

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЧЕРВЯЧНОГО РЕДУКТОРА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАЦЕПЛЕНИЯ И КПД

Цель работы: изучение конструкции червячного редуктора; определение основных параметров червячного зацепления, червяка и червячного колеса; ознакомление с методикой регулировки пятна контакта и радиального зазора в подшипниках; определение теоретического и фактического КПД червячной передачи в зависимости от крутящего момента и скорости скольжения; анализ коэффициентов полезного действия червячной передачи, полученных теоретически и экспериментально.

Инструменты: штангенциркуль с пределом измерения 0–250 мм; ключ 17×19, набор плоских щупов.

Подготовка к выполнению лабораторной работы: ознакомиться с теоретическим материалом по червячным передачам [1, с. 219–229]; [2, с.172–180]; [3, с.87–97].

Общие сведения

Червячная передача – зубчато-винтовая передача, движение в которой осуществляется по принципу винтовой пары. Основные элементы червячной передачи – червяк и червячное колесо, оси которых перекрещиваются под углом 90° . По сравнению с зубчатыми передачами они обеспечивают большие передаточные числа (от 10 до 60, в слабонагруженных механизмах до 1000), плавность и бесшумность работы, высокую кинематическую точность, возможность получения самотормозящей передачи и способность передавать крутящий момент под углом.

Передача крутящего момента от червяка к колесу осуществляется посредством трения скольжения, а не трения качения как в зубчатых передачах, поэтому червячная передача имеет низкий КПД (табл. 2.1), в результате чего при работе в зацеплении выделяется большое количество тепла. Для снижения силы трения применяются дорогие антифрикционные материалы (чаще всего на медной основе),

из которых изготавливается зубчатый венец червячного колеса, что является их основным недостатком. Для уменьшения температуры следует увеличить внешнюю поверхность корпуса редуктора за счет выполнения на нем ребер, установить дополнительно крыльчатку на валу червяка или использовать искусственное охлаждение смазки.

Для снижения силы трения в зацеплении и тем самым повышения КПД передачи, кроме использования дорогостоящего антифрикционного материала, необходимо при сборке редуктора добиваться получения максимального «пятна контакта». «Пятно контакта» – это сумма линий контакта боковых поверхностей витков червяка и зубьев червячного колеса. Увеличение «пятна контакта» приводит к уменьшению удельного давления на поверхности и тем самым к увеличению толщины масляного слоя, снижению коэффициента трения, уменьшению силы трения и в результате к повышению КПД. Рост скорости скольжения также способствует увеличению толщины масляного слоя за счет того, что смазка в силу своей упругости не успевает выдавливаться из зоны контакта, и тем самым повышению значения КПД.

Вот почему червячную передачу желательно устанавливать на быстроходной ступени привода (сразу после двигателя) или использовать многозаходный червяк, что приводит к увеличению угла подъема винтовой линии (γ), повышению скорости скольжения и увеличению КПД (табл. 2.1). Повышению КПД червячного зацепления способствует применение специальных масел с противозадирными добавками, а также циркуляционное смазывание зацепления, при котором меньше энергии затрачивается на разбрызгивание и перемешивание масла. Кроме этого, для уменьшения коэффициента трения витки червяка термообрабатывают, шлифуют и даже полируют. В результате снижается сила трения и повышается КПД.

Таблица 2.1

Значение КПД в зависимости от числа заходов червяка

Число заходов червяка Z_1	КПД передачи с учетом потерь на трение в подшипниках
1	0,70–0,75
2	0,75–0,82
4	0,82–0,92

При малой передаваемой мощности пониженный КПД не играет существенной роли, но уже при средних мощностях использование червячной передачи становится менее экономически выгодным, чем зубчатой. Поэтому мощность червячных передач обычно не превышает 50 кВт и только в редких случаях доходит до 100–150 кВт.

Различают червячные передачи с верхним (рис. 2.1, б, в, д), нижним (рис. 2.1, а, з) и боковым (рис. 2.1, д, е) расположением червяка относительно червячного колеса. Кроме того, червячные передачи квалифицируют по количеству заходов червяка (одно- и многозаходные (2, 4)); форме червяка (цилиндрические и глобоидные); форме поверхности витка червяка (архимедовы, эвольвентные, конволютные); направлению витков (правое и левое).

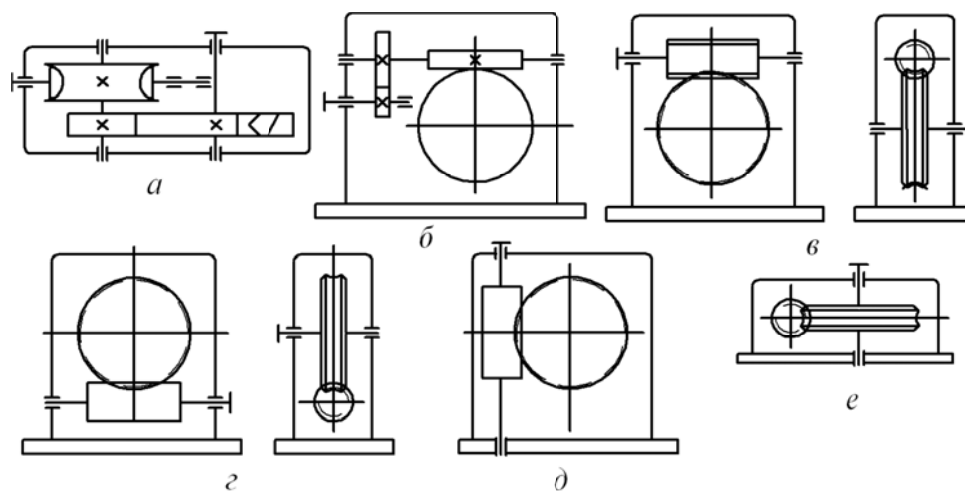


Рис. 2.1. Кинематические схемы червячных редукторов:

- a* – двухступенчатый червячно-цилиндрический с нижним расположением червяка;
- б* – двухступенчатый цилиндрическо-червячный с верхним расположением червяка;
- в* – одноступенчатый с верхним расположением червяка;
- з* – одноступенчатый с нижним расположением червяка;
- д* – одноступенчатый с боковым вертикальным расположением червяка;
- е* – одноступенчатый с боковым горизонтальным расположением червяка

Среди червячных редукторов наиболее распространены одноступенчатые (рис. 2.1, б, в, з, д, е). При необходимости получения большого передаточного числа используют либо двухступенчатые червячные редукторы, либо комбинированные червячно-цилиндрические (рис. 2.1, а) или цилиндрическо-червячные (рис. 2.1, б). Выбор схемы червячного редуктора определяется требованиями компоновки и значением передаточного числа. Червячные редукторы

с нижним расположением червяка применяются при $V_1 \leq 5$ м/с, с верхним – при $V_1 \geq 5$ м/с. В червячных редукторах с боковым расположением червяка (рис. 2.1, *д*, *е*) затруднена смазка подшипников вертикальных валов.

Наибольшее распространение получили червячные передачи с цилиндрическим **червяком**, имеющим архимедов профиль витка. Червяки изготавливают из углеродистой или легированной стали. Они могут выполняться заодно с валом или насадными. Для увеличения КПД боковые поверхности червяка подвергают термической обработке, шлифуют, а иногда и полируют.

Червячные колеса могут быть выполнены как цельными, так и составными. В последнем случае колесо состоит из чугунного или стального центра и закрепленного на нем бронзового (либо другого антифрикционного материала) обода (венца). При малых размерах колеса из антифрикционных материалов и чугунные любых размеров производят цельными.

