

УДК 681.527

Разработка виртуальных стендов по исследованию КПД планетарной и червячной передач

Бошляков И.А., студент

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

Коновалов К.В., студент

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

Метасов И.Е., студент

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

Шереужев М.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

Научный консультант: Бошляков А.А., к.т.н, доцент

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

kafsm7@sm.bmstu.ru

Введение

На кафедре РЛ-5 «Элементы приборных устройств» МГТУ им. Баумана студенты проходят лабораторные работы по экспериментальному и теоретическому определению КПД планетарных (рис. 2) и червячных (рис. 1) редукторов на специальных стендах. Они состоят из двигателя постоянного тока, редуктора, порошоковой муфты и аппаратуры управления. Для получения КПД редуктора сравниваются моменты на входе и выходе редуктора.

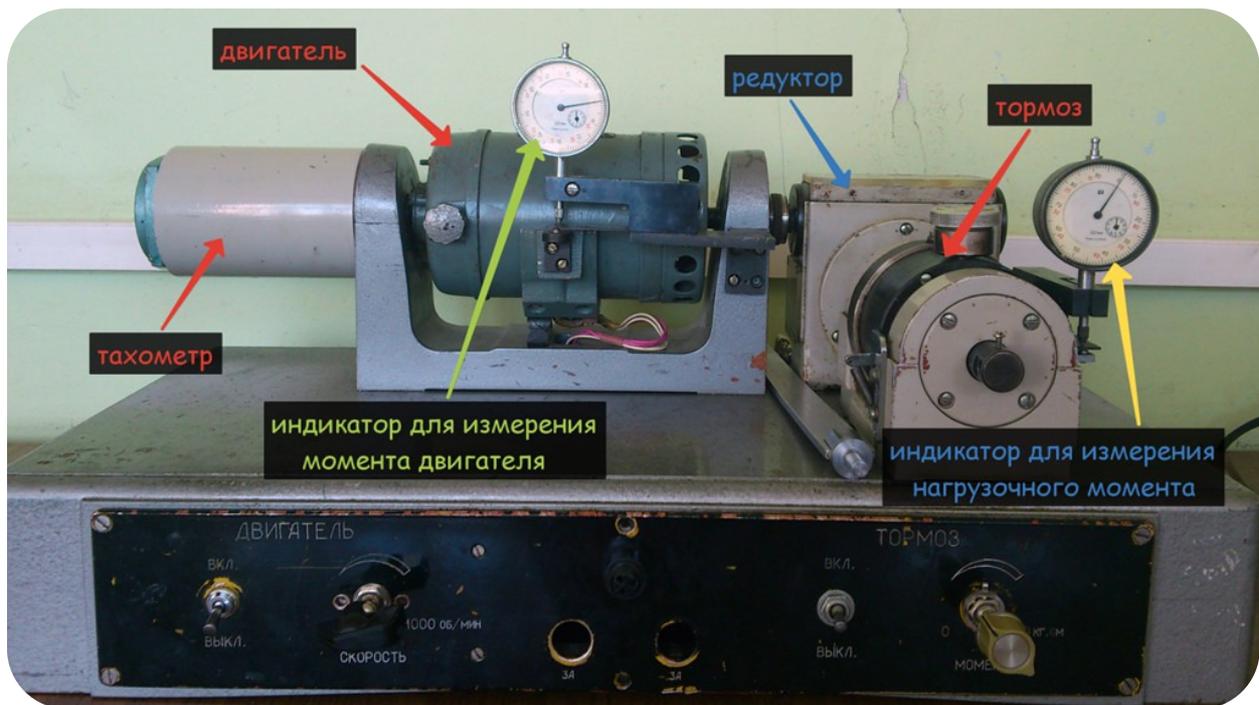


Рис. 1. Лабораторная установка с червячным редуктором



Рис. 2. Лабораторная установка с планетарным редуктором

Стенды необходимо периодически обслуживать, они имеют большой срок эксплуатации, сильно изношены, и периодически выходят из строя, что требует более частого обслуживания. В связи с этим есть необходимость разработать виртуальные модели стендов, и проводить лабораторные работы на компьютере.

