

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
"Оренбургский государственный университет"

Кафедра деталей машин и прикладной механики

Ю.А. Чирков, Р.Н. Узяков, Н.Ф. Васильев

## ЧЕРВЯЧНЫЕ РЕДУКТОРЫ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлению подготовки технических специальностей

Оренбург  
2013

УДК 621.83.05(075.8)

ББК 34.445.72с

Ч 65

Рецензент – доцент, кандидат технических наук В. И. Юршев

**Чирков, Ю. А.**

Ч 65 Червячные редукторы: методические указания  
/ Ю.А. Чирков, Р.Н. Узяков, Н.Ф. Васильев; Оренбургский гос. ун-т. –  
Оренбург: ОГУ, 2013. - 38 с.

Методические указания содержат краткое описание основных деталей и геометрических зависимостей червячных передач, порядок разборки и сборки, определение параметров червячного зацепления и оценку нагрузочной способности редуктора.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по дисциплинам: «Детали машин», «Основы конструирования машин», «Прикладная механика», «Механика», «Техническая механика» для студентов технических специальностей.

УДК 621.83.05(075.8)

ББК 34.445

© Чирков Ю.А.,  
Узяков Р.Н.,  
Васильев Н.Ф., 2013  
© ОГУ, 2013

## Содержание

Введение .....	4
1 Правила техники безопасности .....	5
2 Цель работы .....	5
3 Внеаудиторная подготовка к выполнению работы .....	5
4 Общие сведения .....	6
4.1 Область применения, достоинства и недостатки червячных передач .....	6
4.2 Классификация червячных передач .....	8
4.3 Геометрические параметры червячного зацепления .....	9
4.4 Кинематические зависимости в червячном зацеплении .....	11
4.5 Силы в червячном зацеплении .....	12
4.6 Конструкция и детали червячных редукторов .....	13
5 Порядок выполнения работы .....	23
5.1 Разборка редуктора .....	23
5.2 Ознакомление с конструкцией редуктора .....	23
5.3 Определение параметров зацепления .....	24
5.4 Сборка редуктора .....	27
5.5 Проверка правильности зацепления .....	29
5.6 Оценка нагрузочной способности редуктора .....	29
5.7 Оценка коэффициента полезного действия червячного зацепления .....	31
6 Вопросы для самопроверки и контроля .....	33
Список использованных источников .....	35
Приложение А Отчёт по лабораторной работе №3 .....	36
Приложение Б Основные параметры редуктора .....	38

## Введение

Методические указания предназначены в помощь для практического изучения конструкции червячных редукторов, содержат краткое описание основных деталей, кинематических и геометрических зависимостей червячных передач, порядок разборки и сборки, определение параметров червячного зацепления и оценку нагрузочной способности редуктора при выполнении лабораторной работы по курсу: «Детали машин», «Основы конструирования машин», «Прикладная механика», «Механика», «Техническая механика» для студентов технических специальностей.

Выполнение лабораторной работы способствует закреплению теоретических знаний и позволяет наглядно изучить конструкцию узлов и деталей, а полученные знания можно использовать в дальнейшем при выполнении курсовых проектов и работ.

Нагрузочной способностью червячного редуктора является допускаемый момент на тихоходном валу, определяемый контактной прочностью зубьев, и мощность на этом валу, зависящая от частоты вращения, допускаемого момента и условий теплообмена с окружающей средой.

В методических указаниях принята единая система физических единиц (СИ) со следующими отклонениями, допущенными в международных и межгосударственных стандартах на расчеты деталей машин: размеры деталей передач выражаются в миллиметрах (мм), силы в ньютонах (Н), и соответственно напряжения в ньютонах, деленных на миллиметры в квадрате ( $\text{Н/мм}^2$ ), т.е. мегапаскалях (МПа), а моменты в ньютонах, умноженных на миллиметр (Н·мм). У отдельных групп формул даны соответствующие примечания.

После выполнения лабораторной работы рекомендуется пройти тест на ПК, вызвав необходимую программу указав `G:\KOP\KONTROL\start.exe`. В процессе ответов на контрольные вопросы дополнительно систематизируется материал и закрепляются полученные знания.

## **1 Правила техники безопасности**

- 1 Прежде чем начать какое – либо действие, убедитесь, что оно не нанесет вреда окружающим.**
- 2 Запрещается работать неисправным инструментом.**
- 3 Снятые детали и узлы редуктора следует класть на стол или подставку таким образом, чтобы они не могли упасть от случайного толчка.**
- 4 Передавая детали для осмотра другому студенту убедитесь, что он ее держит, прежде, чем отпустить деталь самому.**
- 5 При сборке редуктора не подкладываете пальцы под детали и особенно крышку редуктора во время их установки.**

## **2 Цель работы**

2.1 Ознакомиться с классификацией и конструкцией червячных редукторов, червячных колёс, червяков, узлов и деталей.

2.2 Выяснить назначение всех деталей редуктора.

2.3 Определить параметры червячного зацепления.

2.4 Выяснить способы регулировок узлов редуктора при сборке, произвести регулировку подшипников и зацепления.

2.5 Оценить нагрузочную способность редуктора и КПД червячного зацепления.

Работа выполняется в течение 4-х часов. Для выполнения работы необходимы: редуктор червячный одноступенчатый, журнал лабораторных работ, линейка, карандаш, микрокалькулятор, штангенциркуль с диапазоном измерения 0-250, мел, ключи гаечные рожковые.

## **3 Внеаудиторная подготовка к выполнению работы**

В процессе подготовки студент должен изучить разделы курса «Детали машин», касающиеся выполнения данной работы по учебникам, рекомендованным в «Списке использованных источников», а также по конспектам лекций.

Пользуясь настоящими методическими указаниями, студент должен:

- 1) уяснить цель работы, её содержание и порядок выполнения;
- 2) выписать в тетрадь расчётные формулы (см. ниже);
- 3) подготовить бланк отчёта (по форме, представленной в приложении А),

где необходимо:

- а) указать цель работы;
  - б) начертить кинематическую схему изучаемого редуктора;
  - в) выполнить эскизы червяка и червячного колеса, указать основные геометрические параметры с указанием в круглых скобках величины измеряемых или расчетных размеров, а также схему регулировки подшипников и зацепления;
  - г) составить и заполнить таблицу Б.1 приложения Б «Основные параметры редуктора» в соответствии с полученными данными.
- 4) подготовить ответы на вопросы, приведенные на страницах 33, 34.

## **4 Общие сведения**

### **4.1 Область применения, достоинства и недостатки червячных передач**

Червячный редуктор - это механизм, служащий для понижения угловой скорости и увеличения вращающего момента и состоящий из одной или нескольких червячных передач, смонтированных в едином закрытом корпусе (картере). В диапазоне передаточных чисел  $u=8...80$  основное применение находят одноступенчатые редукторы.

Структурные схемы одноступенчатых червячных редукторов представлены на рисунке 1. Червячная передача состоит из червяка 1 (короткого винта с трапецидальной или близкой к ней резьбой) и червячного колеса 2 (зубчатое колесо с косыми зубьями дугообразной формы, охватывающими часть червяка, при этом возникает линейный контакт, следовательно, повышается нагрузочная способность). Червячная передача применяется для передачи вращательного движения между валами со скрещивающимися осями. Угол скрещивания осей обычно составляет  $90^0$ .

В машиностроении используются редукторы с различным расположением червяков: с нижним - при окружной скорости червяка  $V_1$  до 4 м/с (рисунок 1а), с верхним - при  $V_1$  более 4 м/с (рисунок 1в) и с боковым расположением червяка (рисунок 1б и 1г).

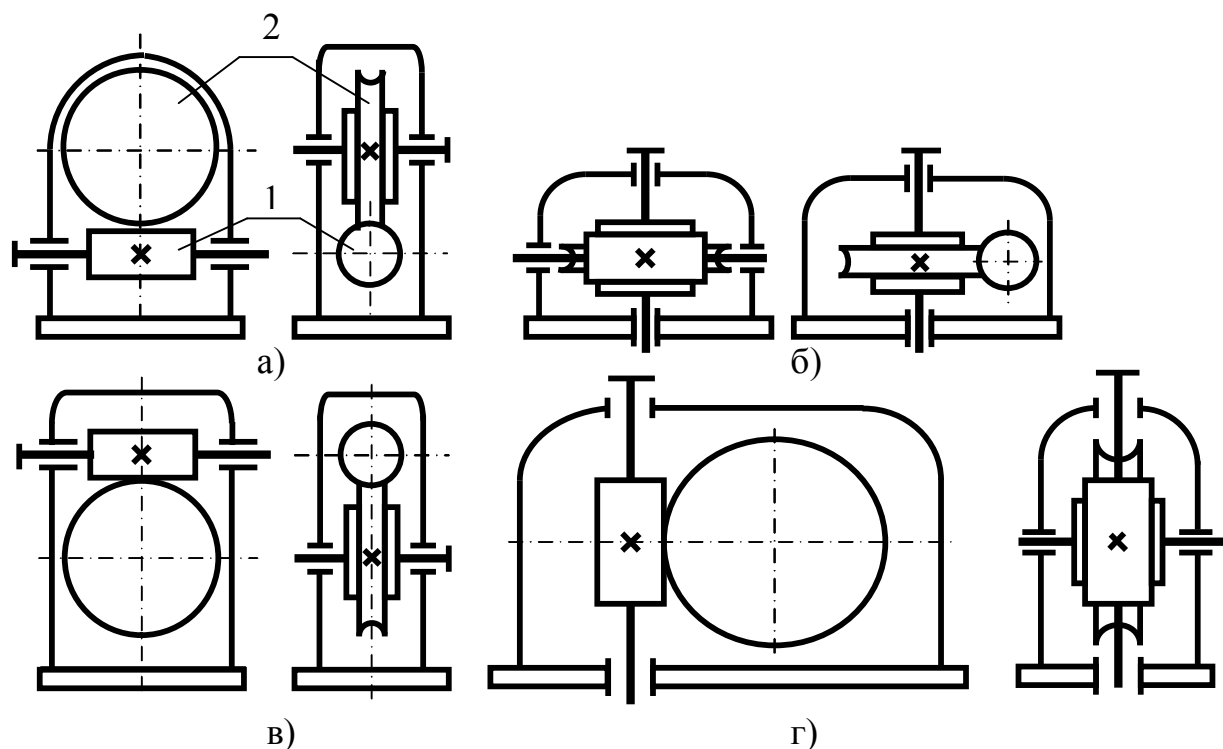


Рисунок 1 – Кинематические схемы одноступенчатых червячных редукторов

Достоинства червячной передачи:

1. Плавность и бесшумность работы.
2. Компактность.
3. Возможность реализации больших передаточных чисел (до 1000).
4. Возможность получения самотормозящей передачи.
5. Высокая кинематическая точность.

