

## **Лабораторная работа № 6**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ЧЕРВЯЧНОГО РЕДУКТОРА**

**Цель работы:** изучение работы червячного редуктора; определение теоретического КПД, фактического КПД червячной передачи в зависимости от крутящего момента и скорости скольжения; анализ коэффициентов полезного действия червячной передачи, полученных теоретически и экспериментально.

**Инструмент:** штангенциркуль.

**Подготовка к выполнению лабораторной работы:** ознакомиться с теоретическими материалами по червячной передаче [1, с. 172–188; 2, с. 96–156; 3, с. 112–113, 219–244; 3, с. 94–95].

#### **1. Общие сведения**

Основным недостатком червячной передачи, ограничивающим область ее применения, являются повышенные потери мощности. Потери мощности обуславливаются главным образом работой сил трения между сопряженными поверхностями колеса и червяка, так как в процессе зацепления последних имеет место скольжение витков червяка вдоль рабочих поверхностей зубьев колеса аналогично тому, как это происходит в передаче винт-гайка. Величина сил трения определяется нормальным давлением и коэффициентом трения. Трение в червячных передачах зависит от материала червяка и колеса, качества (шероховатости) сопряженных поверхностей, вязкости масла, скорости скольжения, формы профилей зубьев и целого ряда других факторов. В лабораторной работе исследуется изменение коэффициента полезного действия в зависимости от нагрузки и скорости скольжения, которые, соответственно, задаются крутящим моментом и частотой вращения.

#### **2. Описание лабораторной установки**

Установка ДП-4К (рис. 6.1) 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 21 и 23, упирающихся своими штоками в плоские пружины. Пружины измерительных устройств 7 и 8 предварительно градуируются, что позволяет определить величины крутящих моментов на валу электродвигателя  $T_o$  и на ведомом валу редуктора  $T_m$ , т. е. величины момента движущих сил и момента сил сопротивления.

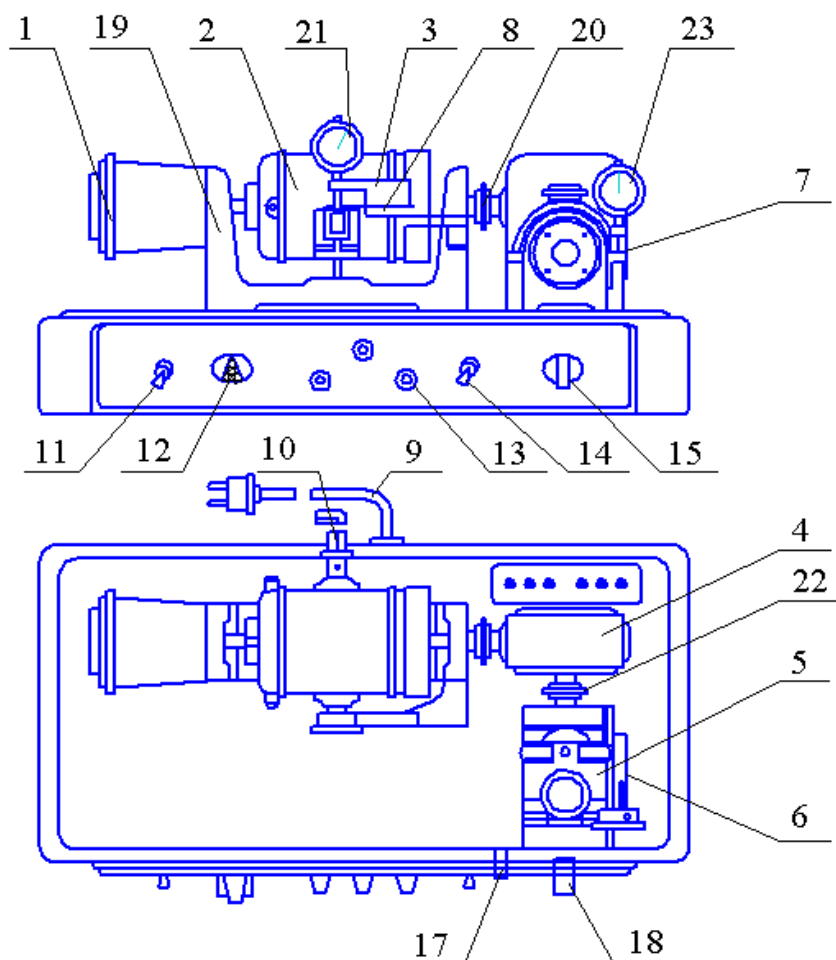


Рис. 6.1. Установка ДП-4К

Статор электродвигателя 2 свободно установлен на двух шарикоподшипниках в кронштейне 19 и может вращаться вокруг общей оси с якорем 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 3, удерживающую статор от поворота. При этом деформация пружины соответствует определенной величине реактивного крутящего момента, создаваемого электродвигателем.

