

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника»

А.А. Буцев, Н.И. Нарыкова

Исследование параметров планетарного редуктора

№6

Электронное учебное пособие
*Методические указания к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Основы конструирования приборов»*

Москва
2014г

УДК 681.2.2

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

Буцев А.А., Нарыкова Н.И.

Исследование параметров планетарного механизма. - М: МГТУ имени Н.Э. Баумана 2014. 23 с.

Издание содержит материалы для освоения методов измерения крутящих моментов при работающих механизмах и определения коэффициента полезного действия планетарного 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 планетарного 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 планетарного редуктора

© 2014 МГТУ имени Н.Э. Баумана

Цель работы

Ознакомление с терминологией, конструкцией установки и методикой определения коэффициента полезного действия планетарного редуктора опытным путем и теоретически.

В системах автоматики в качестве источников механической энергии часто применяются электроприводы. Они в основном состоят из источника энергии - электродвигателя, устройства согласования угловой скорости и крутящего момента электродвигателя и нагрузки и электронной системы управления. Устройство согласования угловой скорости и крутящего момента чаще всего является редуктором, состоящим из зубчатых механизмов – зубчатых передач. В данной лабораторной работе редуктор состоит из планетарного механизма – планетарной передачи.

Планетарной называется передача, имеющая в своём составе зубчатые колёса с перемещающимися геометрическими осями. Такие колёса (рис.1) принято называть сателлитами. Колёса, геометрические оси которых совпадают с общей осью передачи (с осью входного и выходного валов), называют центральными, звено, несущее на себе подвижные оси сателлитов, называют водилом. На кинематических схемах зубчатые колёса обычно обозначают арабскими цифрами, водило – буквой H или h , валы римскими цифрами. В зависимости от схемы планетарные передачи могут осуществлять передаточные отношения от 3 до 1000 при КПД от 0,98 до 0,01 соответственно. Ведущий и выходной валы расположены соосно.

Теоретическое описание работы лабораторной установки

При установившемся движении механизма мощность движущих сил затрачивается полностью на преодоление полезных и вредных сопротивлений:

$$P_d = P_n + P_c \quad (1)$$

Здесь P_d — 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:

$$\eta_{1-2} = \frac{P_n}{P_d} \quad (2)$$

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 $\psi = \frac{P_c}{P_d}$ называется коэффициентом потерь передачи. 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 $c(F)$ уменьшается, приближаясь к значению $c = 1$ при большой величине F .

При последовательном соединении m механизмов с КПД η_i КПД всего соединения механизмов:

$$\eta_{\Sigma} = \frac{P_n}{P_d} = \prod_{i=1}^m \eta_i \quad (5)$$

где P_d — 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:

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

где:

η_i — КПД i -той пары зацепления;

η_{on} — 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 опоры;

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

В приборных редукторах составляющая M_1 много меньше составляющей M_0 . Т.о., 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.

Кинематическая схема редуктора

На рис. 1 показана кинематическая схема планетарного редуктора, который использован в лабораторной установке. Он состоит из 3 звеньев, образующих двухрядную планетарную передачу – планетарный редуктор. Рассмотрим один ряд, состоящий из 3 звеньев, звено 1 и 3 представляют собой солнечное или центральное колеса, имеют числа зубьев $Z_1 = 17$ и $Z_4 = 87$, причем колесо Z_4 неподвижно. Звено 2 – сателлиты, $Z_2 = 87$ и $Z_3 = 17$. Модуль зацепления $m = 0,8$ мм. Второй ряд состоит из общих с первым Z_1 и Z_4 и отдельных сателлитов $Z_2' = 87$ и $Z_3' = 17$.

Сателлиты жестко закреплены на валу, являющимся их геометрической осью вращения, поэтому их угловые скорости одинаковы $\omega_2 = \omega_3$. Водило-выходной, вал поддерживает перемещающуюся по окружности ось вращения сателлитов. Ведущим является солнечное колесо Z_1 , ведомым кинематическим звеном редуктора – водило, обозначается h или H .

Передаточное отношение планетарного механизма определяется аналитическим методом или методом обращенного движения -метод Виллиса. В лабораторной работе передаточное отношение определяем методом Виллиса. Условно всем звеньям механизма сообщается дополнительное вращательное движение с угловой скоростью водила ω_h , но в сторону, противоположную вращению последнего. Кинематическая схема обращенного

механизма представлена на рис. 2. Так планетарный механизм превращается в обычный редуктор. Зубчатые колеса $Z2'$ и $Z3'$ нужны для динамического уравновешивания механизма и распределения нагрузки на 2 блока.