Недостатки:

1. Низкий КПД, вследствие скольжения витков червяка по зубьям червячного колеса (0,65 – 0,9).
2. Значительное выделение тепла и, как следствие, необходимость принятия специальных мер по интенсификации теплоотвода.

3. Применение для венцов червячных колёс дорогостоящих антифрикционных материалов.
4. Повышенный износ колёс.
5. Повышенные требования к точности сборки и необходимость регулировки зацепления по пятну контакта.

Применение: при небольших и средних мощностях (до 50 кВт), предпочтительно в приводах периодического действия (во избежание перегрева).

Параметрам червяка присписывается индекс – 1.

Параметрам колеса – 2.

#### 4.2 Классификация червячных передач

В зависимости от формы внешней поверхности червяка передачи бывают с цилиндрическими (рисунок 2а) и глобоидными червяками (рисунок 2б). Глобоидная передача имеет повышенный КПД, более надёжна и долговечна, но из-за сложности изготовления имеет ограниченное применение.

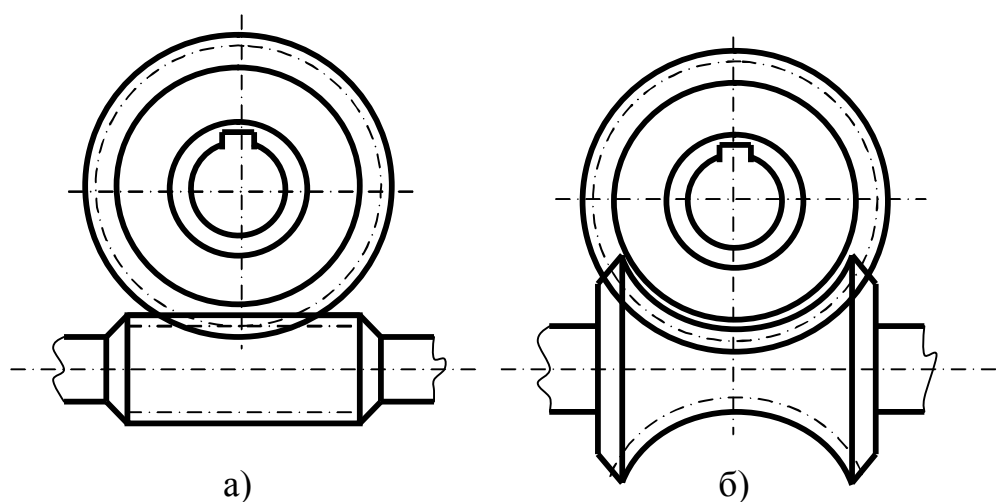


Рисунок 2 – Схемы зацепления с различными видами червяков

В зависимости от направления винтовой линии резьбы червяка передачи бывают с правым или левым червяком. Наибольшее распространение имеют правые червяки.



В зависимости от числа заходов резьбы червяка передачи бывают с однозаходными, двухзаходными и четырехзаходными червяками.

В зависимости от расположения червяка относительно колеса передачи бывают с нижним, верхним и боковым червяком. Существуют передачи с колесом, расположенным в горизонтальной или в вертикальной плоскости.

В зависимости от формы винтовой поверхности резьбы цилиндрического червяка передачи бывают с архимедовым, конволютным и эвольвентным червяками, а так же с вогнутым профилем витков червяка. Каждый из них требует различных способов нарезания.

### 4.3 Геометрические параметры червячного зацепления

Геометрические размеры червяка и колеса определяют по формулам, аналогичным формулам для зубчатых колёс.

Основные геометрические параметры червячного зацепления показаны на рисунке 3. В червячной передаче стандартными являются: осевой модуль червяка  $m_s$ , равный окружному модулю червячного колеса  $m_t$ , который обозначается -  $m$ ; коэффициент диаметра червяка (число модулей в диаметре делительного цилиндра):  $q = \frac{d_1}{m} = 6,3...20$ ; межосевое расстояние  $a_w$ .

В червячных передачах в соответствии с ГОСТ 19036-94 стандартный угол профиля принят равным  $\alpha = 20^\circ$ .

Передаточное число по ГОСТ 2144-76  $u = \frac{z_2}{z_1}$ , где  $z_1$  - число заходов червяка,  $z_2$  - число зубьев червячного колеса.

Осевой шаг червяка  $P = \pi \cdot m$ , отсюда модуль зацепления  $m = \frac{P}{\pi}$ .

Ход винтовой линии  $t_b = P \cdot z_1$ .

Высота головки зуба  $h_{a1} = m$ , высота ножки зуба  $h_{f1} = 1,2 \cdot m$ , тогда радиальный зазор  $C = 0,2 \cdot m$ .

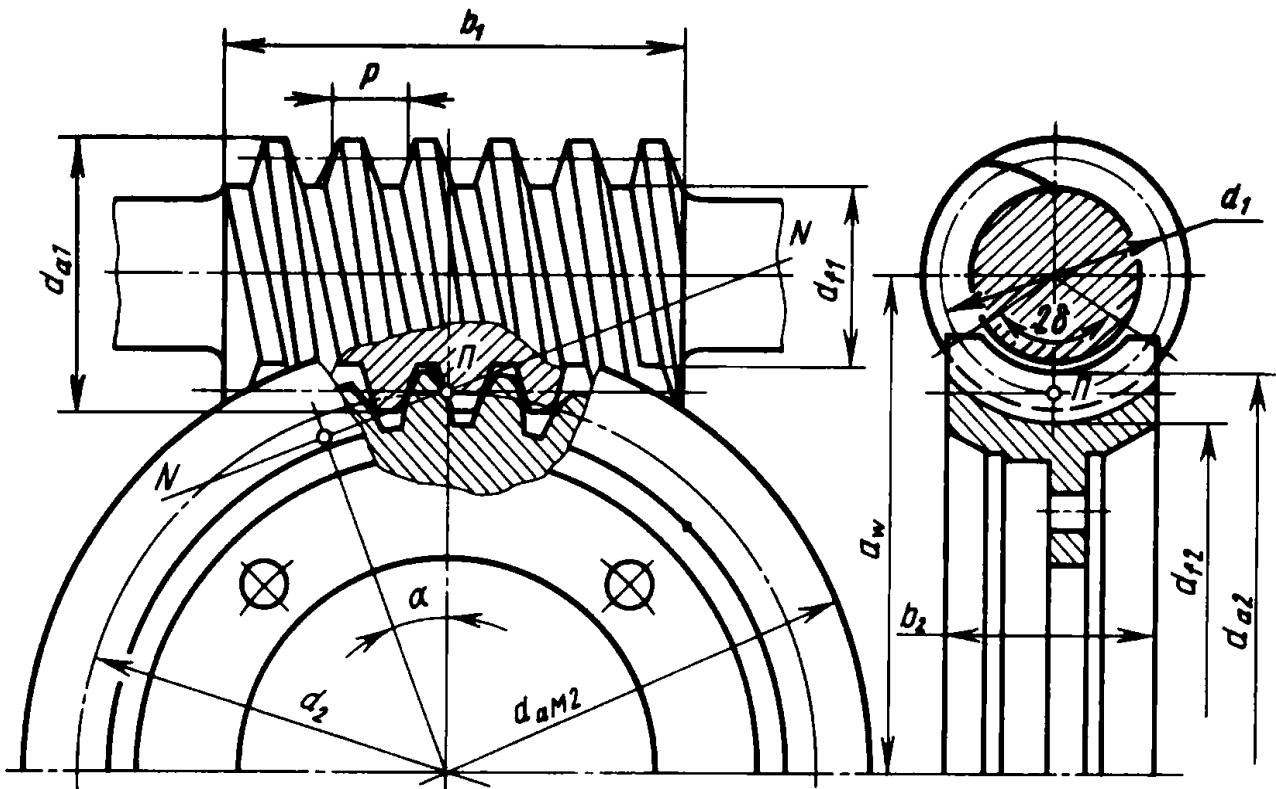


Рисунок 3 – Геометрические параметры червячного зацепления

Делительные диаметры: червяка  $d_1 = m \cdot q$ ;

колеса  $d_2 = m \cdot z_2$ .

Коэффициент смещения инструмента

$$x = \frac{a_w}{m} - 0,5 \cdot (q + z_2) . \quad \text{должен находиться в интервале: } -1 \leq x \leq +1.$$

Начальные диаметры: червяка  $d_{w1} = d_1 + 2x \cdot m$ ;

колеса  $d_{w2} = d_2$ .

Диаметры окружности выступов:

$$d_{a1} = d_1 + 2h_a = m \cdot (q + 2);$$

$$d_{a2} = d_2 + 2h_a = m \cdot (z_2 + 2 + 2x).$$

Диаметры окружности впадин:

$$d_{f1} = d_1 - 2h_f = m \cdot (q - 2,4);$$

$$d_{f2} = d_2 - 2h_f = m \cdot (z_2 - 2,4 + 2x).$$

Межосевое расстояние:

$$a_w = \frac{d_{w1} + d_{w2}}{2} = \frac{m \cdot (q + z_2 + 2x)}{2}, \text{ отсюда } m = \frac{2 \cdot a_w}{q + z_2 + 2x}.$$

Наибольший диаметр червячного колеса:  $d_{am_2} \leq d_{a2} + \frac{6 \cdot m}{z_1 + 2}$ .

Длина нарезной части червяка  $b_1$  и ширина венца червячного колеса  $b_2$  определяются в зависимости от числа заходов червяка  $z_1$ :

$$\text{при } z_1 = 1 \text{ и } z_1 = 2 \quad b_1 \geq (11 + 0,05 \cdot z_2) \cdot m.$$

$$b_2 \leq 0,75d_{a1}.$$

Угол подъёма винтовой линии червяка:  $\operatorname{tg} \gamma = \frac{t_b}{\pi \cdot d_1} = \frac{P \cdot z_1}{\pi \cdot q \cdot m} = \frac{z_1}{q} = 5 \dots 20^\circ$ .

