

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ В АВТОМОБИЛЕ- СТРОЕНИИ И ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

УДК 630\*363.7

### ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ МОБИЛЬНОЙ РУБИЛЬНОЙ МАШИНЫ

**А.О. Германович, аспирант, БГТУ**

***Аннотация.** Мобильные рубильные машины широко применяются в Республике Беларусь для получения возобновляемого вида топлива. Измельчение древесного сырья в топливную щепу сопровождается вибрацией агрегатов и модулей мобильной рубильной машины, учет которой необходим при проектировании данной техники.*

***Ключевые слова:** колебания, модель, момент, рубильная машина, щепа*

### ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ РОБОТИ МОБІЛЬНОЇ РУБАЛЬНОЇ МАШИНИ

**А.О. Германович, аспирант, БДТУ**

***Анотація.** Мобільні рубальні машини широко застосовуються в Республіці Білорусь для отримання поновлюваного виду палива. Подрібнення деревини в паливну тріску супроводжується вібрацією агрегатів і модулів мобільної рубальної машини, облік якої необхідний при проектуванні даної техніки.*

***Ключові слова:** коливання, модель, момент, рубальна машина, щепа*

### DYNAMIC MODEL OF A MOBILE CHIPPER

**A. Hermanovich, postgraduate, BSTU**

***Abstract.** Mobile chippers are widely used in the Republic of Belarus for the renewable fuel. Chopping wood raw material in the wood chips accompanied by a vibration of the units and modules, mobile chipper, the account that requires the design of this technology.*

***Keywords:** fluctuations, model, moment, chipper, wood chips*

#### Введение

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 кото-

рых необходим при проектировании рубильной машины. Длительное воздействие вибрации вызывает негативные изменения физиологических функций человека.

#### Анализ публикаций

В процессе измельчения древесного сырья к резцам прикладываются усилия, величины которого зависят от сопротивления резанию. Усилие, которое приложено к резцу, в процессе резания изменяется. Оно достигает

максимума при внедрении и падает до наименьшего значения в момент отделения щепы от древесного сырья. Такое изменение усилий резания приводит к вынужденным колебаниям рубильного агрегата. Возмущающее (момент  $M$ ) воздействие от периодически изменяющегося сил резания можно представить в виде функции изменяющейся по гармоническому закону ( $M = M_0 \sin \omega t$ ). Исследование динамики рубильной машины на мобильном шасси невозможно без учета работы двигателя, как источника заданной мощности. Вопросы математического описания работы двигателя решались исследователями по разному в зависимости от поставленных задач и требуемой точности приближений. Так, И.Б. Барский, В.Я. Анилович и Г.М. Кутьков [1] в соответствующих расчетах задавались мгновенным значением крутящего момента двигателя по скоростной характеристике, в [2] - разработана модель двигателя в функции крутящего момента от положения рейки топливного насоса и частоты вращения коленчатого вала. Аналогичное математическое описание двигателя используется в работе [3]. В работе Ю.В. Хромова [4] двигатель определяется частичными скоростными характеристиками, а в [5] - частичными регуляторными. Для рассматриваемой динамической системы, моделирование работы двигателя в функции крутящего момента от частоты вращения производилось по регуляторной характеристике. Крутящий момент двигателя на регуляторной и корректорных ветвях характеристики в функции от частоты вращения ( $n$ ) определялся по следующим зависимостям соответственно:

$$M_d = \frac{(n_x - n) \cdot M_{en}}{n_x - n}, \quad (1)$$

$$M_d = M_{emax} - \left( \frac{n}{n_n} - \frac{\alpha}{1 - \alpha} \right)^2 \cdot (M_{emax} - M_e) \quad (2)$$

где  $n_0$  - частота вращения двигателя на холостом ходу,  $M_{en}$  - номинальный крутящий момент двигателя,  $M_{emax}$  - максимальный крутящий момент двигателя,  $\alpha$  - коэффициент степени снижения частоты вращения коленчатого вала.