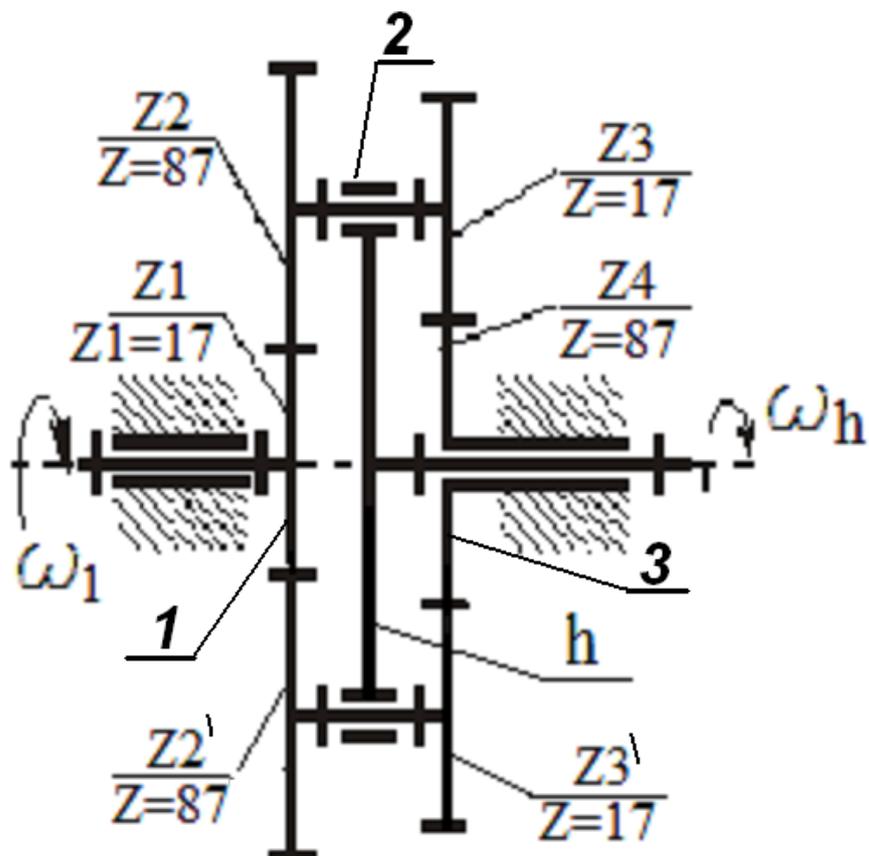


Рис. 1. Кинематическая схема планетарного механизма лабораторной установки работы №6

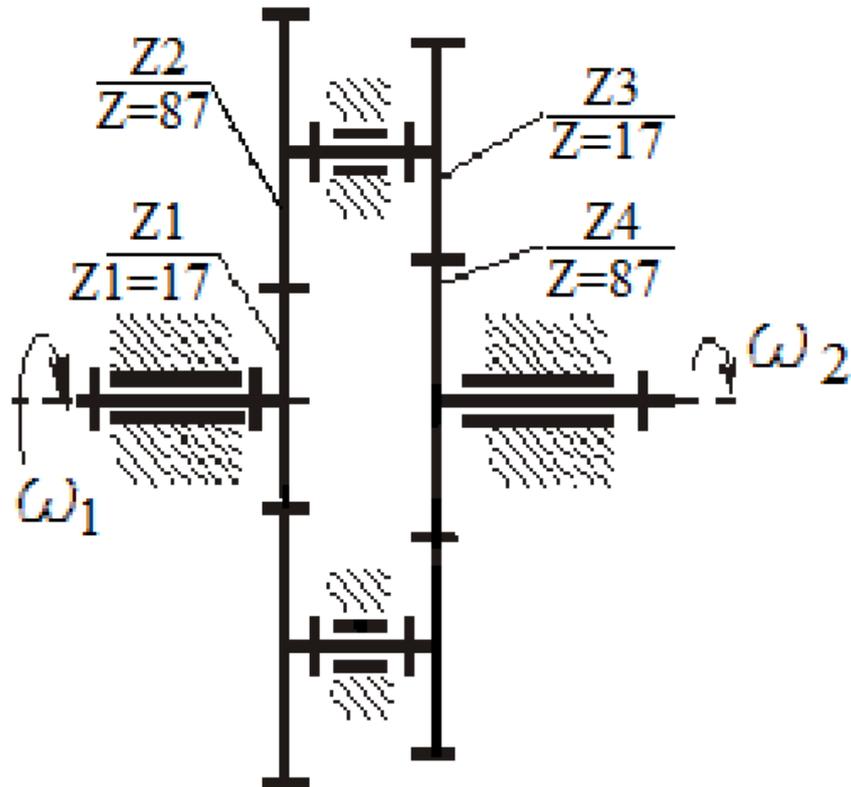


Рис. 2. Кинематическая схема обращенного планетарного механизма работы №5
 Для каждого из двух рядов планетарной передачи по формуле Виллиса для внешнего зацепления колес Z2 и Z1:

$$\frac{\omega_1 - \omega_h}{\omega_2 - \omega_h} = -\frac{Z_2}{Z_1}; \quad (1)$$

внешнего зацепления колес Z4 и Z3:

$$\frac{\omega_2 - \omega_h}{\omega_3 - \omega_h} = -\frac{Z_4}{Z_3} \quad (2)$$

где:

ω_1 и ω_2 — угловые скорости солнечных колес

ω_h — угловая скорость водила.

