

УДК 630*363.7

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РУБИЛЬНОЙ МАШИНЫ НА ШАССИ ФОРВАРДЕРА

Германович А.О.

(Белорусский государственный технологический университет)

В статье рассмотрены моделирование динамических процессов возникающих при работе мобильной рубильной машины. Представлена адекватность разработанной математической модели рубильной машины на шасси форвардера.

Переработка отходов лесозаготовок при помощи мобильных рубильных машин является одной из наиболее доступных и в то же время эффективных технологий переработки древесины на топливную щепу. Однако работа мобильной рубильной машины связана с резко переменным характером воздействия технологической или полезной нагрузки, вследствие этого при измельчении древесного сырья появляются колебания, учет которых необходим при проектировании рубильной машины.

На основании экспериментально-теоретических исследований физической модели рубильной машины на шасси форвардера, отражающей взаимодействие подсистем машины, таких как рама, кабина, рубильная установка, кресло оператора, а также возмущающий фактор, была разработана математическая модель работы машины.

Математическая модель рубильной машины включает множество упругих и демпфирующих элементов, массы которых при наличии возмущений колеблются,

что отражается на динамике работы машины, нагруженности агрегатов и узлов, а также оказывает негативное влияние на работу на оператора. Исследование динамических процессов, происходящих при работе рубильной машины на мобильном шасси, позволяет обосновать ее рациональные параметры с точки зрения динамики.

Математическая модель включает в себя расчетную схему (рис. 1), математические зависимости, которые описывают процессы, возникающие при измельчении древесного сырья в щепу, а также решения систем дифференциальных уравнений и анализа полученных результатов.

Проведенный обзор работ по исследованию колебаний лесотранспортных машин показывает, что колебания в поперечной плоскости можно считать не связанными с продольно-вертикальными, так как рубильная машина на мобильном шасси симметрична относительно продольной вертикальной плоскости, проходящей через центр тяжести, что упрощает эквивалентную расчетную схему.

При построении расчетной схемы математической модели мобильной рубильной машины были приняты следующие общепринятые допущения [1, 2]: машина рассматривалась, как плоская симметричная система относительно продольной оси, проходящей через центр тяжести машины; распределенные массы машины заменены сосредоточенными, которые соединены между собой безинерционными упругодемпфирующими связями; высокочастотные колебания шестерен, валов и других деталей трансмиссии и двигателей, как со сосредоточенными, так и распределенными параметрами не рассматривались; упругие характеристики шин – квазилинейные, а силы неупругого сопротивления – пропорциональные скорости деформации.

Распределенная масса элементов рубильной машины заменена на сосредоточенные массы, соединенные безинерционными упругодемпфирующими связями, т.е. реальная динамическая система с бесконечным числом степеней свободы заменена схемой с конечным числом степеней свободы. Каждой дискретной массе исследуемой машины соответствует независимая, изменяющаяся во времени координата (степень свободы). Основной задачей динамического исследования являлось определение движения системы, т.е. нахождение независимых, изменяющихся по времени координат, определяющих положение всех масс данной системы. Расчетная схема математической модели имеет семь степеней свободы, описывающих колебания в продольной вертикальной плоскости. Положение рубильной машины на мобильном шасси определяется следующими обобщенными координатами: вертикальными перемещениями центров тяжести остова (рамы) машины, рубильной установки, кабины, кресла оператора – z_1, z_2, z_3, z_4 , соответственно; угловыми перемещениями центров тяжести остова (рамы) машины, рубильной установки, кабины – Q_1, Q_2, Q_3 соответственно. Основными упруго-демпфирующими элементами рубильной машины являются: шины, элементы креплений технологического оборудования и базовой машины.