Угол обхвата червяка колесом:  $\sin \delta = \frac{b_2}{d_{a1} - 0,5 \cdot m}$ .

#### 4.4 Кинематические зависимости в червячном зацеплении

Во время работы червячной передачи витки червяка скользят по зубьям червячного колеса. Скорость скольжения  $V_{ск}$  направлена по касательной к винтовой линии делительного цилиндра червяка (рисунок 4). Векторы окружных скоростей червяка  $V_1$  и колеса  $V_2$  взаимно перпендикулярны.

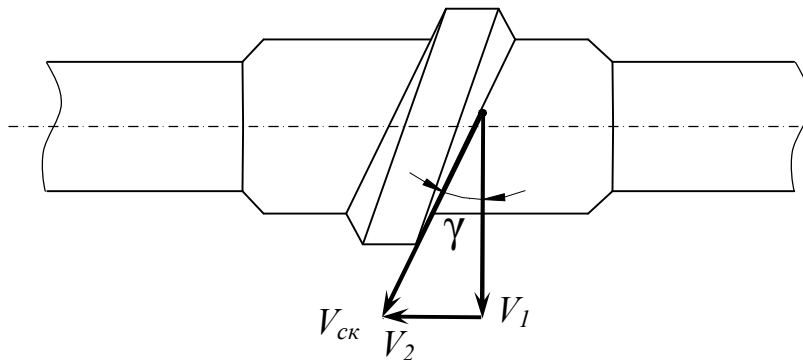


Рисунок 4 – Скорость скольжения

$$V_1 = \omega_1 \cdot \frac{d_1}{2} = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60},$$

$$V_2 = \omega_2 \cdot \frac{d_2}{2} = \frac{\pi \cdot d_2 \cdot n_2}{60}.$$

Скорость скольжения определяется из параллелограмма скоростей:

$$V_{ск} = \frac{\sqrt{V_1^2 + V_2^2}}{\cos \gamma} = \frac{V_1}{\cos \gamma} = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60 \cdot \cos \gamma}.$$

Скорость скольжения  $V_{ск}$  всегда больше  $V_1$ . Большое скольжение в червячной передаче повышает износ зубьев колеса, увеличивает склонность к заеданию.

#### 4.5 Силы в червячном зацеплении

При работе в червячном зацеплении возникает сила нормального давления, которая для удобства расчета задается тремя взаимно перпендикулярными составляющими (рисунок 5): окружной  $F_t$ , радиальной  $F_r$  и осевой  $F_a$  силами.

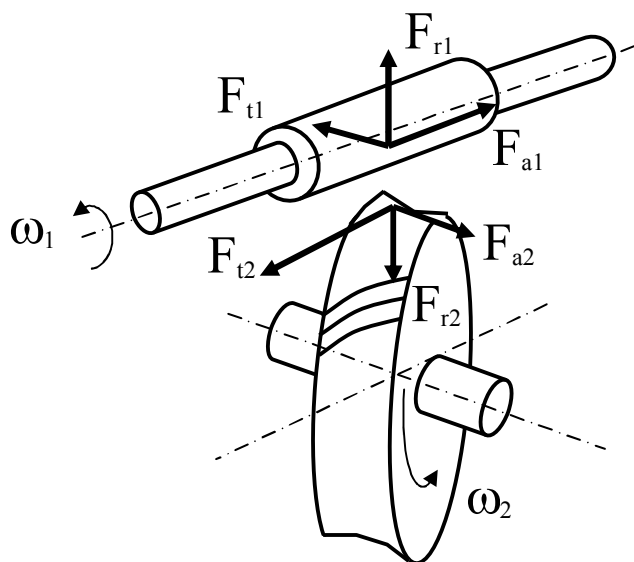


Рисунок 5 – Силы, действующие в червячном зацеплении

Окружная сила червяка уравнивается осевой силой колеса:

$$F_{t1} = F_{a2} = \frac{2 \cdot T_1}{d_1}.$$

Окружная сила колеса уравнивается осевой силой червяка:

$$F_{t2} = F_{a1} = \frac{2 \cdot T_2}{d_2}.$$

Радиальные силы:

$$F_{r1} = F_{r2} = F_{t2} \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

Сила нормального давления:

$$F_{n_1} = F_{n_2} = \frac{F_{t_2}}{\cos \alpha \cdot \cos \gamma}.$$

Силы с вращающихся деталей передаются неподвижному корпусу через соответствующие валы и подшипники качения.

#### 4.6 Конструкция и детали червячных редукторов

В червячном зацеплении преобладает зона, неблагоприятная для создания условий гидродинамической смазки (в этой зоне скольжение витков червяка по зубьям колеса происходит вдоль контактных линий). Кроме того, начальный контакт искажается в связи с деформациями тела червяка. В связи с этим выполнение обоих деталей червячной пары из твёрдых материалов не даёт положительных результатов в отношении обеспечения несущей способности передачи, поэтому одна из деталей (обычно червячное колесо) выполняется из антифрикционного (относительно мягкого, но дорогостоящего) материала.

Червяки в большинстве случаев выполняют как одно целое с валом (рисунок 3) из сталей: среднеуглеродистых марок 40, 45, 50, легированных 40Х, 40ХН с поверхностной или объёмной закалкой до твёрдости HRC 45...55. Наилучшую стойкость передачи обеспечивают червяки из цементуемых сталей (20Х, 18ХГТ и др.), имеющие твёрдость после закалки HRC 58...63.

Зубчатые венцы 1 червячного колеса (рисунок 6) изготавливают отдельно от чугунного или стального центра 2 и соединяют между собой:

- а) посадкой с натягом и фиксируют винтами (рисунок 6 а);
- б) болтами, установленными с зазором и без зазора (рисунок 6 б);

в) отливкой бронзового венца в литейную форму, в которую заранее устанавливают чугунный центр колеса, так называемая, биметаллическая конструкция (рисунок 6 в), - наиболее рациональна в серийном производстве. Выбор марки материала венца зависит от скорости скольжения  $V_{ск}$  витков червяка по зубьям колеса и длительности работы. При  $V_{ск} = 6...25$  м/с и длительной работе рекомендуются оловянистые бронзы марок БР ОФ 10-1, Бр ОНФ 10-1-1. При  $V_{ск} = 2...6$  м/с применяют алюминиево-железистые бронзы,

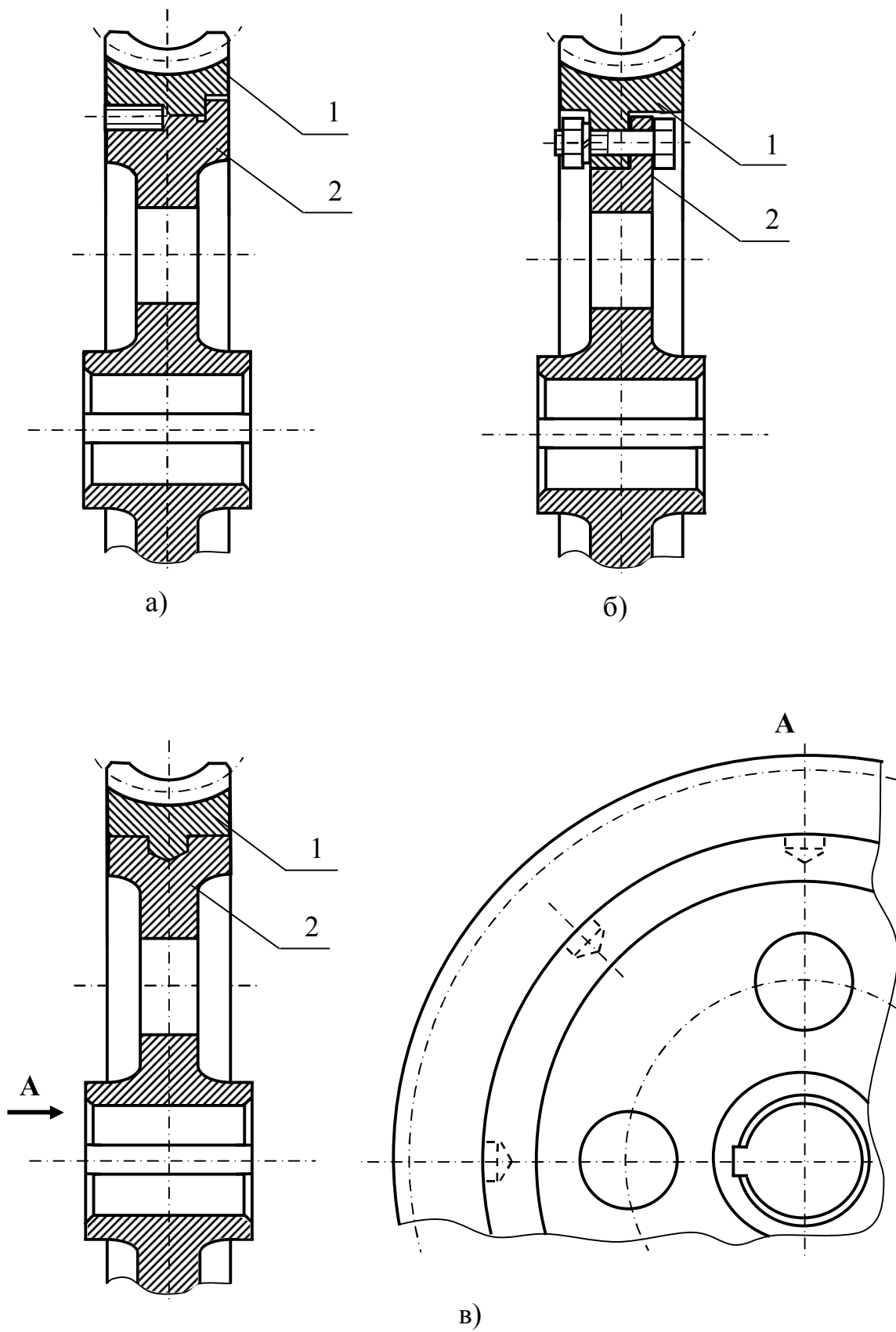


Рисунок 6 – Конструкции червячных колес

например, БрАЖ 9-4. При  $V_{ск} \leq 2$  м/с червячные колёса можно изготовить цельными из серых чугунов марок СЧ 15, СЧ 18 и др.

