

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА В ПАКЕТЕ MATLAB

А. А. Полуянов

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научные руководители: В. Б. Попов, Т. А. Трохова

Автоматизированное конструирование тракторов и сельскохозяйственных машин опирается на имитационное и математическое моделирование их узлов и агрегатов.

В работе исследуется функциональная математическая модель (ФММ) машинно-тракторного агрегата (МТА), состоящего из движущегося колесного трактора с навесной машиной (рабочим орудием), переведенной в транспортное положение.

Сформированная ФММ предназначена для расчёта параметров вибрации переднего и заднего мостов трактора, с учётом влияния микрорельефа опорной поверхности.

Профиль поля или грунтовой дороги определяется микропрофилем поверхности, которая индуцирует колебания колесных движителей. Таким образом, основным источником колебаний рассматриваемого МТА являются неровности опорной поверхности – сельскохозяйственного фона, имеющие случайный характер [1]. Вибра-

ция колес, в свою очередь, передается на корпус трактора, что отрицательно влияет как на водителя, так и на надежность работы узлов и агрегатов МТА.

Для исследований колебаний остова трактора была составлена расчетная схема поддрессоривания трактора, содержащая упругие и демпфирующие элементы. Она представлена на рис. 1 и имитирует динамику транспортного переезда МТА. Расчетная схема сформирована на основе метода сосредоточенных масс и включает массы МТА ( $m_1, M_1, M_2$ ), а также упругие ( $c_{p1}, c_{ш1}, c_{ш2}$ ) и демпфирующие элементы ( $k_{p1}, k_{ш1}, k_{ш2}$ ) воспринимающие и смягчающие толчки со стороны сельхозфона.

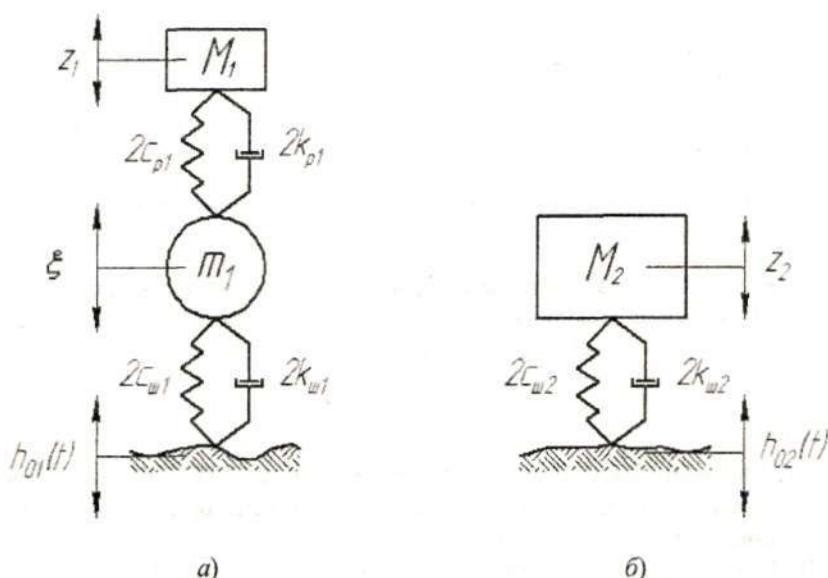


Рис. 1. Расчетная схема машинно-тракторного агрегата:  
а – передняя часть; б – задняя часть

При составлении расчетной схемы (рис. 1) учитывались следующие ограничения:

- 1) силы неупругого сопротивления в подвеске и шинах считаются пропорциональными скорости колебаний;
- 2) характеристики упругих элементов подвески – линейные;
- 3) колебания МТА рассматриваются в продольной вертикальной плоскости;
- 4) при рассмотрении колебаний остова трактора не учитывается влияние колебаний водителя на сидении.
- 5) в движении колеса сохраняют точечный, но постоянный контакт с опорной поверхностью.

