

Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана

Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника»

**А.А. Буцев, Н.И. Нарыкова**

**Исследование параметров червячного редуктора**

**№5**

Электронное учебное пособие

*Методические указания к выполнению лабораторных работ*

*по дисциплине «Основы конструирования приборов»*

Москва

2014г

УДК 621.81

*Рецензент:* доц. к.т.н., Вячеслав Михайлович Недашковский

**Буцев А.А., Нарыкова Н.И.**

Исследование параметров червячного редуктора. - М: МГТУ имени Н.Э. Баумана 2014. 21 с.

Издание содержит материалы для освоения методов измерения крутящих моментов при работающих механизмах и определения коэффициента полезного действия червячного редуктора в режимах зависимости к.п.д. от величины нагрузки при постоянной скорости и при постоянной нагрузке и изменяющейся скорости. Показания приборов снимаются в установившемся режиме работы.

Особое внимание уделено изучению кинематических особенностей многоступенчатого редуктора, изучению способов и методов измерения сил и моментов на работающих механизмах без их остановки, получают навыки применения теоретико-вероятностных методов обработки экспериментальных данных.

Для студентов МГТУ имени Н.Э. Баумана специальностей «Основы конструирования приборов» «Детали машин и приборов» и «Прикладная механика».

*Рекомендовано учебно-методической комиссией факультета «Радиоэлектроника и лазерная техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Электронное учебное издание*

**Буцев Александр Алексеевич**

**Нарыкова Наталья Ивановна**

**Исследование параметров червячного редуктора**

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление с конструкцией лабораторной установки для определения коэффициента полезного действия червячного редуктора, терминологией.

Экспериментальное и аналитическое определение коэффициента полезного действия червячного редуктора в зависимости от нагрузки на выходном валу.

В приборах широкое применение нашли устройства, называемые электроприводами. Они часто состоят из источника механической энергии—электродвигателя, устройства согласования угловой скорости и момента, с механизмом нагрузки, устройств управления и обратной связи. Обычно приборный электродвигатель на выходе имеет относительно большую скорость и небольшой момент. Для уменьшения скорости и увеличения момента между электродвигателем и нагрузкой ставится механизм-редуктор. Аналогичное устройство, служащее для повышения скорости называется мультипликатором.

В данной лабораторной работе исследуются зависимость коэффициента полезного действия редуктора от момента нагрузки при постоянной скорости электродвигателя.

## ПОНЯТИЕ О КОЭФФИЦИЕНТЕ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

При установившемся движении электропривода мощность движущих сил затрачивается на выполнение полезной работы и преодоление различных видов сил и моментов трения.

$$P_{д} = P_{n} + P_{c} \quad (1)$$

Здесь  $P_{д}$  — мощность движущих сил;  $P_{c}$  — мощность, затраченная на преодоление сопротивления трения;  $P_{n}$  — мощность, затраченная на преодоление полезных сопротивлений.

Коэффициент полезного действия есть отношение мощности сил полезного сопротивления к мощности движущих сил:

$$\eta_{1-2} = \frac{P_{n}}{P_{д}} \quad (2)$$

Индекс 1-2 указывает, что движение передается от звена 1, к которому приложена движущая сила, к звену 2, к которому приложена сила полезного сопротивления.

Величина потерь передачи оценивается коэффициентом потерь  $\psi = \frac{P_{c}}{P_{д}}$ .

Очевидно:

$$\eta = 1 - \psi \quad (3)$$

В случае слабонагруженных передач (они характерны в приборостроении) КПД существенно зависит от собственных потерь на трение и от степени силовой загрузки механизма. В этом случае формула (3) принимает вид:

$$\eta_{1-2} = 1 - c(F) \cdot \psi \quad (4)$$

где  $c$  — коэффициент, учитывающий влияние собственных потерь на трение и нагрузку  $F$ ,

$$c = \frac{F + a}{F + b}$$

Составляющие  $a$  и  $b$  зависят от типа передачи.

При  $F = 0$  коэффициент  $c = \frac{a}{b} \gg 1$  отражает влияние собственных потерь на трение в слабонагруженных передачах. С возрастанием  $F$  коэффициент  $c = f(F)$  уменьшается, приближаясь к значению  $c = 1$  при большой величине  $F$ .

При последовательном соединении  $m$  механизмов с КПД  $\eta_i$ , КПД всего соединения механизмов:

$$\eta_{\Sigma} = \frac{P_n}{P_g} = \prod_{i=1}^m \eta_i$$

(5)

Где

$P_g$  — мощность, подаваемая в первый механизм;

$P_n$  — мощность, снимаемая с последнего механизма.

Редуктор можно рассматривать как устройство с последовательным соединением передач и опор. Тогда КПД определяется по выражению:

$$\eta_{ред} = \eta_{оп}^k \cdot \prod_{i=1}^m \eta_i \quad (6)$$

где:

$\eta_i$  — КПД  $i$ -той пары зацепления;

$\eta_{оп}$  — КПД одной пары опор;

$k$  — число пар опор.

Коэффициент полезного действия опор.

КПД опоры при условии постоянства скоростей определяется по формуле

$$\eta_{on} = \frac{M - M_{mp}}{M} \quad (7)$$

где:

$M$  — крутящий момент на валу;

$M_{mp}$  — момент трения в опоре.

Момент трения в подшипнике качения можно определить по формуле:

$$M_{mp} = M_0 + M_1 \quad (8)$$

где:

$M_1$  — момент трения, зависящий от нагрузки на опору;

$M_0$  — момент трения, зависящий от конструкции подшипника, частоты вращения и вязкости смазки.

В приборных редукторах составляющая  $M_1$  много меньше составляющей  $M_0$ . Таким образом можно считать, что момент трения опор практически не зависит от нагрузки. Следовательно, и КПД опоры не зависит от нагрузки. При расчетах КПД редуктора можно принять КПД одной пары подшипников, равным 0,99, КПД соединительных упругих муфт принять 0,95.

