$	
Длина нарезной части, мм	b_1	Измерить	
Колесо			
Число зубьев	z_2	Сосчитать	
Диаметр вершин зубьев, мм	d_{a2}	Измерить	
Делительный диаметр, мм	d_2	$d_2 = z_2 m$	
Диаметр впадин зубьев, мм	d_{f2}	$d_{f2} = d_2 - 2,4m$	
Наибольший диаметр колеса, мм	d_{am2}	Измерить	
Ширина венца, мм	b_2	Измерить	
Редуктор			
Межосевое расстояние, мм	a_w	Измерить	
Передаточное отношение	U	$U = z_2 / z_1$	
Расчетное значение КПД	η	$\eta = tg\gamma / (tg(\gamma + \rho^1))$	
Мощность на ведущем валу, кВт	P_1	Задается	
Частота вращения ведущего вала, мин ⁻¹	n_1	Задается	
Вращающий момент на ведущем валу, Н•м	T_2	$T_2 = P_2 / \omega_2$	
Силы в зацеплении, Н			
Окружная	F_t	$F_t = 2T_1 / d_1$	
Радиальная	F_r	$F_r = F_t \cdot tg\alpha$	
Осевая	F_a	$F_a = F_t \cdot tg\beta$	

Примечания:

1. Значения модуля m^1 и коэффициента диаметра червяка q_1 принять по ГОСТ 2144-93 и уточнить все расчеты, связанные с этими параметрами.
2. Значение угла трения ρ^1 приведены в таблице 3.1.
3. Параметры передачи, относящиеся к ведущим звеньям, отмечены индексом 1, а ведомым – 2.

Работа №4

Изучение конструкций и параметров подшипников качения¹

Цель работы: ознакомление с конструкциями подшипников качения и определение их функциональных характеристик, приобретение понятий о принципах маркировки; определение каталожной и расчетной динамической грузоподъемности и расчетного ресурса исследуемых подшипников.

Краткие теоретические сведения

Типы подшипников

По принципу использования того или иного вида трения подшипники разделяются на два основных вида: подшипники скольжения (ПС) и подшипники качения (ПК).

1. Подшипники скольжения. У ПС поверхность цапфы вала и подшипника разделена слоем смазки (осуществляется режим жидкостного, граничного или полужидкостного трения) или смазка отсутствует (режим сухого трения).

2. Подшипники качения. У ПК осуществляется трение качения при помощи промежуточных тел качения.

Сравнительные характеристики ПС и ПК

Подшипники скольжения широко распространены в технике и имеют ряд преимуществ:

1. Высокая несущая способность при больших скоростях и ударных нагрузках. КПД до 0,99. ПС надежны в работе.

2. Бесшумны в работе, обеспечивают виброустойчивость вала в режиме жидкостного трения.

3. Компактны в радиальном направлении.

¹ Работа написана совместно с И. А. Шевелевым

4. Достаточно высокая работоспособность в особых условиях – химически агрессивных средах, при бедной и даже загрязненной смазке.

Недостатки ПС:

1. Высокие потери на трении и значительный износ при спуске и остановках в условиях перехода от жидкостного трения к полужидкостному и наоборот.

2. Вкладыши, покрытые антифрикционным материалом, быстро выплавляются при нарушении непрерывности масляной пленки и повышении при этом температуры на поверхности контакта трения.

3. Требуют наличия дорогостоящей системы подвода смазки.

4. Высокая стоимость антифрикционных материалов: олова, бронзы, свинца, используемых для вкладышей.

5. Отсутствует взаимозаменяемость в ремонте.

Подшипники качения имеют ряд преимуществ перед ПС:

1. Меньшие потери на трение, а, следовательно, меньше нагрев. У ПК КПД – 0,995...0,998 и выше.

2. Момент трения при пусках в 10-20 раз меньше, чем у ПС.

3. ПК, в основном, изделия массового производства, ПК стандартизированы, поэтому сравнительно дешевы.

4. Высокая ремонтпригодность, простота замены и обслуживания.

5. Нет необходимости в использовании системы смазки, как у ПС.

6. ПК имеют меньший износ, чем у ПС. ПК допускают частые остановки и запуски, коэффициент трения мало зависит от скорости.

7. В целом более высокая надежность и экономичность.

Недостатки ПК:

1. Значительная жесткость, что ухудшает их работу при ударах, вибрациях.

2. Ограниченная частота вращения, значительные инерционные силы на повышенных оборотах.

3. Значительные размеры в радиальном направлении, чувствительность к перекосам.

4. Неразъемность конструкции мешает их использование в некоторых изделиях, например шейки коленчатых валов.

Однако преимущества ПК настолько значительны, что обеспечивают их незаменимость в самых различных областях машиностроения.

Классификация подшипников качения

Подшипники качения принято классифицировать по таким признакам:

- По направлению действия нагрузки (радиальные, радиально-упорные, упорные, упорно-радиальные);

- По форме тел качения (шариковые, роликовые, игольчатые). Ролики могут быть: цилиндрические, тонокообразные, сферические, витые и т.п.;

- По числу рядов тел качения (одно, двух, четырехрядные);
- По конструктивным особенностям (с защитными шайбами, канавкой на внешнем кольце, с конусными отверстиями внутреннего кольца и т.п.).