Математическая модель станков

Анализ работы станков позволил сформировать функциональную схему станков (рис. 3). Двигатель постоянного тока создает вращающий момент. Редуктор (планетарный или червячный) усиливает его на величину передаточного отношения. Нагрузкой на привод служит порошковая тормозная муфта. Значения моментов, создаваемые на входе двигателя, и на выходе порошковой муфтой отображаются на соответствующих индикаторах. Управление станка осуществляется с помощью регуляторов скорости двигателя и момента нагрузки порошковой муфты, а контроль, с помощью тахометра установленного на двигателе и индикаторов момента.

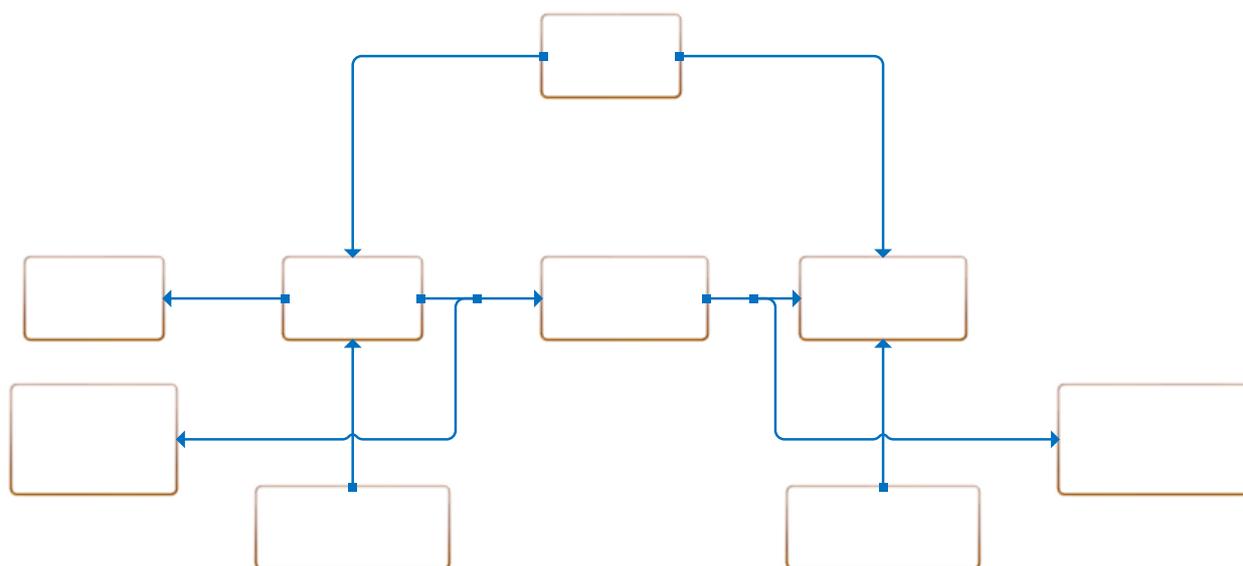


Рис. 3. Функциональная схема установки 1

Ключевым моментом в построении математической модели станка является описание редуктора.

В данной лабораторной работе червячный редуктор выполнен в виде червячной передачи. Червячная передача передает вращательное движение между валами, геометрические оси которых перекрещиваются [2,4]. Червячная передача построена на базе реечного эвольвентного зацепления. Угол профиля винтовой нарезки червяка составляет $\alpha = 20^\circ$. Угол подъема линии витка червяка $\gamma = 9^\circ$. Для данного редуктора применяется пара “сталь-бронза”, для которого коэффициент удельного трения $f = 0,05$, червяк двухзаходный $Z_1 = 2$, число зубьев червячного колеса $Z_2 = 50$, модуль передачи $m = 1,5$ мм. И угол трения $\rho = 3^\circ$.

Зависимость между моментом $M_{\text{дв}}$, действующим на червяк, и моментом M_H на червячном колесе, для приборных редукторов имеет вид $M_H = M_{\text{дв}} \cdot i_{1-2} \cdot \eta_{1-2}$. Общий вид КПД исследуемого редуктора определяется по формуле $\eta_{\text{ред}} = \eta_{1-2} \cdot \eta_{\text{он}}^2$.