Опоры валов червяка и червячного колеса предназначены для удержания вращающейся детали в нужном для правильной работы положении. Обычно их изготавливают с применением подшипников качения (шариковых радиальных, шариковых радиально-упорных или конических роликовых радиально-упорных). Выбор типа подшипников зависит от соотношения осевой и радиальной сил, действующих в зацеплении.

Уплотнения устанавливаются в сквозных крышках, через которые выходят концы валов. Они предназначены для предотвращения попадания посторонних частиц в подшипники и зацепление через зазор между крышками подшипников и валов, а также предотвращения вытекания смазки из редуктора. Тип уплотнения выбирается в зависимости от скорости валов и вида смазки.

Корпус редуктора обычно изготавливают из чугуна. Конструкция должна обеспечить легкую установку в него червяка и вала червячного колеса, а также достаточную прочность и жесткость. Для червячных редукторов с верхним (или нижним) расположением червяка корпус делается разъемным по горизонтальной плоскости, проходящей через ось вала червячного колеса.

Описание конструкции червячного редуктора

Объектом исследований является червячный редуктор с верхним расположением червяка, конструкция которого представлена на рис. 2.2. Все детали редуктора монтируются в литом чугунном корпусе, состоящем из двух частей: основания корпуса 22 и крышки 16, которые соединяются между собой при помощи болтов 13 с гайками 14. Пружинные шайбы 15 предохраняют болтовое соединение от само-раскручивания.

Опорами для вала червяка 17 и червячного колеса 19 служат радиально-упорные роликовые конические однорядные подшипники 18 и 20, установленные враспор. Между крышками подшипников 2, 4, 8, 11 и корпусом устанавливается набор металлических прокладок 3, 5, 9, 12, предназначенных для регулирования зазора в подшипниках и осевого положения червячного колеса. Крышки подшипников крепятся к корпусу болтами 1 и 7.

Основание корпуса 22 одновременно служит и резервуаром для масла, уровень которого контролируется маслоуказателем 23. Пробка 24 предназначена для слива масла, прокладка 25 – для уплотнения, смотровая крышка – для наблюдения за состоянием червячного зацепления. На смотровой крышке приварена грузовая петля 28, обеспечивающая удобство подъема и переноса редуктора (чаще с этой целью ставят рым-болты или делают проушины).

Для обеспечения жесткости корпус редуктора имеет ребра жесткости. На крышке корпуса отлиты ребра охлаждения, позволяющие снизить температуру нагрева редуктора при работе.

Порядок выполнения работы

Разборка редуктора и замер основных параметров

1. Отвернуть болты крышек подшипников 1, 7; снять сквозные крышки 4, 8 с набором металлических прокладок 5, 9, глухие крышки 2, 1 с набором металлических прокладок 3, 12.

2. Измерить межосевое расстояние a_w , мм, между центровыми отверстиями на валу червяка 17 и линией разъема корпуса редуктора, совпадающей с осью вала червячного колеса.

3. Отвернуть болты 13 с гайками 14 и пружинными шайбами 15. Снять крышку корпуса 16 в сборе с валом червяка 17.

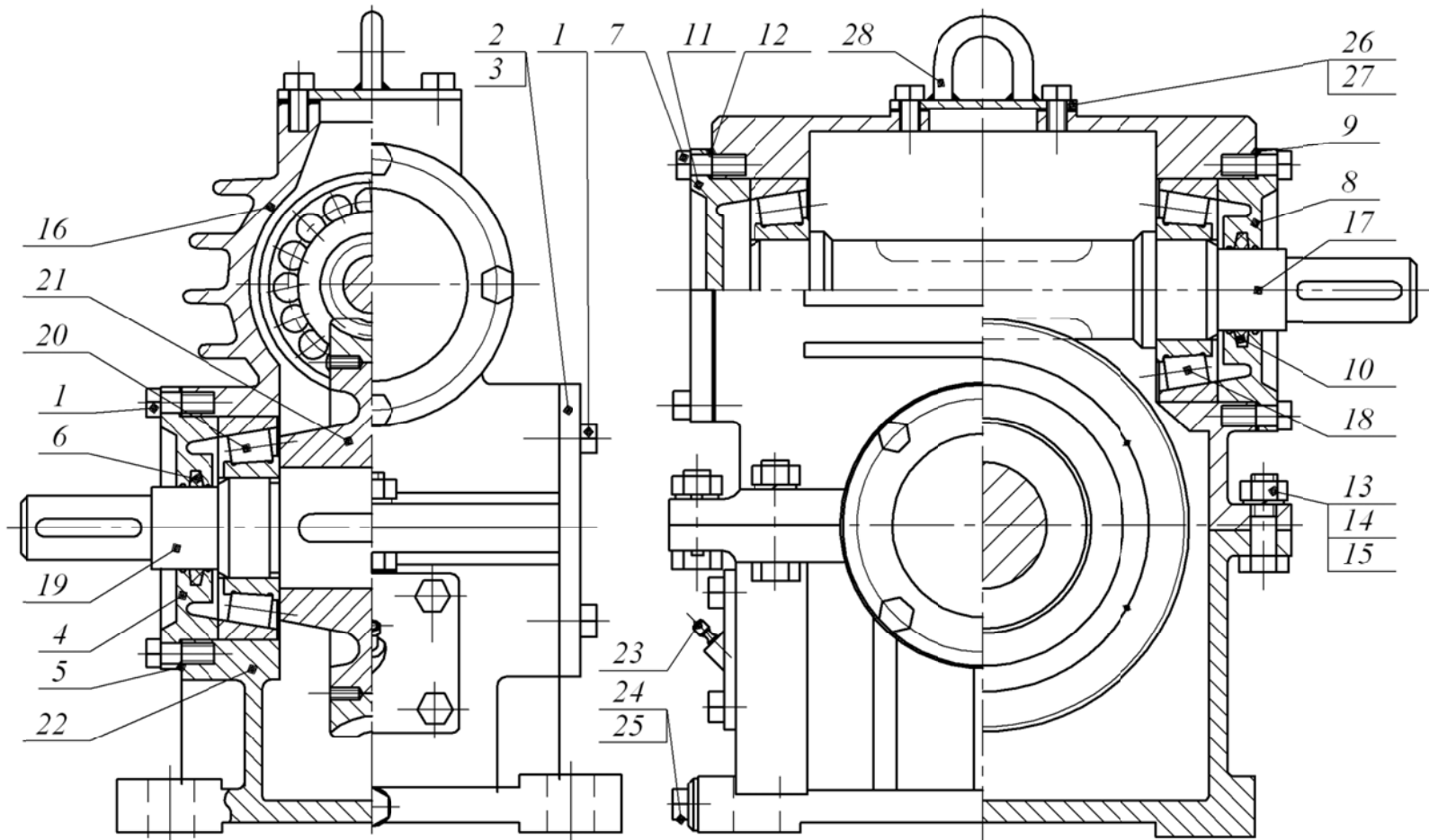


Рис. 2.2. Конструкция червячного редуктора:

- 1, 7 – болт; 2, 4, 8, 11 – крышки подшипников; 3, 5, 9, 12 – набор металлических прокладок;
 6, 10 – уплотнение войлочное; 13 – болт; 14 – гайка; 15 – шайба пружинная; 16 – крышка корпуса; 17 – червяка;
 18, 20 – подшипники; 19 – вал червячного колеса; 21 – колесо червячное; 22 – основание корпуса;
 23 – маслоуказатель; 24 – пробка; 25 – прокладка; 26 – крышка смотровая; 27 – прокладка; 28 – петля

4. Вынуть вал червяка 17 в сборе с подшипниками 18 и изучить их конструкцию.

5. Исследовать конструкцию сквозных крышек 4, 8 и уплотнений 6, 10.

