

УДК 681.527

Моделирование лабораторной работы по курсу ОКП «Исследование КПД прямозубого зубчатого редуктора»

***Остапенко Д.Г.**, студент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Специальная робототехника и мехатроника»*

***Мурзин И.А.**, студент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Специальная робототехника и мехатроника»*

*Научный руководитель: Перминова Е.А., к.т.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Консультант: Рубцов В. И., к.т.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
kafsm7@sm.bmstu.ru*

Виртуальный лабораторный практикум по курсу ОКП.

В объеме курсового проекта 3-го курса по курсу ОКП поставлена задача разработки компьютерной модели реальной лабораторной установки и на ее основе комплексной мультимедийной программы всей лабораторной работы. В качестве объекта моделирования выбрана лабораторная работа по курсу ОКП «Исследование КПД прямозубого зубчатого редуктора». Графическая программа, реализующая трехмерную модель всей установки, выполнена в системах MatLab и SolidWorks.

Цель лабораторной работы «Исследование КПД прямозубого зубчатого редуктора»

Экспериментальное и аналитическое определение коэффициента полезного действия цилиндрического зубчатого редуктора. Исследование зависимости коэффициента полезного действия редуктора от величины нагрузки на выходном валу.

Описание работы

Параметры каждого элемента установки заданы уравнениями движения, включающими в себя как идеальные параметры, так и случайные величины погрешностей.

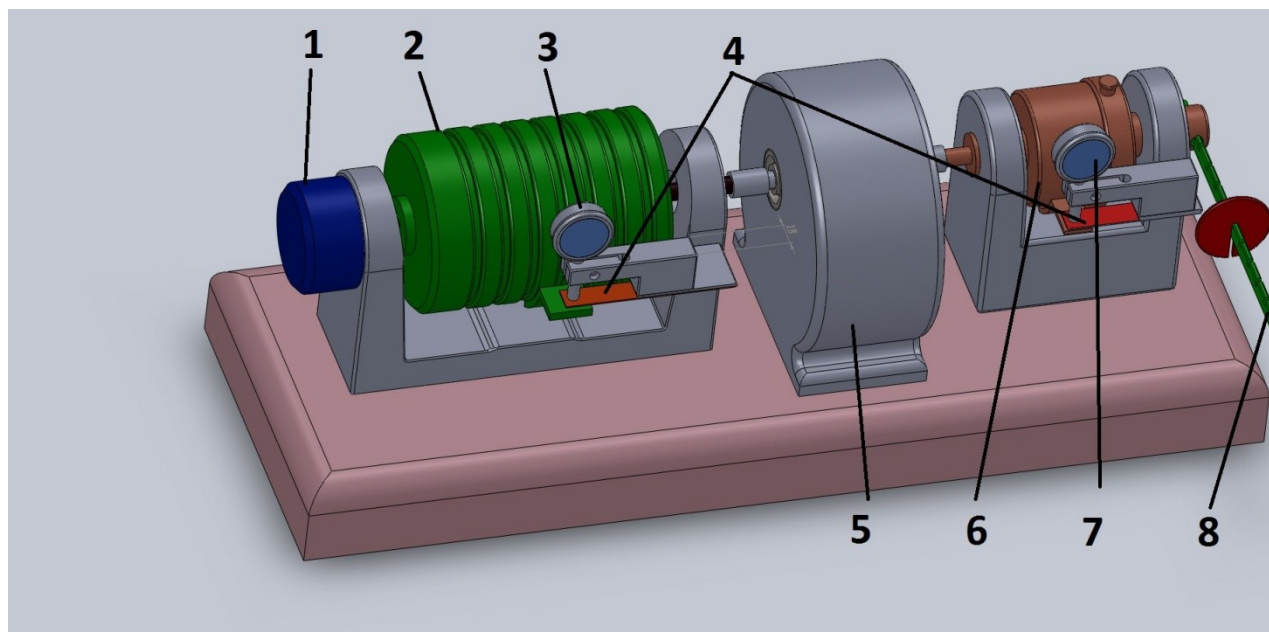


Рис. 1. Общий вид установки

- 1 – тахометр
- 2 – двигатель
- 3 – индикатор для измерения момента двигателя
- 4 – пружины
- 5 – редуктор
- 6 – порошковый тормоз
- 7 – индикатор для измерения момента нагрузки
- 8 – рычаг для тарировки

3D-модель установки выполнена в программе SolidWorks, также в ней были определены технические параметры установки, такие как момент инерции и масса каждой детали, необходимые для расчетов. Файл, созданный в программном пакете SolidWorks, с помощью конвертора 3D Explorator предварительно конвертируется в формат, понятный для редактора виртуальной среды Matlab. В модуле Simulink были заданы уравнения движения каждого элемента модели, что позволило смоделировать реальную работу лабораторной установки.

