

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ОПОРНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ — КАТОК — ОПЕРАТОР»

Е.А. Корчагина

инженер, e-mail: Korchagina72@mail.ru

ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия
(СибАДИ)», г. Омск

Аннотация. В статье описывается математическая модель динамической системы «опорная поверхность — каток — оператор». Представлена структурная схема математической модели, реализованная в MatLab расширение Simulink. Данная модель позволяет решать задачи анализа и синтеза системы виброзащиты вибрационного катка для различных типов уплотняемых поверхностей и сочетаниях возмущающих воздействий.

Ключевые слова: вибрационный каток, математическое моделирование.

В строительной отрасли для уплотнения оснований широко используются вибрационные катки. Использование энергии вибрации значительно повышает эффективность процесса уплотнения, но её действие отрицательно сказывается на человеке-операторе и самой машине.

Исследованию вибрационных катков посвящено множество работ, в которых авторами были предложены математические модели. Но поскольку модели создавались для исследования процессов уплотнения грунта, то в них не учитывались свойства динамических связей самой машины и её виброзащитных устройств, не учитывались модели человека-оператора. В связи с этим для решения задач по созданию виброзащитных систем вибрационных катков необходимо разработать математическую модель, которая отражала бы не только процесс уплотнения грунта, но и включала в себя модель человека-оператора и позволяла бы исследовать влияние параметров связей на уровень вибрации на рабочем месте оператора.

Как показали проведённые испытания, вибрация в продольном и поперечном направлениях значительно меньше, чем в вертикальном, на основании этого для решения поставленных в работе задач может быть использована плоская расчётная схема. При составлении обобщённой расчётной схемы динамической системы были приняты следующие допущения [2]:

- каток представляет собой плоский многозвенник с наложенными на него упруговязкими связями;
- связи, наложенные на систему, являются голономными и стационарными;
- упруговязкие свойства связей представлены телами Фохта;

- массы звеньев сосредоточены в центрах масс;
- звенья расчётной схемы представлены как абсолютно жёсткие;
- внешние воздействия представлены сосредоточенными силами;
- люфты в шарнирах отсутствуют.

Обобщённая расчётная схема динамической системы «опорная поверхность — каток — оператор» (рис. 1) представляет собой систему с тремя массами:

- масса m_1 — включает в себя массу приводных валцов, рамы и двигателя. Центр масс первого звена находится в точке O_1 ;
- масса m_2 — включает в себя массу заднего вальца, раму, поворотный механизм, часть (25%) массы оператора. Центр масс второго звена находится в точке O_2 ;
- масса m_3 — включает в себя массу сиденья, часть (75%) массы оператора. Центр масс третьего звена находится в точке O_3 .

В поле тяготения массы формируют силы тяжести, показанные на расчётной схеме векторами $m_i g$ (F_1, F_2, F_3).

Динамическая система «опорная поверхность — каток — оператор» рассматривается в правой инерциальной системе координат $O_0 X_0 Z_0$, связанной с недеформируемым основанием.

Положение звеньев системы в инерциальной системе координат определяют следующие локальные системы координат:

- система координат $O_1 X_1 Z_1$ связана с рамой передних вибровальцов;
- система координат $O_2 X_2 Z_2$ связана с рамой заднего вальца;
- система координат $O_3 X_3 Z_3$ связана с креслом оператора.

Начала систем координат совпадают с центрами масс.

Для описания перемещения звеньев динамической системы приняты следующие координаты:

- Z_1 — перемещение центра масс точки O_1 вдоль оси $O_1 Z_1$;
- Z_2 — перемещение центра масс точки O_2 вдоль оси $O_2 Z_2$;
- Z_3 — перемещение центра масс точки O_3 вдоль оси $O_3 Z_3$.

Упруговязкие свойства грунта характеризуются коэффициентами жёсткости c_1, c_2 и коэффициентами вязкого трения b_1, b_2 . Упруговязкие свойства системы тяг характеризуются коэффициентами жёсткости и вязкости c_4 и b_4 . Упруговязкие свойства подвески кресла оператора характеризуются коэффициентами жёсткости и вязкости c_3 и b_3 .