### **ЧЕРВЯЧНЫЙ РЕДУКТОР**

Основой червячного редуктора является червячная передача, которая передает вращательное движение между валами, геометрические оси которых перекрещиваются чаще всего под углом  $90^\circ$ . Червячная передача построена на базе реечного эвольвентного зацепления. Профилем винтовой нарезки червяка служит исходный контур нормального эвольвентного зацепления, для которого  $\alpha = 20^\circ$ , где  $\alpha$  - угол зацепления. Ведущим звеном чаще всего является червяк  $z_1$ ,

При одном обороте червяка колесо повернется на угол, охватывающий число зубьев колеса, равное числу заходов червяка. Передаточное отношение  $i$  червячной передачи

$$i = n_1/n_2 = z_2/z_1 \quad (9)$$

где:  $n_1$ -число оборотов в минуту червяка

$n_2$ - число оборотов в минуту червячного колеса

$z_1$ -число заходов (зубьев) червяка, число заходов

$z_2$ -число зубьев червячного колеса.

Число заходов червяка выполняет здесь функцию зубьев шестерни в зубчатой передаче. Так как  $z_1$  может быть небольшим и часто равным единице (чего не может быть

у шестерни), то в одной червячной паре можно получить большое передаточное отношение. Это и является основным достоинством червячных передач. К недостаткам червячных передач по сравнению с зубчатыми относятся низкий КПД (из-за больших потерь на трение в зацеплении витков червяка с зубьями червячного колеса) и необходимо по этой причине выполнять червячные колеса или их зубчатые венцы из дорогостоящих антифрикционных материалов (например, из бронзы).

Нумерация элементов на рис. 1, 2, 3, 4 одних и тех же элементов одинаковая.

Кинематическая схема исследуемого одноступенчатого червячного редуктора с ведущим червяком представлена на рис. 1.

На рис. 1 представлена кинематическая схема лабораторной установки №5 для изучения особенностей работы червячного редуктора.

Электродвигатель 2 установлен на поворачивающейся раме, закрепленной на шариковых подшипниках на корпусе. При включении установки крутящий момент ротора электродвигателя создает реактивный момент статора, который вызывает изгиб измерительной пружины 11. Прогиб пружины измеряется индикатором 12. Момент ротора двигателя через упругую муфту 13 передается на червяк  $z_1$ . С червяка крутящий момент передается через аналогичную упругую муфту 13 на устройство нагрузки 4.

Устройство нагрузки состоит из электромагнитной порошковой муфты, измерительной пружины 16 и индикатора 17. Порошковый тормоз состоит из статора и ротора в виде полого цилиндра, а зазор между ними заполнен жидкой смесью ферритового порошка и масла. Статор порошкового тормоза снабжен обмоткой, через которую пропускается электрический ток. Изменение тока в обмотке приводит к изменению магнитного поля в зазоре и связанной с ним вязкостью жидкой смеси ферритового порошка и масла. Регулируя ток в обмотке статора поворотом ручки 15 (рис. 2) меняется вязкость жидкости и соответственно величина момента нагрузки. Тормоз 4 включается и выключается тумблером 14 (рис. 2). Реактивный момент статора измеряется измерительным устройством, представленным на рис. 6, принцип работы которого представлен на рис. 4.