Основные параметры червячной передачи:

$$\begin{array}{llll}
 Z_1 = 2 & \alpha = 20^\circ & \gamma = 9^\circ & \\
 Z_2 = 50 & \cos \alpha = 0,9397 & \cos \gamma = 0,987 & \operatorname{tg}(\gamma + \rho) = 0,2126 \\
 m = 1,5 \text{ мм} & d_2 = mZ_2 = 75 \text{ мм} & f = 0,05 & \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \rho)} = 0,745 \\
 q = \frac{40}{3} & \operatorname{tg} \gamma = \frac{Z_1}{q} = 0,15 & \rho = \operatorname{arctg}\left(\frac{f}{\cos \alpha}\right) = 3^\circ & \eta_{\text{он}} = 0,99 \\
 M_H = M_2 & F_2 = \frac{2M_H}{d_2} & Q = \frac{F_2}{\cos \gamma \cos \alpha} & C = \frac{Q + 0,97}{Q + 2,21} \quad \eta_{1-2} = C \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \rho)}
 \end{array}$$

Определение теоретических значений КПД червячного редуктора:

$$M_H = M_1 \cdot i_{1-2} \cdot \eta_{1-2} \quad \eta_{\text{ред}} = \eta_{1-2} \cdot \eta_{\text{он}}^2 \quad \eta_{\text{ред}} = f(M_H)$$

$$\eta_{\text{ред}} = \left(\frac{\frac{2 \cdot M_H}{d_2 \cdot \cos \gamma \cdot \cos \alpha} + 0,97}{\frac{2 \cdot M_H}{d_2 \cdot \cos \gamma \cdot \cos \alpha} + 2,21} \right) \cdot \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \rho)} \cdot \eta_{\text{он}}^2 = \frac{0,01988 \cdot M_H + 0,6708}{0,01988 \cdot M_H + 1,5282}$$

Планетарный механизм состоит из трех частей [5,2]:

- 1) солнечного колеса, геометрическая ось которого не изменяет своего положения в пространстве;
- 2) сателлита, геометрическая ось которого перемещается по окружности;
- 3) водила, поддерживающего ось сателлита при его вращении.

При работе планетарной передачи сателлит вращается вокруг солнечного колеса подобно тому, как планеты движутся вокруг солнца. Поэтому передача и называется планетарной.

Планетарный редуктор, который использован в лабораторной установке состоит из двух спаренных планетарных передач. Солнечные колеса имеют числа зубьев $Z_1 = Z_3 = 17$ и $Z_2 = Z_4 = 87$. Модуль зацепления $m = 0,8$ мм. Сателлиты жестко закреплены на общей оси. Их угловые скорости одинаковы. Водило (выходной вал) поддерживает перемещающуюся по окружности ось сателлитов. Ведущим является солнечное колесо Z_1 , ведомым кинематическим звеном редуктора – водило.

Передаточное отношение планетарного механизма определяется методом обращенного движения (остановки водила).

Коэффициент полезного действия обращенного механизма принимается равным

$$\eta_{1-4} = \eta_{1-2} \cdot \eta_{3-4}$$

где η_{1-2} и η_{3-4} — КПД первой и второй ступеней обращенного механизма для КПД эвольвентного зубчатого зацепления.

Общий КПД планетарного редуктора:

$$\eta_{ред} = \frac{1}{i_{1-6}} \cdot (1 - i_{1-4} \cdot \eta_{1-4}) \cdot \eta_{он}^{\rho}$$

где $\eta_{он}$ — КПД одной пары подшипников; $\eta_{он} = 0,99$; ρ — число пар подшипников.

По найденным значениям $\eta_{ред}$ можно построить теоретическую зависимость $\eta_{ред} = f(M_6)$.