6. Достать вал 19 с подшипниками 20 и червячным колесом 21 из основания корпуса 22. Изучить конструкцию червячного колеса 21, вала 19, основания корпуса редуктора 22.

7. Определить число заходов (витков) червяка Z_1 . Для этого необходимо совершить один полный оборот червяка и подсчитать, сколько раз начинаются витки.

8. Подсчитать количество зубьев червячного колеса Z_2 .

9. Измерить диаметры окружностей вершин червяка d_{a1} (рис. 2.2) и червячного колеса d_{a2} , наибольший диаметр червячного колеса d_{am2} , ширину венца колеса b_2 и длину нарезанной части червяка b_1 .

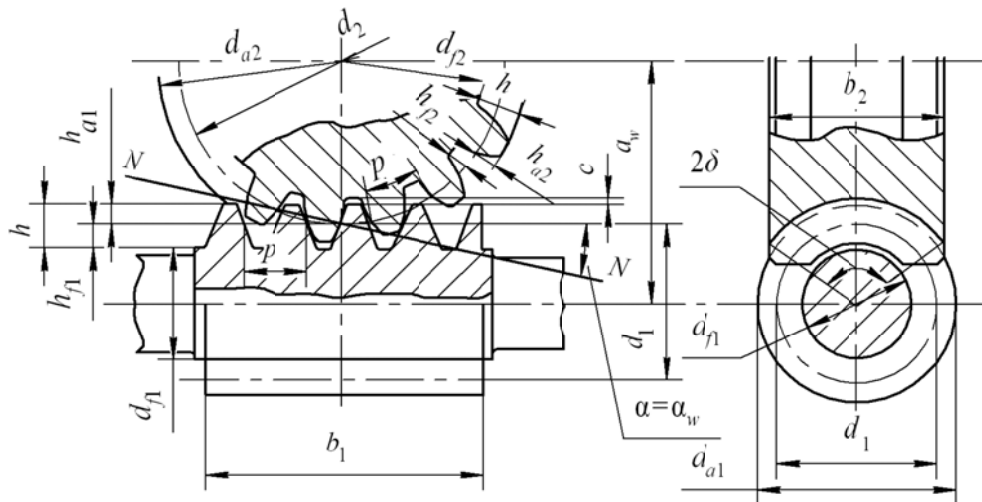


Рис. 2.3. Геометрические параметры червячного зацепления

10. Измерить габаритные размеры корпуса редуктора: высоту H , ширину B , длину L (рис. 2.2). Результаты замеров занести в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Замеренные параметры

Параметры	Значения
Межосевое расстояние a_w , мм	
Число заходов червяка Z_1	
Число зубьев червячного колеса Z_2	
Диаметр окружности вершин d_a , мм: – червяка d_{a1}	

– колеса d_{a2}	
Наибольший диаметр червячного колеса d_{am2} , мм	
Длина нарезанной части червяка b_1 , мм	
Ширина колеса b_2 , мм	
Габаритные размеры корпуса редуктора, мм:	
– высота H	
– ширина B	
– длина L	

11. Выполнить кинематическую схему редуктора, согласно требованиям условных обозначений, представленных в приложении 1.

Определение основных параметров зацепления

1. Рассчитать передаточное число редуктора U по формуле

$$U = \frac{Z_2}{Z_1}. \quad (2.1)$$

2. Определить осевой модуль m , мм, зацепления по формуле

$$m = \frac{d_{a2}}{Z_2 + 2}. \quad (2.2)$$

Полученные значения модуля округлить до ближайшего стандартного $m_{ст}$ по табл. 1.3.

3. Определить делительные диаметры червяка d_1 и колеса d_2 по формулам

$$d_1 = d_{a1} - 2m_{ст}, \quad d_2 = m_{ст}Z_2. \quad (2.3)$$

4. Определить коэффициент диаметра червяка по следующей формуле:

$$q = \frac{d_1}{m_{ст}}. \quad (2.4)$$

Полученное значение округлить до стандартного $q_{ст}$ для выбранного стандартного модуля (табл. 2.3).

5. Уточнить делительный диаметр червяка по формуле

$$d_1 = m_{ст}q_{ст}. \quad (2.5)$$

6. Рассчитать диаметр вершин витков червяка d_{a1} и зубьев червячного колеса d_{a2} по следующим формулам:

$$d_{a1} = d_1 + 2h_a, \quad d_{a2} = d_2 + 2h_a, \quad (2.6)$$

где h_a – высота головки зуба $h_a = m_{ст}$, мм.

7. Вычислить наибольший диаметр червячного колеса по формуле

$$d_{am2} = d_{a2} + 2h_a. \quad (2.7)$$

8. Сравнить рассчитанные значения d_{a1} , d_{a2} и d_{am2} с ранее измеренными (табл. 2.2). В случае несовпадения расчетных значений с измеренными необходимо принять другое значение стандартного коэффициента диаметра червяка q (табл. 2.3) и повторить расчеты.

Таблица 2.3

**Стандартные значения модуля, коэффициента
толщины червяка и числа заходов**

Модуль m , мм	Число заходов червяка Z_1 при коэффициенте диаметра червяка q							
	8	(9)	10	(12)	12,5	(14)	16	20
1,00	–	–	–	–	–	–	1	1; 2; 4
1,25	–	–	–	–	1; 2; 4	–	1; 2; 4	1; 2; 4
(1,50)	–	–	–	–	–	(1; 2; 4)	(1)	–
1,60	–	–	1; 2; 4	–	1; 2; 4	–	1; 2; 4	1; 2; 4
2,00	1; 2; 4	–	1; 2; 4	(1; 2; 4)	1; 2; 4	–	1; 2; 4	1; 2; 4
2,50	1; 2; 4	–	1; 2; 4	(1; 2; 4)	1; 2; 4	–	1; 2; 4	1; 2; 4
(3,00)	–	–	(1; 2; 4)	(1; 2; 4)	–	–	–	–
3,15	1; 2; 4	–	1; 2; 4	–	1; 2; 4	–	1; 2; 4	1; 2; 4
(3,50)	–	–	(1; 2; 4)	(1)	–	(1)	–	–
4,00	1; 2; 4	(1; 2; 4)	1; 2; 4	(1)	1; 2; 4	–	1; 2; 4	1; 2; 4
5,00	1; 2; 4	–	1; 2; 4	–	1; 2; 4	–	1; 2; 4	1; 2; 4
(6,00)	–	(1; 2; 4)	(1; 2; 4)	–	–	–	–	–
6,30	1; 2; 4	–	1; 2; 4	–	1; 2; 4	1; 2; 4	1; 2; 4	1; 2; 4
(7,00)	–	–	–	(1; 2; 4)	–	–	–	–
8,00	1; 2; 4	–	1; 2; 4	–	1; 2; 4	–	1; 2; 4	1; 2; 4
10,00	1; 2; 4	–	1; 2; 4	–	1; 2; 4	–	1; 2; 4	1; 2; 4
(12,00)	–	–	(1; 2)	–	–	–	–	–
12,50	1; 2; 4	–	1; 2; 4	–	1; 2; 4	–	1; 2; 4	1; 2; 4
(14,00)	(2)	–	–	–	–	–	–	–
16,00	1; 2; 4	–	1; 2; 4	–	1; 2; 4	–	1; 2; 4	–
20,00	1; 2; 4	–	1; 2; 4	–	–	–	–	–

Примечание. В скобках приведены допускаемые значения. Следует предпочитать значения, приведенные без скобок.

