

# 11, ноябрь 2015

УДК 681.527

## **Разработка виртуального лабораторного стенда по исследованию КПД передачи «винт-гайка»**

***Волочкова А. А.**, студентка  
Россия, 160403, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Системы автоматического управления»*

***Несмелова А. С.**, студентка  
Россия, 160403, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Системы автоматического управления»*

***Тырнов П. А.**, студент  
Россия, 160403, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Системы автоматического управления»*

*Научный руководитель: Перминова Е. А., к.т.н., доцент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Элементы приборных устройств»  
[bauman@bmstu.ru](mailto:bauman@bmstu.ru)*

### **Введение**

На кафедре «Элементы приборных устройств» МГТУ им. Н.Э. Баумана ежегодно проводится лабораторная работа «Исследование КПД винтовой передачи». Реальный стенд (Рис. 1,2) требует постоянного обслуживания, находится в эксплуатации долгое время, в результате чего достоверность получаемых экспериментальных данных постоянно снижается. Кроме того, в современной системе образования постоянно увеличивается доля высокотехнологичных, интерактивных решений, которые делают процесс обучения нагляднее и интереснее. В связи с этим, вопрос разработки виртуальной модели стенда и проведения лабораторных работ на компьютере становится весьма актуальным. Поэтому была поставлена задача создания компьютерной замены реальной лабораторной установки и комплексной мультимедийной программы всей лабораторной работы, содержащей:

- методические указания к лабораторной работе, содержащие необходимые теоретические сведения по предмету исследования, порядок выполнения лабораторной работы, образец отчета по результатам работы;
- математическую интерактивную модель, разработанную в программе MBTU 3.7;
- приложение, содержащее наглядную виртуальную 3D модель реального лабораторного стенда;

Далее все эти компоненты будут рассмотрены подробнее.



Рис. 1. Внешний вид реального стенда  
(вид спереди)

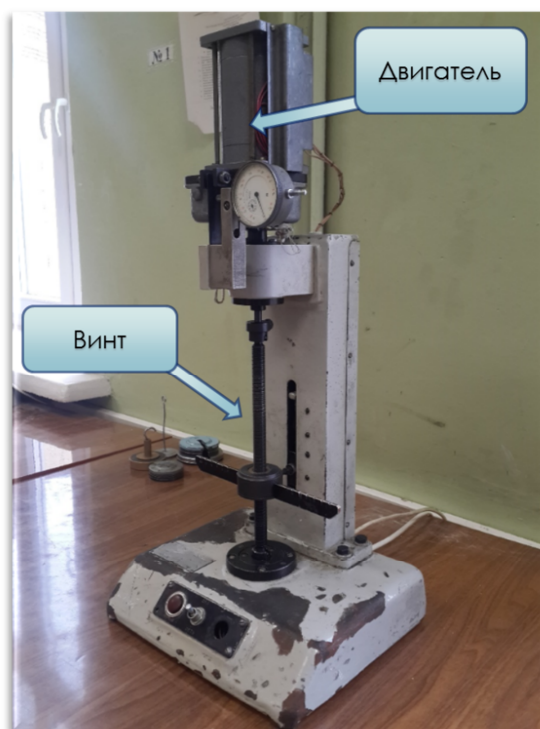


Рис. 2. Внешний вид реального стенда  
(вид сбоку)

Подобная задача уже решалась с использованием пакета *MatLab*, и рассмотрена в статье Д. Г. Остапенко, И. А. Мурзина «Моделирование лабораторной работы по курсу ОКП «Исследование КПД прямозубого зубчатого редуктора», но данный метод требует больших вычислительных ресурсов от компьютера. Для решения этой проблемы предлагается использовать другой метод с использованием пакета MBTU, программы *SolidWorks* и графического движка Irrlicht Engine, управляемого с помощью MBTU.