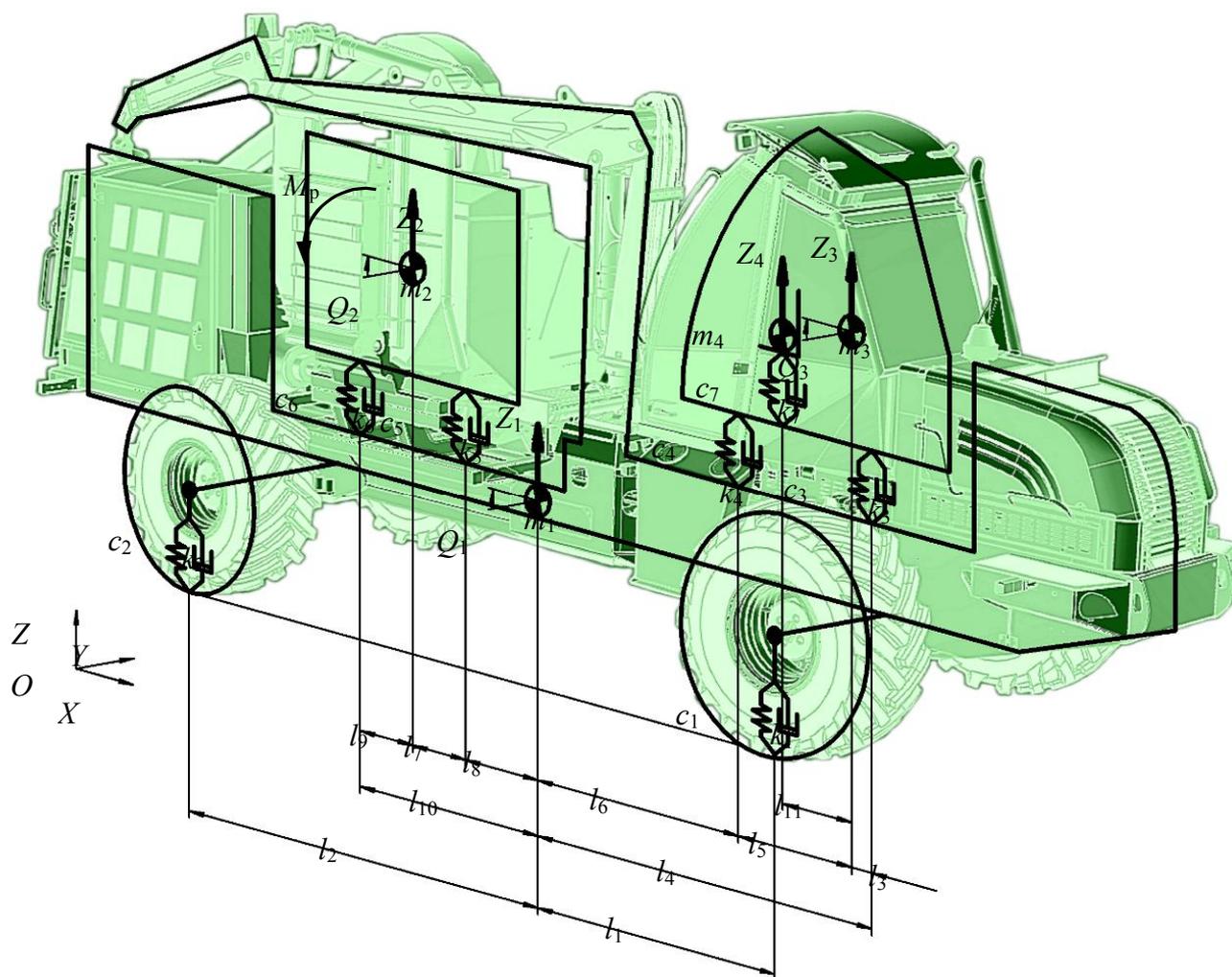


Рисунок 1. Расчетная схема математической модели мобильной рубильной машины

Для составления системы дифференциальных уравнений, входящих в состав математической модели, описывающей колебательные процессы, которые происходят с мобильной рубильной машиной во время ее работы, воспользовались уравнением Лагранжа второго рода, с последующей проверкой на основе анализа равновесия действующих сил и моментов:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial R}{\partial \dot{\varphi}_i} = Q_i, \quad (1)$$

где T и Π – кинетическая и потенциальная энергии системы соответственно, Дж; R – диссипативная функция Релея, Дж; q_i – обобщенная координата; Q_i – внешние обобщенные силы, Н.