Условные обозначения ПК

Условные обозначения подшипников в зашифрованном виде указывают тип подшипника, его размеры, конструктивные особенности, точность, используемые материалы колец, тел качения, сепараторов, диапазон используемых температур и т.п.

Эксплуатационные характеристики наиболее распространенных типов подшипников качения

Подшипники шариковые радиальные однорядные типа 0000 наиболее простые и дешевые, неразборной конструкции. Они предназначены для восприятия радиальной нагрузки. Однако, могут одновременно с радиальной частично воспринимать и осевую нагрузку в обе стороны в пределах 70% не использованной радиальной нагрузки, представляющей собой разность между допустимой и действующей радиальными нагрузками. Эти подшипники по сравнению с другими подшипниками работают с минимальными потерями на трение, и, следовательно, допускают наибольшие частоты вращения. Кроме того, они фиксируют положение вала относительно корпуса в двух осевых направлениях. Число конструктивных разновидностей подшипников этого типа значительно (0000, 5000, 6000, 16000, 18000).

Их используют для коротких двухопорных валов с расстоянием между опорами $l < 10d$ (d – диаметр вала). Перенос осей колец при установке и эксплуатации этих подшипников не должен превышать 10...15.

Подшипники шариковые радиальные двухрядные сферические, типа 1000 предназначены для восприятия радиальных нагрузок, но могут одновременно воспринимать также двухстороннюю осевую нагрузку, составляющую до 20% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки. Внутренняя поверхность внешнего кольца выполнена сферической, что обеспечивает нормальную работу подшипника при переносе оси внутреннего кольца до 3^0 относительно внешнего. В случае качательного движения сферические подшипники работают лучше, чем радиальные однорядные.

Эти подшипники используют в узлах с нежесткими валами и в конструкциях, не обеспечивающих соосности отверстий в корпусах (например, если для одного вала используют отдельно размещенные опорные узлы).

Подшипники роликовые радиальные с короткими цилиндрическими роликами, типа 2000, предназначены для восприятия больших радиальных нагрузок; их грузоподъемность в среднем на 70...90% выше, чем у однорядных шариковых подшипников одинаковых размеров.

Подшипники типа 2000 требуют точной соосности посадочных мест, поскольку в случае ее отсутствия возникают кромочные давления роликов на дорожки качения, что ведет к снижению срока службы подшипников. Эти

подшипники применяют преимущественно в жестких коротких двух опорных валах.

Подшипники шариковые радиально-упорные типа 6000 предназначены для восприятия радиальной и осевой нагрузки. Способность подшипника воспринимать осевую нагрузку определяется углом контакта α , равного углу между линией действия результирующей силы на тело качения и плоскостью, перпендикулярной к оси подшипника. С возрастанием угла α осевая грузоподъемность возрастает за счет уменьшения радиальной.

Однорядные подшипники используют с углами контакта:

$\alpha = 12^{\circ}$ (тип 6000, 36000 и 136000), $\alpha = 26^{\circ}$ (тип 46000) и $\alpha = 36^{\circ}$ (тип 66000).

Конструктивно они могут быть разъемными (тип 6000) и неразъемными (тип 36000, 46000, 66000). Такие подшипники воспринимают нагрузку только в одном направлении. По скоростным характеристикам они почти не уступают радиальным однорядным шариковым подшипникам. Эти подшипники применяют преимущественно при средних и высоких частотах вращения. Разновидности таких подшипников, используются в шпинделях металлорежущих и деревообрабатывающих станках, в небольших электродвигателях, центрифугах, червячных редукторах, приборах и т.п.

Подшипники роликовые радиально-упорные конические, типа 7000 предназначены для восприятия радиальных и осевых нагрузок, действующих одновременно.

Скоростные характеристики этих подшипников ниже, чем у подшипников типа 2000. Их способность к восприятию осевой нагрузки определяется углом конусности внешнего кольца. С увеличением угла конусности осевая грузоподъемность возрастает за счет уменьшения радиальной.

Наряду с основной конструкцией (типа 7000) выпускают другие разновидности: 67000 – с упорным бортом на внешнем кольце; 97000 – двухрядные; 77000 – четырехрядные. Подшипники типа 97000 и 77000 фиксируют положение корпуса в осевом направлении, их устанавливают попарно. При монтаже и в процессе эксплуатации однорядных подшипников необходимо тщательно регулировать осевой зазор. При этом следует избегать очень больших зазоров, приводящих к недопустимому повышению температуры подшипника или его разрушению.

Однорядные подшипники типа 7000 применяют в ступицах колес самолетов, автомобилей, кранов, катках гусеничных тракторов, цилиндрических и червячных редукторах, коробках передач, шпинделях токарных станков и т.п.

Упорные шариковые подшипники типа 8000 воспринимают только осевую нагрузку: одинарные в одном направлении; сдвоенные – в двух.