Виртуальная лабораторная работа представляет собой комплексную мультимедийную программу, которая содержит:

- методические указания к лабораторной работе, содержащие необходимые теоретические сведения по предмету исследования;
- методику планирования и проведения эксперимента;

– методику обработки и интерпретации результатов эксперимента, порядок выполнения работы;

– компьютерную программу, моделирующую основные этапы выполнения лабораторной работы: предварительные расчеты, основной и вспомогательные эксперименты, обработку экспериментальных данных, составление отчета по результатам работы.

Тарировка

При нажатии кнопки «Тарировка» запускается анимация перемещения груза вдоль шкалы рычага, который останавливается на рисках 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 и т.д., и поворота порошкового тормоза. В каждом положении груза на индикаторе 2 отображается соответствующее значение.

Способ реализации

С помощью программного пакета MatLab Simulink к модели, изображенной на рис. 2., было привязано уравнение для расчета тарировочного коэффициента (1) с параметрами:

(1)

$$\Delta M_{mj} = F_m \cdot \Delta l_j(t) = K_{1j} \cdot u_j(t)$$

ΔM_{mj} - момент, создаваемый тарировочным грузом на плече Δl_j ,

F_m – вес тарировочного груза,

$\Delta l_j(t)$ – изменение длины плеча, на котором действует сила тяжести тарировочного груза (принимает только дискретные значения (2)),

(2)

$$\Delta l_j(t) = \{8, 10, 12, 14, 16, 18, 20\}, \text{ см}$$

K_{1j} – тарировочный коэффициент,

$u_j(t)$ – показания индикатора 2.

Коэффициент тарировки K_{1j} выбирается генератором случайных чисел в пределах 0.9...1.5. Далее из формулы (1) программа находит показания индикатора $u_j(t)$ в каждом положении $\Delta l_j(t)$. Это значение отображается в окне вывода индикатора 2 (рис. 3.). Из формулы (3), включающей параметры:

(3)

$$c \cdot \varphi \cdot l_{\text{пруж}} + M_{\text{трения}} = \Delta M_{mj}$$

c – коэффициент жесткости пружины (задается случайно),

φ - угол поворота порошкового тормоза,

$l_{пруж}$ – рычаг, на котором действует сила упругости,

$M_{трения}$ – момент, создаваемый трением в опорах,

ΔM_{mj} – момент, создаваемый тариловочным грузом на плече Δl_j ,

программа находит φ , и отображает на экране поворот порошкового тормоза на этот угол.

