

УДК 621.864.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВИБРОРОБОТА ПО ВЕРТИКАЛЬНОЙ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

© 2011 г.

А.А. Черепанов, А.С. Яцун, С.Б. Рублев

Юго-Западный госуниверситет, Курск

teormeh@inbox.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Представлена схема вибрационного робота, перемещающегося по вертикальной шероховатой ферромагнитной поверхности за счет действия управляемого электромагнитного устройства, прижимающего корпус к поверхности, и вращения встроенных в корпус дебалансных масс. Разработана математическая модель робота, и предложен алгоритм интегрирования дифференциальных уравнений движения. В результате вычислительных экспериментов установлены основные закономерности движения робота.

Ключевые слова: виброробот, вертикальная шероховатая поверхность, ферромагнитная поверхность, вибрационный принцип движения, моделирование.

Введение

Мобильные роботы, передвигающиеся за счет силы трения, действующей на корпус со стороны внешней среды и управляемой вибрацией внутренних масс, встроенных в корпус робота, обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными транспортными системами, в первую очередь благодаря отсутствию внешних движителей (колеса, гусеницы, ноги и т.д.) и возможности создания герметичного корпуса. Результаты исследования таких устройств, перемещающихся по горизонтальной шероховатой поверхности, представлены в работах [1–5]. Рассмотрены различные конструкции, приведены схемы роботов, определены режимы управления движением внутренней массы, при которых корпус робота движется с периодически изменяющейся скоростью, проходя за период одно и то же расстояние в заданном направлении. Представляет интерес исследование движения вибрационных роботов по вертикальным поверхностям.

Для перемещения виброробота по вертикальной поверхности необходимо оснастить робот специальными устройствами, обеспечивающими прижатие корпуса к поверхности. Принцип действия таких устройств основан на том, что силы, прижимающие корпус к стене, обеспечивают появление трения, которое будет удерживать робот от падения. Если поверхность выполнена из ферромагнитного материала, то можно применять для этих целей электромагнитные системы.

1. Математическая модель робота

Расчетная схема робота представлена на рис. 1. Робот состоит из корпуса, дебалансов, электромагнита, зубчатых колес с единичным передаточным отношением (синхронизатора), управляемого электродвигателя постоянного тока.

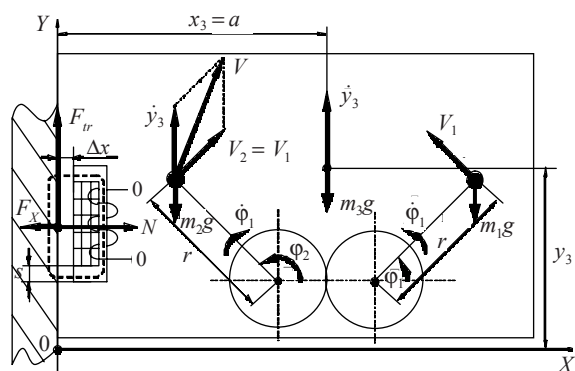


Рис. 1

Робот движется в системе координат XOY , $\dot{\phi}_1$, $\dot{\phi}_2$ – угловые скорости вращения дебалансов, N – нормальная реакция опоры, $V_1 = V_2$ – относительные скорости центра масс дебалансов, V – абсолютная скорость центра масс дебалансов, F_x – сила прижатия магнитом корпуса к поверхности, F_{tr} – сила трения. Для составления дифференциальных уравнений движения применим уравнения Лагранжа–Максвелла. После соответствующих преобразований получим систему дифференциальных уравнений, описывающих поведение робота:

$$\ddot{\phi}_1 = \frac{-2\dot{y}_3 m_1 l \cos \phi_1 - \mu_\phi \dot{\phi}_1 - 2m_1 g l \cos \phi_1 + k_\omega I_{\text{я}}}{2m_1 l^2 + J_{\text{я}}},$$

$$\ddot{y}_3 = \frac{-\mu_{y_3} \dot{y}_3 - 2m_1 \ddot{\phi}_1 l \cos \phi_1 - m_3 g - 2m_1 g + 2m_1 (\dot{\phi}_1)^2 l \sin \phi_1 + F_{\text{тр}}}{m_3 + 2m_1},$$

$$\dot{\Phi} = U_M - R_M \frac{\Phi \Delta x}{\mu_0 S z^2}, \quad \dot{I}_{\text{я}} = \frac{U_{\text{я}} - R_{\text{я}} I_{\text{я}} - k_\varepsilon \dot{\phi}_1}{L_{\text{я}}}.$$