Основные параметры планетарной передачи:

$$Z_1 = Z_3 = 17$$

$$Z_2 = Z_4 = 87$$

$$M_6 = M_H$$

$$i_{1-4} = \frac{Z_2 \cdot Z_4}{Z_1 \cdot Z_3} = 26,19$$

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

$$i_{1-6} = 1 - \frac{Z_2 \cdot Z_4}{Z_1 \cdot Z_3} = -25,19$$

$$C_{12} = \frac{F_{12} + 2,87}{F_{34} + 0,17}$$

$$\eta_{он} = 0,99$$

$$C_{34} = \frac{F_{34} + 2,87}{F_{34} + 0,17}$$

$$m = 0,8 \text{ мм}$$

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

$$f = 0,15$$

$$\rho = 3$$

Определение теоретических значений КПД планетарного редуктора:

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

$$\eta_{ред} = \frac{1}{i_{1-6}} \cdot (1 - i_{1-4} \cdot \eta_{1-4}) \cdot \eta_{он}^{\rho}$$

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

$$\eta_{1-4} = \eta_{1-2} \cdot \eta_{3-4}$$

$$\eta_{ред} = f(M_H)$$

$$\eta_{ред} = \frac{1}{1 - \frac{Z_2 \cdot Z_4}{Z_1 \cdot Z_3}} \cdot \left(1 - \left(\frac{Z_2 \cdot Z_4}{Z_1 \cdot Z_3} \right) \cdot \left(1 - \frac{\frac{M_1 \cdot Z_3}{m(Z_3 + Z_4)(Z_2 - Z_3)} + 2,87}{\frac{M_6 \cdot Z_2}{m(Z_3 + Z_4)(Z_2 - Z_3)} + 0,17} \cdot \pi \cdot f \cdot \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) \right) \right) \cdot \eta_{он}^p =$$

$$\left(1 - \frac{\frac{M_6 \cdot Z_2}{m(Z_3 + Z_4)(Z_2 - Z_3)} + 2,87}{\frac{M_6 \cdot Z_2}{m(Z_3 + Z_4)(Z_2 - Z_3)} + 0,17} \cdot \pi \cdot f \cdot \left(\frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_4} \right) \right)$$

$$= (-0.0385) \cdot \left(1 - 26.1903 \cdot \left(1 - \frac{\frac{M_6 \cdot 17}{5824} + 2,87}{\frac{M_6 \cdot 87}{5824} + 0,17} \cdot 1.0545 \right) \cdot \left(1 - \frac{\frac{M_6 \cdot 87}{5824} + 2,87}{\frac{M_6 \cdot 87}{5824} + 0,17} \cdot 1.0545 \right) \right)$$

Также была построена математическая модель двигателя постоянного тока типа 20У4 и порошковой муфты. Компьютерная модель показана на рис.4.