Угловые скорости берутся с учетом направления вращения.

Перемножим правые и левые части этих уравнений, получим:

$$\frac{\omega_1 - \omega_h}{\omega_2 - \omega_h} \cdot \frac{\omega_2 - \omega_h}{\omega_3 - \omega_h} = \frac{\omega_1 - \omega_h}{\omega_h} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_4}{Z_3} \quad (3)$$

Тогда передаточное отношение планетарного редуктора равно

$$i_{1-h}^3 = \frac{\omega_1}{\omega_h} = 1 - \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_4}{Z_3} \quad (4)$$

где:

i_{1-h}^3 верхний индекс 3 означает, передача осуществляется от звена 1 на выходное звено h при заторможенном звене 3 (рис. 1, 2).

Теоретический КПД

Составим уравнение внешних моментов, действующих на планетарный редуктор

$$M_1 + M_4 + M_6 = 0 \quad (5)$$

Где:

M_1 — момент солнечного колеса 1

M_4 — реактивный момент солнечного колеса 4

M_6 — момент водила h .

Коэффициент полезного действия обращенного механизма равен

$$\eta_{1-4} = -\frac{M_4}{M_1 \cdot i_{1-4}} \quad (6)$$

откуда

$$M_4 = -i_{1-4} \cdot \eta_{1-4} \cdot M_1$$

Моменты M_1 и M_4 имеют противоположные направления. Заменим в равенстве (6) его выражением из равенства (21)

$$-M_6 - M_1 = -i_{1-4} \cdot \eta_{1-4} \cdot M_1; M_6 = -M_1(1 - i_{1-4} \cdot \eta_{1-4}) \quad (7)$$

Коэффициент полезного действия планетарного редуктора равен:

$$\eta_{ред} = \eta_{1-6} = -\frac{M_6 \cdot \omega_6}{M_1 \cdot \omega_1} = \frac{1}{i_{1-6}}(1 - i_{1-4} \cdot \eta_{1-4}) \quad (8)$$

При подсчете по формуле (8) передаточные отношения планетарного редуктора i_{1-6} и обращенного механизма определяются по формулам (3) и (4). Коэффициент полезного действия обращенного механизма принимается равным

$$\eta_{1-4} = \eta_{1-2} \cdot \eta_{3-4} \quad (9)$$

где η_{1-2} и η_{3-4} — КПД первой и второй ступеней обращенного механизма, определяемый по формулам (3) и (3) для КПД эвольвентного зубчатого зацепления.

Окружные усилия в зацепления можно определить из условия равновесия сил и моментов относительно вала сателлитов 2 (рис. 3):

$$F_6 + F_{12} = F_{34} \quad (10)$$

$$r_3 \cdot F_{34} = r_2 \cdot F_{12} \quad (11)$$

где r_2 — радиус сателлита Z_2 ; r_3 — радиус сателлита Z_3 ; F_{12} — окружное усилие в зацеплении колес Z_1 и Z_2 ; F_{34} — окружное усилие в зацеплении колес Z_3 и Z_4 ;
 F_6 — окружное усилие на водиле.