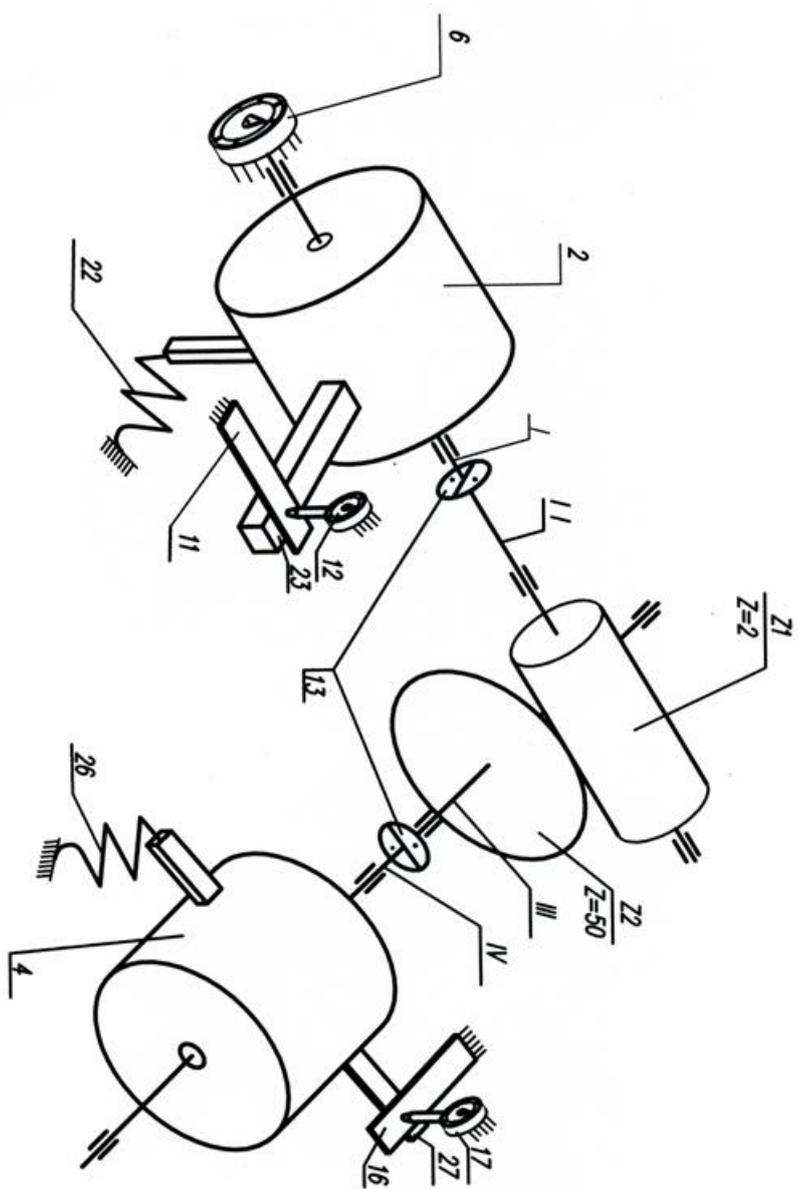


Рис. 1. Кинематическая схема лабораторной установки №5

Тормозной момент, создаваемый порошковой муфтой, является нагрузкой для редуктора. Корпус муфты установлен подвижно на общем корпусе 1, может поворачиваться на шарикоподшипниковых опорах. Таким образом реактивный момент корпуса муфты вызывает прогиб измерительной пружины. По закону Гука прогиб пружины пропорционален моменту, измеряется индикатором 17. Винтовые пружины 22 и 26 держат замкнутыми измерительные цепи, исключают удары во время включения установки. Их принято называть люфтовывбирающей. Жесткость их на несколько порядков меньше жесткости измерительных пружин и поэтому влияние их на результаты измерения пренебрежимо малы. Скорость вращения ротора двигателя измеряется тахометром 6.

На рис.2 представлена конструктивная схема лабораторной установки №5, соответствующая кинематической схеме на рис. 1.

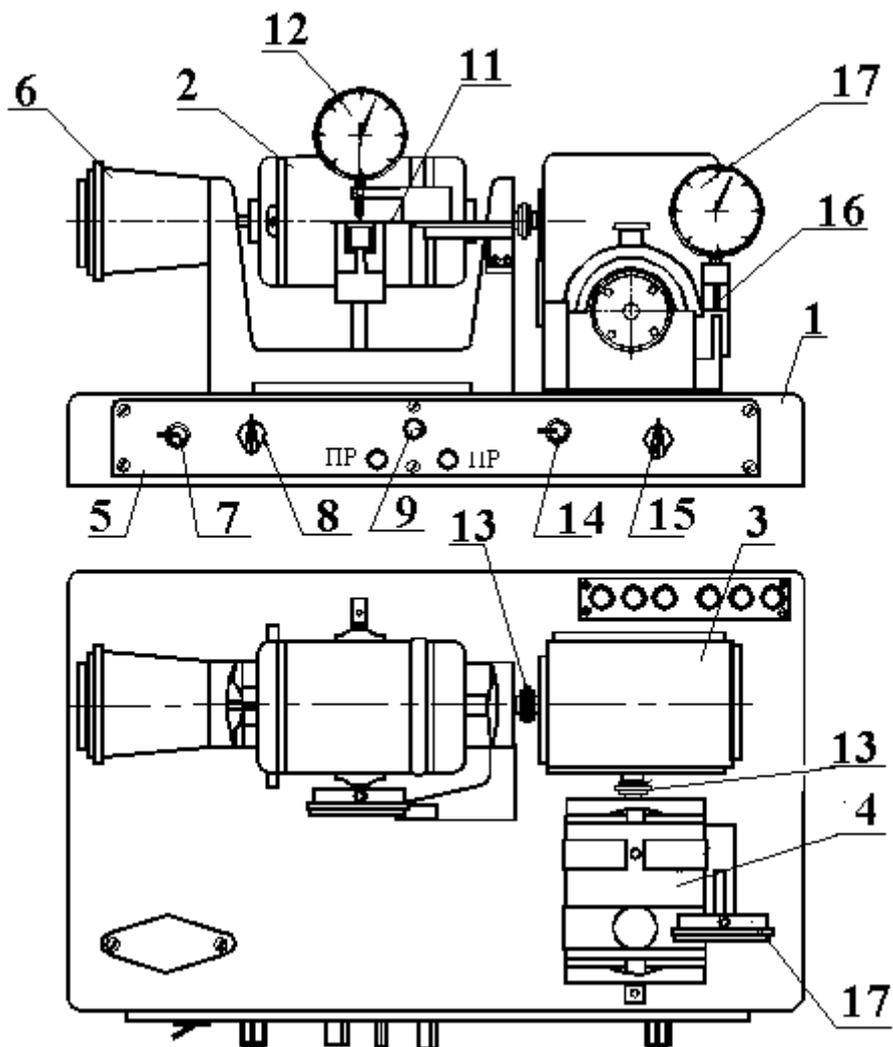


Рис. 2. Конструктивная схема лабораторной установки №5 для изучения червячного редуктора

На схеме добавлены позиции:

1-корпус установки

3-прозрачная крышка редуктора

5-панель управления

7-тумблер включения двигателя

8-ручка регулировки скорости электродвигателя

9-индикатор включения

14-тумблер включения нагрузки

15-ручка регулятора величины нагрузки  $M_H$

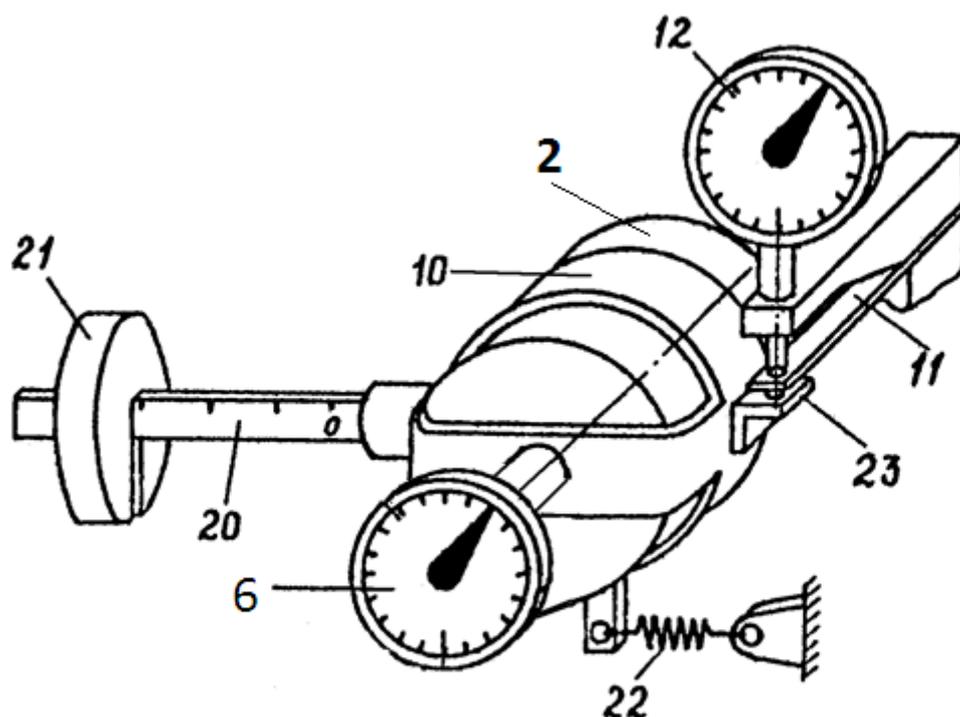


Рис. 3. Устройство измерения скорости и момента электродвигателя

На рис.3 представлено устройство измерения момента, скорости и градуировки системы измерения момента. В положении градуировки, двигатель обязательно должен находиться в выключенном состоянии. (Определение градуировочной характеристики средства измерений. Градуировка средств измерений - термин из Государственной системы обеспечения единства измерения (ГСИ. Метрология. Основные термины и

определения).

Электродвигатель 2 установлен в поворотной раме 10 (термин-подвешен на собственной оси). В специальное отверстие рамы вставляется рычаг 20. На рычаг помещается груз 20, его можно перемещать по рычагу, создавая точно известный момент для градуировки шкалы индикатора 12 в единицах момента.

На рис. 4 представлена физическая картина градуировки. Момент груза 21 на рычаге 20 относительно оси установки поворотной рамы крепления двигателя точно известен, разделив этот момент на величину другого рычага  $l$  получим величину силы, изгибающую измерительную пружину 11 на величину  $\Delta$ , по закону Гука он пропорциональна силе, а следовательно и моменту, развиваемому двигателем. Эта сила  $F_{гр}$  уравнивает момент груза 21 на плече рычага 20. Для проведения эксперимента величина плеча и груза задается в таблице №1 или по указаниям преподавателя. Разделив известную величину момента на число делений индикатора получим цену деления индикатора в единицах момента. Величина прогиба измерительной пружины  $\Delta$  может быть рассчитана теоретически по ее размерам, известному модулю упругости и проверена по показаниям индикатора 12.

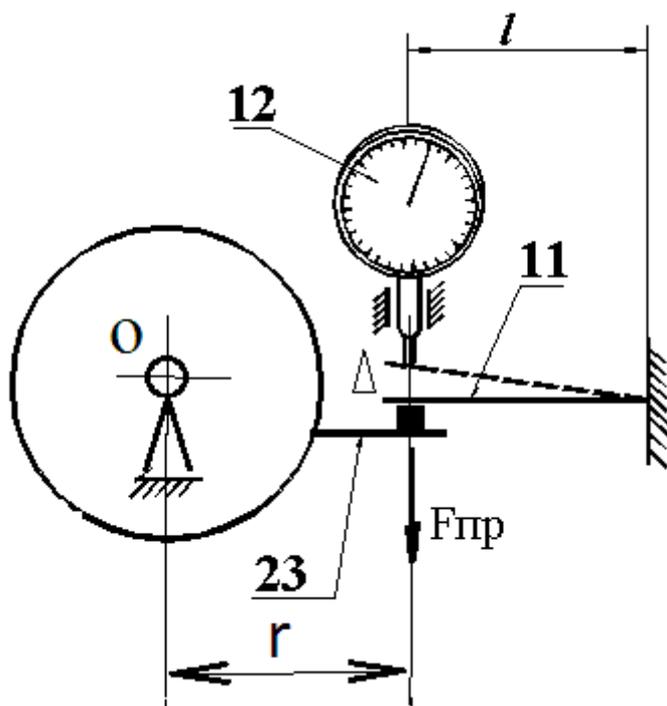


Рис. 4. Схема градуировки индикатора измерения момента.