Выражения, по которым определялись кинетическая, потенциальная энергии и диссипативная функция Релея, рассматриваемой мобильно рубильной машины, имеют следующий вид:

$$T = \frac{1}{2} \left(m_1 \dot{x}_1^2 + I_1 \dot{\varphi}_1^2 + m_2 \dot{x}_2^2 + I_2 \dot{\varphi}_2^2 + m_3 \dot{x}_3^2 + I_3 \dot{\varphi}_3^2 + m_4 \dot{x}_4^2 \right); \quad (2)$$

$$\ddot{I} = \frac{1}{2}[\tilde{n}_1(z_1 - l_1\theta_1)^2 + \tilde{n}_2(z_1 + l_2\theta_1)^2 + \tilde{n}_3(z_3 - l_3\theta_3 - z_1 + l_4\theta_1)^2 + \tilde{n}_4(z_3 + l_5\theta_3 - z_1 - l_6\theta_1)^2 + \tilde{n}_5(z_2 - l_7\theta_2 - z_1 - l_8\theta_1)^2 + \tilde{n}_6(z_2 + l_9\theta_2 - z_1 - l_{10}\theta_1)^2 + \tilde{n}_7(z_4 - z_3 - l_{11}\theta_3)^2] ; \quad (3)$$

$$R = \frac{1}{2}[k_1(x_1 - l_1\theta_1)^2 + k_2(x_1 + l_2\theta_1)^2 + k_3(x_3 - l_3\theta_3 - x_1 + l_4\theta_1)^2 + k_4(x_3 + l_5\theta_3 - x_1 - l_6\theta_1)^2 + k_5(x_2 - l_7\theta_2 - x_1 - l_8\theta_1)^2 + k_6(x_2 + l_9\theta_2 - x_1 - l_{10}\theta_1)^2 + k_7(x_4 - x_3 - l_{11}\theta_3)^2] . \quad (4)$$

где m_1, m_2, m_3, m_4 – масса остова, включающая массу рамы, мостов, автономного двигателя привода рубильной установки, двигателя базовой машин, гидроманипулятора; масса рубильной установки; масса кабины, масса нагруженного кресла оператора, соответственно, кг; I_1, I_2, I_3 – моменты инерции остова машины, рубильной установки, кабины, соответственно, кг·м²; $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7$; $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7$ – коэффициенты вертикальной жесткости и сопротивления шин, креплений рубильной установки, кабины, кресла оператора, соответственно, Н/м; $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7, l_8, l_9, l_{10}, l_{11}$ – горизонтальные координаты (рис. 1), м.

В качестве внешнего возмущающего воздействия выступает, периодически изменяющийся в процессе измельчения древесного сырья, момент усилия резания M_p . Специфика работы мобильной рубильной машины связана с резко переменным характером воздействия технологической или полезной нагрузки, в виду непостоянной подачи древесного сырья к рубильному барабану, а также его неоднородных (непостоянных) физико-механических свойств. Такое изменение усилий резания приводит к вынужденным колебаниям рубильной установки, что и было подтверждено при проведении экспериментальных исследований.

Подставив выражения кинетической (2), потенциальной энергий (3) и диссипативной функции Релея (4) мобильной рубильной машины в уравнение Лагранжа второго рода (1), получена система дифференциальных уравнений, которая описывает колебательные процессы, происходящие с машиной в процессе измельчения древесного сырья.

Исходные параметры (массо-геометрические, жесткостные), необходимые для описания исследуемой динамической системы, были определены экспериментально в ходе исследовательских испытаний опытного образца мобильной рубильной машины «Амкодор 2904», а также расчетным путем.

Решение системы дифференциальных уравнений второго порядка производилось методом Рунге-Кутты 4-го порядка точности с переменным шагом интегрирования и контролем величины шага интегрирования 5-го порядка с помощью системы программирования MathCAD 14. В результате решения системы дифференциальных уравнений получены матрицы отклонений каждой степени свободы и их первые производные в зависимости

от времени протекания процесса. Математическая модель работы мобильной рубильной реализована в виде компьютерной программы в пакете MathCAD 14.

С помощью результатов полученных при решении системы дифференциальных уравнений определены динамические реакции на опорах корпуса передней и задней осей $R_{д1}$ и $R_{д2}$. Выражения для их определения имеют следующий вид:

$$R_{д1} = \tilde{n}_1(z_1 - l_1\theta_1) + k_1(z_1 - l_1\theta_1); \quad (5)$$

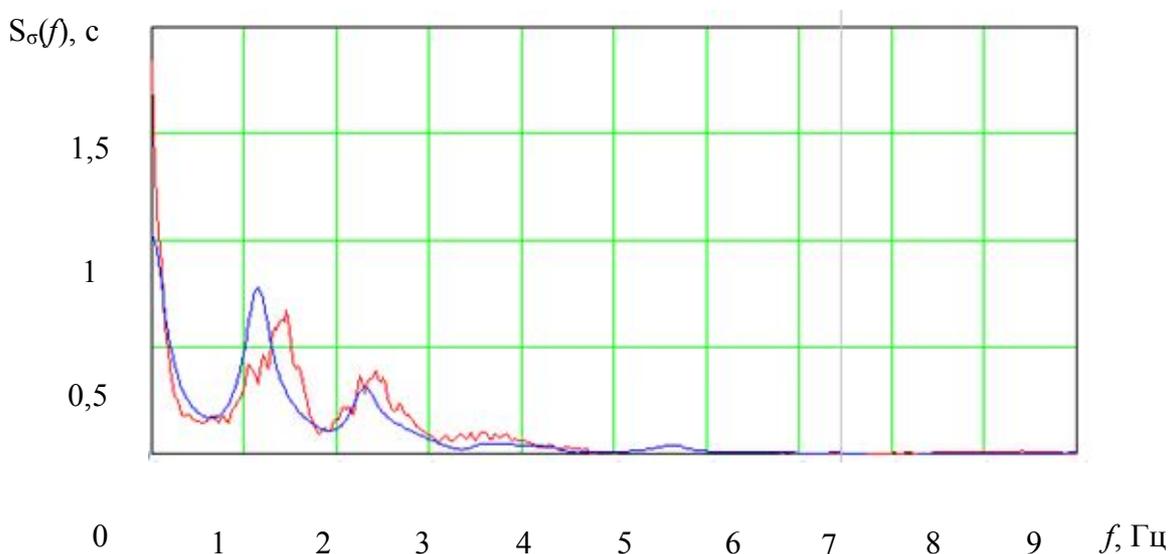
$$R_{д2} = \tilde{n}_2(z_1 + l_2\theta_1) + k_2(z_1 + l_2\theta_1). \quad (6)$$

Результаты математического моделирования динамических процессов, происходящих при измельчении древесного сырья в щепу, позволили установить значения коэффициентов динамичности, которые определялись по формуле:

$$k_d = \frac{R_{дi}}{R_{стi}}, \quad (7)$$

где $R_{дi}$ – динамическая реакция i -того моста, Н; $R_{стi}$ – реакция i -того моста на установившемся режиме движения, Н.

Оценка адекватности разработанной математической модели выполнена с помощью теста нормированных спектральных плотностей $S_1(f_i)$ и $S_2(f_i)$, полученных в результате статистической обработки теоретических и экспериментальных данных (рис. 2).



1 – теоретическая зависимость; 2 – экспериментальная зависимость
Рисунок 2. Нормированные спектральные плотности опорных реакций колес оси энергетического модуля мобильной рубильной машины

Применение теста нормированных спектральных плотностей для результатов, полученных теоретическим и экспериментальным способами, позволило сделать вывод об адекватности разработанной математической модели. Величина статистики D^2 нормированных спектральных плотностей сравниваемых

параметров находится в пределах 34,9–48,5 при значении области принятия гипотезы равном 55,76 (уровень значимости =0,05).

В результате на основе анализа конструкций, с учетом ранние проводимых близких исследований в данном направлении, разработана математическая модель работы мобильной рубильной машины, позволяющая на стадии проектирования упростить и сократить время выбора рациональных параметров основных узлов и составляющих рубильной машины.

Список литературы

1. Жорин А.В. Обоснование параметров трелевочной машины на базе сельскохозяйственного трактора кл. 1,4: Автореф. дис. канд. техн. наук:05.21.01 / БГТУ. – Минск, 1997. – 18 с. 69.
2. Бычек А.Н. Обоснование параметров бесчokerной трелевочной машины на базе трактора МТЗ-82: Автореф. дис ... канд. техн. наук. 05.21.01/БГТУ. – Минск, 2000. – 20 с. 70.

Анотація

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РУБАЛЬНИ МАШИНИ НА ШАССИ ФОРВАРДЕРІВ

А. О. Германович

У статті розглянуті моделювання динамічних процесів виникають при роботі мобільного рубальною машини. Представлена адекватність розробленої математичної моделі рубальною машини на шасі форвардера.

Abstract

MATHEMATICAL MODEL FOR CHASSIS CHIPPER FORWARDER

A. O. Hermanovich

The article describes the modeling of dynamic processes for mobile chipper. Submitted adequacy of the developed mathematical model chopper chassis forwarder.