

УДК 621.314.57

## К РАСЧЕТУ ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВИБРОДВИЖИТЕЛЯ

И. Х. ХАЙРУЛЛИН, Ф. Р. ИСМАГИЛОВ, Э. Н. РАХИМОВА

УГАТУ, факультет авиационного приборостроения

Тел: (3472) 23 77 87

**Аннотация:** Рассматривается теория виброударного взаимодействия двухмассовой системы с упругой связью и подвижным ограничителем

**Ключевые слова:** вибродвигатель; вибрация; виброударное взаимодействие; виброперемещение

В современной технике широко распространены вибрационные транспортно-технологические машины, осуществляющие вибротранспортировку и вибросепарацию, вибротрамбовку и вибропогружение, ударное виброгашение. Дальнейшее совершенствование вибротехнологий в значительной степени связано с углублением теоретических исследований, с вопросами создания методов синтеза оптимальных параметров и характеристик вибрационных машин.

Достаточно подробно исследованы механизмы, представленные динамическими системами с ударными взаимодействиями [1], в которых внешнее воздействие задается гармонической синусоидальной силой, а ограничитель ударов — неподвижный. С позиций теории колебаний динамические колебательные системы с ограничителем представляют собой нелинейные системы, скоростная характеристика которых изменяется скачкообразно. В связи с этим существенный практический интерес представляет исследование динамических моделей с несинусоидальной силой взаимодействия и подвижным ограничителем. Такая модель реализуется на базе линейного электромагнитного вибратора. Она представлена двухмассовой системой с одной степенью свободы.

Плоский кольцевой электромагнитный вибродвигатель представляет собой кинематическую пару ферромагнитных колец [2], соединенных между собой упругой связью и расположенных на немагнитной втулке. В кольцах имеются радиальные прорезы. Одно из колец жестко закрепляется на втулке таким образом, чтобы зазоры не совпадали. Внутри втулки проходит проводник с током. Наличие зазоров в кольцах при прохождении переменного тока по проводнику обеспечивает магнитное притяжение колец, а упругая связь — отталкивание. Так как одно из колец закреплено, реализуется модель вынужденных колебаний ударника об ограничитель (так называемого вибромолота). В существующих методах расчета вынужденных колебаний вибратора с ограничителем последний предполагается неподвижным. В данной модели в результате ударно-инерционно-

го воздействия осуществляется перемещение всего устройства.

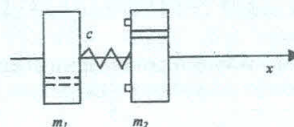


Рис. 1

Модель, схематически представленная на рис. 1, рассматривается при следующих допущениях:

- удар происходит практически мгновенно и характеризуется коэффициентом восстановления скорости  $R$ ;
- удар направлен по нормали к поверхности соударяющихся тел;
- колебания ударника кратны двойной частоте сети;
- ток в проводнике не зависит от зазора между кольцами;
- магнитная проницаемость стали  $\mu = \infty$ .

Вводятся следующие обозначения:  $x_1$  и  $x_2$  — горизонтальные перемещения центров масс ударника и опоры;  $m_1$  и  $m_2$  — массы ударника и опоры;  $c$  — коэффициент упругой жесткости пружины;  $F$  — сила магнитного притяжения колец.

Дифференциальные уравнения колебаний ударника и опоры с учетом трения имеют вид

$$\begin{aligned} (m_1 + m_2) \ddot{x}_2 + k_2 x_2 &= F; \\ m_1 (\ddot{x}_2 - \ddot{x}_1) + k_1 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + &+ c(x_2 - x_1 - l_0) = F, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $k_1$  и  $k_2$  — коэффициенты трения ударника и опоры;  $l_0$  — длина пружины в свободном состоянии.

Для оценки ударного эффекта используется теорема импульсов и коэффициент восстановления скорости при ударе  $R$ . Коэффициент восстановления скорости  $0 \leq R \leq 1$ , согласно гипотезе Ньютона, характеризует, насколько восстанавливается скорость тела после удара.  $R$  зависит от материала соударяющихся тел.