9. Найти диаметр впадин зубьев колеса по формуле

$$d_{f2} = d_2 - 2h_f, \quad (2.8)$$

где h_f – высота ножки зуба, мм, рассчитываемая по следующему уравнению:

$$h_f = h_a + c = m_{\text{ст}} + 0,2m_{\text{ст}} = 1,2m_{\text{ст}}. \quad (2.9)$$

10. Определить угол подъема винтовой линии червяка по формуле

$$\gamma = \arctg\left(\frac{Z_1}{q_{\text{ст}}}\right). \quad (2.10)$$

11. Уточнить межосевое расстояние по следующей формуле:

$$a_w = \frac{d_1 + d_2}{2}. \quad (2.11)$$

Сравнить рассчитанное значение a_w с ранее измеренным (табл. 2.2) и объяснить расхождение, если оно имеется.

12. Вычислить длину нарезной части червяка b_1 и ширину венца червячного колеса b_2 по формулам.

– при числе заходов $Z_1 = 1, Z_1 = 2$.

$$b_1 \geq (11 + 0,06Z_2)m_{\text{ст}}, \quad (2.12)$$

$$b_2 \leq 0,75d_{a1}; \quad (2.13)$$

– при числе заходов $Z_1 = 4$

$$b_1 \geq (12,5 + 0,09Z_2)m_{\text{ст}}, \quad (2.14)$$

$$b_2 \leq 0,67d_{a1}. \quad (2.15)$$

Результаты расчетов занести в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Рассчитанные параметры зацепления

Параметры	Значения
Передаточное число U	
Стандартный модуль m , мм	
Коэффициент диаметра червяка q	
Диаметр делительной окружности d , мм:	
– червяка d_1	
– колеса d_2	
Диаметр окружности вершин d_a , мм:	

– червяка d_{a1}	
– колеса d_{a2}	
Диаметр окружности впадин d_f , мм:	
– червяка d_{f1}	
– колеса d_{f2}	
Наибольший диаметр червячного колеса d_{am2} , мм	
Межосевое расстояние a_w , мм	
Угол подъема винтовой линии червяка γ , град.	
Длина нарезной части червяка b_1 , мм	
Ширина колеса b_2 , мм	

Определение основных параметров подшипников

Методика выполнения изложена на с. 15.

Сборка редуктора

Сборка редуктора производится в порядке, обратном разборке, но при этом необходимо отрегулировать радиальный зазор в подшипниках валов червяка и червячного колеса, осевое положение червячного колеса и «пятно контакта» между витками червяка и зубьями червячного колеса.

Сборка узла вала червяка и регулирование радиального зазора в подшипниках

Вставить вал червяка с внутренними кольцами подшипника в крышку корпуса редуктора. Одеть наружные кольца подшипников и отрегулировать в них радиальный зазор при помощи подбора толщин набора металлических прокладок 9 и 12, установленных между корпусом редуктора и крышками подшипников 8 и 11.

Для этого крышку 11 устанавливают в корпус с комплектом прокладок толщиной 1,5–2,0 мм и зажимают винты 7 до отказа. Затем закрепить вторую крышку 8 без прокладок и равномерно зажать винты до тех пор, пока вал червяка не сможет вращаться. После этого отпустить винты на четверть оборота. С помощью комплекта щупов измерить зазор δ_1 между корпусом редуктора и фланцем крышки подшипника 8. С учетом того, что величина зазора в подшипниках должна составлять $\delta_2 = 0,08–0,15$ мм (для вала диаметром 50 мм), суммарная толщина прокладок должна быть равна $\delta_1 + \delta_2$. Снять крышку подшипника 8 и подобрать набор прокладок этой толщины. Установить крышку с прокладками в корпус и закрутить винты до отказа. Провернуть вал рукой. Если вал вращается туго, то требуется установить

еще одну тонкую прокладку и проверить индикатором величину осевого смещения вала. Окончательный радиальный зазор в подшипниках не должен превышать рекомендуемые значения δ_2 .

Регулировка «пятна контакта» в зацеплении

Сборка червячных передач должна обеспечивать правильное зацепление витков червяка с зубьями червячного колеса. Для этого необходимо, чтобы оси червяка *17* и средней плоскости червячного колеса *21* совпадали (см. рис. 2.3, *а* на с. 30). Проверка положения оси червяка относительно средней плоскости червячного колеса производится с помощью отвеса, шаблонов или отпечатка краски. Краску наносят на винтовую поверхность червяка, после чего его вводят в зацепление с червячным колесом и медленным поворотом червяка получают отпечатки на зубьях червячного колеса, по которым и судят о правильности зацепления: правильное – рис. 2.4, *а*; неправильное – рис. 2.4, *б*, *в*.

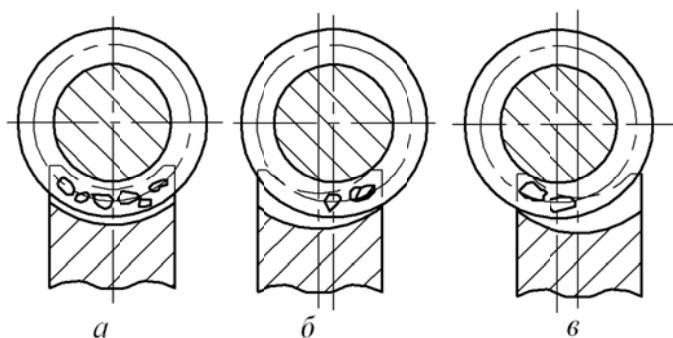


Рис. 2.4. Расположение пятна контакта:
а – правильное; *б*, *в* – неправильное

Регулировка «пятна контакта» осуществляется с помощью выбора толщины набора металлических прокладок *8* и *11* между крышками подшипников и корпусом редуктора. При необходимости перемещения червячного колеса вправо до совпадения осей червяка и средней линии червячного колеса (см. рис. 2.2 на с. 28) следует прокладки с левой опоры вала червячного колеса переставить на правую опору, и в этом случае червячное колесо вместе с валом переместится вправо, не нарушая отрегулированной ранее радиальный зазор в подшипниках.

Тепловой расчет червячной передачи

При работе червячной передачи значительная часть мощности

расходуется на преодоление трения в зацеплении, в результате чего происходит нагревание редуктора. Выделяемое тепло отводится в окружающую среду через стенки редуктора. В случае недостаточного отвода тепла редуктор перегревается и выходит из строя. Поэтому необходимо производить тепловой расчет с целью определения температуры масла t_m , которая не должна превышать допустимой величины $[t_m] = 60\text{--}90^\circ\text{C}$. Температуру масла находят по формуле

$$t_m = \frac{(1 - \eta_{\text{ч.п.}})P}{KA} + t_b \leq [t_m], \quad (2.16)$$

где $\eta_{\text{ч.п.}}$ – КПД червячной передачи; P – мощность на входном валу редуктора, Вт; K – коэффициент теплопередачи (8–12); A – площадь поверхности редуктора, м^2 , определяемая по формуле

$$A = K_1[2H(B + L) + BL],$$

где H , B , L – соответственно высота, ширина и длина корпуса редуктора, м; K_1 – вспомогательный коэффициент, учитывающий увеличение площади охлаждения за счет ребер жесткости и охлаждения. Для изучаемого редуктора $K_1 = 1,27$; t_b – температура воздуха ($t_b = 18\text{--}20^\circ$).

Описание лабораторной установки для определения КПД червячного зацепления

Установка ДП-4К (рис. 2.5) смонтирована на литом металлическом основании и состоит из трех ведущих узлов: электродвигателя 2 с тахометром 1, нагрузочного устройства (магнитный порошковый тормоз) 5 и червячного редуктора 4.

Тахометр служит для измерения частоты вращения вала электродвигателя; нагрузочное устройство – для плавного регулирования величины крутящего момента на выходном валу редуктора.