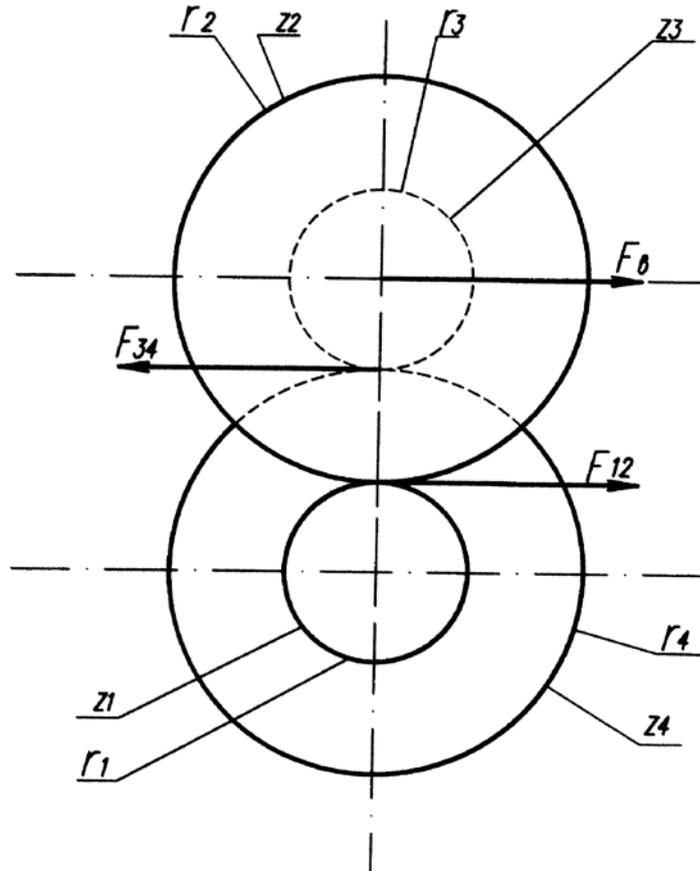


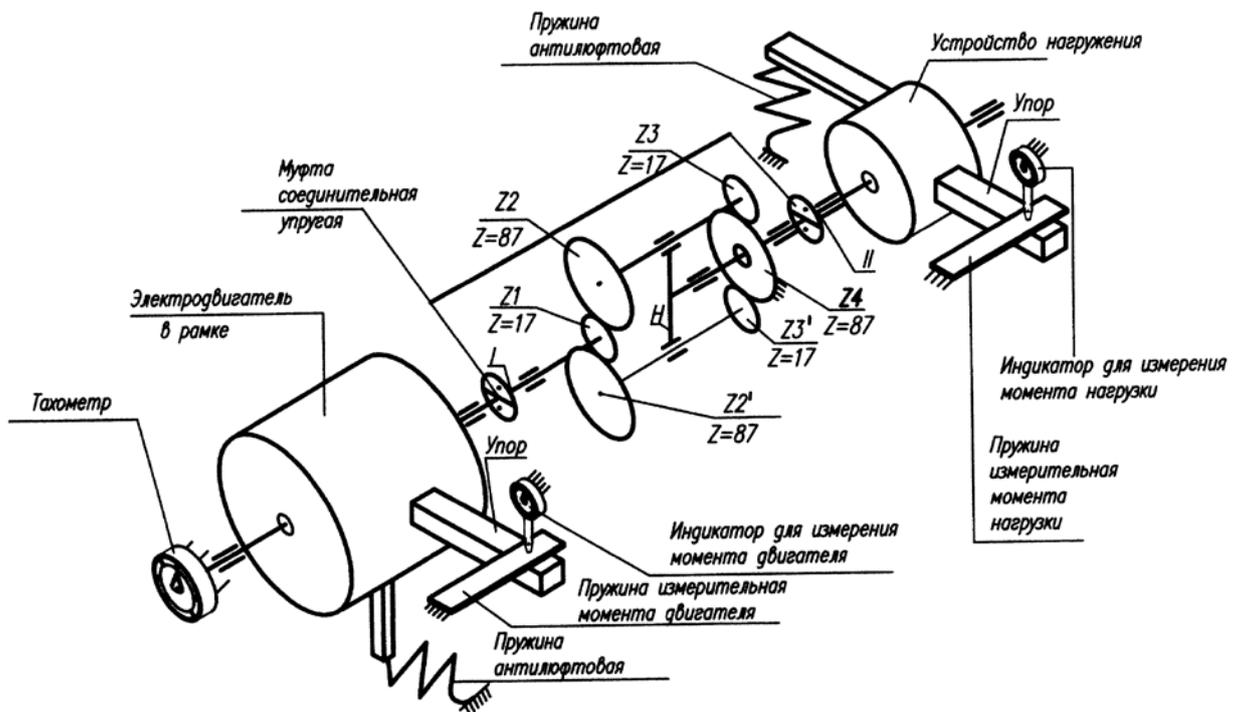
Рис.3. Схема распределения окружных сил

$$F_6 = \frac{M_6}{m \cdot (Z_3 + Z_4)} \quad (12)$$

Решая совместно уравнения (10) и (11) с учетом выражения (12), находим

$$F_{12} = \frac{M_6 \cdot Z_3}{m \cdot (Z_1 + Z_4)(Z_2 - Z_3)} \quad (13)$$

Кинематическая схема установки исследования планетарного механизма



На рис.4. Представлена кинематическая схема лабораторной установки №6 ,
определение коэффициента полезного действия планетарного редуктора.

$$F_{34} = \frac{M_6 \cdot Z_2}{m \cdot (Z_3 + Z_4)(Z_2 - Z_3)} \quad (14)$$

Задаваясь несколькими значениями момента нагрузки, т.е. момента M_6 , определим для каждого значения F_{12} и F_{34} по формулам (13) и (14). Затем находим η_{1-2} и η_{3-4} по

формулам (11) и (12). Общий КПД планетарного редуктора определяем из (6) и (8):

$$\eta_{\text{дв}} = \frac{1}{i_{1-a}} \cdot (1 - i_{1-4} \cdot \eta_{1-4}) \cdot \eta_{i\bar{i}}^k \quad (15)$$

где:

η_{on} — КПД одной пары подшипников;

$\eta_{on} = 0,99$;

k — число пар подшипников.