Вопросы входного контроля

1. Подшипники качения и скольжения. Особенности работы и конструкции. Преимущества и недостатки.
 2. Конструктивные типы подшипников в зависимости от условий нагружения.
 3. Критерии работоспособности ПК.
 4. Требования к материалам ПК.
 5. Типы тел качения.
 6. Назначение и типы сепараторов ПК.
 - 7.
- Как определяют ресурс подшипников?

Оборудование, приборы, принадлежности

Для проведения данной работы необходимы: стандартные подшипники различных типов, серий и конструкций; штангенциркуль 0...150 мм, стальная мерная линейка 0...200 мм; справочники и таблицы подшипников качения ГОСТы 18854-94, 18855-94.

Основные задачи исследования

1. Приобретение навыков визуального распознавания подшипника и его назначения.
2. Изучение конструкции подшипника и его особенностей по маркировке.
3. Определение нагрузочных способностей подшипника и его ресурса по заданным условиям нагружения.

Последовательность выполнения работы

1. Запись марки подшипника и его типа. Расшифровка маркировочных знаков.
2. Измерение габаритных размеров подшипника.
 d – внутренний диаметр,
 D – наружный диаметр,
или $B(T)$ – ширина или монтажная высота ПК
 H – высота ПК, упорного или упорно-радиальных ПК.
Замеры тел качения:
 - для шариковых ПК: D_w – диаметр шарика;
 - для роликовых ПК: D_{we} – средний диаметр ролика и L_{we} – длина ролика.
 - Замер угла контакта α или его определение по нормативным документам.
 - Определяется число рядов тел качения.
3. Выявление конструктивных особенностей подшипника:
 - Внутренняя геометрия;

- Форма и число рядов тел качения;
 - Количество тел качения в каждом ряду;
 - Размер качения;
 - Определение номинального угла контакта.
1. Выполнение эскиза исследуемого подшипника
 2. Определение статистической и динамической грузоподъемности по каталогу, или расчетной формуле учебника.
- Определение приведенной нагрузки

$$P_r = F_r X + F_e Y \quad (4.1.)$$
 - Определение расчетного ресурса шарикового подшипника

$$L_{10} = (C_r / P_r)^3 \quad (4.2.)$$
3. Замерные и определенные данные свести в таблицу.

Вопросы зачетного контроля

1. По каким признакам и как классифицируют подшипники качения?
2. Как влияет форма качения на конструкцию и работоспособность подшипников?
3. Почему подшипники делятся на серии? Чем отличаются подшипники легкой, средней и тяжелой серии?
4. Дайте примеры расшифровки обозначений подшипника.
5. Каковы основные сравнительные характеристики подшипников?
6. Как определить размер внутреннего диаметра по его маркировке?
7. Дайте определение статистической грузоподъемности подшипника.
8. Дайте определение динамической грузоподъемности.
9. Как определить ресурс подшипника?
10. Как определяется эквивалентная нагрузка?
11. Быстроходность какого подшипника выше шарикового или роликового?
12. Как влияет роль угла контакта на конструкцию и работоспособность подшипника?

Содержание отчета

1. Определение по справочной литературе статической и динамической грузоподъемностей, исследуемого подшипника.
2. Выполнение эскизов исследуемых ПК и указание действующих сил, которые могут воспринимать эти подшипники.
3. Вычисление статистической и динамической грузоподъемностей исследуемых подшипников.
4. Сравнение вычисленной и каталожной грузоподъемностей.

5. Выводы о выполненных исследованиях.

Таблица 4.1.

Основные размеры и эксплуатационные характеристики исследуемых подшипников

Название подшипников и их типоразмеры	Размеры параметров, мм				Значение грузоподъемности, кН	
	d	D	B	T	Cr	Co
1.						
2.						
3.						

Расшифровка маркировки исследуемых подшипников:

- Внутренний диаметр d
- Серия диаметров
- Тип
- Класс точности

Эскизы исследуемых подшипников

Возможные схемы установки подшипников в зависимости от направления действующих на них сил.

Литература

Основная:

1. Иванов М.Н., Финогенов В.А. Детали машин. - М.: Высшая школа, 2007.
2. Вагнер В.А., Звездаков В.П., Тюняев А.В. и др. Детали машин. - М.: Машиностроение, 2007.
3. Куклин Н.С., Куклина Г.С., Житков В.К. Детали машин. - М.: Высшая школа, 2007.
4. Верейна Л.И. Техническая механика: Изд-во Академия. 2008.

Дополнительная:

1. Детали машин. Учебно-практическое пособие для студентов специальностей 260601, 260602 п.ф.о. и с.ф.о. 3 и 4 курса. - М.: МГУТУ, 2009, 60 с. Изд. № 4980.
2. Балакин Ю.А., Буторин Л.В. Детали машин. Рабочая программа, методические документы, тематика курсовых проектов для студентов спец. 260601, 260602 п.ф.о. и с.ф.о. М.: МГУТУ, 2009, 32 с. Изд. № 5056.