Важным компоновочным параметром МТА, в зависимости от которого можно выбирать тип расчетной схемы, является коэффициент поддрессоренных масс

$$\varepsilon = \frac{\rho^2}{ab},$$

где  $\rho$  – радиус инерции МТА;  $a, b$  – расстояние по горизонтали от центра тяжести МТА до точки контакта переднего и заднего колеса с опорной поверхностью.

В случаях, когда  $0,8 < \varepsilon < 1,2$  [2], колебания переднего и заднего мостов колесного трактора «Беларус» можно рассматривать как практически несвязанные.

Предлагаемая расчетная схема описывается линейными дифференциальными уравнениями (ДУ) вертикальных колебаний [1], которые получены из уравнения Лагранжа второго рода, подстановкой в него выражений для кинетической и потенциальной энергий МТА. В результате выполненных преобразований ДУ, описывающие контакт передних колес трактора с опорной поверхностью имеет вид:

$$\ddot{z}_1 + h_1 \cdot \dot{z}_1 + \omega_1^2 \cdot z_1 - h_1 \cdot \dot{\xi}_1 - \omega_1^2 \cdot \xi_1 = 0,$$

$$\ddot{\xi}_1 + h_{k1} \cdot \dot{\xi}_1 + \omega_{k1}^2 \cdot \xi_1 - h_1 \cdot \dot{z}_1 - \omega_{k1}^2 \cdot z_1 = h_{k1} \cdot h_{01}(t) + \omega_{k1}^2 \cdot h_{01}(t),$$

где  $z_1$  – перемещение поддресоренной массы  $M_1$ ;  $\xi_1$  – перемещение неподдресоренной массы  $m_1$ ;  $h_1$  – деформация упругих элементов подвески переднего моста;  $h_{01}(t)$  – неровности сельхоз фона под колесами моста;  $\omega_{k1}$  – частота угловых колебаний поддресоренных масс.

Соответственно ДУ, описывающие контакт задних колес трактора с опорной поверхностью:

$$\ddot{z}_2 + h_2 \cdot \dot{z}_2 + \omega_2^2 \cdot z_2 = h_2 \cdot h_{02}(t) + \omega_2^2 \cdot h_{02}(t).$$

Особенностью формирования данной ФММ транспортного переезда МТА являются: учет влияния переведенной в транспортное положение навесной машины [3], которая приводит к изменению положения центра тяжести трактора и соответствующему изменению общего момента инерции МТА.

Расчет и моделирование движения МТА в режиме транспортного переезда был выполнен в пакете «Matlab». Например, ДУ, описывающие контакт передних и задних колес трактора с опорной поверхностью были решены с помощью редактора решения дифференциальных уравнений (DEE) в приложении Simulink (рис. 2).

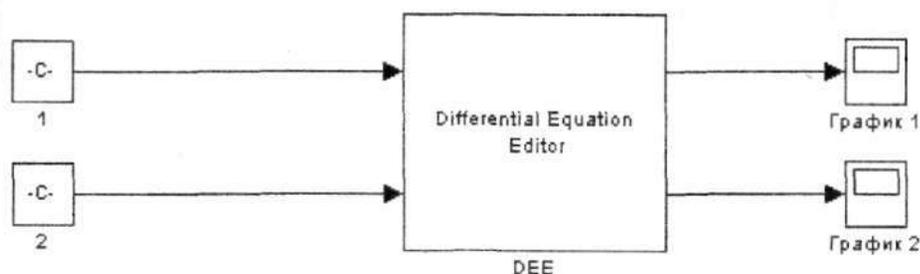


Рис. 2. Схема преобразования исходной информации в блоке DEE

Воздействия сельхозфона были представлены с помощью специальных блоков пакета Simulink, в результате расчёта по модели получили графики перемещения и ускорения центра тяжести передней и задней подвесок.

При моделировании пользователь может выбрать метод решения ДУ, а также способ изменения режима реального времени. В ходе моделирования имеется возможность следить за процессами, происходящими в системе. Для этого используются специальные устройства наблюдения, входящие в состав библиотеки Simulink. Результаты моделирования могут быть представлены в виде графиков или таблиц.