### **Solidworks и 3DS MAX (подготовительный этап разработки)**

Первым этапом разработки модели было эскизирование деталей реальной установки и их моделирование в среде *SOLIDWORKS* 2015, для дальнейшего их

использования при создании виртуальной 3D модели с помощью графического движка Irrlicht. Движок малотребователен к ресурсам компьютера, бесплатен, поддерживает множество форматов.

В процессе разработки был выбран «.obj», так как он позволяет осуществить относительно простое преобразование деталей для их визуализации с помощью Irrlicht из формата, в котором работает среда SolidWorks, с помощью программы 3DS MAX 2015. (рис. 3)

В результате были вручную обработаны и преобразованы более 50 деталей.

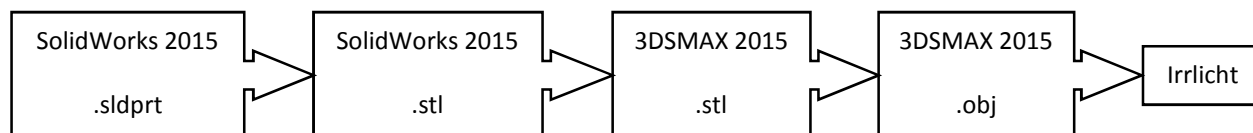


Рис. 3. Схема преобразования формата файла

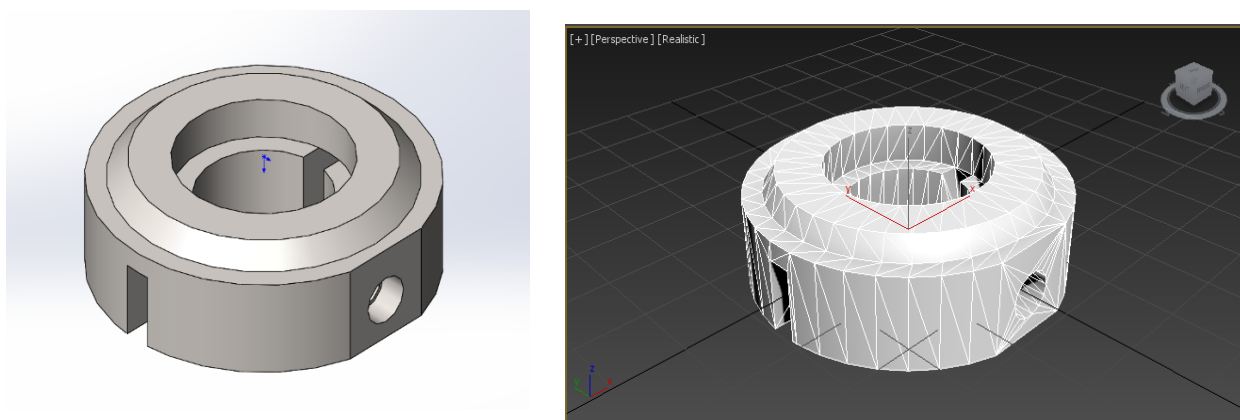


Рис. 4. Деталь в SolidWorks (слева) и 3DSMAX (справа)

Стоит заметить, что при преобразовании детали из SolidWorks в Irrlicht детализация была несколько уменьшена для снижения ресурсоемкости 3D модели и повышения быстродействия работы программы.

### **Моделирование установки в программе MBТУ 3.7**

Программный комплекс «Моделирование в технических устройствах» («МВТУ») - современная среда интеллектуального САПР, предназначенная для детального исследования и анализа нестационарных процессов в системах автоматического управления, в ядерных и тепловых энергоустановках, в следящих приводах и роботах, в любых технических системах, описание динамики которых может быть реализовано методами структурного моделирования. Является альтернативой программным продуктам

SIMULINK, VisSim, MATRIXx и др., однако гораздо менее требовательна к аппаратному обеспечению.