Пример конструктивного оформления червячного редуктора с нижним расположением червяка показан на рисунках 7 и 8.

Сборочные единицы и детали, используемые в червячном редукторе:

Сборочные единицы	13 – винт регулировочный с отверстием;
1 – червячное колесо;	14 – винт регулировочный;
2 – крышка - отдушина;	15 – маслоразбрызгивающая крыльчатка;
3 – маслоуказатель;	16, 17 – кольцо распорное;
Детали	18 – планка стопорная;
4 – корпус;	19 – манжета резиновая;
5 – крышка подшипника;	20, 21 – подшипник;
6 – тихоходный вал;	22 – крышка подшипника сквозная;
7 – червяк;	23 – крышка подшипника глухая;
8 – маслоотбойное кольцо;	24, 25 – винт;
9 – прокладка регулировочная (комплект);	26, 27 – шайба пружинная;
10, 11 – прокладка;	28, 29 – кольцо уплотнительное;
12 – пробка для слива масла;	30 – кольцо пружинное упорное;
	30, 31, 32 – шпонка.

Корпус 4 редуктора изготовлен цельным. Монтаж червячной передачи – червяка 7 и червячного колеса 1, осуществляется через крышки подшипников 5, 22, 23. В верхней части корпуса имеется смотровое окно (люк), через которое производится наблюдение за состоянием червячной передачи, а также заливается масло. Люк закрывается крышкой 2, имеющей отдушину, предназначенную для выравнивания давления внутри корпуса по отношению к наружному. При отсутствии отдушины нагретый воздух при эксплуатации редуктора будет выдавливаться вместе с маслом (вследствие избыточного давления) через уплотнения и на корпусе образуются масляные подтёки, отдушина также необходима для полного слива масла из редуктора. Опорами вала 6 являются подшипники качения роликовые радиально-упорные конические 20, имеющие

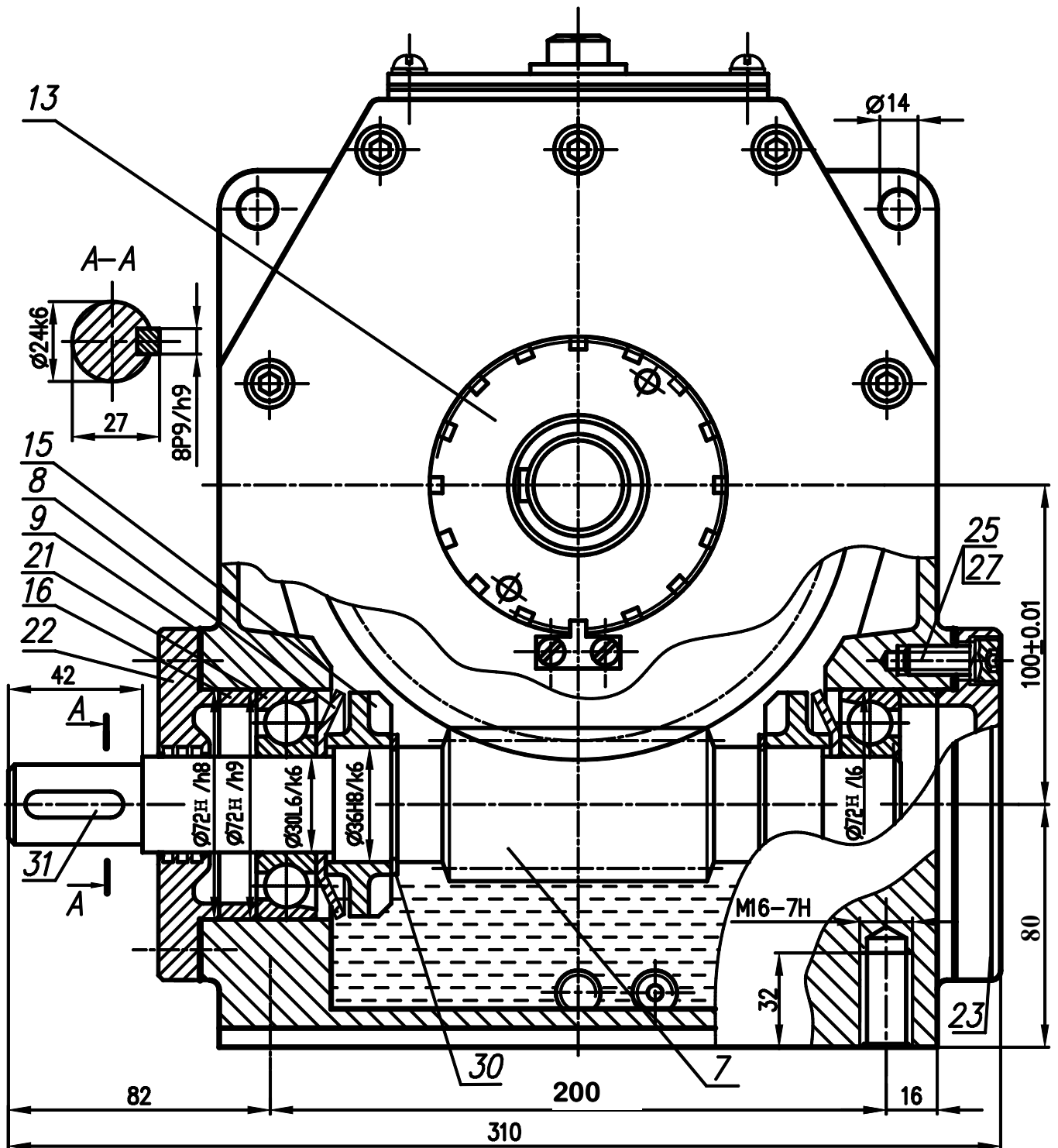


Рисунок 7 – Конструкция червячного редуктора с нижним расположением червяка (фронтальный вид с разрезом)



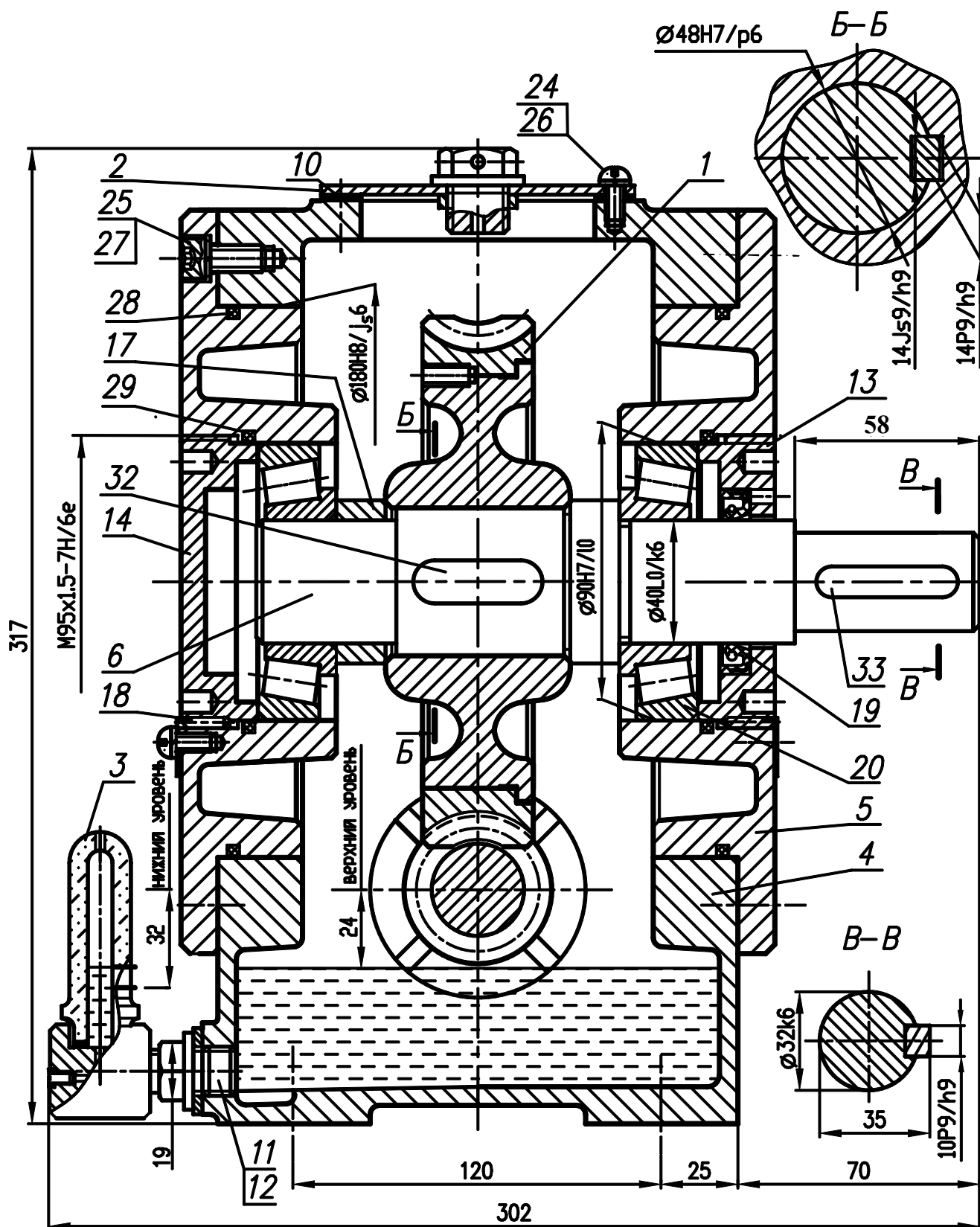


Рисунок 8 – Конструкция червячного редуктора с нижним расположением червяка (разрез по оси тихоходного вала)

