

УДК 631.372-235:004.94

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСМИССИИ
МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ**

Попов В.Б., Трохова Т.А.

Гомельский государственный технический университет имени
П.О. Сухого

Аннотация. В работе рассмотрен подход к исследованию параметров трансмиссии уборочных машин с применением методов компьютерного моделирования в системах компьютерной математики и пакетах схемотехники. Подход позволяет после построения базовой блочно-иерархической модели трансмиссии выполнять уточнение модели путем замены варьируемых блоков из пользовательской библиотеки пакета схемотехники.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, трансмиссия машинно-тракторного агрегата, математическая модель.

Введение. Требования, предъявляемые в настоящее время к качеству проектирования сельхозмашин, невозможно удовлетворить без глубокой и всесторонней проработки их математических моделей. Работа проектировщика на этапе моделирования связана со сложными и громоздкими аналитическими выкладками, предшествующими численному анализу. В свою очередь, грамотное управление и численная интерпретация модели также требуют от инженера высокой математической квалификации и понимания специфических аспектов математических вычислений и преобразований, эрудиции и опыта выполнения подобной работы. Очередной импульс разработки в направлении автоматизации проектирования и моделирования сельхозмашин дали достижения в области систем компьютерной математики и схемотехники. Компьютерное моделирование динамики машинно-тракторного агрегата (МТА) позволяет в сжатые сроки с достаточной большой точностью провести исследование технической системы, установить работоспособные параметры, режимы работы, ее надежность и долговечность. Следует отметить, что данный метод исследования динамики сельхозмашин отличается относительно низкой себестоимостью.

Анализ инструментария реализации компьютерных моделей. Наиболее качественным и доступным программным инструментом для исследования математических моделей сельскохозяйственных агрегатов являются системы компьютерной математики (СКМ), такие как Mathcad, Maple, Matlab, Scilab. В настоящее время идет стремительное развитие направления разработки инструментальных средств схмотехнического и имитационного моделирования, включающего такие системы как Simulink, Xcos, Vissim, AnyLogic, MvStudium и др. И если системы компьютерной математики позволяют выполнить инженерные расчеты в удобном для пользователя виде, избегая специфических элементов программирования, то системы схмотехнического и имитационного моделирования позволяют разработать модель в виде схемы из набора блоков, соединенных линиями связи, и выполнить расчет модели в реальном времени. Для разработки и исследования модели динамики трансмиссии МТА были выбраны СКМ Matlab и Simulink.

Описание подхода к моделированию трансмиссии. В настоящее время моделирование МТА ведется на основе программных комплексов, разработанных либо самими проектировщиками, либо программистами конструкторских подразделений. Уточненный расчет части элементов модели выполняется в Mathcad. Настройка на нужные параметры или внесение в модель новых элементов не всегда может осуществляться без изменения исходного кода программы, поэтому модель зачастую, выигрывая в скорости, теряет в нужной гибкости и целостности. Предлагаемый подход к моделированию заключается в том, что после разработки базовой блочно-иерархической модели, носящей робастный характер, можно выполнять уточнение модели и настройку ее на нужные параметры путем замены варьируемых блоков модели на новые, хранящиеся в библиотеке пользователя. Такой подход, имея творческую основу, позволяет проектировщику легко провести нужные исследования и, при необходимости, пополнить библиотеку варьируемыми блоками. Подход реализован на основе пакета Simulink системы Matlab и одновременно в приложении Xcos системы Scilab. Апробация подхода выполняется при ведении курсового и дипломного проектирования студентами специальности «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники».

Описание математической модели. При исследовании динамических нагрузок в трансмиссии трактора вместо реального МТА принимается эквивалентная ему в динамическом отношении расчетная модель, в состав которой входят маховые массы, заменяющие отдельные вращающиеся и поступательно движущиеся массы тракторного агрегата, фрикционные элементы, имитирующие работу сцепления и буксование движителя трактора, упругие

элементы, характеризующие податливости деталей трансмиссии, двигателя и сцепки трактора 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 тракторного агрегата [1,2].

Исследование динамических нагрузок в трансмиссии трактора было проведено на шестимассовой расчетной модели (рисунок 1).