В программном пакете MBТУ строится математическая модель реального лабораторного стенда с использованием основных теоретических и эмпирических формул, описывающих физические процессы, происходящие в винтовой передаче. (рис. 5). Также в MBТУ создается пользовательский интерфейс для работы с программой: управлением величиной нагрузки, изменением длины плеч, включения виртуальной модели, снятия показаний с виртуальных индикаторов градуировки и нагрузки. (рис. 6), введения градуировочных и экспериментальных данных в таблицы (рис. 7)

Примечательно, что в программе MBТУ можно полностью провести лабораторную работу, а 3D модель является лишь наглядной демонстрацией введенных студентом данных. Таким образом, на слабом оборудовании возможна установка лишь нетребовательной MBТУ без установки относительно ресурсоемкой 3D модели.

$$\eta = \eta_{подш} \frac{A_n}{A_{полн}} = \eta_{подш} \frac{tg \beta}{tg(\beta + \varphi') + \frac{f \cdot d_2 \cdot tg \beta}{2 \ell \cdot \sin(\frac{\alpha}{2})}} =$$

- КПД при осевом нагружении

$$= \eta_{подш} \frac{1}{\frac{tg(\beta + \varphi')}{tg \beta} + \frac{f \cdot d_2}{2 \ell \cdot \sin(\frac{\alpha}{2})}}$$

$$\eta_{\varepsilon} = \eta_{подш} \frac{A_n}{A_{полн \varepsilon}} =$$

$$= \eta_{подш} \frac{1}{\frac{tg(\beta + \varphi')}{tg \beta} + \frac{f \cdot d_2}{2 \ell \cdot \sin(\frac{\alpha}{2})} + \frac{2f \cdot P_2 \cdot \ell_1}{P_{\varepsilon} \cdot C \cdot tg \beta}}$$

- КПД при эксцентричном нагружении

$$\eta = \frac{P \cdot S_1}{2 \cdot \pi \cdot M \cdot \eta_{подш} \cdot \eta_{ред}}$$