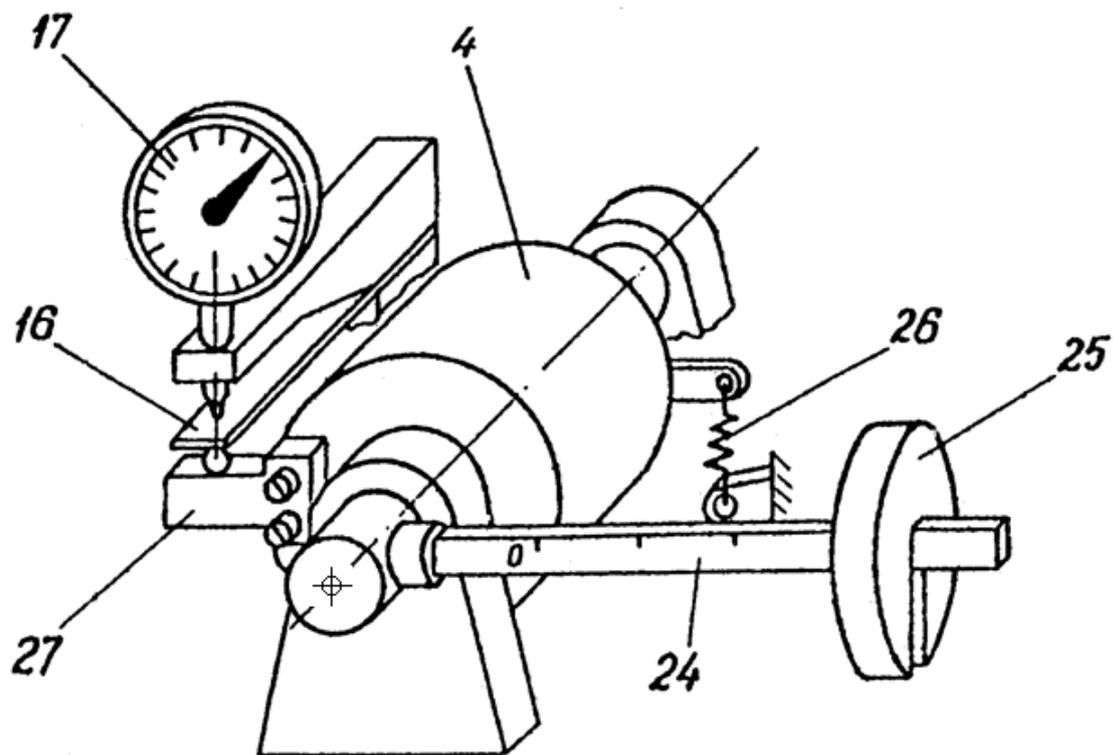


Рис.5. Устройство измерения момента нагрузки

Работа устройства задания и измерения момента нагрузки работает по такому же алгоритму как и устройство измерения момента электродвигателя.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ И МОМЕНТОВ В ЧЕРВЯЧНОЙ ПЕРЕДАЧЕ

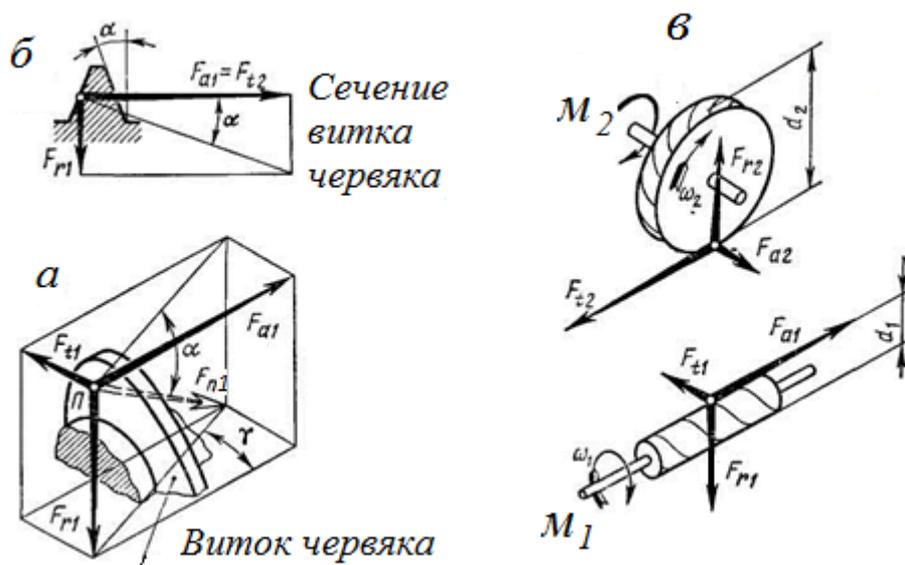


Рис. 6. Распределение сил моментов в червячной передаче

Полное распределение сил на витке червяка представлено на рис.6а. Червяк является ведущим звеном, в полюсе зацепления приложена сила  $F_{n1}$ , (рис.6а) направлена по нормали к поверхности витка червяка. Угол  $\alpha$  – угол профиля витка эвольвентного червяка  $20^\circ$ ,  $\gamma$ - угол подъема винтовой линии червяка. Сила  $F_{n1}$  раскладывается на составляющие: касательную –  $F_{t1}$ , радиальную –  $F_r$  и осевую (аксиальную)  $F_{a1}$ . На рис. 6б показано распределение сил в проекции на осевое сечение витка червяка. Осевая сила на червяке  $F_{a1}$  равна окружной силе на червячном колесе  $F_{t2}$ , что подробно показано на рис. 6в.

$$F_{t1} = F_{a2} = \frac{2M_1}{d_1} = \frac{2M_2}{i\eta d_1} = \frac{F_{t2}Z_1}{q\eta}$$

где:

$M_1$ -вращающий момент на червяке

$M_2$ -вращающий момент на червячном колесе

$\eta$ -к.п.д. передачи

$F_{t2}$ -окружная сила на червячном колесе, равная радиальной силе колесе.

Радиальная сила на червяке  $F_{r1}$  численно равна  $F_{r2}$ -радиальной силе на колесе.

$$F_{r1} = F_{r2} = F_{t2} \tan \alpha$$

Зависимость между моментами  $M_1$ , действующим на червяк, и моментом на червячном колесе  $M_2 = M_H$  имеет вид

$$M_H = M_1 \cdot i_{1-2} \cdot \eta_{1-2} \quad (10)$$

где  $\eta_{1-2}$  — коэффициент полезного действия червячной передачи при ведущем червяке, определяемый по формуле

$$\eta_{1-2} = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \rho)} \quad (11)$$

Где:

$\gamma$  — угол подъема линии витка червяка,

$\operatorname{tg} \gamma = \frac{Z_1}{q}$ ;  $q$  — коэффициент диаметра червяка, зависящий от числа заходов

и угла  $\gamma$ , величина стандартизованная,

$\rho$  — угол трения.

Наиболее часто угол  $\gamma$  оказывается в пределах от  $4^\circ$  до  $25^\circ$ .

$$\rho = \operatorname{arctg} \frac{f}{\cos \alpha} \quad (12)$$

где:

$f$  — коэффициент трения между поверхностями червяка и червячного колеса в точке их соприкосновения;

$\alpha$  — угол профиля винтовой нарезки червяка.

Для приборных червячных передач, работающих с ведущим червяком, с учетом влияния нагрузки к.п.д. формула (11) имеет вид

$$\eta_{1-2} = c \times \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \rho)} \quad (13)$$

где:  $c = \frac{Q + 0,97}{Q + 2,21}$

$$Q = \frac{F_2}{\cos \gamma \cos \alpha}$$

$F_{t2}$ - окружное усилие на червячном колесе, Н,

Общий КПД исследуемого редуктора определяется по формуле

$$\eta_{ред} = \eta_{1-2} \cdot \eta_{on}^2 \quad (14)$$

где  $\eta_{i_i}$  - к.п.д. опоры.

