

- работа источника постоянного тока;
- процессы происходящие в проводнике постоянного тока;
- преобразование электрической энергии в тепловую;
- модель двигателя постоянного тока;
- зависимость сопротивления проводника от температуры;
- зависимость сопротивления полупроводника от температуры;
- модель действия p-n перехода (диод);
- модель работы транзистора.

В докладе на конференции будут представлены разработанные компьютерные модели по изучению основ электрорадиотехники в курсе физики средней общеобразовательной школы.

**В.И. Ефимов (УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель)**

Науч. рук. **В.Б. Попов**, к.т.н., доцент

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ТРАНСМИССИИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА**

В настоящее время современная наука и промышленное производство предъявляют повышенные требования к математическому моделированию сельскохозяйственных агрегатов. Компьютерное моделирование этих технических объектов позволяет в сжатые сроки с достаточно большой точностью провести исследование практически любой технической системы, установить “работоспособные” параметры, режимы работы, надежность и долговечность системы. Следует отметить, что данный метод исследования динамики сельхозмашин отличается относительно низкой себестоимостью. Наиболее качественным и доступным программным инструментом для исследования математических моделей сельскохозяйственных агрегатов являются системы компьютерной математики (СКМ) – MathCad, Maple, Matlab.

Данная работа посвящена исследованию динамических нагрузок в трансмиссии трактора в двух СКМ – MathCad и Matlab .

При исследовании динамических нагрузок в трансмиссии УЭС-2-250А вместо реального МТА принимается эквивалентная ему в динамическом отношении расчетная модель, в состав которой входят маховые массы, заменяющие отдельные вращающиеся и поступательно движущиеся массы с/х агрегата, фрикционные элементы, имитирующие работу сцепления и буксование УЭС-2-250А, упругие элементы, харак-

теризующие податливости деталей трансмиссии, двигателя и сцепки УЭС-2-250А с сельскохозяйственной машиной или орудием. Для соблюдения динамического подобия расчетной модели маховые массы выбираются так, чтобы кинетическая энергия каждой из них была равна кинетической энергии заменяемой ею массы с/х агрегата [1], [2].

Исследование динамических нагрузок в трансмиссии УЭС-2-250А было проведено на шестимассовой расчетной модели (рисунок 1).

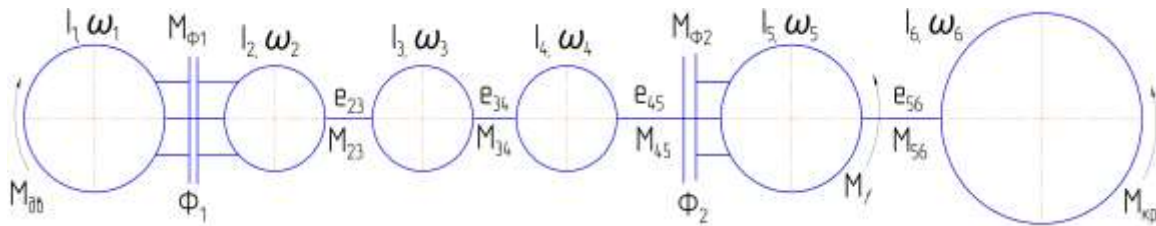


Рисунок 1 – Динамическая система с/х агрегата

Принятые обозначения на рисунке:  $I_i$  – моменты инерции маховых масс, приведенные к коленчатому валу двигателя, из которых  $I_1$  имитирует вращающиеся и возвратно-поступательно движущиеся массы двигателя и ведущие детали сцепления,  $I_2$  – вращающиеся детали ведомой части сцепления,  $I_3$  – вращающиеся детали трансмиссии,  $I_4$  – вращающиеся массы движителя,  $I_5$  – поступательно движущуюся массу трактора,  $I_6$  – вращающиеся и поступательно движущиеся массы агрегатируемой машины;  $\Phi_1$  – фрикционная муфта, имитирующая работу сцепления;  $\Phi_2$  – фрикционная муфта, имитирующая буксование движителя УЭС-2-250А;  $e_{ij}$  – крутильные податливости, приведенные к коленчатому валу двигателя, из них  $e_{23}$  – суммарная податливость трансмиссии;  $e_{34}$  – податливость привода от ведомой шестерни главной передачи к ведущим колесам;  $e_{45}$  – податливость движителя и грунта;  $e_{56}$  – податливость тягово-цепного устройства УЭС-2-250А.