По найденным значениям $\eta_{ред}$ можно построить теоретическую зависимость

$$\eta_{ред} = f(M_e).$$

Конструктивная схема установки

Экспериментальное исследование приборных редукторов проводится на лабораторной установке, кинематическая схема которой представлена на рис. 1, 2 и 3, а конструктивная схема установки и измерительных устройств – на рис. 4, 5, и 6.

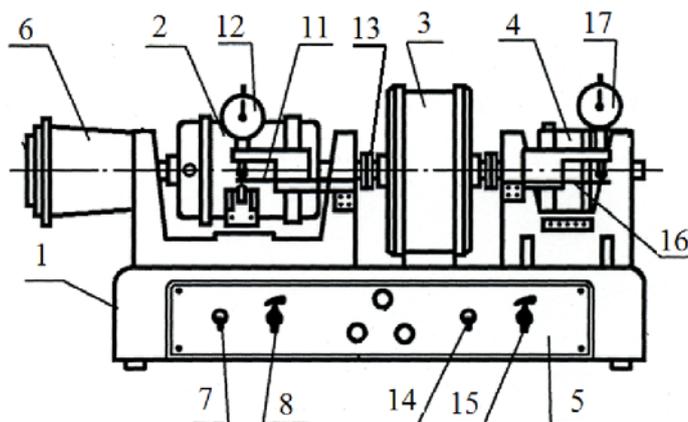


Рис. 4. Конструктивная схема лабораторной установки №6

Нумерация элементов установки сквозная. Продолжается на всех последующих рисунках.

Лабораторная установка (рис. 4) установлена на основание 1, на котором установлены: электрический двигатель 2, планетарный редуктор 3, порошковый тормоз 4, создающий момент нагрузки, и пульт управления 5. К ротору электрического двигателя подключен тахометр 6, позволяющий определить частоту вращения в об/мин. Электрический двигатель 2 включается и выключается тумблером 7, а скорость его вращения можно регулировать поворотом ручки потенциометра 8. При включении

загорается лампа 9.

Статор электрического двигателя установлен на поворачивающейся раме 10 (рис. 11). При работе двигателя на статор действует реактивный крутящий момент, который уравнивается противодействующим моментом силы плоской измерительной пружины 11. Специальный выступ рамы статора двигателя упирается в эту пружину и изгибает ее. Статор поворачивается при этом на небольшой угол. Изгиб пружины 11 вызывает перемещение ножки индикатора 12. Так как плечо действующей на пружину 11 силы практически не меняется, шкала индикатора градуируется по моменту. Индикатор 1 предназначен для определения момента $M_{0в}$ электрического двигателя, приводящего в действие редуктор.

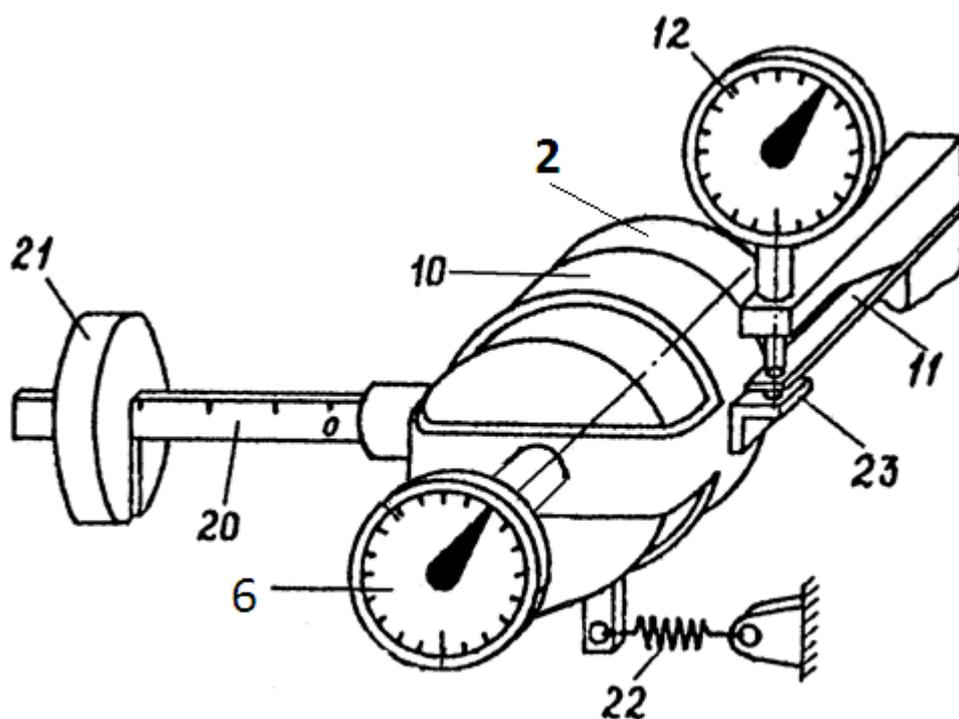


Рис. 5. Устройство измерения скорости и момента электродвигателя

На рис.5 представлено устройство измерения момента, скорости и градуировки системы измерения момента в положении градуировки, двигатель обязательно находится в выключенном состоянии.