В стойках электродвигателя 2 и нагрузочного устройства 5 смонтированы измерительные устройства динамометрического типа 3 и 6, состоящие из плоских пружин 7 и 8 и индикаторов часового типа 18 и 19, которые упираются своими штоками в плоские пружины и тем самым удерживают статор электродвигателя и корпус нагрузочного устройства от проворачивания в подшипниках. Пружины измерительных устройств 7 и 8 градуируются, что позволяет определить значения реактивных крутящих моментов на валу электродвигателя T_d и

на ведомом валу редуктора T_T через тарировочные коэффициенты.

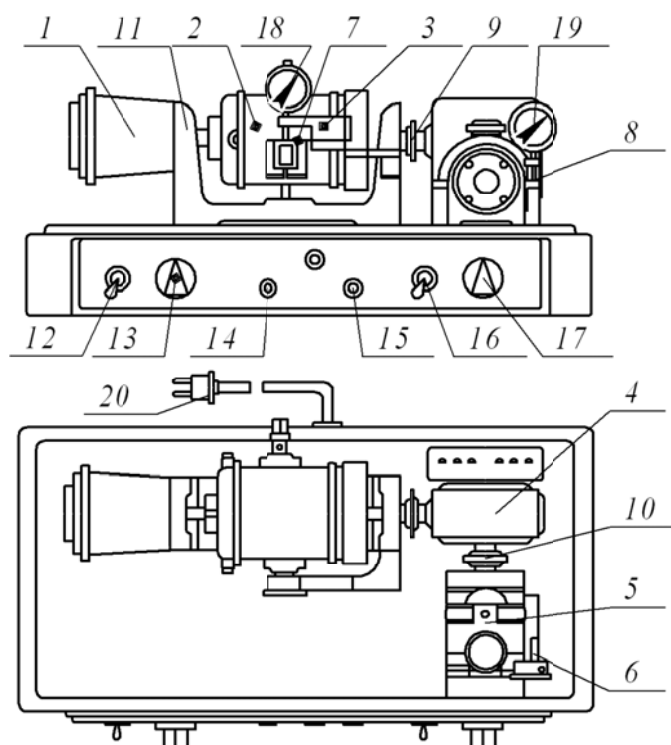


Рис. 2.5. Установка ДП-4К:

1 – тахометр; 2 – электродвигатель; 3, 6 – устройство измерительное динамометрического типа; 4 – редуктор червячный; 5 – нагрузочное устройство (тормоз магнитный порошковый); 7, 8 – пружина плоская; 9, 10 – муфта упругая; 11 – кронштейн электродвигателя; 12 – тумблер включения электродвигателя; 13 – потенциометр электродвигателя; 14, 15 – лампа сигнальная; 16 – тумблер включения нагрузочного устройства; 17 – потенциометр нагрузочного устройства; 18, 19 – индикатор часового типа; 20 – шнур питания;

Статор электродвигателя 2 свободно установлен на двух шарикоподшипниках в кронштейне 11 и может вращаться вокруг общей оси с ротором электродвигателя, что позволяет непосредственным замером определять реактивный крутящий момент на валу электродвигателя. Электродвигатели со свободным статором называют балансирными моторами.

При включенном электродвигателе реактивный момент на валу ротора поворачивает статор, который своим рычагом давит на плоскую пружину динамометра 7, удерживающую статор от поворота. При этом деформация пружины соответствует определенной величине реактивного крутящего момента, создаваемого электродвигателем.

Ротор электродвигателя через муфту 9 соединен с входным валом червячного редуктора. В свою очередь ведомый вал редуктора (вал червячного колеса) через муфту 10 соединен с нагрузочным устройством (НУ).

Нагрузочное устройство 5 представляет собой магнитный порошковый тормоз, принцип действия которого основан на способности намагниченной среды оказывать сопротивление перемещению в ней ферромагнитных тел.

На передней панели установки расположены: тумблер 12 и контрольная лампочка 14 включения электродвигателя; ручка потенциометра 13, регулирующего частоту вращения электродвигателя; тумблер включения 16; ручка 15 потенциометра, изменяющего величину тормозного момента нагрузочного устройства.

Порядок выполнения работы

Составление кинематической схемы установки ДП-4К и определение параметров червячного зацепления

1. Составить кинематическую схему прибора ДП-4К с использованием условных обозначений в графических схемах. Условные обозначения представлены в приложении 1.

2. Проверить уровень масла в редукторе по отметкам, которые нанесены на правом торце редуктора. При необходимости долить масло.

3. Определить параметры червячного зацепления по следующим исходным данным: число заходов червяка $Z_1 = 2$, число зубьев червячного колеса $Z_2 = 50$.

Делительный диаметр d_1 червяка рассчитать по формуле (2.5), червячного колеса d_2 – по уравнению (2.3), угол подъема винтовой линии червяка γ – по формуле (2.10).

Определить скорость скольжения V_s витков червяка относительно зубьев червячного колеса для трех частот вращения вала электродвигателя (по согласованию с преподавателем) по формуле

$$V_s = \frac{\pi d_1 n_1}{60\,000 \cos \gamma}. \quad (2.17)$$

Результаты расчетов занести в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Рассчитанные параметры червячного зацепления

Параметры	Значения
Передаточное число U	
Диаметр делительной окружности червяка d_1 , мм	
Диаметр делительной окружности червячного колеса d_2 , мм	
Угол подъема винтовой линии червяка γ	
Скорость скольжения V_s , м/с, при частоте вращения n_1 , мин ⁻¹ :	
$n_1 =$	
$n_1 =$	
$n_1 =$	

Определение теоретического КПД червячной передачи

Теоретическое определение КПД закрытой червячной передачи производится исходя из того, что потери энергии в ней складываются из потерь на трение в зацеплении, подшипниках и гидродинамических потерь на размешивание и разбрызгивание масла внутри корпуса редуктора. Из них главную часть составляют потери в зацеплении, зависящие от материалов червяка и зубьев червячного колеса, шероховатости контактных поверхностей, скорости скольжения, угла подъема винтовой линии (числа заходов червяка), точности изготовления и сборки, жесткости всей системы, способа смазки, свойств смазочного материала и других факторов.

Общий теоретический КПД червячного редуктора рассчитывается по формуле:

$$\eta_{\text{теор}} = \eta_{\text{п.п}}^n \eta_{\text{гидр}} \eta_{\text{ч.з}}, \quad (2.18)$$

где $\eta_{\text{п.п}}$ – КПД, учитывающий потери в одной паре подшипников качения ($\eta_{\text{п.п}} = 0,99$); n – число пар подшипников в редукторе; $\eta_{\text{гидр}}$ – КПД, учитывающий гидродинамические потери, связанные с перемешиванием и разбрызгиванием масла в корпусе редуктора ($\eta_{\text{гидр}} = 0,97–0,98$); $\eta_{\text{ч.з}}$ – КПД, учитывающий потери в зацеплении и определяемый по формуле

$$\eta_{\text{ч.з}} = \frac{\text{tg } \gamma}{\text{tg}(\gamma + \rho')}, \quad (2.19)$$

где ρ' – приведенный угол трения, зависящий от скорости скольжения, материала червячной пары, качества смазки, твердости и шероховатости рабочих поверхностей червяка. Для практических расчетов значение ρ' можно взять из табл. 2.6. Для промежуточных значений скорости скольжения V_s значение ρ' определяют методом линейной интерполяции.

Таблица 2.6

Значения приведенного угла трения

$V_s, \text{ м/с}$	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0
ρ'	4°–5°10'	3°10'–3°40'	2°30'–3°10'	2°20'–2°50'	2°–°30'

Для заданных преподавателем частот вращения определить величину теоретического КПД. Построить график зависимости КПД червячной передачи от скорости скольжения $\eta = f(V_s)$.