- экспериментальный КПД

Рис. 5. Основные формулы

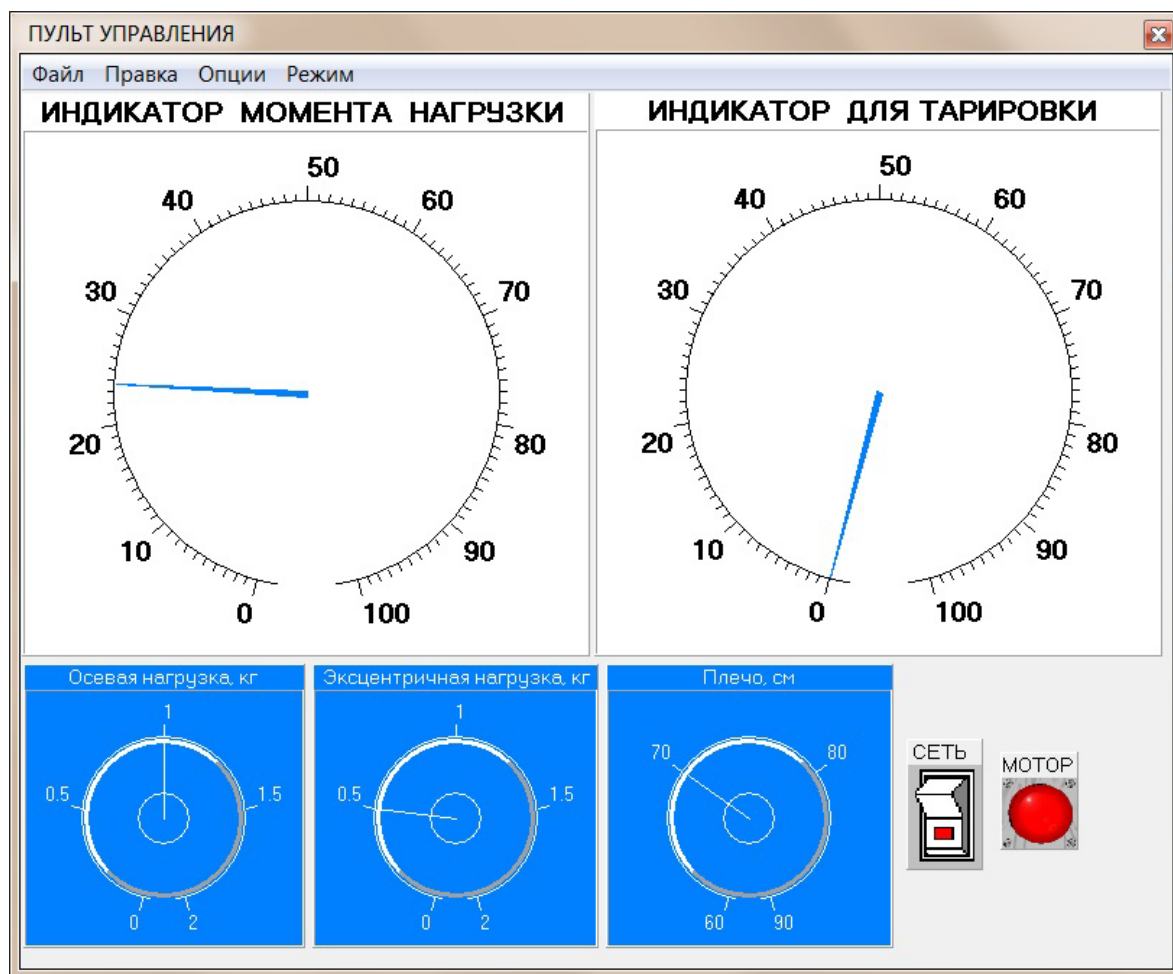


Рис. 6. Виртуальный пульт управления

Градуировочная таблица

| Масса градуировочного груза, кг                      | Момент, Н*мм | Число делений индикатора, $V_i$ | Градуировочный коэффициент, $K_{Ti}$ |
|--|--------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| 0.1  | 29.4         | 12                              | 2.42                                 |
| Среднее значение градуировочного коэффициента, $K_T$ |              |                                 | 3                                    |

Экспериментальные данные

| Условия проведения опыта |                      |             |                      |         | Результаты                             |           |           |               |
|--------------------------|----------------------|-------------|----------------------|---------|--|-----------|-----------|---------------|
| $m_1$<br>кг              | $P_1 = m_1 * g$<br>Н | $m_2$<br>кг | $P_2 = m_2 * g$<br>Н | L<br>мм | Полезная нагрузка :<br>$P = P_0 + P_1$ | $V_{дел}$ | M<br>Н*мм | КПД<br>$\eta$ |
| 1.0                      | 9.8                  | 0.0         | 0                    | 60      | 13.52                                  | 8         | 24        | 0.23          |

Рис. 7. Таблицы для ввода данных (сверху – градуировка индикатора, снизу – экспериментальные данные, снятые с виртуальной модели)

### Виртуальная 3D модель (графический движок Irrlicht)

При вводе данных в программе MBTU изменения отображаются на 3D модели установки (рис. 8). Для передачи данных, не требующих высокого быстродействия (массы грузов, длина плеча, число делений индикатора) используются текстовые файлы, а движение винта и гайки передается в реальном времени с помощью сетевого протокола UDP.