Для данного редуктора применяется пара сталь-бронза, для которой коэффициент трения  $f = 0,05$ , червяк двухзаходный  $Z_1 = 2$ , число зубьев червячного колеса  $Z_2 = 50$ , модуль передачи  $m = 1,5$  мм, параметр червяка  $q = 40/3$ ,  $\alpha = 20^\circ$ ,  $\cos \alpha = 0,9397$ ,  $\eta_{on} = 0,99$ .

Задавшись несколькими значениями  $M_H = M_{II}$  (согласно варианту работы табл. 7), можно определить КПД и построить теоретическую зависимость  $\eta_{ред} = f(M_H)$ .

На измерительные пружины 11 и 16 (рис.1)наклеены тензодатчики, которые также могут быть использованы для измерения крутящих моментов. Для их подключения на задней панели предусмотрены клеммовые зажимы электрических проводов.

Установка подключается к сети переменного тока напряжением 220 В, мощность электрического двигателя 20 Вт.

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

Мощность двигателя, затрачиваемая на приведение в действие установки, равна

$$P_{\text{дв}} = M_{\text{дв}} \cdot \omega_1 = \frac{M_{\text{дв}} \cdot \pi \cdot n_1}{30}$$

Мощность на выходном валу редуктора или ротора тормоза:

$$P_{\text{вых}} = M_H \cdot \omega_2 = \frac{M_H \cdot \pi \cdot n_2}{30}$$

где:  $M_{\text{дв}}$  и  $M_{\text{вых}}$  выражаются и определяются по экспериментальным данным, Н·м;  $P_{\text{дв}}$  и  $P_{\text{вых}}$  — в Вт;  $\omega_1$  — угловая скорость двигателя и входного вала редуктора,  $c^{-1}$ ;  $\omega_2$  — угловая скорость выходного вала редуктора и ротора тормоза,  $c^{-1}$ ;  $n_1$  и  $n_2$  — частоты вращения, об/мин.

Коэффициент полезного действия каждого редуктора равен:

$$\eta_{\text{ред}} = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{дв}}} = \frac{M_H \cdot \omega_2}{M_{\text{дв}} \cdot \omega_1} = \frac{M_H}{i_{\text{общ}} \cdot M_{\text{дв}}} \quad (15)$$

Моменты могут быть выражены не только в Н·м, но и в других единицах, но размерность их при подсчете по формуле (31) должна быть одинакова.

Полученные экспериментально значения КПД редуктора несколько занижены по сравнению с действительными, так как методика проведения эксперимента и конструкция установки не позволяют учесть потери в опорах двигателя, рамы нагрузочного устройства, а также потери в измерительных устройствах и муфтах.

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

При измерении любой величины появляются погрешности: систематические и случайные.

Систематической называется погрешность, которая при повторении измерений в неизменных условиях постоянна или изменяется по известному закону. Систематические погрешности вызваны либо постоянно действующими факторами, либо факторами, закон изменения которых известен. Примерами систематических погрешностей являются температурная, методическая погрешности и т.п. Если систематическая погрешность известна, то ее можно заранее учесть или исключить из результатов измерения.

Случайной погрешностью называется погрешность, которая при повторении измерений в практически неизменных условиях изменяется от измерения к измерению. Отрицательные ошибки встречаются так же часто, как и положительные. Как правило, чем больше ошибка, тем реже она встречается. Случайные погрешности обусловлены

влиянием целого ряда изменяющихся факторов. Случайные погрешности нельзя исключить, но путем многократных измерений их влияние на результат измерения можно уменьшить.

Пусть в ходе  $j$  измерений величины  $X$  получены результаты  $A_1, A_2 \dots A_j$ , не содержащие систематических ошибок и являющиеся случайными величинами. Практически при любой методике обработки совокупности результатов измерений невозможно получить точное значение измеряемой величины  $X$ . Однако можно найти наиболее вероятное значение измеряемой величины, которым является среднеарифметическое результатов измерения:

$$X_e = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_j}{j} = \frac{1}{j} \cdot \sum_j A_j \quad (16)$$

Градуировка проводится при выключенном двигателе и тормозе. Перед началом градуировки проверьте, упираются ли ножки индикаторов 12 и 17 в измерительные пружины 11 и 16 (рис. 11, 12). Механизмы индикаторов не должны стоять у своих ограничителей.

## ГРАДУИРОВКА

1. Градуировка измерительной пружины 11 с индикатором 12.

Для этого вставьте до упора малый градуировочный рычаг 20 в отверстие (см. рис. 11), находящееся сзади рамы двигателя. Широкая грань рычага должна быть расположена вертикально. Установите на рычаге 20 градуировочный груз 21 весом  $F_m = 3 \text{ Н}$  таким образом, чтобы одна из его граней находилась против нулевой отметки. Легко постукивая по основанию ладонью, поворотом шкалы индикатора 12 поставьте его стрелку на ноль. Упор рамы статора двигателя 2 прижимается к измерительной пружине под действием момента, создаваемого винтовой пружиной 22 (рис. 11) и выбирает зазор между градуировочной пружиной 11 и упором рамы подвеса двигателя. Эта пружина называется люфтовывбирающей (зазоровывбирающей). После этого индикатор 12 устанавливается на ноль. Перемещайте градуировочный груз 21 вдоль шкалы рычага 20, устанавливая грань груза против рисок, соответствующих изменению длины плеча  $\Delta l_j$  на 8, 10, 12, 14, 16, 20 см. При этом крутящий момент статора, с точностью до к.п.д. опор подвески статора, постепенно возрастает, вызывая увеличение прогиба пружины 11 и соответственно перемещение стрелки индикатора 12. Значения  $\Delta l_j$  и число делений индикатора  $\nu_j$

записывайте в табл. 1, форма которой приведена в конце описания. При градуировке следите, чтобы градуировочный рычаг 20 не отошел от упора.