Определение экспериментального КПД червячной передачи

Экспериментальное определение КПД червячной передачи основано на одновременном и независимом измерении реактивных крутящих моментов на ведущем и ведомом валах редуктора. Оно находится по формуле

$$\eta_{\text{экс}} = \frac{T_2}{T_1 U}, \quad (2.20)$$

где T_2 – крутящий момент на выходном валу редуктора, Н · мм; T_1 – крутящий момент на валу электродвигателя, Н · мм; U – передаточное число редуктора.

Опытные значения реактивных крутящих моментов рассчитываются по формулам

$$T_1 = i_1 k_1, \quad T_2 = i_2 k_2, \quad (2.21)$$

где i_1 – число делений индикатора электродвигателя; i_2 – число делений индикатора нагрузочного устройства; k_1 и k_2 – торировочные коэффициенты соответственно индикатора электродвигателя и тормозного устройства ($k_1 = 4,5 \text{ Н} \cdot \text{мм}$, $k_2 = 24 \text{ Н} \cdot \text{мм}$).

Внимание! Установку подключать только через понижающий трансформатор с выпрямителем к сети постоянного тока напряжением 110 В. Запрещается включать в электросеть напряжением 220 В.

1. Для заданных преподавателем значений крутящего момента (T_{II1} , T_{II2} , T_{II3}) на валу нагрузочного устройства по формуле (2.21) определить число делений на индикаторе нагрузочного устройства i_2 .

2. Ручки потенциометров для регулирования частоты вращения вала электродвигателя 12 и крутящего момента нагрузочного устройства 17 поворотом против часовой стрелки установить в крайнее левое положение (см. рис. 2.5 на с. 36).

3. Включить электродвигатель тумблером 12 и нагрузочное устройство тумблером 16.

4. Поворотом ручки потенциометра 12 по часовой стрелке установить минимальную заданную преподавателем частоту вращения n вала электродвигателя, контролируя ее на тахометре 1.

5. Выставить на ноль стрелки индикаторов 18 и 19.

6. Поддерживая ручкой 12 заданную частоту вращения, ручкой потенциометра 17 нагрузочного устройства установить минимальную заданную преподавателем величину числа делений i_2 индикатора 19 нагрузочного устройства. Снять показания с индикатора 18 электродвигателя и занести их в табл. 2.7.

7. Повторить п. 4, 5 для других заданных значений индикатора 19 на тихоходном валу редуктора при одной скорости вращения электродвигателя.

8. Повторить п. 4–7 для других заданных частот вращения n_1 .

Таблица 2.7

Результаты экспериментов

Крутящий момент на ведомом валу T_2 , Н · мм	Число делений индикатора		Крутящий момент на ведущем валу T_1 , Н · мм	Значение КПД	
	нагрузочного устройства i_2	электродвигателя i_1		экспериментальное	теоретическое
Частота вращения вала электродвигателя $n_1 =$					
Частота вращения вала электродвигателя $n_2 =$					

Частота вращения вала электродвигателя $n_3 =$					

Содержание отчета

Отчет должен содержать: последовательно название и цель работы; кинематическую схему редуктора с обозначениями в строгом соответствии с требованиями стандарта (см. прил. 1); табл. 2.2 и 2.4; схему червячного зацепления (рис. 2.3); параметры подшипников в виде табл. 1.4 (см. с. 18); тепловой расчет редуктора и кинематическую схему установки ДП-4К; таблицу основных параметров червячной передачи (табл. 2.4); график зависимости теоретически рассчитанного КПД редуктора от частоты вращения; результаты измерений (табл. 2.7); графики зависимости КПД от частоты вращения и крутящего момента; анализ полученных экспериментальных и теоретических значений КПД.

Контрольные вопросы



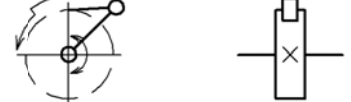


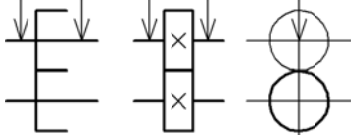
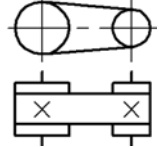
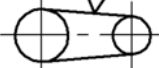
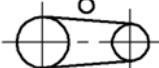
1. Основные достоинства и недостатки червячных передач. 2. В каких случаях целесообразно применять червячные передачи? 3. Как осуществляется смазка червячного зацепления и подшипников? 4. Зачем и как регулируется «пятно контакта» в зацеплении? 5. Почему требуется регулировать радиальный зазор в подшипниках? 6. Как связаны параметры червяка и червячного колеса с модулем? 7. Почему необходим тепловой расчет червячной передачи? 8. Как определить передаточное число червячной передачи? 9. Как определить модуль зацепления? 10. Принцип определения крутящего и тормозного моментов. 11. Методики установления теоретического и экспериментального КПД. 12. Какие факторы влияют на КПД червячной передачи? 13. Пути повышения КПД червячного зацепления.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1




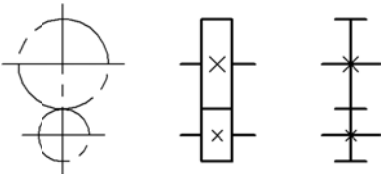

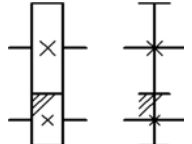
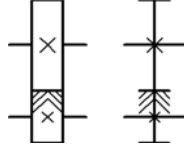
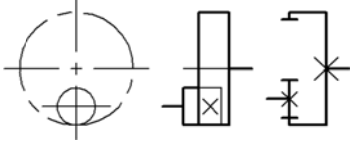
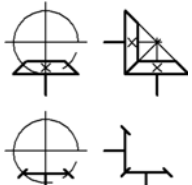
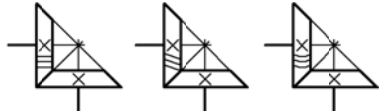
ОБОЗНАЧЕНИЯ УСЛОВНЫЕ ГРАФИЧЕСКИЕ В СХЕМАХ. ЭЛЕМЕНТЫ КИНЕМАТИКИ (ПО ГОСТ 2.770-80)

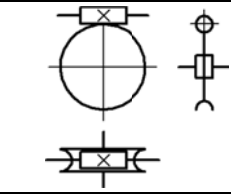
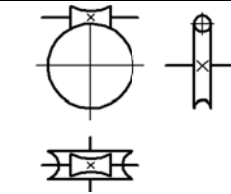
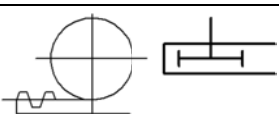
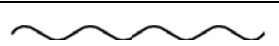

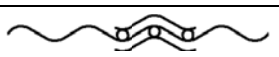
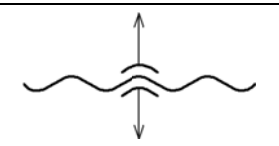

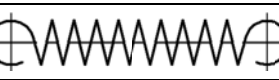
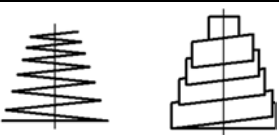
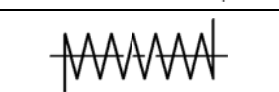
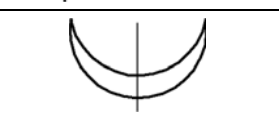
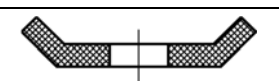
Наименования	Обозначения
Вал, валик, ось, стержень, шатун и т. п.	
Гибкий вал для передачи вращающего момента	
Неподвижное звено (стойка). Для указания неподвижности любого звена часть его контура покрывают штриховкой	
Кинематическая пара: а) вращательная	
б) поступательная	
Подшипники скольжения и качения на валу (без уточнения типа): а) радиальные	
б) упорные	
Подшипники скольжения: а) радиальные	
б) радиально-упорные односторонние	
в) радиально-упорные двухсторонние	
г) упорные односторонние	
д) упорные двухсторонние	
Подшипники качения: а) радиальные	
б) радиально-упорные односторонние	
в) радиально-упорные двухсторонние	
г) упорные односторонние	
д) упорные двухсторонние	
Муфта. Общее обозначение без уточнения типа	
Муфта нерасцепляемая (неуправляемая): а) глухая	