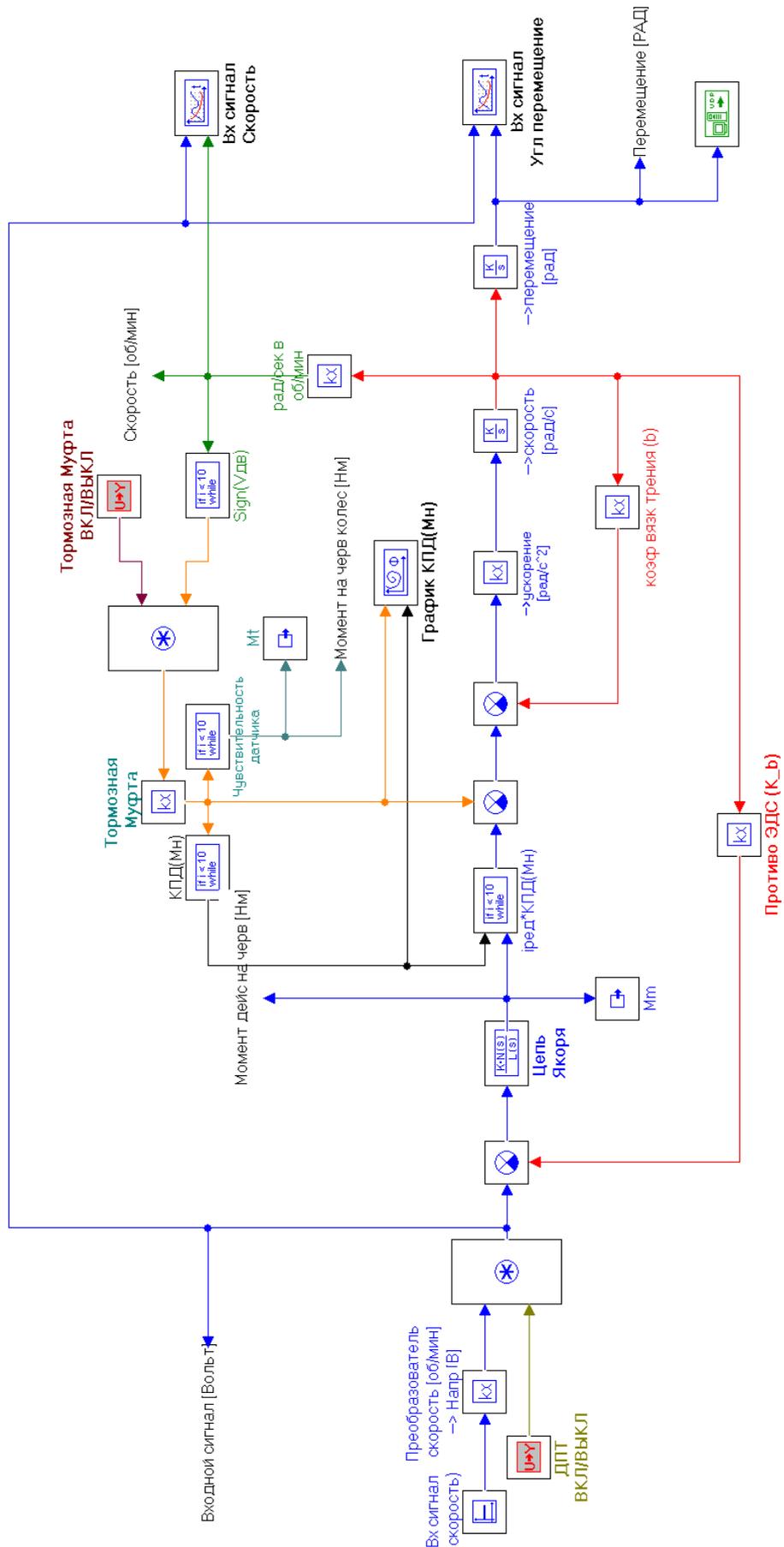


Рис. 4. Компьютерная модель станда

Компьютерная модель была создана в программном комплексе MBTU [1,3]. Компьютерная модель включает двигатель постоянного тока, тормозную муфту в качестве нагрузки. Редуктор описывается передаточным числом, умноженным на зависимость $\eta_{ред} = f(M_H)$, полученную из математической модели передачи. В целях проведения лабораторной работы, в процессе ее выполнения вводится разброс параметров некоторых зависимостей.