Математическая модель трансмиссии представлена системой дифференциальных уравнений, которая модифицируется следующим образом. Если сцепление буксует ( $\varphi_i \neq \omega_i$ ), то система имеет вид (1), если сцепление не буксует ( $\varphi_i = \omega_i$ ), система имеет вид (2).

$$\begin{aligned}
& \text{Система ДУ 1} \\
& I_1 \dot{\omega}_1 = M_{\dot{a}\dot{a}} - \dot{I}_{\dot{\theta}1}; \\
& I_2 \dot{\omega}_2 = M_{\dot{\theta}1} - \dot{I}_{23}; \\
& \dot{M}_{23} e_{23} = \omega_2 - \omega_3; \\
& \dot{M}_{34} e_{34} = \omega_3 - \omega_4; \\
& \dot{M}_{45} e_{45} = \omega_4 - \omega_5; \\
& \dot{M}_{56} e_{56} = \omega_5 - \omega_6; \\
& I_3 \dot{\omega}_3 = M_{23} - M_{34}; \\
& I_4 \dot{\omega}_4 = M_{34} - M_{45}; \\
& I_5 \dot{\omega}_5 = M_{45} - M_{56} - M_f; \\
& I_6 \dot{\omega}_6 = M_{56} - M_{\dot{\theta}\dot{\theta}};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \text{Система ДУ 2} \\
& (I_1 + I_2) \dot{\omega}_1 = M_{\dot{a}\dot{a}} - \dot{I}_{23}; \\
& \dot{M}_{23} e_{23} = \omega_2 - \omega_3; \\
& \dot{M}_{34} e_{34} = \omega_3 - \omega_4; \\
& \dot{M}_{45} e_{45} = \omega_4 - \omega_5; \\
& \dot{M}_{56} e_{56} = \omega_5 - \omega_6; \\
& I_3 \dot{\omega}_3 = M_{23} - M_{34}; \\
& I_4 \dot{\omega}_4 = M_{34} - M_{45}; \\
& I_5 \dot{\omega}_5 = M_{45} - M_{56} - M_f; \\
& I_6 \dot{\omega}_6 = M_{56} - M_{\dot{\theta}\dot{\theta}};
\end{aligned}$$

На маховые массы расчетной модели действуют моменты, приведенные к коленчатому валу двигателя:  $M_{\dot{\theta}\dot{\theta}}$  – момент, развиваемый двигателем;  $M_f$  – момент сопротивления движению УЭС;  $M_{KP}$  – момент сопротивления агрегируемой сельскохозяйственной машины или орудия. Момент  $M_{45}$ , развиваемый ведущими колесами УЭС, ограничен моментом их сцепления с опорной поверхностью  $M_{\phi 2}$ .

Алгоритм реализации и исследования модели в системе MathCAD заключается в следующем: после ввода исходных данных осуществляется решение системы (1) с помощью функции `rkfixed`, затем выполняется анализ и вычисление значения времени, когда угловая скорость первой массы станет меньше угловой скорости второй массы, именно это числовое значение выбирается в качестве начального для решения системы (2). Выполняется графическая интерпретация полученных значений угловых скоростей и моментов для выбранного орудия, агрегируемого с УЭС-2-250А. Затем модель исследуется для других видов агрегируемых орудий, например, таких как культиватор, сеялка, комбайн свеклоуборочный и т.д.

В системе Matlab для решения задачи создан удобный пользовательский интерфейс, который помогает ввести исходные данные либо с клавиатуры, либо загрузить их из заранее подготовленного файла, выбрать тип навесного орудия, агрегируемого с УЭС-2-250А, произвести расчет параметров орудия и вывести результаты расчетов в графическом виде. Интерфейс создавался с помощью специальной утилиты `GUID`, которую содержит Matlab. Дальнейший алгоритм реализации модели совпадает с алгоритмом, опробованным в MathCAD, но преимуществом реализации модели в Matlab является возможность перехода на блочный метод

моделирования в Simulink, который более нагляден и удобен при решении моделей, описываемых системами уравнений, подобных (1) и (2). Дальнейшее развитие работы предполагает создание такой блочной модели, подключение ее к графическому интерфейсу и сравнение полученных результатов моделирования. На рис. 2 приведен вид одного из окон графического интерфейса системы моделирования динамических нагрузок в трансмиссии УЭС-2-250А.