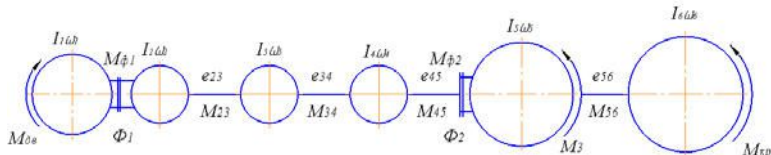


Рисунок 1 - Динамическая схема трансмиссии МТА

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 агрегируемой машины; Φ_1 – фрикционная муфта, имитирующая работу сцепления; Φ_2 – фрикционная муфта, имитирующая буксование движителя трактора; 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-сцепного устройства трактора. На маховые массы расчетной модели действуют моменты, приведенные к коленчатому валу двигателя: M_{ω} – момент, развиваемый двигателем; M_f – момент сопротивления движению трактора; $M_{\text{кр}}$ – момент сопротивления агрегируемой сельскохозяйственной машины или орудия. Момент M_{45} , развиваемый ведущими колесами трактора, ограничен моментом их сцепления с опорной поверхностью $M_{\Phi 2}$.

При проектировании трансмиссии трактора часто возникает необходимость решения следующих расчетных задач: определения нагрузочного режима деталей при движении трактора в реальных условиях эксплуатации; расчета максимальных динамических нагрузок, действующих на детали и т.д. Динамическая модель трансмиссии разрабатывается в соответствии с этими требованиями. Наиболее тщательной проработки требует такой важный элемент процесса движения

трактора как трогание с места, так как в модели нужно учитывать возможность буксования механизма сцепления.

Математическая модель динамики трансмиссии представлена системой дифференциальных уравнений первого порядка, которая модифицируется следующим образом. Если сцепление буксует ($\varphi_i \neq \omega_i$), то система имеет вид (1), если сцепление не буксует ($\varphi_i = \omega_i$), то первые два уравнения системы (1) заменяются на уравнение (2), остальные уравнения системы остаются неизменными.

$$\left. \begin{aligned} I_1 \dot{\omega}_1 &= M_{\text{дв}} - M_{\varphi 1}; \\ I_2 \dot{\omega}_2 &= M_{\varphi 1} - M_{23}; \\ \dot{M}_{23} e_{23} &= \omega_2 - \omega_3; \\ \dot{M}_{34} e_{34} &= \omega_3 - \omega_4; \\ \dot{M}_{45} e_{45} &= \omega_4 - \omega_5; \\ \dot{M}_{56} e_{56} &= \omega_5 - \omega_6; \\ I_3 \dot{\omega}_3 &= M_{23} - M_{34}; \\ I_4 \dot{\omega}_4 &= M_{34} - M_{45}; \\ I_5 \dot{\omega}_5 &= M_{45} - M_{56} - M_f; \\ I_6 \dot{\omega}_6 &= M_{56} - M_{кр}; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$(I_1 + I_2) \dot{\omega}_1 = M_{\text{дв}} - M_{23} \quad (2)$$

Модель момент двигателя в общей модели динамики трансмиссии представлен функцией времени, хотя была исследована возможность представления ее в виде функции от угловой скорости, обе модели дали при реализации идентичный результат.

Реализация математической модели. В качестве инструментария для реализации математической модели трансмиссии выбрана система компьютерной математики Matlab и ее прикладные пакеты Simulink и Stateflow. Выбор обосновывается тем, что математическая модель представлена двумя системами дифференциальных уравнений, следовательно, нужно отразить два состояния модели и разработать переход из одного состояния в другое с корректно заданным условием перехода. Этот базовый элемент модели выполняется с помощью блоков состояний и переходов со сторожевыми условиями Stateflow-диаграммы.

Следующий этап построения компьютерной модели – разработка иерархических блоков Subsystem, решающих системы дифференциальных уравнений (1) и (2). Модель имеет трехуровневую иерархическую структуру, что значительно повышает наглядность

модели, дает возможность ее расширения без внесения больших изменений в уже существующую модель. Подсистемы второго уровня содержат подсистему расчета угловых скоростей и подсистему расчета моментов, каждая из которых решает соответствующие дифференциальные уравнения системы (1). На рисунке 2 приведен фрагмент имитационной схемы, реализующей математическую модель, описанную системой (1).