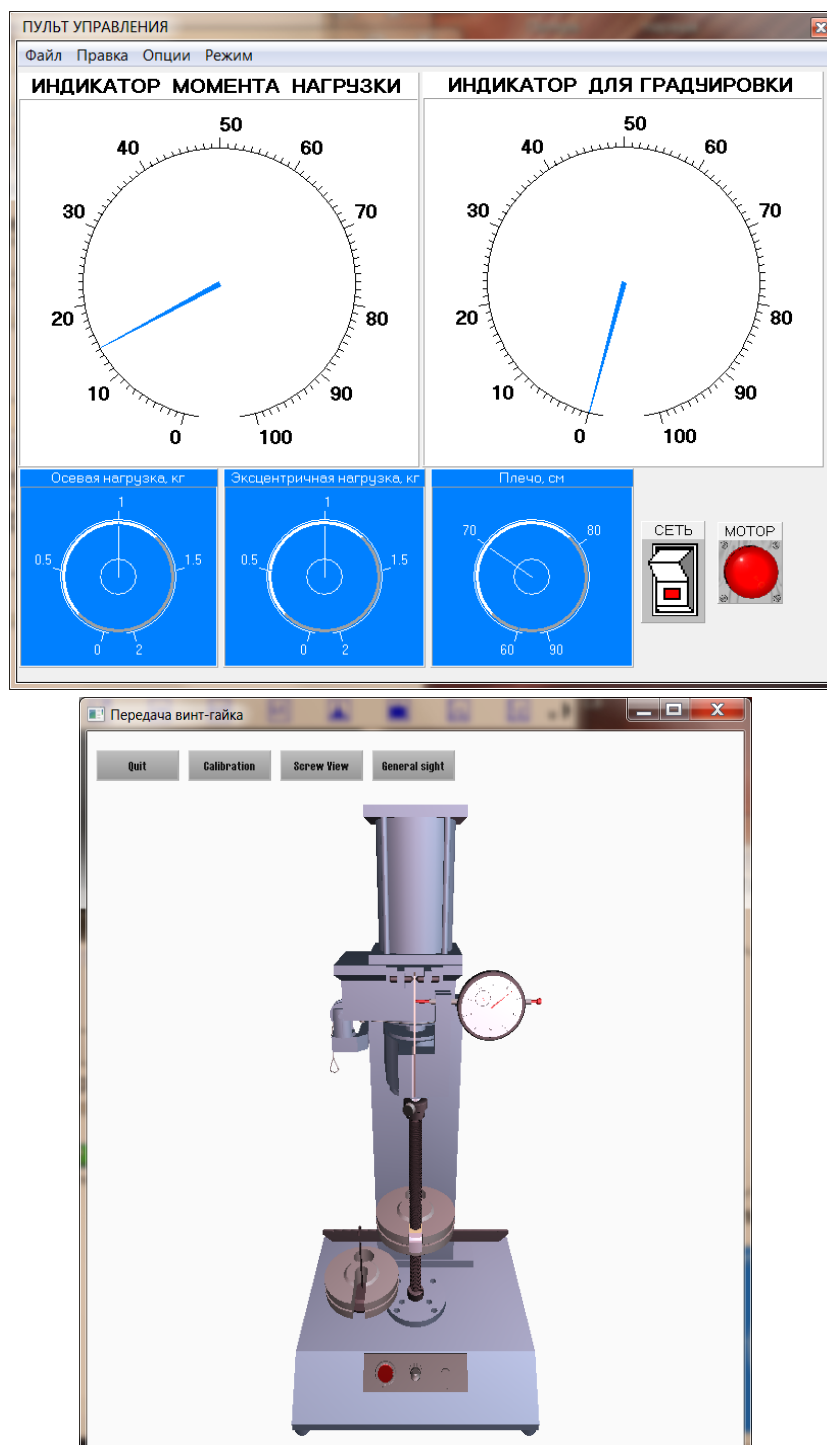


Рис. 8. Отображение изменений на 3D модели в соответствии с выставленными на пульте значениями

## Заключение

Задача разработки виртуальной модели реального лабораторного стенда выполнена, результаты соответствуют действительности. Программа может использоваться для выполнения лабораторной работы на компьютерах, делая образовательный процесс нагляднее и доступнее, вместе с тем уменьшая неизбежные механические и субъективные погрешности, оказывающие влияние на результаты эксперимента. (рис. 9)