Изменение крутящего момента на  $\Delta M_{mj}$ , создаваемое за счет перемещения градуировочного груза на  $\Delta l_j$ , уравнивается моментом измерительной пружины 11. Прогиб пружины, по закону Гука пропорционален силе, которая в условных единицах считывается с индикатора 12.

$$\Delta M_{mj} = F_m \cdot \Delta l_j = K_{1j} \cdot \nu_j \quad (17)$$

где  $\Delta K_{1j}$  — значение градуировочного коэффициента индикатора 12.

Рассчитайте значения коэффициента  $\Delta K_{1j}$  для каждого замера и запишите их в таблицу №1. Полученные при этом значения не должны заметно отличаться. Вычислите среднеарифметическое значение коэффициента  $K_1$ , которое и используйте при дальнейшей работе. При градуировке, как и при работе на установке, следите, чтобы ограничительные вилки не соприкасались с ограничителями, расположенными ниже статора двигателя и тормоза.

2. Градуировка измерительной пружины и 16 индикатора 17 (измерительная система). Последовательность градуировки в этом случае аналогична. При градуировке измерительного устройства порошковый тормоз должен быть выключен тумблером 14 (рис. 12). В отверстие консоли вала статора тормоза 4 вставьте до упора конец большого градуировочного рычага 24, широкая грань рычага располагается вертикально. Рычаг 4 и индикатор 17 находятся с разных сторон от порошкового тормоза. Установите на рычаге градуировочный груз 25 весом  $P_m = 12 \text{ Н}$  так, чтобы боковая грань находилась против отметки 0. Установите на ноль поворотом шкалы стрелку индикатора 17. При этом автоматически устраняется зазор между упором 27 и градуируемой измерительной пружиной 16. Перемещайте градуировочный груз 25 вдоль градуировочного рычага, последовательно устанавливая одну и ту же его грань у делений, соответствующих значениям  $\Delta l_j$ , равным 10, 12, 14, 16, 18, 20 см. При этом крутящий момент, действующий на статор тормоза, будет постепенно возрастать, вызывая увеличение прогиба пружины 16 и перемещение стрелки индикатора 17. Запишите в табл. 1 для каждого из положений груза 25 число делений индикатора  $\nu_j$ .

## ТАБЛИЦА ГРАДУИРОВКИ

Таблица 1: Таблица градуировки измерительной системы

Изменение плеча $\Delta l_j$ , см	Изменение момента градуировочного груза $\Delta M_{mj} = F_m \cdot \Delta l_j$ , Н·см	Число делений индикатора $\nu_j$	Градуировочный коэффициент $K_j = \frac{\Delta M_{mj}}{\nu_j}$ , (Н·см)/дел.
Для индикатора 12: $F_m = 3$ Н			
8			
10			
12			
14			
16			
18			
20			
Среднее значение градуировочного коэффициента $K_1$			
Для индикатора 17: $F_m = 12$ Н			
8			
10			
12			
14			
16			
18			
20			
Среднее значение градуировочный коэффициента $K_2$			

При расчете градуировочный коэффициент используйте зависимость

$$\Delta M_{mj} = F_m \cdot \Delta l_j = K_{2j} \cdot \nu_j \quad (18)$$

где  $K_{2j}$  — значения градуировочного коэффициента для индикатора 17.

Рассчитайте сначала значения  $K_{2j}$  для каждого положения груза 25. Эти значения должны быть близки. Потом определите среднеарифметическое значение градуировочного

коэффициента  $K_2$ , которое и используйте при дальнейшей работе. После градуировки снимите груз 25 и рычаг 24.

## ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Нельзя оставлять установку в заторможенном состоянии с включенным электрическим двигателем, так как в этом случае двигатель может выйти из строя. При работе на установке прозрачная крышка редуктора должна быть закрыта. Когда ручки 8 и 16 потенциометров (рис. 9, 10) дошли до упоров, не следует их поворачивать чрезмерным усилием руки, что может вывести потенциометры из строя.

При обнаружении неисправностей установки следует немедленно обратиться к учебному мастеру.

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА И РАСЧЕТОВ

Дальнейшую работу студенты выполняют в соответствии с заданным вариантом и установкой. Номер установки определяется маршрутом, номер варианта указывается преподавателем, ведущим лабораторные занятия. Объем работы по каждому варианту приведен в табл. 2.

## РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСТАНОВКИ

Таблица 2

№ варианта	$n_1$ об/мин	$v_2$	$v_2$	$v_2$	$v_2$	$v_2$
		1	2	3	4	5
1	900	20	30	40	50	60
2	1000	20	30	40	50	60
3	1100	20	30	40	50	60
4	1200	20	30	40	50	60
5	1300	20	30	40	50	60

1. При выключенном двигателе 2 и тормозе 4 установите на ноль стрелки индикаторов 12 и 17 поворотом их шкал, легко постукивая при этом по основания 1 (рис. 9, 10).
2. Тумблером 7 включите двигатель 2. Двигатель начнет вращаться, загорится сигнальная лампа 9 (рис. 9, 10).
3. Тумблером 14 включите порошковый тормоз 4. После этого проведите испытания в соответствии с указанными в варианте задания режимами работы установки (см. табл. 2). Частота вращения двигателя  $n_1$  устанавливается поворотом ручки 8 потенциометра и контролируется по тахометру 6. Нагрузочный момент, соответствующий заданным значениям  $\nu_2$  (в делениях), устанавливается поворотом ручки 15 потенциометра и контролируется по индикатору 17. При изменении момента нагрузки меняется и частота вращения двигателя  $n_1$ . Поэтому при проведении испытаний необходимо непрерывно следить за показаниями тахометра 6, регулируя скорость двигателя поворотом ручки 8. Если увеличение момента нагрузки вызвало остановку двигателя, то надо последний немедленно выключить тумблером 7 или с помощью тумблера 14 и ручки 15, выключить либо уменьшить нагрузку. Остановка включенного двигателя может привести к выходу его из строя.