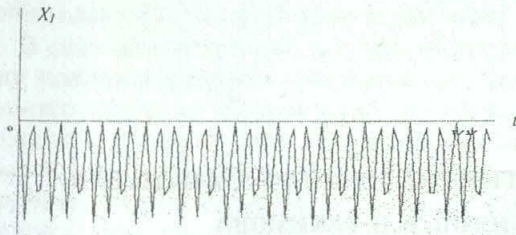


Рис. 2. Графическое изображение перемещения ударника



Рис. 3. Перемещение устройства

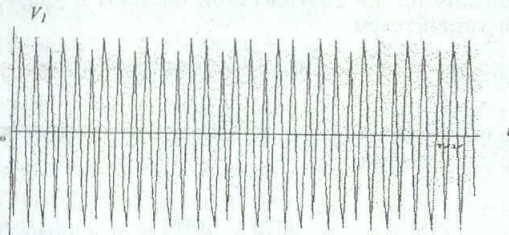


Рис. 4. Характер изменения скорости ударника

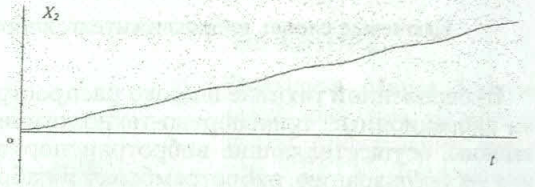


Рис. 5. Характер изменения скорости устройства

Тогда к системе уравнений (1) добавляются условия: при  $x_1 = x_2$

$$\begin{aligned} \dot{x}'_1 &= \frac{(m_1 - Rm_2)\dot{x}_1 + m_2(1 + R)\dot{x}_2}{m_1 + m_2}; \\ \dot{x}'_2 &= \frac{(1 + R)\dot{x}_1 + (m_2 - Rm_1)\dot{x}_2}{m_1 + m_2}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\dot{x}_1$  — скорость ударника непосредственно перед ударом;  $\dot{x}'_1$  — скорость ударника после удара;  $\dot{x}_2$  — скорость устройства (опоры) непосредственно перед ударом;  $\dot{x}'_2$  — скорость опоры после удара.

Из закона сохранения энергии сила магнитного взаимодействия ударника и опоры имеет вид

$$F = \frac{1}{2} i \frac{d\Psi}{dx}, \quad (3)$$

где  $i = I_m \sin \omega t$  — сила тока в проводнике (обмотке);  $\Psi$  — поток, пронизывающий обмотку. В исследуемом устройстве имеем неразветвленную магнитную цепь. Для удобства вычислений представим ее состоящей из двух частей: ярма с сечением  $S_1$  и магнитной проницаемостью  $\mu = \infty$  и воздушного зазора  $\delta$  и магнитной проницаемостью  $\mu_0$ . В соответствии с законом полного тока

$$2(Hl + H_1x) = Ni, \quad (4)$$

где  $H_1$  — напряженность поля внутри рабочего зазора;  $\delta = (x_2 - x_1)$  — величина рабочего зазора вибратора;  $N$  — число витков обмотки. В данном устройстве  $N = 1$ .

Далее, на основе известных соотношений

$$\Phi = BS; \quad B = \mu\mu_0 H \quad (5)$$

напряженность поля выражается через поток

$$H = \frac{\Phi}{\mu\mu_0 S_1}; \quad H_1 = \frac{\Phi}{\mu_1\mu_0 S_2}, \quad (6)$$

где  $S_2$  — площадь поверхности кольца с прорезью.

Согласно уравнениям (3), (5) магнитный поток в сердечнике представляется в виде

$$\Phi = \frac{i}{\left[ 2 \left( \frac{lS_2 + x\mu S_1}{\mu\mu_0 S_1 S_2} \right) \right]}. \quad (7)$$

Если  $\Phi$  — поток в сердечнике, то

$$\Psi = N\Phi. \quad (8)$$

Дифференцируя (8) и подставляя результат в формулу (3) для силы притяжения, получим

$$F = -\frac{S_2}{\mu_0} \left[ \frac{\mu_0 i}{2 \left( \frac{lS_2}{\mu S_1} + x \right)} \right]^2. \quad (9)$$

Знак «-» показывает, что сила  $F$  стремится уменьшить зазор  $x$ .

Тогда система уравнений (1) может быть представлена в виде

$$\begin{aligned} \ddot{x}_2 &= A \frac{\sin^2 \omega t}{a + 2(l_0 - x)^2} - \frac{k_2}{m_1 + m_2} \dot{x}_2; \\ \ddot{x}_1 &= A \frac{\sin^2 \omega t}{a + 2(l_0 - x)^2} + \frac{k_1}{m_1} \dot{x}_1 + \\ &\quad + \frac{c}{m_1} (x - l_0) + \ddot{x}_2, \end{aligned} \quad (10)$$

где введено следующее обозначение:

$$a = \frac{l S_2}{\mu S_1}.$$



Решение (10) совместно с (2) итерационным методом с соответствующими коэффициентами дает графическое изображение перемещения ударника (рис. 2), характера изменения скорости ударника (рис. 3), перемещения устройства (рис. 4) и характера изменения скорости устройства (рис. 5).