Ротор электродвигателя через муфту 20 соединен с входным валом червячного редуктора. В свою очередь ведомый вал редуктора (вал червячного колеса) через муфту соединен с нагрузочным устройством.

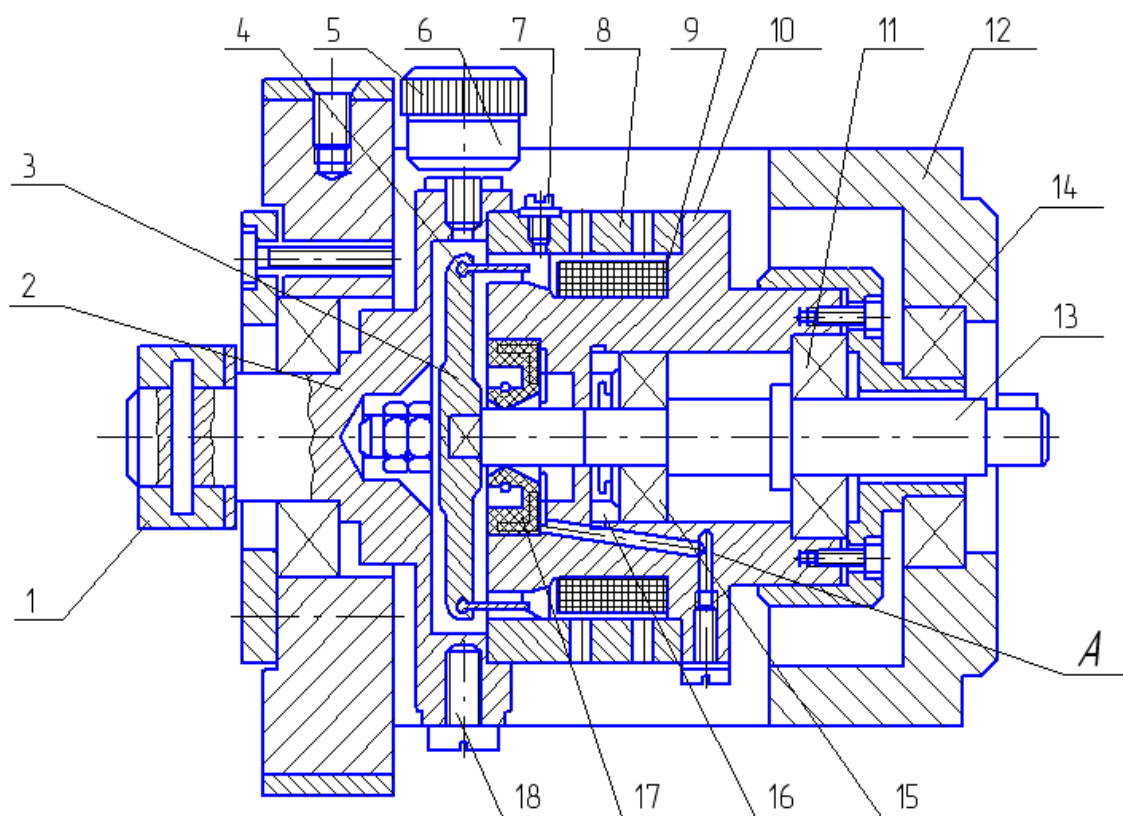


Рис. 6.2. Нагрузочное устройство

Нагрузочное устройство 5 через эластичную муфту соединяется с ведомым валом червячной передачи. Оно представляет собой магнитный порошковый тормоз (рис. 6.2), принцип действия которого основан на способности намагниченной среды оказывать сопротивление перемещению в ней ферромагнитных тел.

В качестве намагниченной среды применена жидкая смесь минерального масла и железного порошка. Основными узлами НУ являются: неподвижная опора 12, в которой на подшипниках 14 и 19 уста-

навливается узел статора, а также узел ротора, вращающийся в подшипниках 11 и 20 внутри узла статора. Узел статора состоит из корпуса 10, который одновременно является сердечником электрообмотки 9; крышки 2 (в нее вкручена масленка 6 для залива магнитной смеси в полость Б), и винтовой пробки 18 для ее слива; ярма 8 электрообмотки 9 с винтовой пробкой 7 для контроля уровня магнитной смеси.