более высокую грузоподъемность, чем шариковые подшипники. Червяк 7 установлен на подшипниках качения шариковых радиально-упорных 21, применяемые при средних и высоких частотах вращения. Назначение опор - удерживать вращающиеся детали (червяк и червячное колесо) в нужном взаимном положении. В этой конструкции подшипники установлены в распор, один подшипник предотвращает осевое смещение вала в одном направлении, а второй – в другом. Подшипники качения на вал устанавливаются с натягом, а в корпус с зазором. Для создания необходимого зазора в подшипниках между кольцами и телами качения применены регулировочные прокладки 9 и регулировочные винты 13 и 14. Регулировочные винты 13 и 14 также служат для установки правильного расположения пятна контакта в зацеплении между червяком и червячным колесом. Подшипники качения 21 смазываются окунанием в масляную ванну. Уровень масла должен быть не выше центра нижнего шарика, что обеспечивается необходимым уровнем масла, контролируемым маслоуказателем 3, и маслоотбойными кольцами 8. Роликовые радиально-упорные конические подшипники 20 и червячное зацепление смазываются маслом от маслоразбрызгивающих крыльчаток 15. Герметичность корпуса редуктора обеспечивается прокладками 9 - 11 и уплотнительными кольцами 28, 29. Вытекание масла через крышку подшипника и вращающегося червяка предотвращается щелевым уплотнением, применяемого при высоких частотах вращения в условиях чистой и сухой атмосферы. Уплотнение тихоходного вала осуществляется резиновой армированной манжетой 19, применяемой при средних и низких скоростях, обеспечивая защиту плотным контактом деталей в уплотнении. Слив масла из редуктора происходит через отверстие, закрываемое пробкой 12 с цилиндрической резьбой. Детали к корпусу редуктора крепятся винтами 24 и 25. Предохранение резьбовых соединений от самоотвинчивания при переменной нагрузке и изменении температуры осуществляется пружинными шайбами 26, 27 и стопорными планками 18. Детали в осевом направлении на червяке фиксируются пружинными упорными кольцами 30. Шпонки 31- 33 применены для передачи вращающего момента от

вала к ступице и наоборот. Распорные кольца 16, 17 используются для достижения необходимых осевых размеров в конструкции.

Конструктивное оформление червячного редуктора с верхним расположением червяка показано на рисунках 9 и 10.

Сборочные единицы и детали используемые в червячном редукторе с верхним расположением червяка (рисунок 9, 10):

#### Сборочные единицы

- |                        |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| 1 – червячное колесо;  | 17, 18 – кольцо распорное;  |
| 2 – крышка - отдушина; | 19 – стакан под подшипники; |
| 3 – маслоуказатель;    | 20, 21, 22 – подшипник;     |

#### Детали

- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| 4 – основание корпуса;                 | 23, 24 – винт;                 |
| 5 – крышка корпуса;                    | 25 – шайба пружинная;          |
| 6 – червяк;                            | 26 – винт-заглушка;            |
| 7 – тихоходный вал;                    | 27 – штифт конический;         |
| 8 – крышка подшипника сквозная;        | 28 – кольцо пружинное упорное; |
| 9 – крышка подшипника глухая;          | 29 – маслосборник;             |
| 10 – крышка подшипника сквозная;       | 30 – маслоподводящая трубка;   |
| 11 – крышка подшипника глухая;         | 31 – гайка шлицевая;           |
| 12 – прокладка регулировочная          | 32 – контргайка;               |
| (комплект);                            | 33 – шайба многолапчатая;      |
| 13 – винт регулировочный с отверстием; | 34 – пробка для слива масла;   |
| 14 – винт регулировочный;              | 35, 36, 37 – шпонка;           |
| 15, 16 – шайба регулировочная;         | 38 – крышка смотрового окна;   |
|  | 39, 40, 41 - прокладка.        |

Корпус редуктора с верхним расположением червяка (рисунок 9) с целью облегчения сборки изготовлен в виде разъёмной коробки. Он состоит из нижней части, называемой основанием корпуса 4, и крышки корпуса 5. Корпус выполнен с горизонтальным разъём. Корпус и крышка соединяются болтами, или шпильками с гайками, или винтами 24. Взаимное положение крышки и корпуса фиксируется коническими (реже цилиндрическими) штифтами 27.

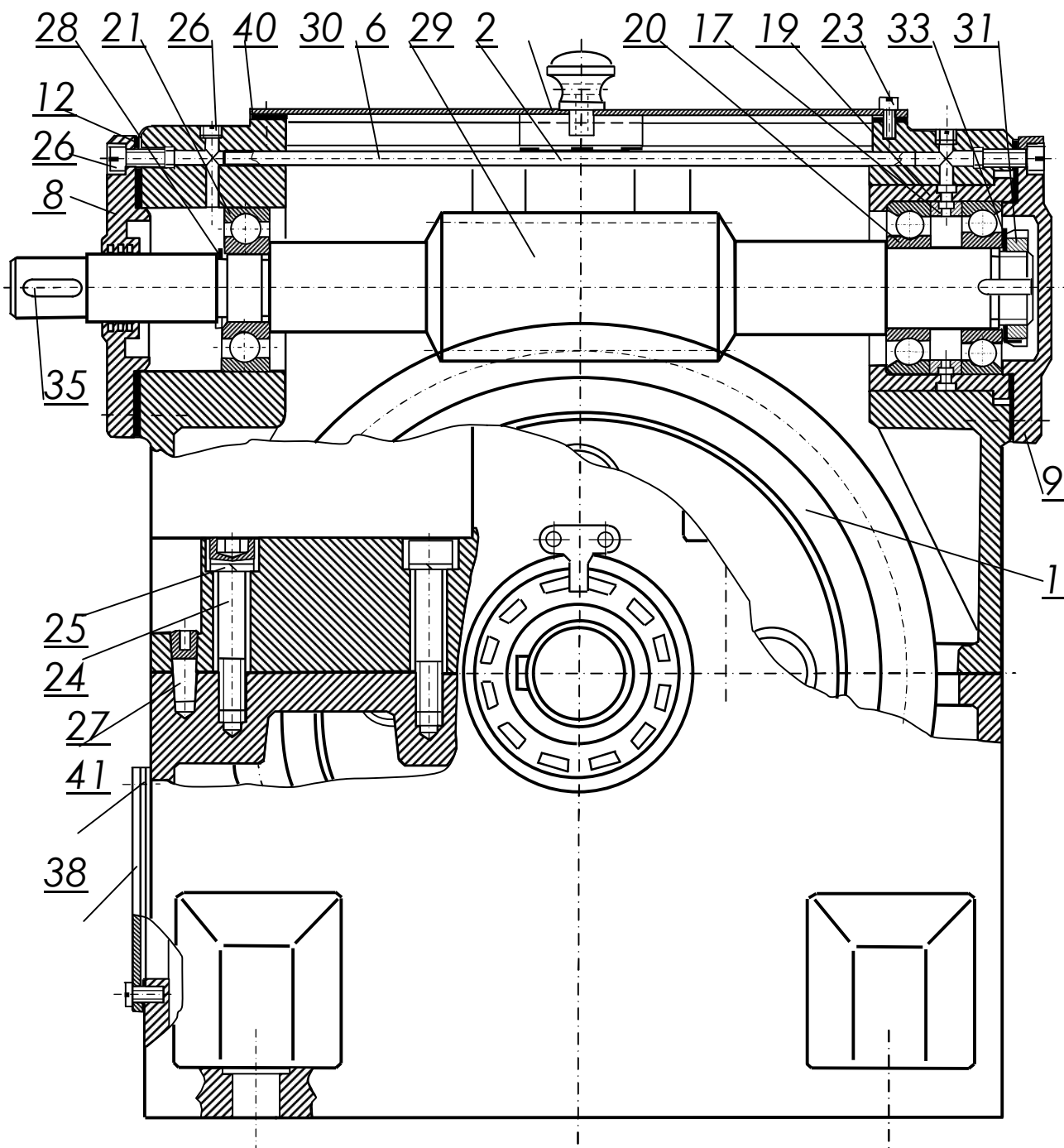


Рисунок 9 – Конструкция червячного редуктора с верхним расположением червяка (фронтальный вид с разрезом)

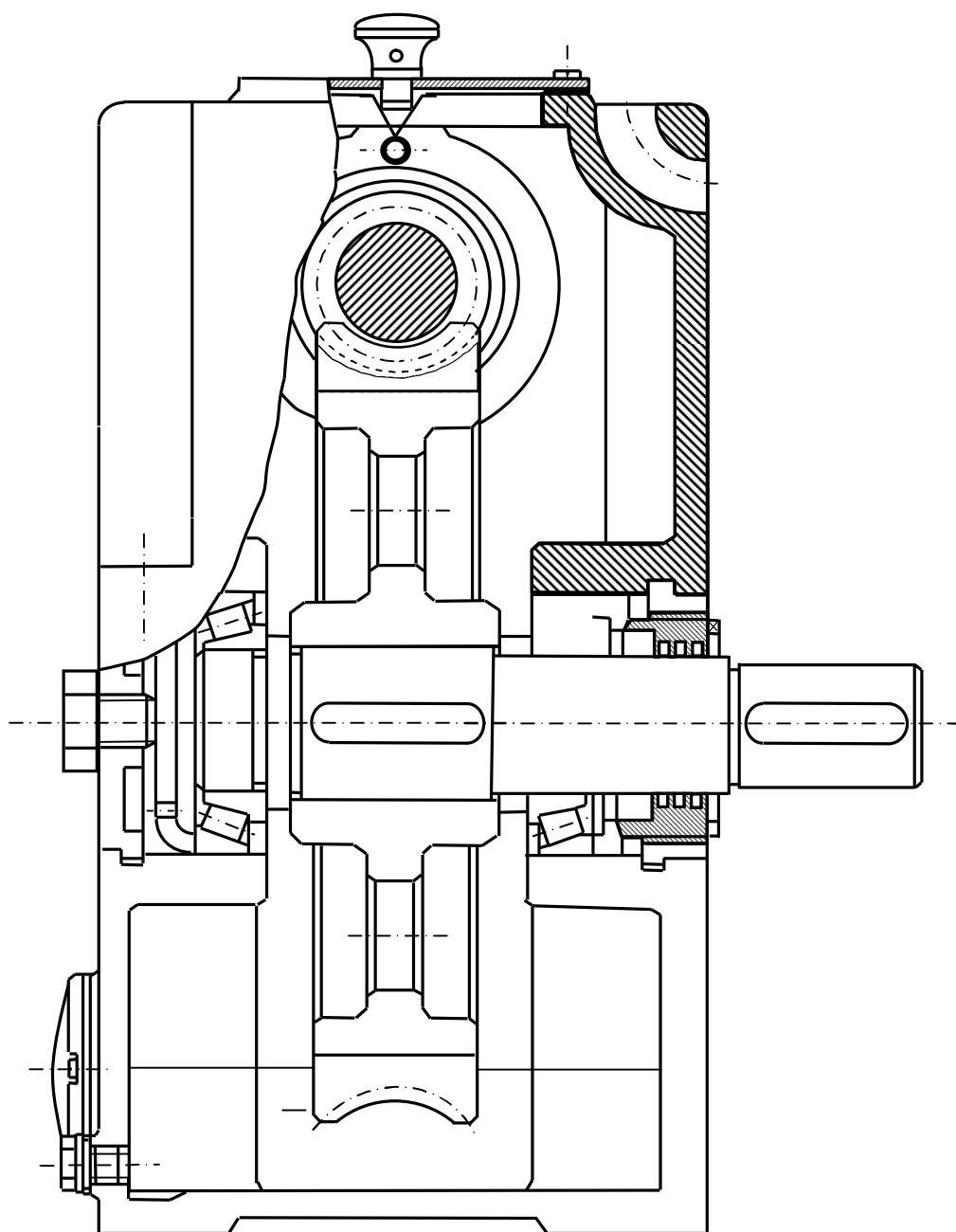


Рисунок 10 – Конструкция червячного редуктора с верхним расположением червяка (разрез по оси тихоходного вала)