Электродвигатель 2 установлен в поворотной раме 10 (подвешен на собственной оси). В специальное отверстие раме 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. (Определение градуировочной характеристики

средства измерений. Градуировка средств измерений - термин из Государственной системы обеспечения единства измерения (ГСИ). Метрология. Основные термины и определения).

На рис. 6 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, по закону Гука она 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.

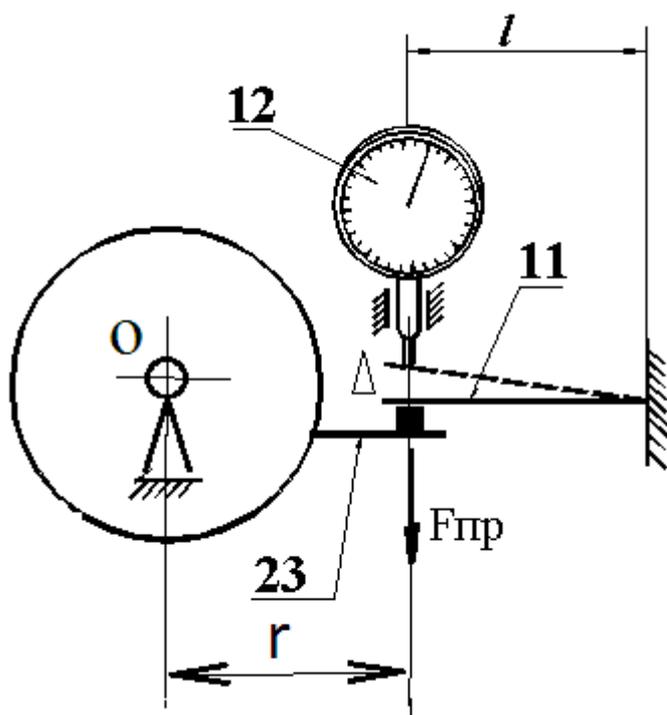


Рис.6. Схема измерения момента нагрузки

Величина прогиба измерительной пружины Δ может быть рассчитана теоретически по ее поразмерам измерительной пружины и известному модулю упругости и проверена по

показаниям индикатора 12.

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

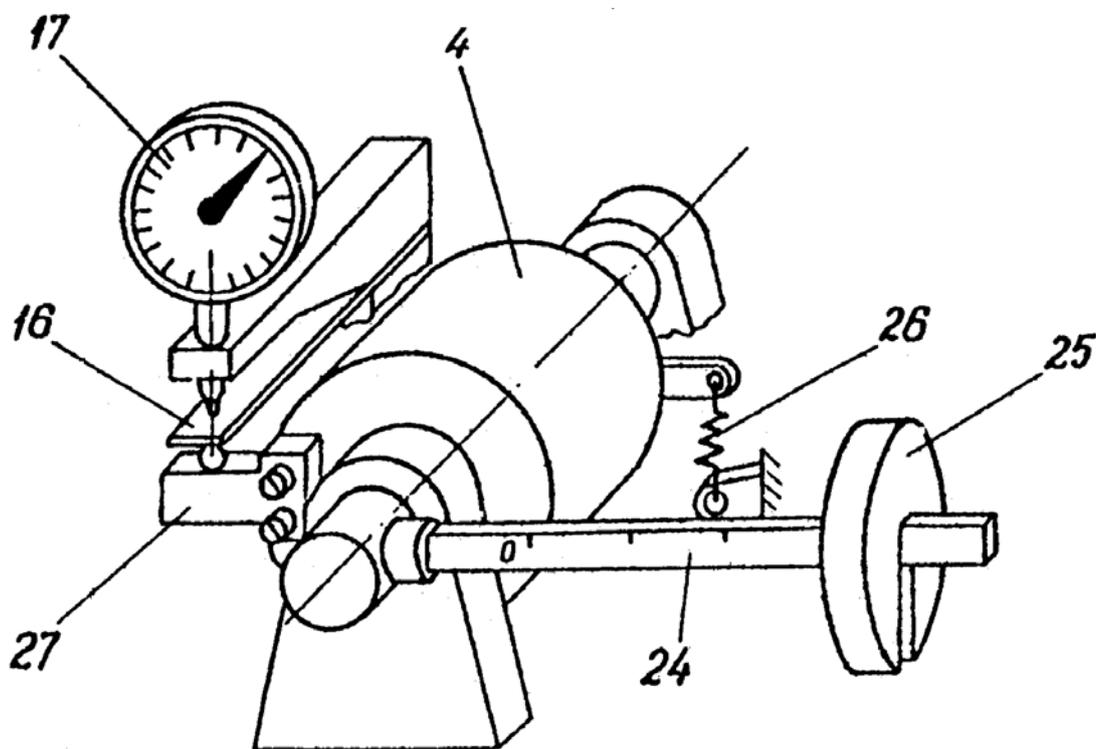


Рис. 7. Устройство измерения момента нагрузки

От ротора электрического двигателя через муфту 13 (рис. 9, 10) вращение передается на входной вал планетарного редуктора 3. От выходного вала редуктора через муфту, аналогичную муфте 13 движение передается на ротор порошкового тормоза 4.