Продолжение таблицы

Наименования	Обозначения
б) упругая	
Тормоз. Общее обозначение без уточнения типа	
Храповые зубчатые механизмы: а) с наружным зацеплением односторонние	
б) с наружным зацеплением двухсторонние	
в) с внутренним зацеплением односторонние	
г) с реечным зацеплением	
Фрикционные передачи с цилиндрическими роликами	
Маховик на валу	
Передача ремнем без уточнения типа	
Передача плоским ремнем	
Передача клиновидным ремнем	
Передача круглым ремнем	
Передача зубчатым ремнем	
Передача цепью:	
а) общее обозначение без уточнения типа цепи	

Продолжение таблицы

Наименования	Обозначения
б) круглозвенной	
в) пластинчатой	
г) зубчатой	
Передачи зубчатые (цилиндрические): а) внешнее зацепление (общее обозначение без уточнения типа зубьев)	
б) то же с прямыми зубьями	
косыми зубьями	
шевронными зубьями	
в) внутреннее зацепление	
Передачи зубчатые с пересекающимися валами и конические: а) общее обозначение без уточнения типа зубьев	
б) с прямыми, спиральными и круговыми зубьями	

Наименования	Обозначения
Червячные передачи с цилиндрическим червяком	
Червячные глобоидные передачи	
Передачи зубчатые реечные (общее обозначение без уточнения типа зубьев)	
Винт, передающий движение	
Гайка на винте, передающем движение:	
а) неразъемная	
б) неразъемная с шариками	
в) разъемная	
Пружины:	
а) цилиндрические сжатия	
б) цилиндрические растяжения	
в) конические сжатия	
г) цилиндрические, работающие на кручение	
д) рессора	
е) тарельчатые	

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ПОДШИПНИКИ

2.1. Подшипники шариковые радиальные однорядные (по ГОСТ 8338-75)

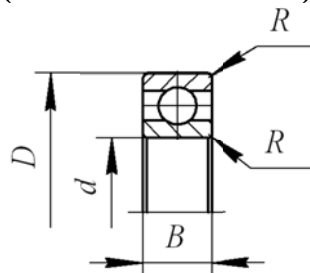


Рис. П2.1. Габаритные размеры шариковых радиальных однорядных подшипников

Таблица П2.1

Основные размеры и параметры шариковых радиальных однорядных подшипников

Условное обозначение подшипника	d , мм	D , мм	B , мм	R , мм	Грузоподъемность, кН		Условное обозначение подшипника	d , мм	D , мм	B , мм	R , мм	Грузоподъемность, кН	
					динамическая C	статическая C_0						динамическая C	статическая C_0
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Особо легкая серия							Легкая серия						
100	10	26	8	0,5	4,62	1,96	200	10	30	9	1,0	5,9	2,65
101	12	28	8	0,5	5,07	2,24	201	12	32	10	1,0	6,89	3,1
104	20	42	12	1,0	9,36	4,5	204	20	47	14	1,5	12,7	6,2
105	25	47	12	1,0	11,2	5,6	205	25	52	15	1,5	14,0	6,95
106	30	55	13	1,5	13,3	6,8	206	30	62	16	1,5	19,5	10,0
107	35	62	14	1,5	15,9	8,5	207	35	72	17	2,0	25,5	13,7
108	40	68	15	1,5	16,8	9,3	208	40	80	18	2,0	32,0	17,8
109	45	75	16	1,5	21,2	12,2	209	45	85	19	2,0	33,2	18,6
110	50	80	16	1,5	21,6	13,2	210	50	90	20	2,0	35,1	19,8
111	55	90	18	2,0	28,1	17,0	211	55	100	21	2,5	43,6	25,0
112	60	95	18	2,0	29,6	18,3	212	60	110	22	2,5	52,0	31,0
113	65	100	18	2,0	30,7	19,6	213	65	120	23	2,5	56,0	34,0
114	70	110	20	2,0	37,7	24,5	214	70	125	24	2,5	61,8	37,5
115	75	115	20	2,0	39,7	26,0	215	75	130	25	2,5	66,3	41,0

Окончание табл. П2.1

1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Средняя серия							Тяжелая серия						
303	17	47	14	1,5	13,5	6,65	403	17	62	17	2,0	22,9	11,8
304	20	52	15	2,0	15,9	7,8	405	25	80	21	2,5	36,4	20,4
305	25	62	17	2,0	22,5	11,4	406	30	90	23	2,5	47,0	26,7
306	30	72	19	2,0	29,1	14,6	407	35	100	25	2,5	55,3	31,0
307	35	80	21	2,5	33,2	18,0	408	40	110	27	3,0	63,7	36,5
308	40	90	23	2,5	41,0	22,4	409	45	120	29	3,0	76,1	45,5
309	45	100	25	2,5	52,7	30,0	410	50	130	31	3,5	87,1	52,0
310	50	100	27	3,0	61,8	36,0	411	55	140	33	3,5	100,0	63,0
311	55	120	29	3,0	71,5	41,5	412	60	150	35	3,5	108,0	70,0
312	60	130	31	3,5	81,9	48,0	413	65	160	37	3,5	119,0	78,1
313	65	140	33	3,5	92,3	56,0	414	70	180	42	4,0	143,0	105,0
314	70	150	35	3,5	104,0	63,0	416	80	200	48	4,0	163,0	125,0
315	75	160	37	3,5	112,0	72,5	417	85	210	52	5,0	174,0	135,0

2.2. Подшипники шариковые радиально-упорные однорядные (по ГОСТ 831-75)

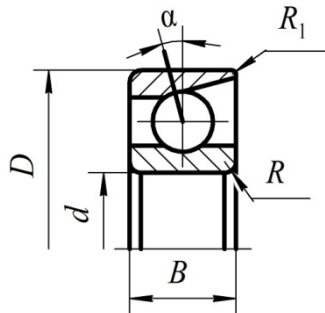


Рис. П2.2. Габаритные размеры шариковых радиально-упорных подшипников

Таблица П2.2

Основные размеры и параметры шариковых радиально-упорных подшипников

Условное обозначение подшипника		d , мм	D , мм	B , мм	R , мм	R_1 , мм	Грузоподъемность, кН			
							динамическая C типа		статическая C_0 типа	
$\alpha=12^\circ$	$\alpha=26^\circ$						36000	46000	36000	46000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Легкая серия										
36202	46202	15	35	11	1,0	0,3	8,15	8,25	3,83	3,65
36203	—	17	40	12	1,0	0,3	12	—	6,12	—
36204	46204	20	47	14	1,5	0,5	15,7	14,8	8,31	7,64
36205	46205	25	52	15	1,5	0,5	16,7	15,7	9,1	8,34

Окончание табл. П2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
36206	46206	30	62	16	1,5	0,5	22,0	21,9	12,0	12,0
36207	46207	35	72	17	2,0	1,0	30,8	29,0	17,8	16,4
36208	46208	40	80	18	2,0	1,0	38,9	36,8	23,2	21,3
36209	46209	45	85	19	2,0	1,0	41,2	38,7	25,1	23,1
36210	46210	50	90	20	2,0	1,0	43,2	40,6	27,0	24,9
36211	46211	55	100	21	2,5	1,2	58,4	50,3	34,2	31,5
36212	46212	60	110	22	2,5	1,2	61,5	60,8	39,3	38,8
36213	46213	65	120	23	2,5	1,2	–	69,4	–	45,9
36214	–	70	125	24	2,5	1,2	80,2	–	54,8	–
36215	46215	75	130	25	2,5	1,2	–	78,4	–	53,8