Узел ротора состоит из вала 13, на одном конце которого крепится ротор 3 с барабаном 4, вращающимся в зазоре между ярмом 8, сердечником 10 и электрообмоткой 9, а другой конец вала с помощью эластичной муфты соединяется с выходным валом редуктора. Для предотвращения вытекания магнитной среды из полости Б в корпусе статора 10 установлены манжета 17 и два кольца – маслоотбойное 15 и упорное 16. В корпусе статора 10 выполнены каналы А, предназначенные для сбора магнитной смеси, малые утечки которой возможны в процессе эксплуатации, а винтовая пробка 21 служит для слива этой жидкости. В зависимости от силы тока, подаваемого в обмотку 9, изменяется вязкость магнитной смеси и тем самым изменяется сопротивление вращения ротора с барабаном 4, что приводит к вращению узла статора в подшипниках 14, 19 и повороту рычага 1, воздействующего на плоскую пружину 8 (рис. 6.1) измерительного устройства, прогиб которой пропорционален тормозному моменту.

Характеристика нагрузочного устройства: максимальный тормозной момент на выходном валу редуктора – 3 Н·м; минимальный тормозной момент на выходном валу редуктора – 0,12 Н·м; максимальная частота вращения – 60 мин<sup>-1</sup>.

На передней панели установки расположены: тумблер 12 и контрольная лампочка 14 включения электродвигателя; ручка потенциометра 13, регулирующего частоту вращения данного электродвигателя; рукоятка 15 потенциометра, регулирующего величину тока в обмотке нагрузочного устройства (величину тормозного момента).

### **3. Порядок выполнения работы**

#### **3.1. Составление кинематической схемы установки ДП-4К и редуктора**

Составить кинематическую схему прибора ДП-4К и редуктора с использованием условных изображений в графических схемах. Условные обозначения представлены в прил. 1. Проверить уровень масла в редукторе по отметкам, которые нанесены на правом торце

редуктора. При необходимости долить масло.

### 3.2. Определение основных параметров червячного зацепления

Определить основные параметры червячного зацепления по следующим исходным данным: окружной шаг червячного колеса  $P=3,93$  мм, число заходов червяка  $Z_1=2$ , число зубьев червячного колеса  $Z_2=50$ .

Измерить диаметр вершин витков червяка  $d_{a1}$ . Модуль червячного зацепления определить по формуле

$$m = \frac{P}{\pi}. \quad (6.1)$$

Полученное значение модуля необходимо округлить до стандартного (табл. 3.3). Для стандартного модуля принять значение относительной толщины червяка  $q$  (табл. 3.3) и проверить правильность выбора по замеренному значению диаметра вершин червяка из зависимости

$$d_{a1} = d_1 + 2m. \quad (6.2)$$

Делительный диаметр  $d_1$  червяка определяется по формуле (3.3), червячного колеса  $d_2$  – по формуле (3.4), угол подъема винтовой линии червяка  $\gamma$  – (3.5).

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

$$V_s = \frac{\pi d_1 n_1}{60\,000 \cos(\gamma)}. \quad (6.3)$$

Результаты расчетов занести в табл. 6.1.

### 3.3. 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 точности изготовления и сборки, жесткости всей системы, способа смазки, материалов червяка и зубьев червячного колеса, шероховатости контактных поверхностей, скорости скольжения, угла подъема винтовой линии (числа заходов червяка) и других факторов.

Таблица 6.1

Наименования параметров	Значения
Шаг червяка $P$ , мм	
Число заходов червяка $Z_1$	
Число зубьев колеса $Z_2$	
Передаточное число передачи $U$	
Модуль $m$ , мм	
Относительная толщина червяка $q$	
Диаметр делительной окружности червяка $d_1$ , мм	
Диаметр делительной окружности червячного колеса $d_2$ , мм	
Угол подъема винтовой линии червяка $\gamma$	
Скорость скольжения $V_s$ , м/с при частоте вращения $n_1$	
$n_1 =$	
$n_1 =$	
$n_1 =$	

Общий теоретический КПД червячного редуктора определим по формуле

$$\eta_{теор} = \eta_{n,n}^n \cdot \eta_{гидр} \cdot \eta_{ч.з}, \quad (6.4)$$

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

$$\eta_{ч.з} = \frac{\operatorname{tg}(\gamma)}{\operatorname{tg}(\gamma + \rho')}, \quad (6.5)$$

где  $\rho'$  – приведенный угол трения, зависящий от скорости скольжения, материала червячной пары, качества смазки, твердости и шероховатости рабочих поверхностей червяка. Для практических расчетов значение  $\rho'$  можно взять из табл. 6.2. Для промежуточных значений скорости скольжения  $V_s$  значение  $\rho'$  определяют методом линейной интерполяции.