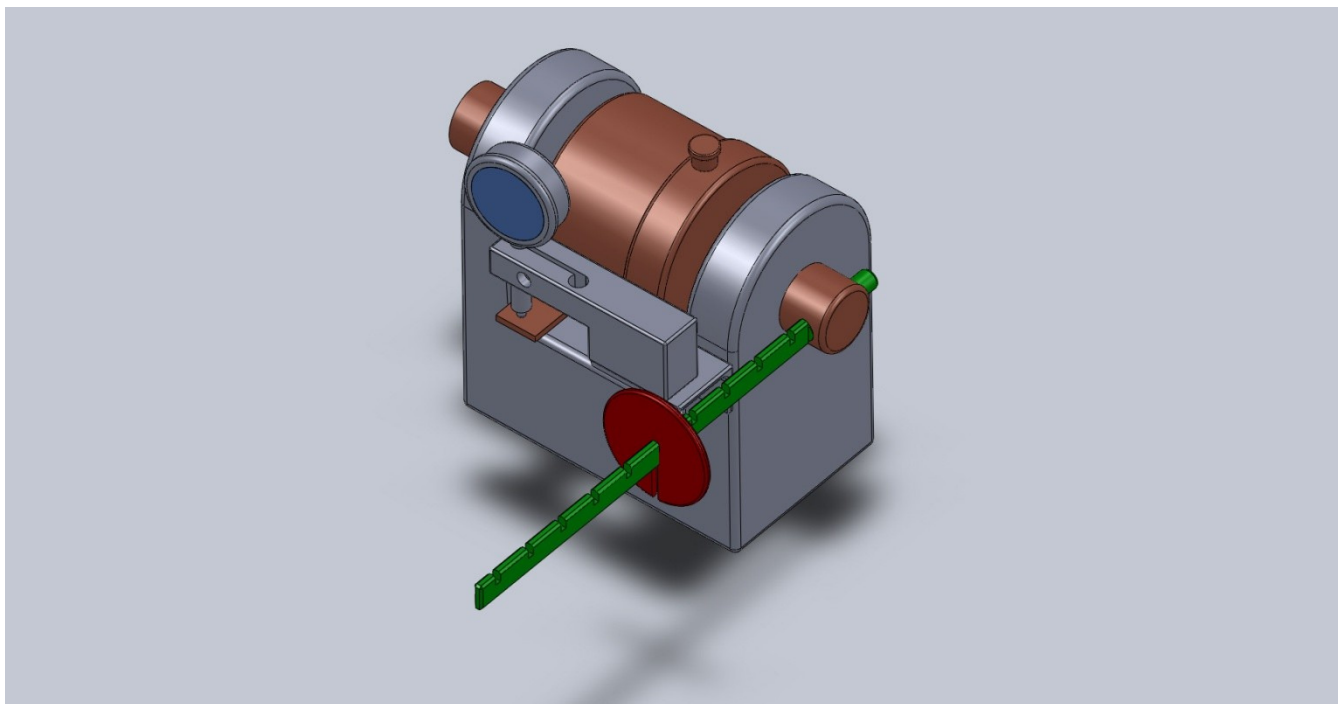


Рис. 2. Порошковый тормоз в режиме тариловки

Данные вносятся в тариловочную таблицу, с помощью которой вычисляется тариловочный коэффициент.

Изменения плеча Δl_j , см	Изменение момента тариловочного груза ΔM_{mj} , Н·см	Число делений индикатора v_1	Тариловочный коэффициент $K_j =$ $\frac{\Delta M_{mj}}{v_1}$, (Н·см)/дел.

Тариловка индикатора 1 производится аналогично.

Определение КПД редуктора при заданном моменте

При перемещении ползунка потенциометра 2 в окошке вывода индикатора 2 отображается значение, соответствующее определенному моменту. Рассмотрим алгоритм определения КПД программой для заданного момента. Программа рассчитывает окружные силы, действующие на зубчатые колеса редуктора (4).

(4)

$$F_{\text{окр}} = \frac{2 \cdot M_{\text{вала}}}{d_{\text{делит.окр.}}}$$

Для эвольвентного зубчатого зацепления КПД определяется эмпирической формулой (5)

(5)

$$\eta_{1-2} = 1 - c \cdot \pi \cdot f \cdot \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right)$$

где f – коэффициент трения скольжения материалов зубчатой пары,

c – эмпирический коэффициент, зависящий от усилия в зацеплении.

Коэффициент c определяется формулой (6):

(6)

$$c = \frac{F + 2,87}{F + 0,17}$$

Для того чтобы смоделировать определение экспериментального значения КПД, введем в формулу (6) дополнительные слагаемые в числитель и знаменатель, соответствующие значениям погрешностей. Эти слагаемые $F_{\text{доп}}$ задаются генератором случайных чисел (7):

(7)

$$c = \frac{F + F_{\text{доп}} + 2,87}{F + F_{\text{доп}} + 0,17}$$

По формуле (5) программа определяет КПД для заданного значения нагрузки.

Алгоритм определения КПД студентом

Студент с помощью ползунка потенциометра 2 задает момент нагрузки в порошковом тормозе. В соответствии с этим моментом программа рассчитывает значение момента двигателя (уже по известному для программы КПД) (8)

(8)

$$M_{\text{дв}} = \frac{M_{\text{н}}}{i_{\text{общ}} \cdot \eta_{\text{ред}}}$$

Программа выводит соответствующее показание в окно вывода индикатора 1. Также в окне вывода «Тахометр» отображается частота вращения двигателя. Если студенту необходимо изменить частоту вращения двигателя в соответствии с заданием, он меняет положение ползунка потенциометра 1.

Получив необходимые данные, студент заносит их в таблицу для дальнейшего расчета КПД.