Панель управления и вывода информации с компьютерной модели станков

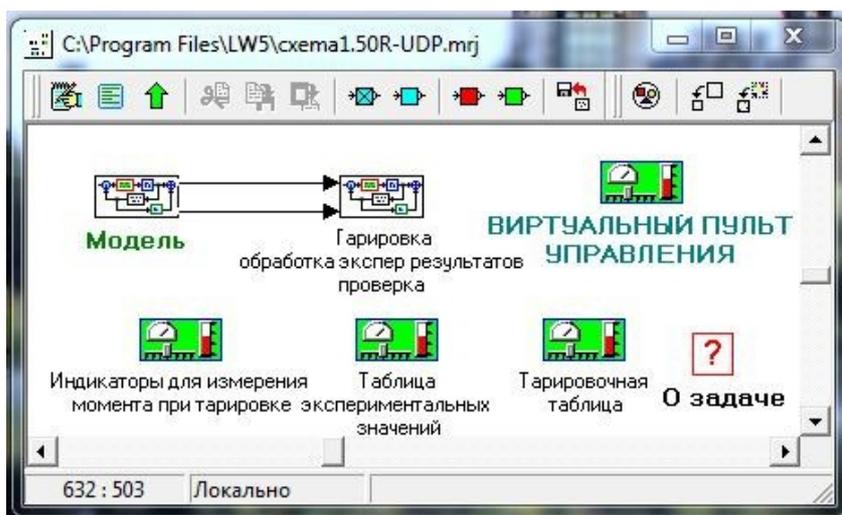


Рис. 5. Окно в MBTU

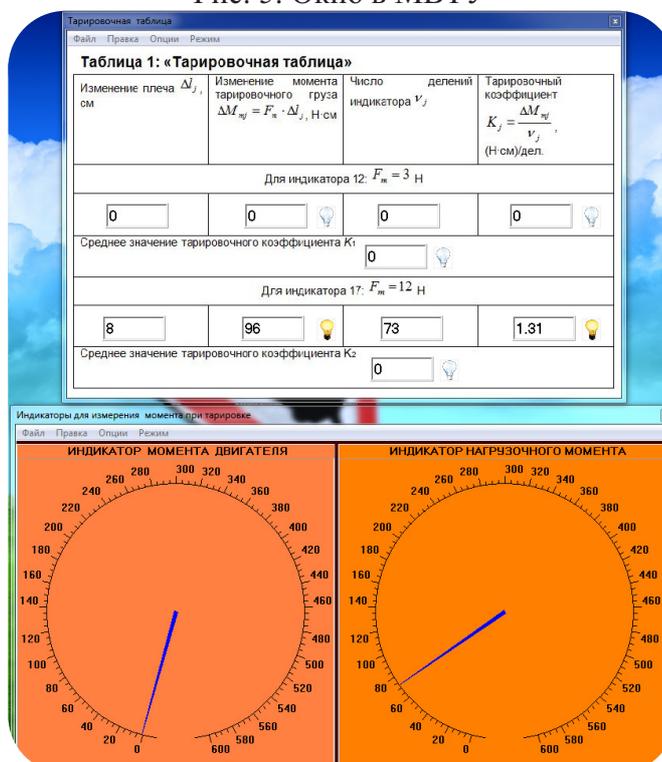


Рис. 6. Тарировочная таблица в MBTU и индикаторы момента при тарировке

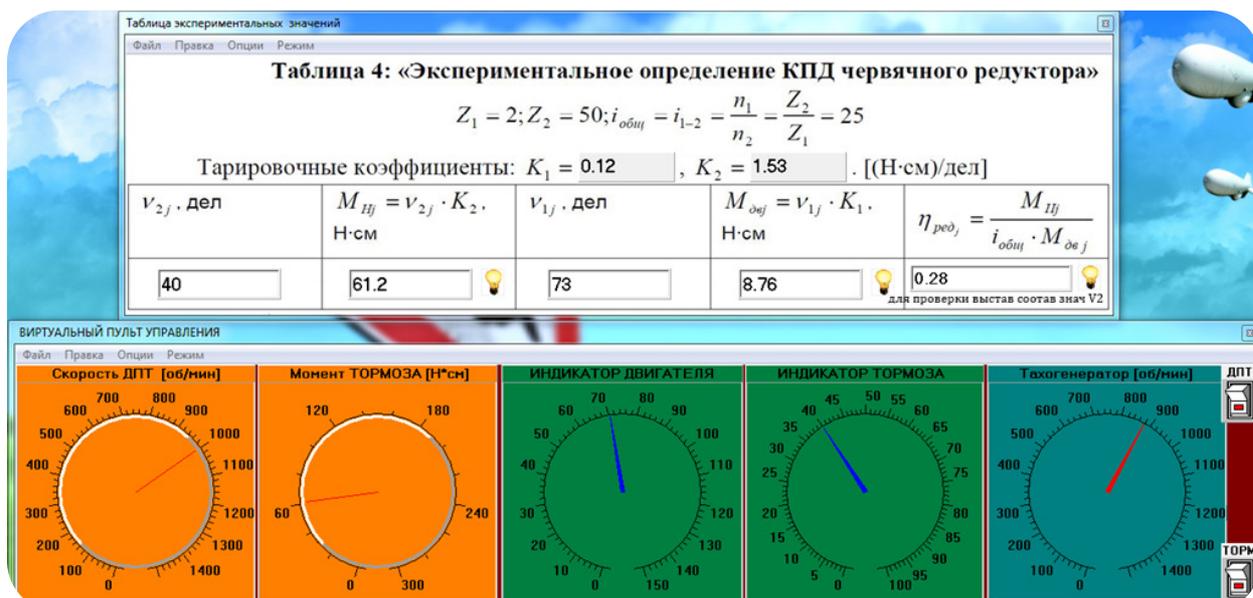


Рис. 7. Таблица для экспериментального определения КПД и приборная панель в МВТУ

Интерфейс программы (рис.5,6,7) состоит из тарировочной таблицы, индикаторов для измерения момента при тарировке, таблицы экспериментальных значений, виртуального пульта управления и системы проверки вводимых значений.