Таблица 6.2

$V_s$ , м/с	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0
$\rho'$	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  $\eta=f(V_s)$ .

### 3.4. 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 определяется по формуле

$$\eta_{\text{экс}} = \frac{T_{\text{II}}}{T_{\text{I}}U}, \quad (6.6)$$

где  $T_{\text{I}}$  – крутящий момент на валу электродвигателя, Н·мм;  $T_{\text{II}}$  – крутящий момент на выходном валу, Н·мм.

Опытные значения реактивных крутящих моментов определяются по формулам

$$T_{\text{I}} = i_{\text{I}}k_{\text{I}} \quad \text{и} \quad T_{\text{II}} = i_{\text{II}}k_{\text{II}}, \quad (6.7)$$

где  $i_{\text{I}}$  – число делений индикатора электродвигателя;  $i_{\text{II}}$  – число делений индикатора нагрузочного устройства;  $k_{\text{I}}$  и  $k_{\text{II}}$  – торировочные коэффициенты индикатора электродвигателя и тормозного устройства соответственно ( $k_{\text{I}} = 4,5 \text{ Н·мм}$ ,  $k_{\text{II}} = 24 \text{ Н·мм}$ ).

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

а) Для заданных преподавателем значений крутящего момента ( $T_{\text{II1}}$ ,  $T_{\text{II2}}$ ,  $T_{\text{II3}}$ ) на валу нагрузочного устройства по формуле (6.7) определить число делений на индикаторе нагрузочного устройства  $i_{\text{II}}$ .

б) Ручки потенциометров для регулирования частоты вращения вала электродвигателя 12 и крутящего момента нагрузочного устройства 15 поворотом против часовой стрелки установить в крайнее левое положение.

в) Включить электродвигатель тумблером 11 и нагрузочное устройство тумблером 14.

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

д) Выставить на ноль стрелки индикаторов 21 и 23.

е) Поддерживая ручкой 12 заданную частоту вращения, ручкой потенциометра 15 нагрузочного устройства установить минимальный

заданный преподавателем тормозной момент  $T_{II}$ , контролируя его величину по числу делений  $i_{II}$  индикатора 23. Снять показания с индикатора 21 и занести их в табл. 6.3.

ж) Повторить п. г, д для других заданных крутящих моментов  $T_{II}$  на тихоходном вале редуктора.

з) Повторить п. г–ж для других заданных частот вращения  $n$ .

Таблица 6.3

Крутящий момент на ведомом валу $T_{II}$ , Н·мм	Число делений ин- дикатора		Крутящий момент на ведущем валу $T_I$ , Н·мм	Значение КПД	
	нагру- зочного устрой- ства $i_{II}$	электро- двигате- ля $i_I$		эксперимен- тальное	теоретиче- ское
Частота вращения вала электродвигателя $n_1$ =					
Частота вращения вала электродвигателя $n_2$ =					
Частота вращения вала электродвигателя $n_3$ =					

#### 4. Содержание отчета

Отчет должен содержать: название и цель работы; кинематическую схему установки ДП-4К с редуктором; краткое описание устройства и работы ДП-4К; таблицу основных параметров червячной передачи (табл. 6.1); график зависимости теоретически рассчитанного КПД редуктора от частоты вращения; результаты измерений (табл. 6.3); графики зависимости КПД от частоты вращения и крутящего момента; анализ полученных экспериментальных и теоретических значений КПД.

## **5. Контрольные вопросы**


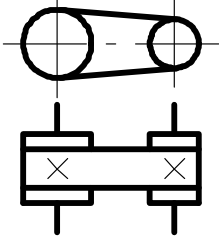
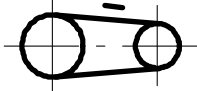
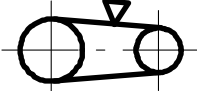
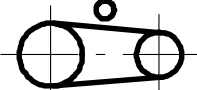

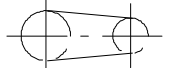
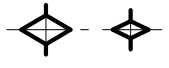
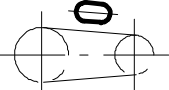
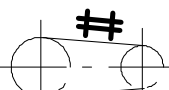

1. Основные достоинства и недостатки червячных передач.
2. Как определить передаточное число червячной передачи?
3. Как определить модуль зацепления?
4. Объяснить принцип работы нагруженного устройства.
5. Принцип определения крутящего и тормозного моментов.
6. Методики определения теоретического и экспериментального КПД.
7. Какие факторы влияют на КПД червячной передачи?
8. Почему с увеличением скорости скольжения увеличивается КПД передачи?