### Цель и постановка задачи

Негативное воздействие вибраций возника-

ющие в процессе работы мобильной рубильной машины ставят задачу перед учеными создать модель при помощи, которой можно было бы проектировать новые рубильные машины с улучшенными эксплуатационными свойствами. Основной задачей динамического исследования является определение движения системы, т. е. нахождение независимых, изменяющихся по времени координат (степеней свободы), определяющих положение всех масс данной системы.

### Динамическая модель

На основании исследования физической модели (опытного образца) мобильной рубильной машины, отражающее взаимодействие подсистем машины, таких как двигателя, привод, рубильный агрегат, а также возмущающих факторов, была составлена расчетная схема математической модели работы машины (рис. 1). При этом распределение массы машины, привода рубильного агрегата заменены сосредоточенными, соединенными безинерционными упруго-демпфирующими связями, т.е. реальная динамическая система с бесконечным числом степеней свободы заменена схемой с конечным числом степеней свободы. Основными упруго-демпфирующими элементами рубильной машины на мобильном шасси являются: шины, элементы привода рубильного агрегата, крепления технологического оборудования, кабины, кресла оператора и двигателя.

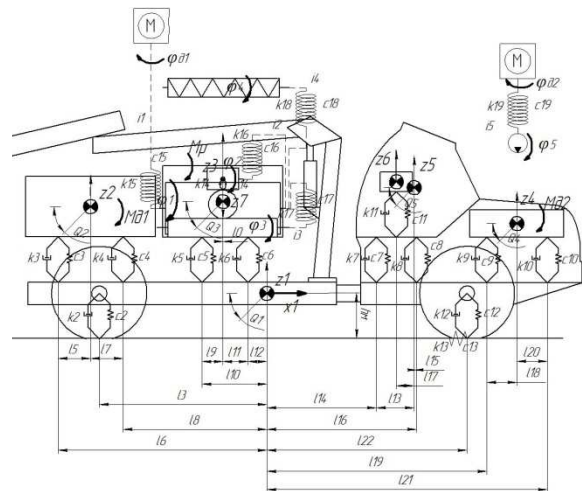


Рис. 1. Расчетная схема динамической модели работы рубильной машины на мобильном шасси

Каждой дискретной массе исследуемой ма-

шины соответствует независимая, изменяющаяся во времени координата (степень свободы). Имитационная модель указанной 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 вредное воздействие на оператора. Расчетная динамическая схема имеет двадцать степеней свободы, описывающих колебания в продольной вертикальной плоскости. Положение рубильной машины на мобильном шасси определяется следующими обобщенными координатами: углом поворота коленчатого вала двигателей –  $\varphi_{д1}$ ,  $\varphi_{д2}$ ; углами поворота механизма привода рубильного барабана, прижимного ролика, подающего транспортера, винтового конвейера, насоса гидросистемы технологического оборудования –  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$ ,  $\varphi_4$ ,  $\varphi_5$  соответственно; вертикальными, продольными и угловыми перемещениями центров тяжести базовой машины, двигателя привода рубильного барабана, рубильного агрегата, двигателя базой машины, кабины, кресла оператора, древесного сырья –  $z_1$ ,  $z_2$ ,  $z_3$ ,  $z_4$ ,  $z_5$ ,  $z_6$ ,  $z_7$ ,  $x_1$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ ,  $Q_4$ ,  $Q_5$  соответственно. Расчетная динамическая схема работы рубильной машины имеет обозначения:  $c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8, c_9, c_{10}, c_{11}, c_{12}, c_{14}, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8, k_9, k_{10}, k_{11}, k_{12}, k_{14}$  – коэффициенты вертикальной жесткости (Н/м) и сопротивления (Н·с/м) шин, креплений двигателя привода рубильного барабана, рубильного агрегата, кабины, двигателя базой машины, кресла оператора, прижимного ролика соответственно;  $c_{13}, k_{13}$  – коэффициенты горизонтальной жесткости (Н/м) и сопротивления (Н·с/м) передних шин и почвогрунта, приведенные к точкам контакта колес машины с опорной поверхностью;  $c_{15}, c_{16}, c_{17}, c_{18}, c_{19}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}, k_{19}$  – коэффициенты угловой жесткости (Н) и сопротивления (Н·с) валов привода рубильного барабана, прижимного, подающего ролика, подающего транспортера, винтового конвейера, привода гидросистемы технологического оборудования соответственно;  $i_1, i_2, i_3, i_4, i_5$  – передаточные числа приводов рубильного агрегата и гидросистемы технологического оборудования;  $h_m$  – вертикальная координата центра тяжести машины, м;  $l_3, l_4, l_5, l_6, l_7, l_8, l_9, l_{10}, l_{11}, l_{12}, l_{13}, l_{14}, l_{15}, l_{16}, l_{17}, l_{18}, l_{19}, l_{20}, l_{21}$  – горизонтальные координаты, м;  $M_{д1}, M_{д2}, M_p$  – возмущающие моменты двигателя привода рубильного агрегата, двигателя при-