Для контроля уровня масла предусмотрен круглый маслоуказатель из прозрачного материала 3. В редукторе применяется картерный способ смазки: смазка зацепления осуществляется окунанием червячного колеса в масляную ванну. Подшипники червяка смазываются следующим образом: масло, попадая на витки червяка с червячного колеса, отбрасывается центробежными силами на маслосборник 29, стекает с него в паз трубки 30, а затем по трубке через сверления в корпусе попадает в полость подшипников 20, 21. Подшипники 22 тихоходного вала 7 смазываются масляным туманом. В опорах червяка лучше использовать шарикоподшипники для уменьшения потери мощности. Червяки с небольшим расстоянием между опорами в передачах, ненапряжённых в тепловом отношении, допускается устанавливать на радиально-упорных подшипниках по одному в опоре (установка "враспор") (рисунки 7, 8). Червяки, имеющие большое расстояние между опорами (обычно при межосевых расстояниях, начиная от 160 до 200 мм), и работающие в напряжённом тепловом режиме, ставят в одной опоре "плавающий" подшипник 21 (опора "плавающая"), а в другой - один сдвоенный или два радиально-упорных 20, воспринимающих осевые силы обоих направлений (фиксирующая опора) (рисунок 9). Для удобства сборки и разборки червяка, на фиксирующей опоре два радиально-упорных подшипника 20 с распорным кольцом установлены в стакан. Регулирование шариковых радиально-упорных подшипников на червяке – установление минимальных зазоров, при которых в условиях эксплуатации не возникает натяг (от температурных деформаций), осуществляется шлицевой гайкой 31, которая затем фиксируется многолапчатой шайбой 33 (рисунок 9). Регулирование роликовых радиально-упорных конических подшипников на тихоходном валу проводят регулировочными винтами 13 и 14 (рисунок 10). Регулировочные винты 13, 14 также служат для установки правильного расположения пятна контакта в зацеплении между червяком и червячным колесом. Крышка 38 закрывает смотровое окно, предназначенное для наблюдения пятна контакта витков червяка и зубьев колеса при регулировке зацепления, а также - за состоянием зубьев колеса в процессе эксплуатации.

## **5 Порядок выполнения работы**

### **5.1 Разборка редуктора**

Перед разборкой редуктора необходимо измерить штангенциркулем с ножкой размеры Б и М, а также обычным штангенциркулем диаметры валов  $d_{вБ}$  и  $d_{вМ}$  (рисунок 11).

Разборка редуктора производится в следующей последовательности:

- 1 Отвернуть винты и снять крышку-отдушину, вынуть маслоуказатель.
- 2 Отвернуть винты боковых крышек, снять крышки и вынуть червячное колесо с валом и подшипниками.
- 3 Отвернуть винты крышек, снять крышки и вынуть червяк с подшипниками.
- 4 Отвернуть маслосливную пробку.

### **5.2 Ознакомление с конструкцией редуктора**

При разборке редуктора необходимо ознакомиться с конструкцией червяка и червячного колеса, а также выяснить назначение остальных деталей (в соответствии с приведенным выше описанием).

Одновременно с этим выполнить следующее:

- 1 Составить кинематическую схему редуктора, на ней проставить межосевое расстояние.
- 2 Сделать эскизы с указанием размеров:
  - червяка (нарезной его части);
  - венца червячного колеса;
  - уплотнений, подшипниковых узлов червяка с указанием условного обозначения и размеров подшипника, ориентируясь на его маркировку, нанесенную на торце колец и результаты замеров;
  - отдельных элементов корпуса (по указанию преподавателя).

### 5.3 Определение параметров зацепления

Параметры червячного зацепления можно определить через замеры отдельных элементов червяка и колеса обычным штангенциркулем. Измерение каждого элемента нужно производить несколько раз и взять среднеарифметическое значение. Полученные значения занести в таблицу отчета по лабораторной работе (таблица Б.1 приложения Б).

Определение параметров зацепления можно производить в следующей последовательности:

1 Подсчитать межосевое расстояние

$$a_w = B - \frac{d_{\text{вБ}}}{2} - \left( M - \frac{d_{\text{вМ}}}{2} \right) \quad (1)$$

Размеры  $B$ ,  $M$ ,  $d_{\text{вБ}}$  и  $d_{\text{вМ}}$  определить согласно рисунку 11. Полученное межосевое расстояние  $a_w$  (мм) сравнить в таблице 1 со стандартным значением (ГОСТ 2144-76). В таблице 1 также указаны некоторые стандартные значения осевых модулей  $m$  (мм), коэффициентов диаметра червяка  $q$ , передаточные числа  $u$  (ГОСТ 2144-76 и ГОСТ 19672-74).

Таблица 1 - Значения стандартных параметров червячной передачи

$m$	1-ый ряд	2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20
	2-ой ряд	3; 3,5; 6; 7; 12; 14
$q$	1-ый ряд	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20
	2-ой ряд	7,1; 9; 11,2; 14; 18
$a_w$	1-ый ряд	40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500
	2-ой ряд	71; 90; 112; 140; 180; 224; 280; 355; 450; 560
$u$	1-ый ряд	8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80
	2-ой ряд	11,2; 14; 18; 22,4; 28; 35,5; 45; 56
П р и м е ч а н и е - при выборе параметров, 1-ый ряд следует предпочитать 2-му.		



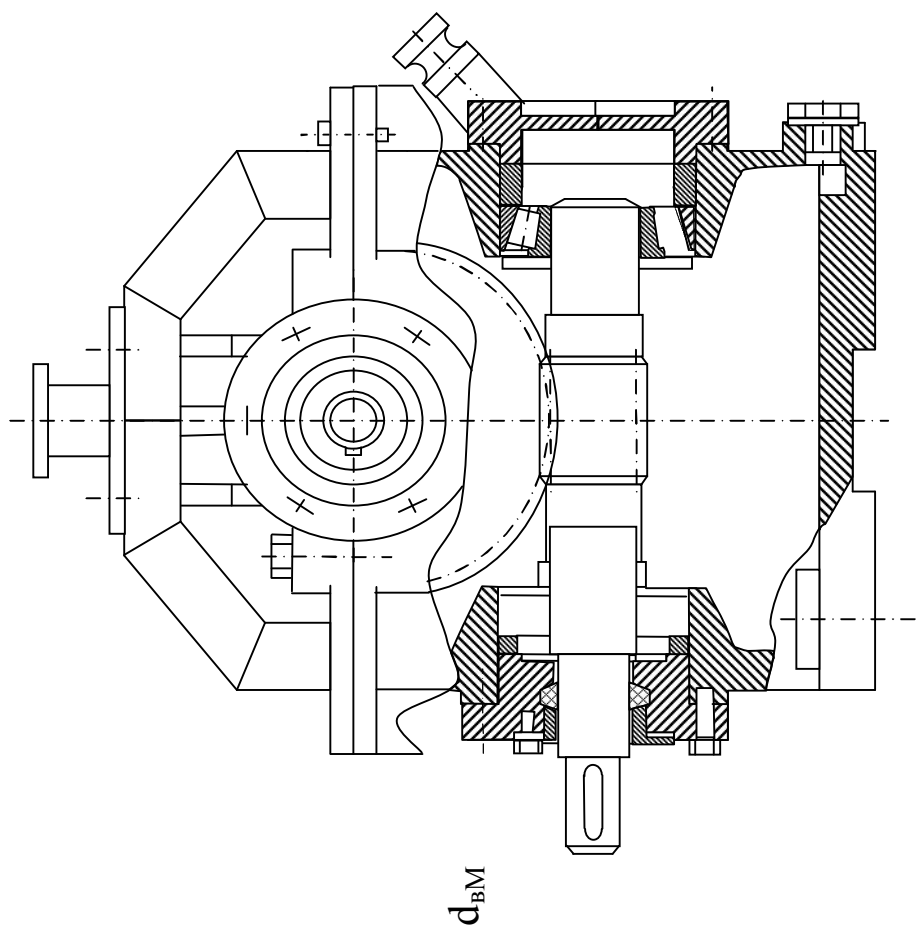


Рисунок 11 – Определение межосевого расстояния  $a_w$  червячной передачи

2 Измерить осевой шаг  $P_x$  и диаметр вершин  $d_{a1}$  червяка, а также средний диаметр вершин колеса  $d_{a2}$  (рисунок 3).

3 Определить осевой модуль  $m$  и коэффициент диаметра червяка  $q$ , и округлить их до ближайших стандартных значений (таблица 1).

$$m = \frac{P}{\pi} \quad (2)$$

$$q = \frac{d_1}{m} \quad (3)$$

где  $d_1$  - делительный диаметр червяка,

$$d_1 = d_{a1} - 2 \cdot h_a^* \cdot m \quad (4)$$

$h_a^*$  - коэффициент высоты головки ( $h_a^* = 1$ , реже 0,8).

4 Подсчитать число заходов червяка  $z_1$  (число винтовых линий). Наиболее просто и наглядно это можно сделать с торца червяка. Затем подсчитать число зубьев колеса  $z_2$ .