Система проверки вводимых значений работает следующим образом: если лампочка загорается, введенное значение посчитано, верно. Система осуществляет проверку арифметических операций, и сравнивает значения введенного КПД, с КПД рассчитанной компьютерной моделью.

Последовательность выполнения лабораторной работы

Тарировка датчиков момента

Тарировка устанавливает соответствие между показаниями индикаторов, и нагрузочными моментами.

Тарирование индикаторов проводится путем, смещения тарированного груза 1 (рис. 8), вдоль шкалы рычага 2 (рис. 8). При этом корпус порошковой тормозной муфты вращается вокруг собственной оси, и прижимающим упором воздействует на тарировочную пружину. Индикатор регистрирует смещение тарировочной пружины 3 (рис. 8).

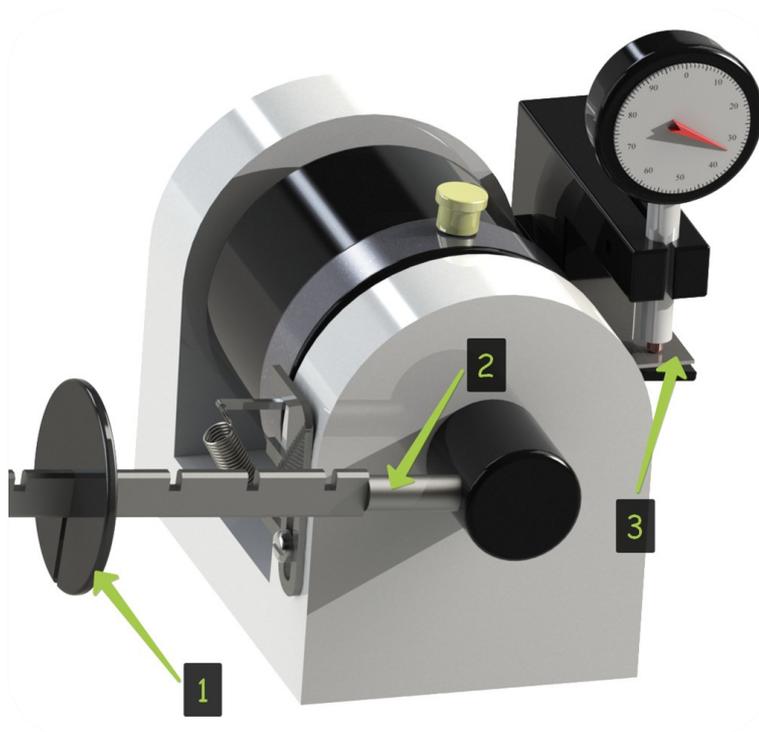


Рис. 8. Внешний вид тормозной муфты

Записываем в таблицу (см. рис.6) значение момента для i -ого плеча. Снимаем показания с индикатора. Производим вычисления i -ого тарировочного коэффициента. Записываем результаты в таблицу. Такая операция проводится на разных плечах тарировочного груза, и в результате записывается среднее арифметическое значение тарировочного параметра тормоза K_2 . Тарировка двигателя проводится аналогичным образом.

Для удобства студента создана система проверки результатов. Далее переходим к экспериментальному определению КПД редуктора.

Определение КПД

Для выполнения экспериментальной части необходимо выполнить последовательность действий (см. рис.7):

1. Включить ДПТ и выставить ручкой потенциометра, скорость двигателя согласно варианту, на тахометре.
2. Включить тормозную муфту и выставить ручкой потенциометра, момент нагрузки согласно варианту на индикаторе нагрузочного момента.
3. Снять значения с индикатора двигателя.
4. Вычислить значения кпд передачи, заполнив таблицу.
5. Повторить действия для других нагрузочных моментов.

6. Построить график $\eta_{ред} = f(M_H)$, на основе полученных значений.