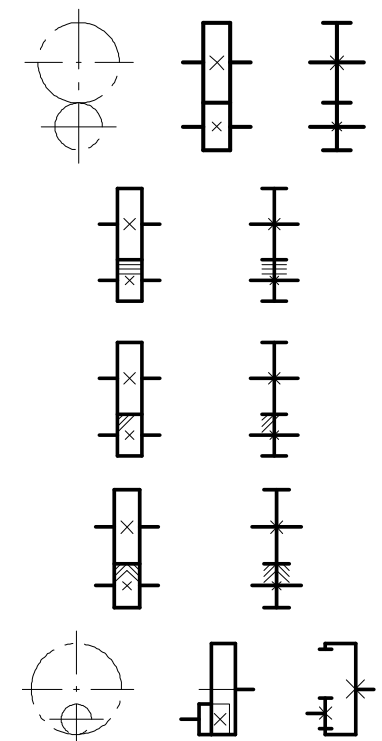
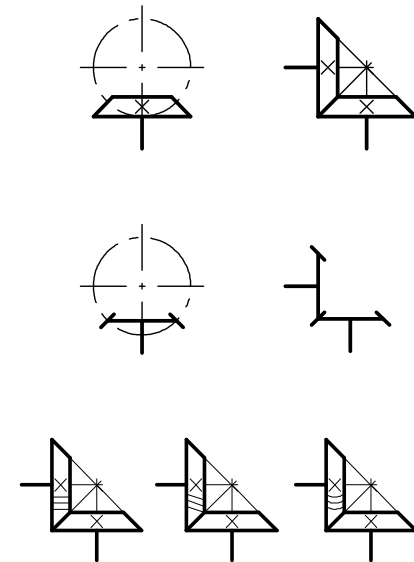
# ПРИЛОЖЕНИЕ 1

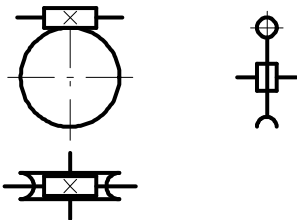
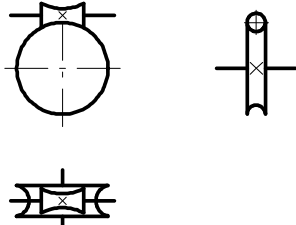
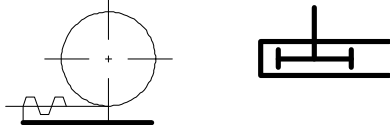

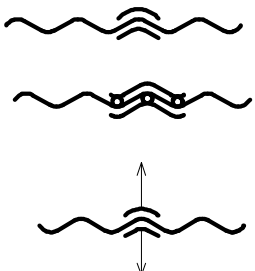
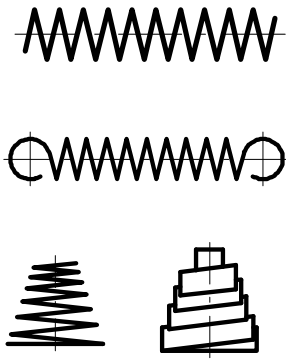
## ОБОЗНАЧЕНИЯ УСЛОВНЫЕ ГРАФИЧЕСКИЕ В СХЕМАХ. ЭЛЕМЕНТЫ КИНЕМАТИКИ (ПО ГОСТ 2.770-80)



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, например	
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 одно- сторонние	
в) радиально-упорные двух- сторонние	
г) упорные односторонние	
д) упорные двухсторонние	
Подшипники качения а) радиальные	

Наименования	Обозначения
б) радиально-упорные одно- сторонние	
в) радиально-упорные двух- сторонние	
г) упорные односторонние	
д) упорные двухсторонние	
Муфта. Общее обозначение без уточнения типа	
Муфта нерасцепляемая (неуправ- ляемая):	
а) глухая	
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 цилин- дрическими роликами	

Наименования	Обозначения
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  б) круглозвенной  в) пластинчатой  г) зубчатой	    

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

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	

Наименования	Обозначения
г) цилиндрические, работающие на кручение	
д) рессора	
е) тарельчатые	