Для каждого из указанных в варианте режимов работы определите и запишите в табл. 3 числа делений  $\nu_{2j}$  и индикатора 17,  $\nu_{1j}$  индикатора 12.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД ЧЕРВЯЧНОГО РЕДУКТОРА

Таблица 3:

Градуировочные коэффициенты:  $K_1 =$  ,  $K_2 =$  . [(Н·см)/дел]

№ п/п	$\nu_{2j}$ , дел	$M_{Hj} = \nu_{2j} \cdot K_2$ , Н·см	$\nu_{1j}$ , дел	$M_{\text{дей}} = \nu_{1j} \cdot K_1$ , Н·см	$\eta_{\text{ред}_j} = \frac{M_{Hj}}{i_{\text{общ}} \cdot M_{\text{дв}_j}}$

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ КПД ЧЕРВЯЧНОГО РЕДУКТОРА

Рассчитайте теоретические значения КПД исследуемого редуктора для тех же условий, для которых проводился эксперимент. При расчете используйте формулы (12), (13) и (14). Результаты расчета запишите в таблицу 3.

По результатам расчета постройте теоретическую зависимость  $\eta_{ред} = f(M_H)$  в координатной сетке графика экспериментального КПД.

Данные для расчета:

$$\begin{array}{llll}
 Z_1 = 2 & \alpha = 20^\circ & \gamma = 9^\circ & \operatorname{tg}(\gamma + \rho) = 0,2126 \\
 Z_2 = 50 & \cos\alpha = 0,9397 & \cos\gamma = 0,987 & \\
 m = 1,5\text{мм} & d_2 = mZ_2 = \dots\text{мм} & f = 0,05 & \frac{\operatorname{tg}\gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \rho)} = 0,745 \\
 q = \frac{40}{3} & \operatorname{tg}\gamma = \frac{Z_1}{q} = 0,15 & \rho = \operatorname{arctg}\left(\frac{f}{\cos\alpha}\right) = 3^\circ & \eta_{on} = 0,99
 \end{array}$$

Таблица 3

№ п/п	$M_H = M_2$	$F_2 = \frac{2M_H}{d_2}$	$a = \frac{F_2}{\cos\nu}$	$C = \frac{Q + 0,97}{Q + 2,21}$	$\eta_{1-2} = C \frac{\operatorname{tg}\gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \rho)}$	$\eta_{ред} = \eta_{1-2} \cdot \eta_{on}^2$

Проанализируйте полученные результаты.

Оформите отчет.

Приведите в порядок рабочее место.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы.
2. Кинематическая схема установки
3. Формулы, по которым велись расчеты, исходные данные для расчетов.
4. Результаты градуировки, экспериментальные данные и расчеты, таблицы.
5. Графики зависимости, полученные на основании экспериментальных исследований и расчётным путем.
6. Выводы из выполненной работы.

7. Ответы на контрольные вопросы.

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №5, ЧЕРВЯЧНЫЙ РЕДУКТОР**

1. Чем вызвана необходимость изготовления элементов червячного зацепления из антифрикционных материалов?
2. Из каких соображений выбирают диаметр червяка?
3. Из каких соображений выбирают число заходов червяка и число зубьев червячного колеса?
4. Когда КПД червячного редуктора будет больше: при ведущем или ведомом червяке?
5. Каковы основные виды разрушений червячной передачи?
6. Какой зуб прочнее: у червяка или червячного колеса?
7. Как вычисляют КПД червячной передачи? Назовите основные факторы, влияющие на КПД.
8. Что вызывает нагрев червячной передачи?
9. Чем отличается кинематика червячной передачи от зубчатой?
10. Каковы причина большого скольжения в червячной передаче и его последствия?
11. Почему КПД червячной передачи меньше, чем у зубчатой? Способы его повышения?
12. В каких случаях и почему целесообразно применять червячную передачу?
13. Какие материалы применяют для червяка и колеса червячной передачи?
14. В чём заключается принцип конструкции червячной передачи?
15. Каковы достоинства и недостатки червячных передач?
16. Какое свойство червячной передачи отличает её от других передач?
17. Какой передаточный механизм называют редуктором?
18. Какой редуктор называют червячным, назначение червячного редуктора.
19. Какие схемы исполнения червячных редукторов (по расположению червяка) могут быть?
20. Какими основными параметрами определяется червячная передача?
21. Что понимают под числом заходов червяка ( $Z_1$ )?
22. Что понимают под осевым шагом червяка ( $p$ )?
23. Что понимают под модулем зацепления ( $m$ ) и почему он должен быть

стандартным?

24. Что понимают под коэффициентом диаметра червяка ( $q$ ) и почему он должен быть стандартным?

25. Достоинства и недостатки червячных передач.

26. Какие геометрические и кинематические особенности зацепления обуславливают недостатки червячных передач?

27. Что понимают под самоторможением в передаточном механизме?

28. Какие материалы используют для изготовления червяка и червячного колеса?

29. Чем определяется выбор материала червячного колеса?

30. Какого типа подшипники и почему используют в качестве опор вала червячного колеса (вала червяка)?

31. Что такое градуировка измерительного устройства?

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Цель работы.....	3
Понятие о коэффициенте полезного действия.....	3
Червячный редуктор .....	5
Распределение сил и моментов в червячной передаче.....	11
Экспериментальное определение коэффициента полезного действия червячного редуктора.....	13
Обработка результатов эксперимента .....	14
Градуировка.....	15
Таблица градуировки.....	17
Требования по технике безопасности .....	18
Последовательность проведения опыта и расчетов.....	18
Режимы работы установки.....	18
Экспериментальное определение КПД червячного редуктора .....	19
Определение теоретических значений КПД червячного редуктора .....	20
Содержание отчета.....	20
Контрольные вопросы по лабораторной работе №5, червячный редуктор.....	21