Со стороны двигателя и вибровозбудителя на первое звено действует вынуждающая сила

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_1' + \vec{F}_1''$$

Со стороны передних валцов на уплотняемый грунт действует сила тяжести \vec{F}_2 . Воздействие со стороны ДВС, вибровальца и массы звеньев на обрабатываемую поверхность приводит к появлению реакций \vec{F}_5, \vec{F}_6 . Величина каждой из этих реакций складывается из суммы двух составляющих: статической и динамической

$$F_5 = F_5^{\text{ст}} + F_5^{\text{д}};$$

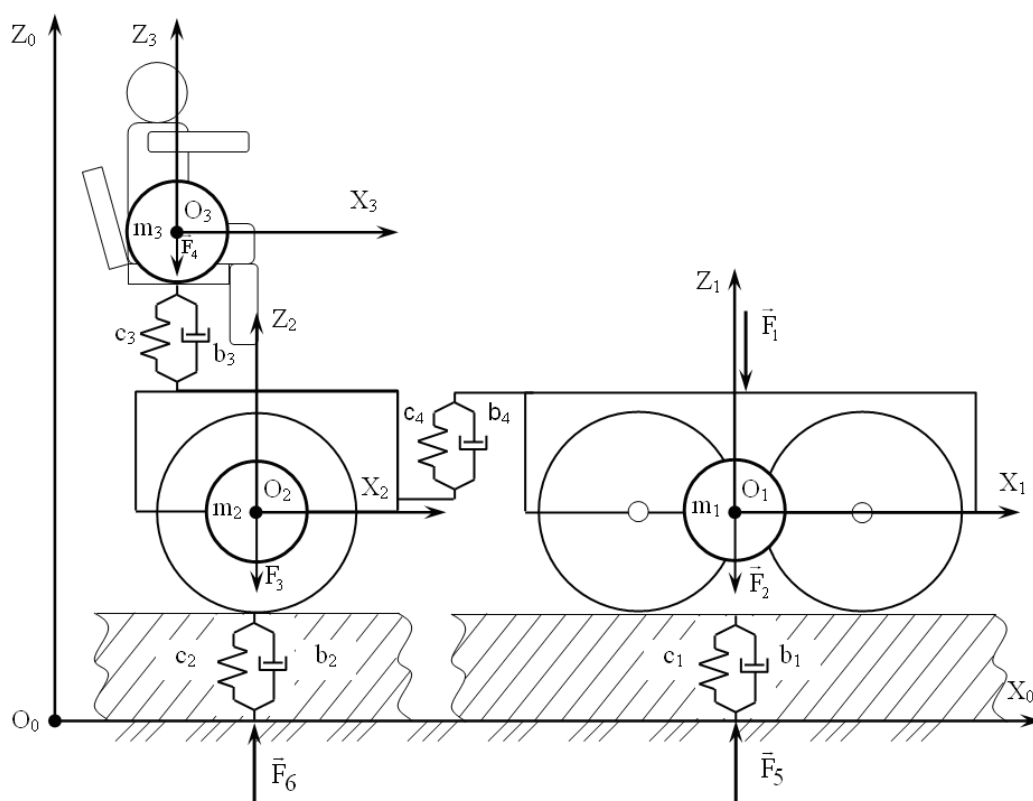


Рис. 1. Расчётная схема вибрационного катка

$$F_6 = F_6^{ст} + F_6^д.$$

Статическая составляющая зависит от силы тяжести соответствующей части катка:

$$F_5^{ст} = m_1 g;$$

$$F_6^{ст} = m_2 g + m_3 g.$$

Динамические составляющие зависят от параметров опорной поверхности и определяются по формулам [1, 2]:

$$F_5^д = -K_1 F_1;$$

$$F_6^д = -K_2 F_1.$$

где K_1 и K_2 — коэффициенты, зависящие от свойств грунта.

Система уравнений, описывающая поведение колебательной динамической системы, имеет вид:

$$\begin{cases} m_1\ddot{Z}_1 + (b_1 + b_4)\dot{Z}_1 + (c_1 + c_4)Z_1 - b_4\dot{Z}_2 - c_4Z_2 & = -F_1 - F_2 + F_5; \\ (m_2 + m_3)\ddot{Z}_2 + (b_2 - b_3 - b_4)\dot{Z}_2 + (c_2 - c_3 - c_4)Z_2 - \\ \quad - b_4\dot{Z}_1 - c_4Z_1 + b_3\dot{Z}_3 + c_3Z_3 & = F_6 - F_3 - F_4; \\ m_3\ddot{Z}_3 + b_3\dot{Z}_3 + c_3Z_3 - b_3\dot{Z}_2 - c_3Z_2 & = -F_4. \end{cases}$$

Для решения системы уравнений в MathLab расширении Simulink [4] была составлена структурная схема, представленная на рисунке 2.