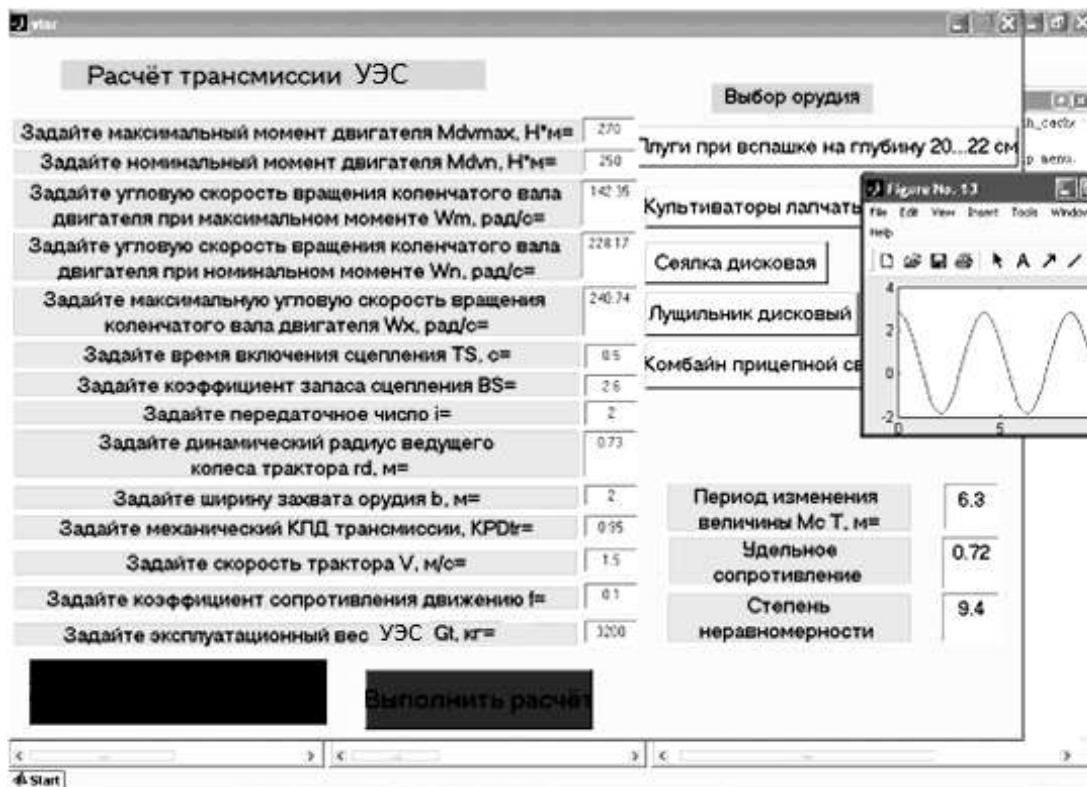


Рисунок 2 – Вид окна графического интерфейса

Выполненная работа показала, что в СКМ достаточно эффективно можно исследовать динамические нагрузки в трансмиссии УЭС-2-250А с различными видами агрегируемых сельхозорудий, подобрать параметры элементов трансмиссии, используя визуальное отображение результатов выполняемых исследований в графическом виде.

### Литература

1. Гуськов, В. В. Тракторы. Часть VII. Лабораторный практикум. / В. В. Гуськов. – Мн.: Вышэйш. шк., 1988. – 384 с.
2. Молибошко, Л. А. Компьютерное моделирование автомобилей: учеб. пособие для студентов специальности «Автомобилестроение» учреждений, обеспечивающих получение высшего образования / Л. А. Молибошко. – Минск, ИВЦ Минфина, 2007. – 280 с. ил.