2.3. Подшипники роликовые конические однорядные (по гост 333-79)

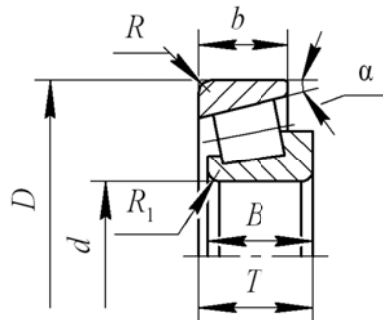


Рис. П2.3. Габаритные размеры роликовых конических однорядных подшипников

Таблица П2.3

Основные размеры и параметры роликовых конических однорядных подшипников

Условное обозначение подшипника	Размеры, мм							Грузоподъемность, кН		Факторы приведенной нагрузки		
	d	D	T	B	b	R	R_1	динамическая C	статическая C_0	e	Y	Y_0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Легкая серия ($\alpha = 12-16^\circ$)												
7202	15	35	12,0	11	9	1,0	0,3	10,5	6,1	0,451	1,329	0,731
7203	17	40	13,5	12	11	1,5	0,5	14,0	9,0	0,314	1,909	1,050
7204	20	47	15,5	14	12	1,5	0,5	21,0	13,0	0,360	1,666	0,916
7205	25	52	16,5	15	13	1,5	0,5	24,0	17,5	0,360	1,666	0,916
7206	30	62	17,5	16	14	1,5	0,5	31,0	22,0	0,365	1,645	0,905
7207	35	72	18,5	17	15	2,0	0,8	38,5	26,0	0,369	1,624	0,893

Продолжение табл. П2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7208	40	80	20,0	19	16	2,0	0,8	46,5	32,5	0,383	1,565	0,861
7209	45	85	21,0	20	16	2,0	0,8	50,0	33,0	0,414	1,450	0,798
7210	50	90	22,0	21	17	2,0	0,8	56,0	40,0	0,374	1,604	0,882
7211	55	100	23,0	21	18	2,5	0,8	65,0	46,0	0,411	1,459	0,802
7212	60	100	24,0	23	19	2,5	0,8	78,0	58,0	0,351	1,710	0,940
7214	70	125	26,5	26	21	2,5	0,8	96,0	82,0	0,369	1,624	0,893
7215	75	130	27,5	26	22	2,5	0,8	107,0	84,0	0,388	1,547	0,851
Легкая широкая серия ($\alpha = 12-16^\circ$)												
7506	30	62	21,5	20,5	17	1,5	0,5	36,0	27,0	0,365	1,645	0,905
7507	35	72	24,5	23,0	20	2,0	0,8	53,0	40,0	0,346	1,733	0,953
7508	40	80	25,0	23,5	20	2,0	0,8	56,0	44,0	0,381	1,575	0,866
7509	45	85	25,0	23,5	20	2,0	0,8	60,0	46,0	0,416	1,442	0,793
7510	50	90	25,0	23,5	20	2,0	0,8	62,0	54,0	0,421	1,426	0,784
7511	55	100	27,0	25,0	21	2,5	0,8	80,0	61,0	0,360	1,666	0,916
7512	60	110	30,0	28,0	24	2,5	0,8	94,0	75,0	0,392	1,528	0,840
7513	65	120	33,0	31,0	27	2,5	0,8	119,0	98,0	0,369	1,624	0,893
7514	70	125	33,5	31,0	27	2,5	0,8	125,0	101,0	0,388	1,547	0,851
7515	75	130	33,5	31,0	27	2,5	0,8	130,0	108,0	0,407	1,476	0,812
Средняя серия ($\alpha = 10-14^\circ$)												
7304	20	52	16,5	16	13	2,0	0,8	26,0	17,0	0,296	2,026	1,114
7305	25	62	18,5	17	15	2,0	0,8	33,0	23,2	0,360	1,666	0,916
7306	30	72	21,0	19	17	2,0	0,8	43,0	29,5	0,337	1,780	0,979
7307	35	80	23,0	21	18	2,5	0,8	54,0	38,0	0,319	1,881	1,035
7308	40	90	25,5	23	20	2,5	0,8	66,0	47,5	0,278	2,158	1,187
7309	45	100	27,5	26	22	2,5	0,8	83,0	60,0	0,287	2,090	1,150
7310	50	110	29,5	29	23	2,5	1,0	100,0	75,5	0,310	1,937	1,065
7311	55	120	32,0	29	25	3,0	1,0	107,0	81,5	0,332	1,804	0,992
7312	60	130	34,0	31	27	3,0	1,0	128,0	96,5	0,305	1,966	1,081
7313	65	140	36,5	33	28	3,5	1,2	146,0	112,0	0,305	1,966	1,081
7314	70	150	38,5	37	30	3,5	1,2	170,0	137,0	0,310	1,937	1,065
7315	75	160	40,5	37	31	3,5	1,2	180,0	148,0	0,328	1,829	1,006
Средняя широкая серия ($\alpha = 11-15^\circ$)												
7604	20	52	22,5	21	18,5	2,0	0,8	31,5	22,0	0,298	2,011	1,106
7605	25	62	25,5	24	21	2,0	0,8	47,5	36,6	0,273	2,194	1,205
7606	30	72	29,0	29	23	2,0	0,8	63,0	51,0	0,319	1,882	1,035
7607	35	80	33,0	31	27	2,5	0,8	76,0	61,5	0,296	2,026	1,114
7608	40	90	35,5	33	28,5	2,5	0,8	90,0	67,5	0,296	2,026	1,114
7609	45	100	38,5	36	31	2,5	0,8	114,0	90,5	0,291	2,058	1,131
7611	55	120	46,0	44,5	36,5	3,0	1,0	160,0	140,0	0,323	1,855	1,020
7612	60	130	49,0	47,5	39	3,5	1,2	186,0	157,0	0,305	1,966	1,081
7613	65	140	51,5	48	41	3,5	1,2	210,0	168,0	0,328	1,829	1,006
7614	70	150	54,5	51	43	3,5	1,2	240,0	186,0	0,351	1,710	0,940

7615	75	160	58,5	55	46,5	3,5	1,2	280,0	235,0	0,301	1,996	1,198
------	----	-----	------	----	------	-----	-----	-------	-------	-------	-------	-------

Окончание табл. П2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Средняя серия* ($\alpha = 25-29^\circ$)												
27306	30	72	21,0	19,0	14,0	2,0	0,8	35,0	20,6	0,721	0,833	0,458
27307	35	80	23,0	21,0	15,0	2,5	0,8	45,0	29,0	0,786	0,763	0,420
27308	40	90	25,5	23,0	17,0	2,5	0,8	56,0	37,0	0,786	0,763	0,420
27310	50	110	29,5	29,0	19,0	3,0	1,0	80,0	53,0	0,797	0,752	0,414
27311	55	120	32,0	29,0	21,0	3,0	1,0	92,0	58,0	0,814	0,737	0,504
27312	60	130	34,0	31,0	22,0	3,5	1,2	105,0	61,0	0,699	0,858	0,472
27313	65	140	36,5	33,0	23,0	3,5	1,2	120,0	70,0	0,753	0,796	0,438
27315	75	160	40,5	37,0	26,0	3,5	1,2	150,0	93,5	0,826	0,726	0,400

* По ГОСТ 7260-81