вода гидросистемы технологического оборудования, рубильного агрегата, Н·м. Для составления системы дифференциальных уравнений, входящих в состав математической модели, описывающей колебательные процессы, которые происходят с рубильной машиной на мобильном шасси во время ее работы, воспользовались уравнением Лагранжа второго рода. Подставив выражения кинетической, потенциальной энергий и диссипативной функции Релея рубильной машины на мобильном шасси в уравнение Лагранжа второго рода, получена система дифференциальных уравнений, которая описывает колебательные процессы, происходящие с машиной в процессе измельчения древесного сырья (рис. 2).

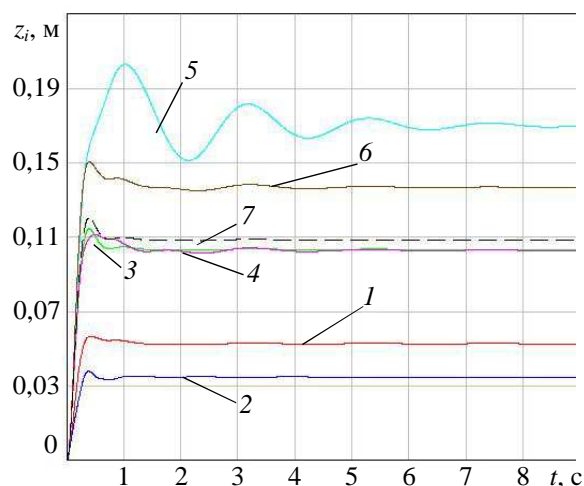


Рис. 2. Изменение вертикальных перемещений центров тяжести: 1 – базовой машины; 2 – двигателя привода рубильного барабана; 3 – рубильного модуля; 4 – двигателя базой машины; 5 – кабины; 6 – кресла оператора; 7 – древесного сырья

Решение системы дифференциальных уравнений второго порядка производилось 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. Массо-геометрические параметры динамической системы были приняты с учетом существующих аналогов рубильных машин. Моменты инерции агрегатов машины получены расчетным путем.

### Выводы

Исследование динамических процессов, происходящих при работе рубильной машины на мобильном шасси с автономным двигателем, при помощи математической модели позволяет обосновать ее рациональные параметры (жесткость виброизолирующих элементов, шин, компоновка) и сделать вывод о соответствии этих параметров условиям работы. Снижение воздействий вибрации на самоходную рубильную машину приведет к повышению ее производительности, а также к уменьшению затрат на ее эксплуатацию.

### Литература

1. Барский И.Б., Анилович В.Я., Кутьков Г.М. Динамика трактора. – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.
2. Симанович, В.А. Обоснование приемов трелевки и параметров технологического оборудования колесных тракторов кл. 30 кН с целью повышения их тягово-сцепных свойств: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / В.А. Симанович. – Минск, 1985. – 266 л.
3. Липницкий А.В. Статистические исследования нагруженности трансмиссии колесного трактора: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Мн., - 1973. – 23.
4. Хромов Ю.В. Расчетно-экспериментальное определение динамических характеристик автотракторных дизелей // Автомобильная промышленность, М., 1965. - №2. – С. 5-7.
5. Марков В.А., Сиротин Е.А. Формирование частичных регуляторных характеристик дизеля // Автомобильная промышленность, М., 2002. - №6. – С. 7-12.

Рецензент: В.Д. Мигаль, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 22 сентября 2013 г.