Определить передаточное число и сравнить его со стандартным значением (таблица 1):

$$u = \frac{z_2}{z_1} \quad (5)$$

5 Определить коэффициент смещения инструмента:

$$x = \frac{a_w}{m} - 0,5 \cdot (q + z_2) . \quad (6)$$

При вычислении коэффициента смещения инструмента необходимо учитывать, что его значение должно находиться в интервале:  $-1 \leq x \leq +1$ .

6 Замерить все прочие размеры. Результаты замеров и расчетов внести в таблицу Б.1 (приложение Б).

7 Проверить правильность полученных значений параметров червячной передачи по формуле:

$$d_{a2} - 2 \cdot m = m \cdot (z_2 + 2x) .$$

## 5.4 Сборка редуктора

В настоящей работе производится лишь узловая сборка, поскольку детали (подшипники, червячное колесо) с валов не выпрессовывались.

Сборку редуктора следует осуществлять без смазки деталей (в отличие от производственных условий). Зубья колеса протереть для удаления следов краски от предыдущей сборки. Сборку производить одновременно с регулировкой осевого зазора (люфта) подшипников и проверкой правильности зацепления в следующей последовательности:

1 Вставить боковую крышку подшипников тихоходного вала червячного колеса и завернуть два винта по диагонали до упора крышки в корпус.

2 Установить червячное колесо с валом и вторую крышку. Прижать крышку рукой и закрепить её двумя винтами по диагонали. Вал должен вращаться с небольшим усилием от руки. Если винты затянуть сильнее, то подшипники заклинят и провернуть вал рукой будет невозможно. Определить зазор  $\delta$  между фланцем крышки и корпусом редуктора.

3 Из набора подобрать регулировочные прокладки под крышку подшипника так, чтобы в сумме они составляли толщину:

$$\delta_{np} = \delta + 0,1$$

4 Разделить прокладки на две приблизительно равные части  $\delta_1$  и  $\delta_2$ , поставить их под боковые крышки (рисунок 12). Затянуть все винты. При этом вал колеса не должен иметь осевого зазора в подшипниках и в то же время должен свободно проворачиваться рукой. В противном случае следует уменьшить (при наличии зазора) или увеличить  $\delta_1$  и  $\delta_2$  на одну прокладку. Отметим, что для используемых в редукторе роликоподшипников осевой зазор должен быть от 0,04 до 0,11 мм.

5 Установить вал-червяк. Установка вала-червяка осуществляется в той же последовательности, что и для вала колеса.

6 На боковую поверхность витков червяка нанести тонкий слой краски.

7 Поставить на место остальные детали за исключением крышки-отдушины, чтобы наблюдать за поверхностью зубьев червячного колеса.

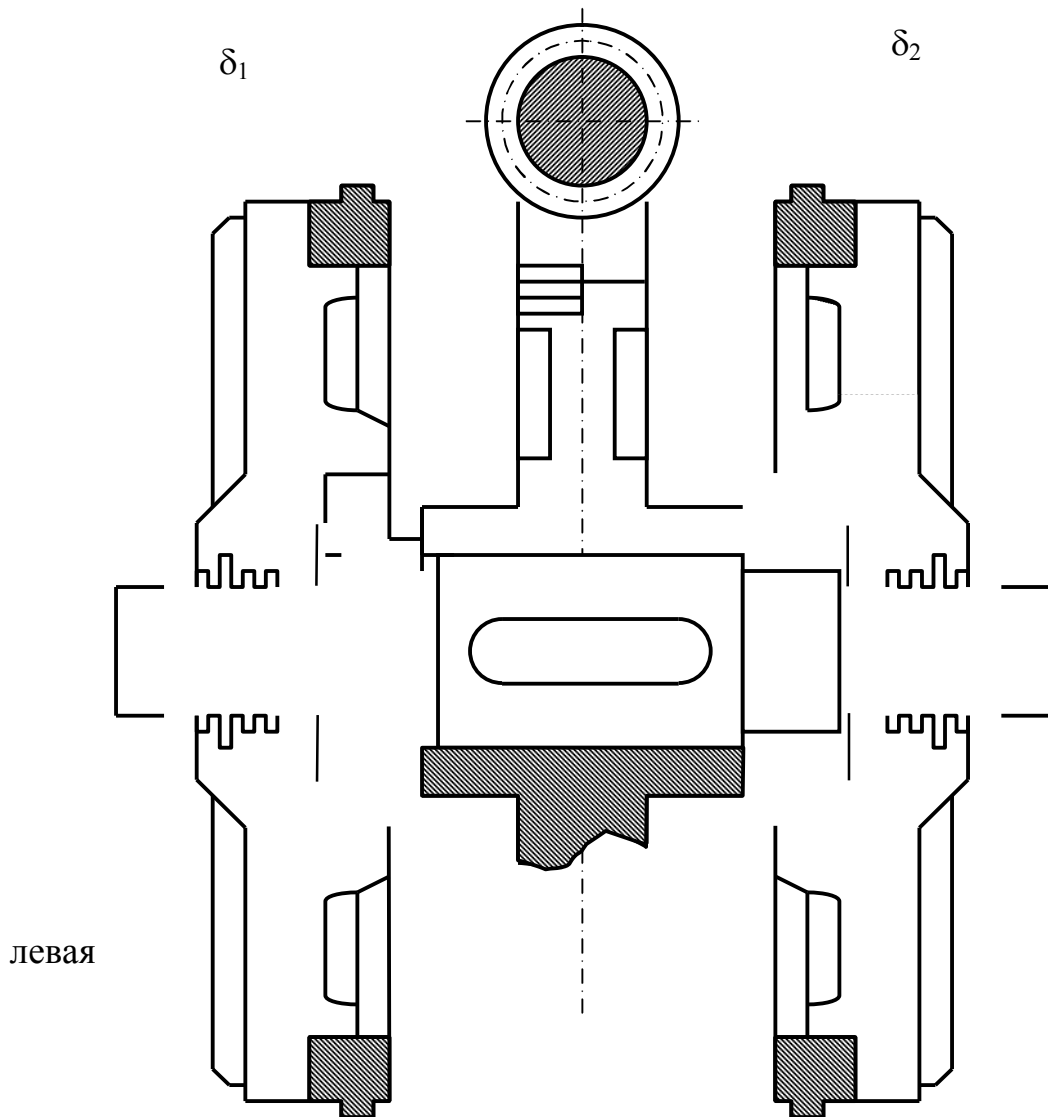


Рисунок 12 – Регулировка зацепления по пятну контакта

## **5.5 Проверка правильности зацепления**

При правильном зацеплении средняя плоскость червячного колеса проходит через центр червяка. При этом пятно контакта, получаемое при поворачивании червяка и наблюдаемое через смотровое окно, должно располагаться симметрично относительно указанной плоскости (рисунок 12а).

Если пятно смещено вправо (рисунок 12б), то необходимо вынуть одну прокладку толщиной  $\delta$  из-под левой крышки и поставить под правую крышку на другой стороне редуктора. Червячное колесо с валом и подшипники переместятся относительно корпуса в сторону установки прокладки. После этого следует вновь проверить пятно контакта.

Если пятно смещено влево (рисунок 12в), то необходимо вынуть одну прокладку толщиной  $\delta$  из-под правой крышки и поставить под левую крышку на другой стороне редуктора. Червячное колесо с валом и подшипники переместятся относительно корпуса в сторону установки прокладки. После этого следует вновь проверить пятно контакта. Операцию повторять до достижения правильного положения пятна контакта.

Регулировка зацепления проще и быстрее проводится на конструкциях червячных редукторов, показанных на рисунках 7 – 10, с помощью регулировочных винтов. При этом нет необходимости снимать крышки подшипников.

## **5.6 Оценка нагрузочной способности редуктора**

В червячной паре менее прочными элементами являются зубья колеса, у которых возможны следующие виды разрушений и повреждений: усталостное выкрашивание, износ, заедание и поломка. Причём усталостное выкрашивание, износ и заедание зависят от величины контактных напряжений. Поэтому основное значение имеет расчёт по контактным напряжениям с целью предотвращения в проектируемых передачах выкрашивания и заедания, а также снижения износа.

Номинальный крутящий момент, Н·м, на валу колеса из условия ограничения контактных напряжений:

$$T_2 = \frac{q+2x}{K} \cdot \left[ \frac{[\sigma]_H \cdot z_2}{5350} \right]^2 \cdot \left[ \frac{a_w}{Z_2 + q + 2x} \right]^3, \quad (7)$$

где  $K \approx 1,2$  – коэффициент нагрузки [1, 2, 3];

$z_2$  – число зубьев червячного колеса;

$q$  – коэффициент диаметра червяка (таблица 1);

$a_w$  – межосевое расстояние, мм;

$[\sigma]_H$  – допускаемые контактные напряжения, МПа.

Приближенные величины допускаемых напряжений указаны в таблице 2.

Таблица 2 - Допускаемые напряжения для венцов червячных колес

Материалы		$[\sigma]_H$ , МПа (Н/мм <sup>2</sup> ) при $V_{СК}$ м/с							
венца червячного колеса	червяка	0,25	0,5	1	2	3	4	6	8
БрАЖ9-4Л	Сталь с НРС 45 и большей	-	182	179	173	167	161	150	138
БрАЖИ 10-4-4Л	-“-	-	196	192	187	181	175	164	152
СЧ15-32 или СЧ18-36	Сталь 20 или 20Х цементованная	155	128	113	84,5	-	-	-	-
СЧ12-28 или СЧ15-32	Сталь 45 или Ст. 6	141	113	98	71	-	-	-	-

При известном значении  $\omega_1$  скорость скольжения, м/с, определяется:

$$V_{ск} = \omega_1 \cdot d_1 / (2 \cdot 1000) = 5 \cdot 10^{-4} \cdot \omega_1 \cdot m \cdot q, \quad (8)$$

Мощность на тихоходном валу, кВт, составит:

$$P_2 = \frac{T_2 \cdot \omega_2}{10^3},$$

где  $\omega_2$  – угловая скорость этого же вала,  $\text{с}^{-1}$

Так как  $\omega_2 = \omega_1 / u$ , то окончательно мощность, кВт, на тихоходном валу определяется:

$$P_2 = \frac{T_2 \cdot \omega_1}{u \cdot 10^3} \quad (9)$$

Результаты расчётов по формулам (8) и (9) необходимо внести в таблицу Б.1 приложения Б, причём величины  $T_2$  и  $P_2$  следует определить только для материала БрАЖ 9-4Л.