Преимущество использования приложения Simulink в процессе имитационного моделирования по сравнению с пакетом Mathcad заключается в том, что он позволяет пополнять библиотеки блоков с помощью подпрограмм, написанных как на языке MATLAB, так и на языках C++, Fortran, Ada и другие языки высокого уровня.

Графики зависимости перемещения сосредоточенных масс передней и задней части остова трактора «Беларус-1025» от времени, и ускорения перемещения масс представлены на рис. 3 и рис. 4, соответственно.

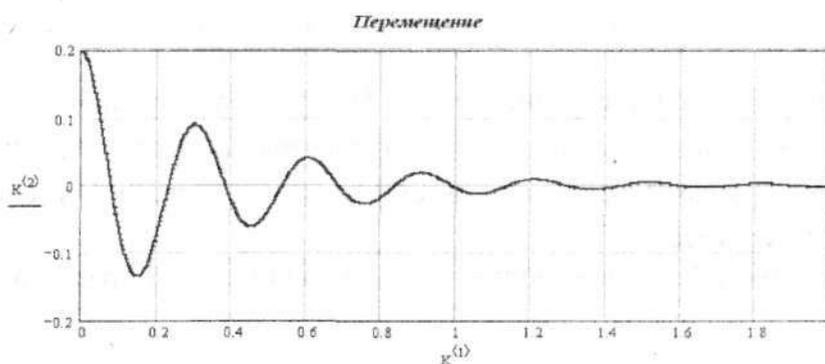


Рис. 3. График зависимости перемещения масс остова машинно-тракторного агрегата от времени

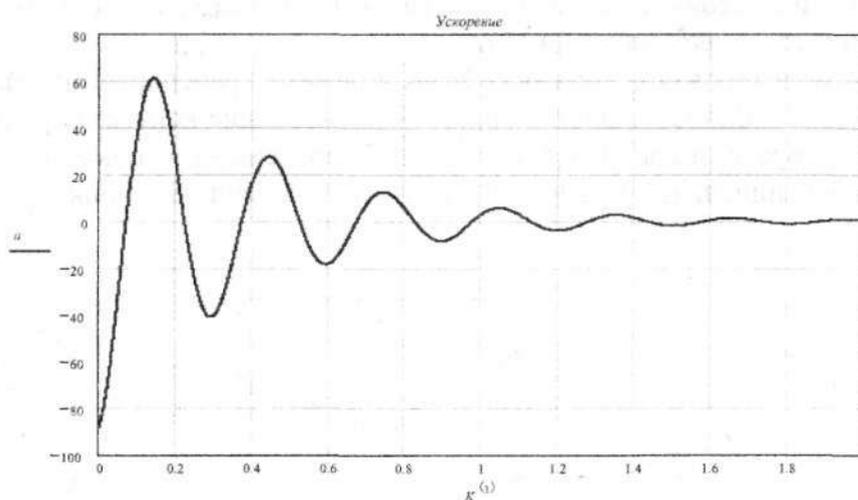


Рис. 4. График зависимости ускорения перемещения масс остова машинно-тракторного агрегата от времени

Рассмотренная ФММ транспортного переезда МТА может быть использована для имитации равномерного движения агрегата и определения параметров вибрации колесных МТА и агрегатируемых с ними орудий.

#### Литература

1. Гуськов, В. В. Тракторы. Ч. II. Теория / В. В. Гуськов. – Минск : Выш. шк., 1977. – 384 с.
2. Барский, И. Б. Динамика трактора / И. Б. Барский, В. Я. Анилович, Г. М. Кутьков. – Москва : Машиностроение, 1973. – 280 с.
3. Попов, В. Б. Математическое моделирование мобильного сельхозагрегата в режиме транспортного переезда / В. Б. Попов // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2005. – № 3. – С. 13–18.