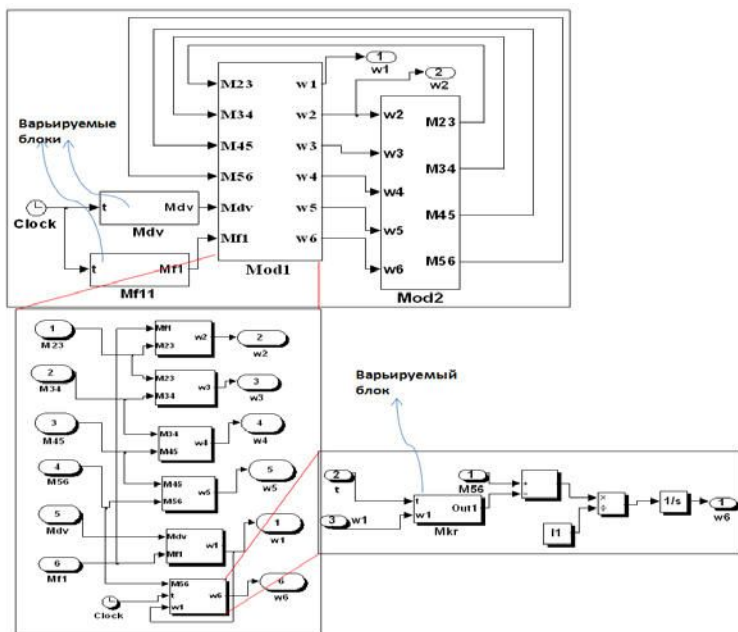


Рисунок 2 – Фрагмент компьютерной имитационной модели динамики трансмиссии МТА

Подбор варьируемых блоков осуществляется из пользовательской библиотеки блоков. Например, варьируемыми могут являться блок моментов двигателя, блок момента в сцеплении, блок момента сопротивления движению агрегируемого орудия (культиватора, сеялки, лушильника) и т.д. Результаты моделирования представлены в виде графиков и файлов данных, которые могут обрабатываться автономно при дальнейшем расширении модели.

На рисунке 3 приведены результаты решения системы уравнений (1). В начальный момент времени все выходные параметры модели равны нулю, кроме скорости вращения двигателя. Крутящий момент и момент трения сцепления нарастают по экспоненциальному

закону. Так как значения момента трения сцепления больше, чем значений крутящего момента двигателя, то скорость вращения двигателя при буксующем сцеплении вначале уменьшается. Когда буксование прекращается, двигатель разгоняется до максимальной скорости, а затем процесс разгона прекращается.

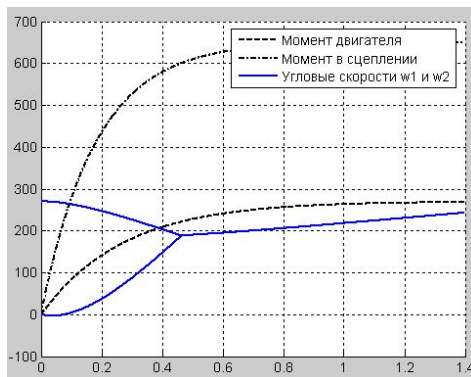


Рисунок 3 – Графики моментов и угловых скоростей процесса разгона МТА

Выводы:

Апробация предложенного подхода к моделированию показала, что использование СКМ и пакетов схемотехники позволяет достаточно эффективно выполнить исследование динамических нагрузок в трансмиссии МТА, подобрать параметры элементов трансмиссии. Применение подхода в учебном процессе дает возможность студентам активно влиять на алгоритм моделирования, лучше осознать специфику различных моделей и приблизить развитый математический аппарат к работе инженера-проектировщика.

Список использованных источников

1. Гуськов, В.В. Тракторы. Часть VII. Лабораторный практикум. /В.В. Гуськов. – Мн.: Вышэйш. шк., 1988.
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.
3. Чупрынин, Ю.В., Шуринов, В.А., Балакин В.А. Динамические свойства механической трансмиссии комбайна «Полесье-800» //Тракторы и сельхозмашины. – 2000. - №5. С. 26-29.
4. Лазарев, Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB.

Учебный курс. — СПб.: Питер; Киев: Издательская группа ВНУ, 2005. — 512 с.

5. Тарасик, В.П. Математическое моделирование технических систем. – Мн.:ДизайнПро, 2004.

6. Математическое моделирование: пособие по одноименному курсу для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники»/ В.Б. Попов.- Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2007.

7. Математическое моделирование и автоматизированное проектирование технических систем: пособие по одноим. курсу для студентов специальности 1-40 01 02 «Информационные системы и технологии (по направлениям)»/ Т.А. Трохова. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2011.

Виктор Борисович Попов, кандидат технических наук, доцент, Татьяна Анатольевна Трохова, кандидат технических наук, доцент, trohova77@rambler.ru, Республика Беларусь, Гомель, Гомельский технический университет имени П.О. Сухого

COMPUTER MODELLING OF TRANSMISSION TRACTOR UNITS

Popov V.B., Trohova T.A.

Abstract. The paper considers the approach to the study of sweepers transmission parameters using computer modeling techniques in mathematics and computer bags circuitry systems. The approach allows after building a base of block-hierarchical transmission models carry the refinement of the model by replacing the variable blocks from a custom library circuitry package.

Popov V.B., Ph.D., associate professor, Trohova T.A., Ph.D., Associate Professor, trohova77@rambler.ru, Republic of Belarus, Gomel, Gomel Sukhoi State Technical University