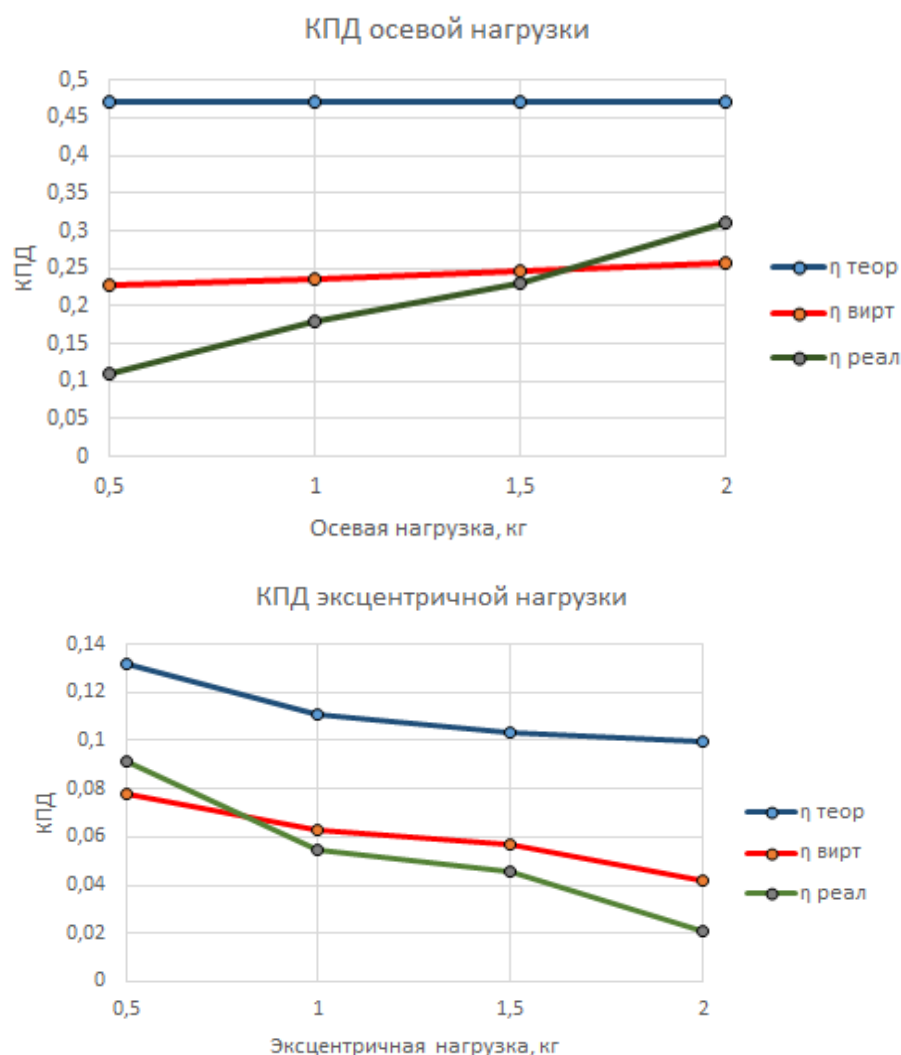


Рис. 9. КПД реальной и виртуальной установки

## Список литературы

1. Остапенко Д. Г., Мурзин И. А. Моделирование лабораторной работы по курсу ОКП «Исследование КПД прямозубого зубчатого редуктора» // Молодёжный научно-технический вестник. Электрон. журн. 2013. № 10. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/628122.html> (дата обращения 18.03.2013).

2. Веб-сайт «Моделирование в технических устройствах». Режим доступа:  
<http://mvtu.power.bmstu.ru> (дата обращения 02.06.15)
3. Тарабарин В.Б., Тарабарина З.И. Виртуальный лабораторный практикум по ТММ  
// Теория механизмов и машин. 2012. Т. 10, № 2. С. 14 – 23.