Как видно из формулы (9), мощность на тихоходном валу  $P_2$  прямо пропорциональна угловой скорости  $\omega_1$  и крутящему моменту, и обратно пропорциональна передаточному числу  $u$ .

### 5.7 Оценка коэффициента полезного действия червячного зацепления

КПД червячного зацепления определяется по зависимости, выведенной для винтов:

$$\eta_{зац} = \frac{tg\gamma}{tg(\gamma + \rho')} \quad (10)$$

Чем угол подъёма винтовой линии червяка  $\gamma$  больше, тем выше КПД передачи при равных других условиях. Угол подъёма винтовой линии определяется  $tg\gamma = z_1/q$ . При увеличении числа заходов червяка  $z_1$  уменьшается передаточное число  $u$  червячной передачи.

Приведённый угол трения  $\rho'$  зависит не только от материала червяка и зубчатого венца колеса, чистоты обработки рабочих поверхностей, угла

подъема линии витка червяка, числа заходов и коэффициента диаметра червяка, качества смазки, но и от скорости скольжения  $V_{ск}$  (таблица 3).

Таблица 3 - Значения углов трения  $\rho'$  от скорости скольжения  $V_{ск}$

$V_{ск}, \text{ м/с}$	0,5	1,0	1,5	2	2,5	3	4	6	8
$\rho'$	4°20'	3°50'	3°20'	3°	2°40'	2°20'	2°	1°40'	1°20'

Видно, что угол трения сильно падает с увеличением  $V_{ск}$ . Это связано с улучшением условий смазки (условий образования масляных клиньев в зацеплении).

Заметим, что в таблице 4 приведены средние значения угла трения при работе стального червяка с колесом, венец которого изготовлен из бронзы БрАЖ 9-4Л.

Ориентировочные значения КПД ( $\eta$ ) в зависимости от числа заходов червяка  $z_1$  представлены ниже:

$z_1$	1	2	3 или 4
КПД	0,7...0,75	0,75...0,82	0,87...0,92

Результаты расчётов по формуле (10) внести в таблицу Б.1 приложения Б. Без учёта потерь энергии на трение в подшипниках, а также на разбрызгивание и перемешивание масла, мощности на валах колеса  $P_2$  и червяка  $P_1$  связаны между собой следующей зависимостью:

$$\frac{P_2}{P_1} \approx \eta_{зац}$$



## 6 Вопросы для самопроверки и контроля

- 1 Что такое червячный редуктор?
- 2 Какими достоинствами и недостатками обладают червячные передачи?
- 3 Область применения червячных передач?
- 4 Какие основные детали образуют червячную передачу?
- 5 По каким признакам классифицируют червячные передачи?
- 6 В зависимости от чего выбирают верхнее или нижнее расположение червяка в редукторе?
- 7 Перечислите конструкции червяков.
- 8 Перечислите конструкции червячных колёс.
- 9 Какие требования предъявляются к материалу червячной пары? Материал червяка и червячного колеса?
- 10 Назовите стандартные параметры червячной передачи?
- 11 Основные геометрические соотношения червячного зацепления?
- 12 Как определяется межосевое расстояние в рассматриваемом редукторе?
- 13 Какие силы возникают в червячном зацеплении? Покажите их действие на червяк и червячное колесо. Проследите передачу осевых сил на корпус.
- 14 Назначение и особенности конструкции корпуса червячного редуктора.
- 15 Назначение валов и подшипников, особенности их компоновки при различных условиях работы?
- 16 Назначение шпонок, штифтов, любой другой детали редуктора (по указанию преподавателя)?
- 17 Назначение отдушины в червячном редукторе?
- 18 Какие типы подшипников использованы в редукторе? Дайте характеристику подшипников по их маркировке.
- 19 Для чего применяется смазка зацепления и подшипников? Какой способ смазки в редукторе?
- 20 Какое назначение имеют уплотняющие устройства? Объясните принцип их действия.
- 21 Чем обусловлен выбор того или иного типа уплотнения?

- 22 Цель регулировки зацепления червячной передачи и подшипников качения?
- 23 Способы регулировки зацепления червячной передачи и подшипников качения?
- 24 Напишите соотношение между угловыми скоростями, крутящими моментами и мощностями на валах редуктора.
- 25 Как определяется мощность на тихоходном валу червячного редуктора?
- 26 Перечислите основные причины выхода из строя червячных передач.
- 27 Какое условие прочности положено в основу расчёта закрытых червячных передач?
- 28 Какие параметры червяка и как влияют на КПД в червячном зацеплении?
- 29 Укажите основные потери энергии в червячном редукторе.
- 30 Что такое нагрузочная способность червячного редуктора и от чего она зависит?

## Список использованных источников

- 1 Иванов, М.Н. Детали машин: учебник для машиностроительных специальностей вузов / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. – М: Высшая школа, 2002. – 408 с.: ил. – ISBN 6-06-004063-1.
- 2 Решетов, Д.Н. Детали машин: учебник для машиностроительных и механических специальностей вузов / Д.Н. Решетов. – 4-е изд., перераб. и доп. - М: Машиностроение, 1989. – 496 с.: ил. – ISBN 5-217-00335-9
- 3 Иосилевич, Г.Б. Детали машин: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / Г.Б. Иосилевич – 3-е изд. – М: Машиностроение, 1988. – 368 с.: ил. – ISBN 5-217-00217-4
- 4 Прикладная механика: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. / В.М. Кушнарченко, А.М. Ефанов, В.П. Ковалевский, Ю.А. Чирков – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. - 396 с.: ил. - ISBN 987-5-7410-0918-5.
- 5 Кушнарченко, В.М., Основы проектирования передаточных механизмов: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В.М. Кушнарченко, В.П. Ковалевский, Ю.А. Чирков.– Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003. - 251 с: ил. ISBN 5-7410-0506-3.
- 6 Дунаев, П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие для студ. техн. спец. вузов / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов.-11-е изд., стер.- М.: Академия, 2008.- 496 с. .: ил. – ISBN 5-7695-1041-2.
- 7 Шейнблит, А.Е. Курсовое проектирование деталей машин: учебн. пособие. / А.Е. Шейнблит – Калининград: Янтар. сказ, 2002. – 454 с.: ил., – ISBN 5-7406-0257-2.
- 8 Цехнович, Л.И. Атлас конструкций редукторов: учебное пособие для технических вузов / Л.И. Цехнович, И.П. Петриченко.– 2-е изд., перераб. и доп. – Киев.: Выща школа, 1990. – 150, [1] с.: ил. – ISBN 5-11- 002156-2.

**Приложение А**  
(обязательное)

**Отчёт по лабораторной работе №3**

**Содержание бланка отчёта**

Лабораторная работа №3

Изучение конструкции, регулировка и оценка  
нагрузочной способности червячного редуктора

студент  
группа  
проверил

дата выполнения

1. Цель работы.
  2. Кинематическая схема редуктора (1/3 листа).
  3. Эскизы:
    - а) червяка и червячного колеса (1 лист);
    - б) подшипниковые узлы с уплотнением валов (1/2 листа);
    - в) схема регулировки подшипников и зацепления (1/2 листа);
    - г) отдельные элементы корпуса (по указанию преподавателя) (1/2 листа).
- Характеристика зацепления (таблица Б.1, приложение Б) (1 лист).

					<b>Лабораторная работа №3</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разработ					Изучение конструкции, регулировка и оценка нагрузочной способности червячного редуктора	Литер.	Лист	Листов
Проверил						У	1	
Н. контр.					ОГУ, группа			
Утв.								

ВЫВОДЫ: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Приложение Б**  
(обязательное)  
**Основные параметры редуктора**

Таблица Б.1

Параметры редуктора	Обозначение и единица измерения	Формула	Значение параметров	Примечание
<b><u>Параметры, полученные измерением:</u></b>				
1 Межосевое расстояние (согласовать с ГОСТ)	$a_w, мм$			
2 Число заходов червяка (число винтовых линий)	$z_1$			
3 Число зубьев колеса	$z_2$			
4 Шаг червячного зацепления	$P_x(P_1), мм$			
5 Диаметр вершин червяка	$d_{a1}, мм$			
6 Диаметр вершин колеса в среднем сечении	$d_{a2}, мм$			
7 Наибольший диаметр колеса	$d_{am2}, мм$			
8 Ширина колеса	$b_2, мм$			
9 Длина нарезной части червяка	$b_1, мм$			
<b><u>Параметры, полученные расчетом:</u></b>				
10 Осевой модуль зацепления (согласовать с ГОСТ)	$m$	$m = P_x(P_1)/\pi$		
11 Делительный диаметр червяка	$d_1, мм$	$d_1 = d_{a1} - 2h_a^* \cdot m$		$h_a^* = 1$ - коэффициент
12 Коэффициент диаметра червяка (согласовать с ГОСТ)	$q$	$q = d_1/m$		высоты головки зуба
13 Угол подъема витков червяка	$\gamma, град.$	$\gamma = \arctg z_1/q$		
14 Условный угол обхвата	$2\delta, град.$	$\delta = \arcsin(b_2/(d_{a1} - 0,5 m))$		
15 Коэффициент смещения инструмента	$x$	$x = (a_w/m) - 0,5(q + z_2)$		$-1 \leq x \leq +1$
16 Передаточное число (согласовать с ГОСТ)	$u$	$u = z_2/z_1$		
17 Крутящий момент на валу колеса	$T_2, Н\cdot м$	$T_2 = \frac{q+2x}{K} \cdot \left[ \frac{[\sigma]_H \cdot z_2}{5350} \right]^2 \cdot \left[ \frac{a_w}{Z_2+q+2x} \right]^3$		$K=1,2$ - коэффициент нагрузки
18 Мощность на валу колеса при угловой скорости вала червяка $\omega_1=150$ рад/с	$P_2, кВт$	$P_2 = T_2 \cdot \omega_1 / (u \cdot 10^3)$		
19 Скорость скольжения	$V_{ск}, м/с$	$V_{ск} = \omega_1 \cdot d_1 / (2 \cdot 1000)$		
20 КПД в червячном зацеплении при $\omega_1=150$ рад/с	$\eta_{зац}$	$\eta_{зац} = \text{tg } \gamma / \text{tg } (\gamma + \rho')$		$\rho'$ - угол трения
21 Обозначение подшипников				Два обозначения

Работу выполнил \_\_\_\_\_

Работу принял \_\_\_\_\_