Анализ графиков показывает, что периодический виброударный режим в данном устройстве имеет место, когда пружина предварительно сжата. График перемещения ударника имеет вид ударных импульсов, а скорость изменяется скачкообразно. Скорость перемещения всего устройства устанавливается плавно или скачкообразно в зависимости от параметров системы. Время переходного процесса составляет десятые доли периода колебаний системы.

Из анализа полученных результатов можно сделать вывод, что для коэффициентов трения  $0 < k_1 < 1$ ,  $0 < k_2 < 1$  существует перемещение устройства под действием ударных импульсов.

Предложенный подход может быть использован для динамической системы, описываемой уравнениями вида (1), (2). Она наглядно иллюстрирует наличие или отсутствие колебательного процесса в системе, а также его характер в зависимости от параметров. Полученные качественные и количественные выводы могут быть использованы при решении ряда практических задач.

УДК 629.7.036:658.51011.56

## О СОЗДАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

И. А. КРИВОШЕЕВ

УГАТУ, факультет авиационных двигателей  
Тел: (3472) 23 77 66 E-mail: root@ad.ugatu.ac.ru

**Аннотация:** Рассматриваются особенности современного этапа автоматизации проектирования и производства авиационных двигателей. Предлагаются варианты использования различных классов систем для построения информационной среды ОКБ или завода. В числе основных компонентов — система поддержки принятия проектных решений (СППР), использующая базы и банки знаний

**Ключевые слова:** автоматизированное проектирование; моделирование; информационные технологии

В настоящее время в авиадвигателестроении России активно ведется коренная реорганизация (реинжиниринг) проектных и конструкторско-технологических работ для ликвидации отставания в использовании информационных технологий и в научно-техническом уровне создаваемых двигателей V и VI поколений. Общее направление связано с использованием CAD/CAM/CAE-технологий<sup>1</sup>, принципов интегрированного компьютеризированного производства КИП (СІМ), параллельного проектирования (СЕ) и виртуальных корпораций (САРЕ — с распределенными смежниками) на основе виртуального производства, средств управления данными проекта (PDM) на основе полного электронного описания изделия

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалова Л. В., Неймарк Ю. И., Фейгин М. И. Динамические системы с ударными взаимодействиями и теория нелинейных колебаний // Инженерный журнал. Механика твердого тела. 1966. № 1. С. 151.
2. Патент РФ МКИЗ Н 02 К 33/00. Электромагнитный вибратор / И. Х. Хайруллин, Ф. Р. Исмагилов, Е. В. Напалков Заявл. 04.02.98. Опубл. 10.05.99. Бюл. № 13.

## ОБ АВТОРАХ

**Хайруллин Ирек Ханифович**, проф., зав. каф. электромеханики УГАТУ. Дипл. инженер-электромеханик (Ивановский энергетический ин-т, 1963). Д-р техн. наук в области элементов и устройств управления (УГАТУ, 1981). Труды по электромеханическим преобразователям энергии.

**Исмагилов Флор Рашитович**, проф., декан ф-та авиационного приборостроения УГАТУ. Дипл. инженер-электромеханик (УГАТУ, 1973). Д-р техн. наук в области элементов и устройств управления (УГАТУ, 1998). Труды по электромеханическим преобразователям энергии.

**Рахимова Эмма Николаевна**, асп. каф. электромеханики УГАТУ. Дипл. математик (БГУ, 1996). Исследования в области электромеханических преобразователей энергии.

(EPD). Используются соответствующие стандарты ISO (методики IDEF, начиная с IDEF0 и до IDEF14), в том числе на проведение структурного анализа и построение функциональных, информационных, динамических и структурных моделей (технология SADT, программно реализованная в системе Design/IDEF), промышленные методы автоматизированного создания информационных систем (технология CASE), CALS-технология сопровождения математическими моделями всех этапов жизненного цикла изделия и параллельного проектирования (стандарты STEP и P-LIB).

В настоящее время входит в практику концепция КМ (Knowledge Management) — управление

<sup>1</sup>Словарь обозначений и терминов приведен в конце данного сообщения.