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 смесью ферритового порошка и масла. Регулируя ток в обмотке статора поворотом ручки 15 (рис. 3) меняется вязкость жидкости и соответственно величина момента нагрузки. Тормоз 4 включается и выключается тумблером 14. Реактивный момент статора измеряется измерительным устройством, представленным на рис. 6, принцип работы которого представлен на рис.5.

Тормоз 4 включается и выключается тумблером 14. Реактивный момент статора

измеряется измерительным устройством, схема работы которого представленным на рис. 6, принцип работы представлен на рис.7.

На измерительные пружины 11 и 16 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 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; ω_1 — угловая скорость двигателя и входного вала редуктора, с^{-1} ; ω_2 — угловая скорость выходного вала редуктора и ротора тормоза, с^{-1} ; n_1 и n_2 — частоты вращения, об/мин.

Коэффициент полезного действия редуктора равен:

$$\eta_{\text{ред}} = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{дв}}} = \frac{M_H \cdot \omega_2}{M_{\text{дв}} \cdot \omega_1} = \frac{M_H}{i_{\text{общ}} \cdot M_{\text{дв}}} \quad (16)$$

где $i_{\text{общ}}$ — определяется по формуле (19) для планетарного редуктора.

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 рамы двигателя, 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, в данном случае это потери в упругих соединительных муфтах и опорах рамы электродвигателя.

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 как среднеарифметическое результатов измерения:

$$X_e = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_j}{j} = \frac{1}{j} \cdot \sum_j A_j \quad (17)$$

Градуировка измерительных устройств

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, электродвигатель и муфта нагрузки должны быть выключены..

1. Градуировка измерительной пружины 11 индикатора 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 измерительной 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 Δl_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. Значения Δl_j и число делений индикатора ν_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 ΔM_{mj} , создаваемое за счет перемещения градуировочного груза на Δl_j , уравнивается моментом измерительной пружины 11. Прогиб пружины, по закону Гука пропорционален силе, которая в условных единицах считывается с индикатора 12.

$$\Delta M_{mj} = F_m \cdot \Delta l_j = K_{1j} \cdot \nu_j \quad (18)$$

где ΔK_{1j} — значение градуировочного коэффициента индикатора 12.

Рассчитайте значения коэффициента ΔK_{1j} для каждого замера и запишите их в таблицу. 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 нагрузочного устройства и 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, узкая грань рычага располагается вертикально. Рычаг 4 и индикатор 17 находятся с разных сторон от порошкового тормоза. Установите на рычаге градуировочный груз 25 весом $P_m = 12$ Н так, чтобы боковая грань находилась против отметки 0. Установите на ноль поворотом шкалы стрелку индикатора 17. Перемещайте градуировочный груз 25 вдоль градуировочного рычага, последовательно устанавливая одну и ту же его грань у делений, соответствующих значениям Δl_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 ν_j . Влияние люфтов выбирающих винтовых пружин 26 и 22 не учитывается, т.к. их жесткость на несколько порядков мене жесткости каждой измерительной пружины.

Таблицы градуировки измерительных систем

Таблица 1: Таблица градуировки измерительных систем двигателя

| Изменение плеча Δl_j , см | Изменение момента градуировочного груза $\Delta M_{mj} = F_m \cdot \Delta l_j$, Н·см | Число делений индикатора ν_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 | | | |
| Нагрузки | | | |
| Для индикатора 17: $F_m = 12$ Н | | | |
| 8 | | | |
| 10 | | | |
| 12 | | | |
| 14 | | | |
| 16 | | | |
| 18 | | | |
| 20 | | | |
| Среднее значение градуировочный коэффициент K_2 | | | |

При расчете градуировочного коэффициента используйте зависимость

$$\Delta M_{mj} = F_m \cdot \Delta l_j = K_{2j} \cdot v_j \quad (19)$$

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 среднее арифметическое значение градуировочного коэффициента K_2 , которое и используйте при дальнейшей работе. После градуировки снимите груз 25 и рычаг 26.

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.

Таблица 2: Варианты режим работы установки

| № варианта | n_1 | v_2 | v_2 | v_2 | v_2 | v_2 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 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 v_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, поддерживая постоянной 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 его выходу из строя.

Для каждого из указанных в варианте режимов работы определите и запишите в табл. 3, 4, 5 (в соответствии с заданной установкой) числа делений v_{2j} и индикатора 17, v_{1j} индикатора 12.