Сравнение результатов модели и реального стенда

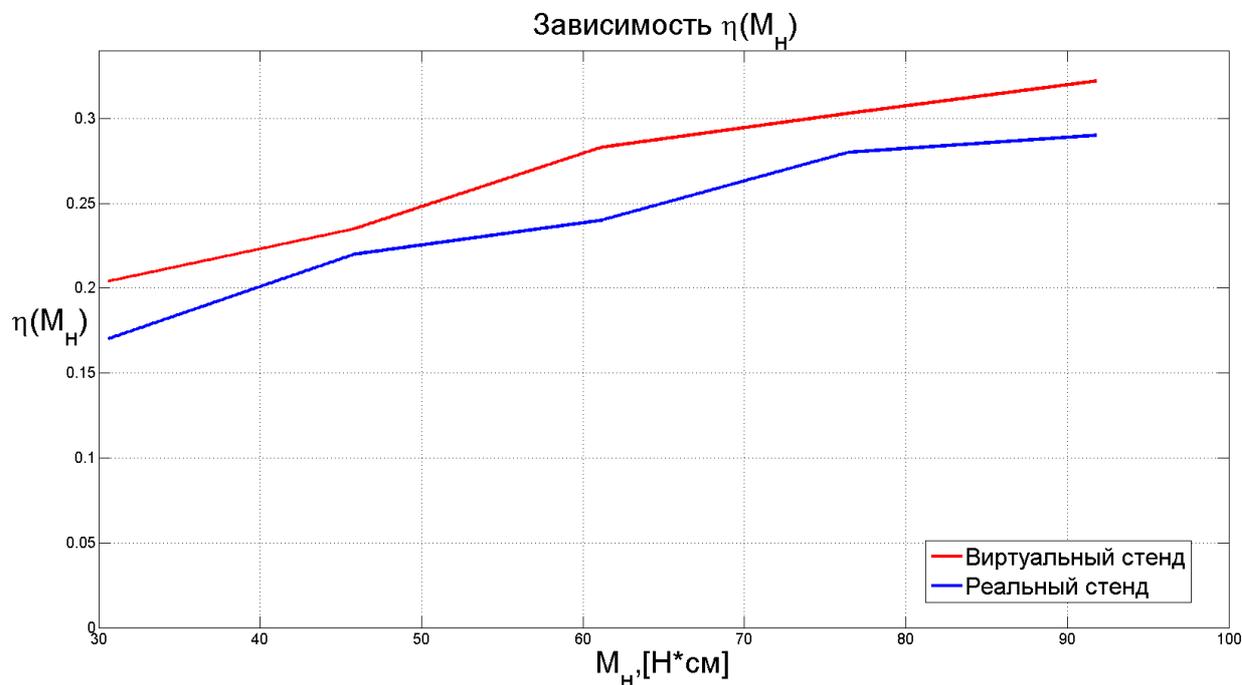


Рис. 9. График зависимости КПД от момента виртуального и реального стендов

Результатов работы виртуального стенда, отличаются от реального на 13%. Что позволяет проводить лабораторные работы на компьютере.

Заключение

В процессе работы были разработаны:

1. Математические и компьютерные модели стендов по исследованию КПД червячных и планетарных редукторов.
2. Разработан интерфейс для управления и отображения информации при работе с компьютерной моделью.
3. Разработана методика проведения лабораторных работ на компьютере по исследованию КПД червячных и планетарных редукторов.
4. Было проведено сравнение результатов работы виртуальных стендов с реальными. Отклонение значений КПД, полученных на виртуальных стендах, отличается от реальных не более, чем на 13%.

Таким образом, разработанные виртуальные стенды, позволяют проводить лабораторные работы по исследованию КПД червячных и планетарных редукторов на компьютере.

Список литературы

1. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. 832 с.
2. Нарыкова Н.И., Еремеев А.И., Потапцев И.С. Исследование приборных редукторов: методические указания. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010. 22 с.
3. Могилевский В.Г. Электромагнитные порошковые муфты и тормоза. М.: Энергия, 1964. 106 с.
4. Чернавский С.А. Проектирование механических передач. М.: Машиностроение, 1976. 600 с.
5. Планетарные передачи: справочник / под ред. В.Н. Кудрявцева, Ю.Н. Кирдяшева. Л.: Машиностроение, 1977. 536 с.