Построение графиков

По нажатию кнопки «График» программа строит в одних координатных осях график теоретической зависимости $\eta_{теор}(M_n)$ и график экспериментальной зависимости $\eta_{эсп}(M_n)$ по данным, введенным студентом в таблицу.

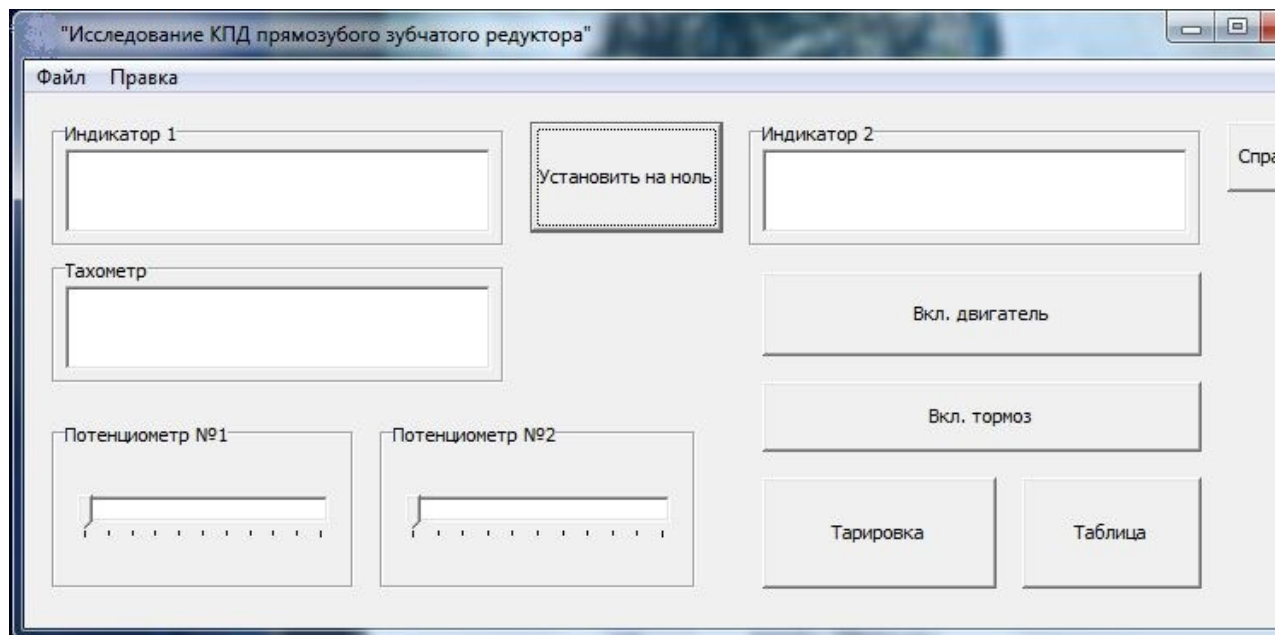


Рис. 3. Интерфейс программы

Последовательность проведения опытов и расчетов

При выключенном двигателе и порошковом тормозе установить на ноль стрелки индикаторов, нажав на кнопку «Установить на ноль».

Выбрать режим согласно номеру варианта, выданного преподавателем (включить двигатель и установить нужную частоту вращения ротора).

Кнопкой включить порошковый тормоз. После этого проведите испытания в соответствии с указанными в варианте задания режимами работы установки.

Частота вращения двигателя n_1 устанавливается поворотом ручки потенциометра и контролируется по тахометру. Нагрузочный момент, соответствующий заданным значением v_2 , устанавливается смещением ползунка потенциометра и контролируется по индикатору. При изменении момента нагрузки меняется частота вращения двигателя n_1 .

Поэтому при проведении испытания необходимо следить за показаниями тахометра, регулируя скорость двигателя.

Список литературы

1. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.
2. Методические указания «Исследование приборных редукторов» / Н.И. Нарыкова, А.И. Еремеев, И.С.Потапцев - М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010.
3. Скобелев М. М. «Разработка в MATLAB-Simulink модели визуализации в виртуальной реальности управляемого пространственного движения подводного аппарата» - М.: Наука и образование, 2011.
4. Потапцев И.С., Нарыкова Н.И., Перминова Е.А. и др. «Разработка конструкторской документации при курсовом проектировании», ч.1 – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010.
5. Потапцев И.С., Буцев А.А., Еремеев А.И. и др. «Разработка конструкторской документации при курсовом проектировании», ч.2 – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2012.