Экспериментальное определение КПД планетарного редуктора

Таблица 3: Экспериментальное определение КПД планетарного редуктора

Гради ровочные коэффициенты: $K_1 = \dots$, $K_2 = \dots$ [(Н·см)/дел]

| v_{2j} , дел | $M_{Hj} = v_{2j} \cdot K_2$, Н·см | v_{1j} , дел | $M_{\text{о}вj} = v_{1j} \cdot K_1$, Н·см | $\eta_{\text{ред}j} = \frac{M_{Hj}}{i_{\text{о}бщ} \cdot M_{\text{о}вj}}$ |
|----------------|---------------------------------------|----------------|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

После окончания испытаний выключите установку тумблерами 7 и 14. Расчет моментов ведется по формулам:

$$M_{obj} = K_1 \cdot v_{1j}$$

$$M_{Hj} = K_2 \cdot v_{2j}$$

Полученные значения моментов $M_{об}$ и M_H подставьте в формулу (31). Результаты расчетов запишите в табл. 3, 4, 5 соответственно заданной установке.

Постройте экспериментальную зависимость $\eta_{ред} = f(M_H)$.

$$Z_1 = Z_3 = 17$$

$$Z_2 = Z_4 = 87$$

$$F_{12} = \frac{M_1 \cdot Z_3}{m(Z_3 + Z_4)(Z_2 - Z_3)}$$

$$m = 0,8 \text{ мм}$$

$$f = 0,15$$

$$M_6 = M_H$$

$$i_{1-4} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_4}{Z_3} = \dots$$

$$F_{34} = \frac{M_6 \cdot Z_2}{m(Z_3 + Z_4)(Z_2 - Z_3)}$$

$$\eta_{3-4} = 1 - C_{3-4} \cdot \pi \cdot f \cdot \left(\frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_4} \right)$$

$$\eta_{on} = 0,99$$

$$i_{1-a} = 1 - \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_4}{Z_3} = \dots$$

$$\eta_{\partial\partial\partial} = \frac{1}{i_{1-a}} \cdot (1 - i_{1-4} \cdot \eta_{1-4}) \cdot \eta_{i\ddot{i}}^k$$

k — число пар подшипников

Таблица 4: Определение теоретических значений КПД планетарного редуктора

| $M_6 = M_H$ | F_{12} | F_{34} | $C_{12} = \frac{F_{12} + 2,87}{F_{34} + 0,17}$ | $C_{34} = \frac{F_{34} + 2,87}{F_{34} + 0,17}$ | η_{1-2} | η_{3-4} | $\eta_{1-4} = \eta_{1-2} \cdot \eta_{3-4}$ | $\eta_{ред}$ |
|-------------|----------|----------|--|--|--------------|--------------|--|--------------|
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

$M_6 = M_H$ выбирают из таблицы 3

Содержание отчета

1. Фамилия, имя, отчество и номер группы
2. Наименование и цель работы.
3. Схема установки
4. Формулы, по которым велись расчеты, исходные данные для расчетов.
5. Результаты тарировки, экспериментальные данные и расчеты, таблицы.
6. Графики зависимости, полученные на основании экспериментальных исследований и расчётным путем.

7. Выводы из выполненной работы.

Контрольные вопросы.

1. Чем отличается планетарная передача от ступенчатой зубчатой передачи?
2. Из каких основных элементов состоит планетарная передача?
3. О чем говорит знак «-» перед значением передаточного отношения у планетарной передачи?
4. Последовательность проведения эксперимента.
5. Что такое обращенный механизм?
6. Каким образом повышается точность проведения эксперимента?
7. Как производится градуировка?
8. Как влияет жесткость плоских измерительных пружин 11 и 16 на градуировочные коэффициенты?
9. Объяснить результаты, полученные в работе.
10. Какие существуют схемы соединений передач?
11. Из каких элементов состоит планетарный механизм?
12. Какие элементы составляют простейший трехзвенный планетарный механизм?
13. Как называется метод, используемый для определения передаточного отношения планетарного механизма, и в чем он состоит?
14. В каком случае планетарные механизмы позволяют получить большие величины передаточного отношения?
15. Как называется метод, используемый для определения передаточного отношения эпициклического механизма, и в чем он состоит?
16. В каком случае планетарные механизмы позволяют получить большие величины передаточного отношения.

Оглавление

| | |
|--|----|
| Цель работы | 3 |
| Теоретическое описание работы лабораторной установки..... | 3 |
| Коэффициент полезного действия опор..... | 4 |
| Кинематическая схема редуктора | 5 |
| Теоретический КПД | 8 |
| Кинематическая схема установки исследования планетарного механизма | 10 |
| Конструктивная схема установки | 11 |
| Обработка результатов эксперимента | 15 |
| Градуировка измерительных устройств | 16 |
| Таблицы градуировки измерительных систем | 18 |
| Требования по технике безопасности..... | 19 |
| Последовательность проведения опыта и расчетов | 19 |
| Экспериментальное определение КПД планетарного редуктора..... | 20 |
| Содержание отчета | 21 |
| Контрольные вопросы..... | 22 |