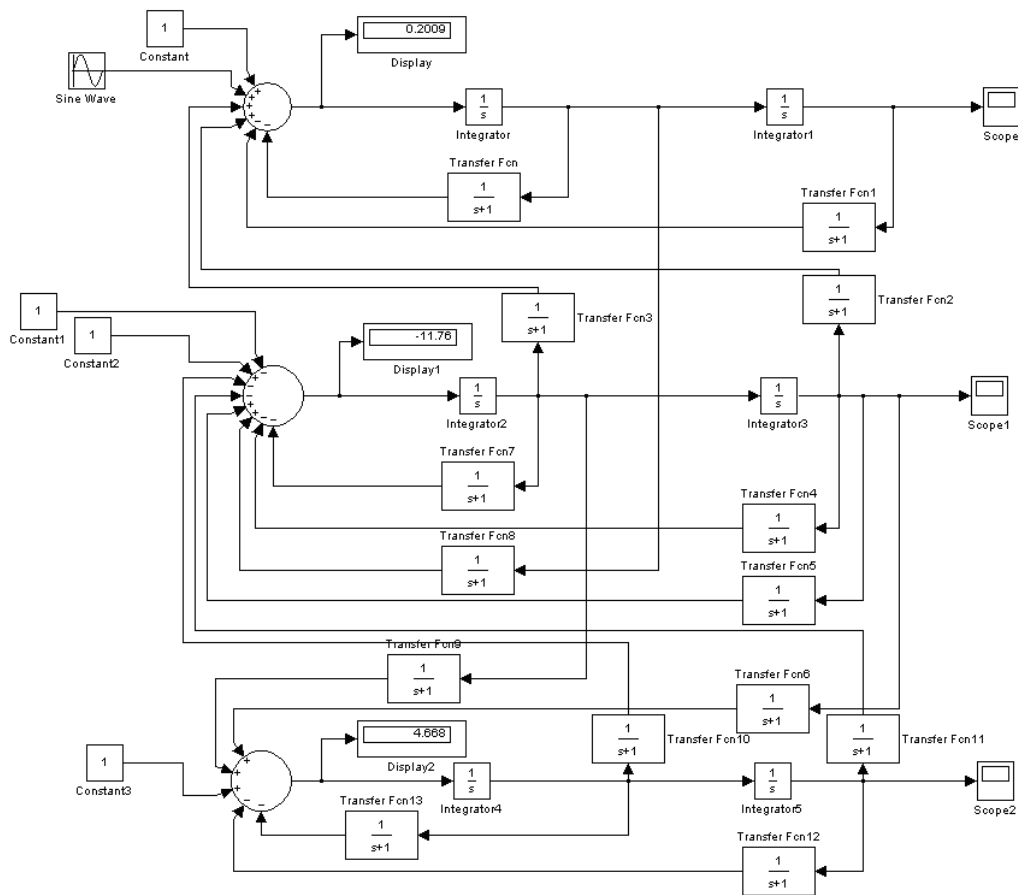


Рис. 2. Структурная схема математической модели системы «опорная поверхность — каток — оператор», реализованная в MathLab расширении Simulink

ЛИТЕРАТУРА

1. Корчагина Е.А. Результаты исследования вибрационных воздействий катка ДУ-107 на оператора // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. Омск.: СибАДИ, 2013. Выпуск 1(29). С. 23–26.

2. Корчагин П.А., Чакурин И.А., Корчагина Е.А. Снижение динамических воздействий на оператора автогрейдера в транспортном режиме. Монография. Омск: Изд-во СибАДИ, 2009. 195 с.
3. Пол Р. Моделирование, планирование траекторий и управление движением роботоманипулятора: пер. с англ. М.: Наука, 1976. 104 с.
4. Черных И.В. Simulink. Среда создания инженерных приложений. М.: Диалог-Мифи, 2004. 492 с.

**MATHEMATICAL MODEL OF DYNAMIC SYSTEMS "BASE SURFACE –
VIBRATING ROLLER – OPERATOR"**

E.A. Korchagina

Engineer, e-mail: Korchagina72@mail.ru

Federal State Budget Educational Institution of Higher Vocational Training "The Siberian
Automobile and Highway Academy (SibADI)"

Abstract. The paper describes a mathematical model of dynamic systems "base surface – vibrating roller – operator". A structural scheme of the mathematical model implemented in MatLab extension Simulink is presented. This model allows to solve issues of analysis and synthesis of roller vibroprotection systems for different sealing surface types and disturbing influence combinations.

Keywords: vibrating roller, mathematical model.