2. Исследование движения виброробота

Управляющее напряжение на электромагните будем моделировать следующим образом:

$$\bar{U}_M(\tau) = \bar{U}_{M1} + \begin{cases} \bar{U}_{M2}, & \text{если } \sin(2\pi\tau + 2\pi\bar{\alpha}) > 0, \\ 0, & \text{если } \sin(2\pi\tau + 2\pi\bar{\alpha}) \leq 0, \end{cases} \quad (2)$$

где $\bar{\alpha}$ – разность фаз между частотой вращения дебалансов и частотой переменной составляющей управляющего напряжения питания электромагнита, \bar{U}_{M2} – амплитуда переменной составляющей напряжения питания электромагнита, \bar{U}_{M1} – постоянная составляющая напряжения питания электромагнита. Напряжение в цепи якоря двигателя имеет постоянную фиксированную величину $\bar{U}_{\text{я}}(\tau) = \text{const}$ и обеспечивает заданное вращение дебалансов. На рис. 2а, б показаны соот-

ветственно зависимости средней скорости движения корпуса робота от $\bar{\alpha}$ и \bar{U}_{M2} .

Как показывает график на рис. 2а, средняя скорость движения робота максимальна при разности фаз $\bar{\alpha} = 0.45$, что соответствует случаю, когда трение корпуса о поверхность минимально, а вертикальная инерционная сила направлена вверх.

Минимальной вертикальной скорости соответствует разность фаз $\bar{\alpha} = 0.98$, при этом инерционная сила направлена вниз, а сила трения минимальна и не противодействует соскальзыванию корпуса робота.

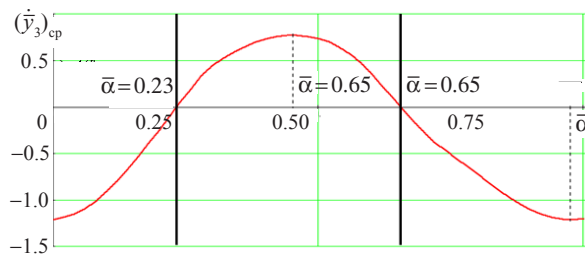
Заключение

1. Предложен новый способ движения вибрационных мобильных объектов по вертикальным ферромагнитным поверхностям.

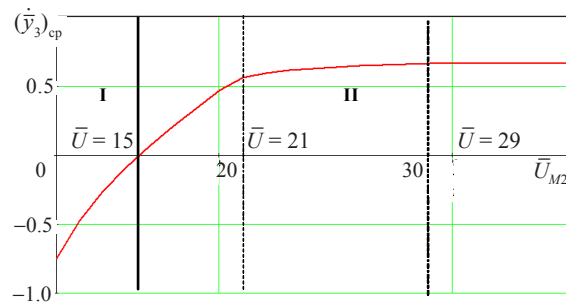
2. Максимальная положительная средняя скорость наблюдается при $\bar{\alpha} = 0.45$, максимальная отрицательная скорость – при $\bar{\alpha} = 0.98$.

Список литературы

1. Черноусько Ф.Л. О движении тела, содержащего подвижную внутреннюю массу // Докл. РАН. 2005. Т. 405, №1. С. 1–5.
2. Болотник Н.Н. и др. Динамика управляемых движений вибрационных систем // Изв. РАН. ТиСУ. 2006. №5. С. 1–11.
3. Черноусько Ф.Л. Анализ и оптимизация движения тела, управляемого посредством подвижной внутренней массы // ПММ. 2006. Т. 70. Вып. 6. С. 915–941.
4. Сапронов К.А., Черепанов А.А., Яцун С.Ф. Исследование движения мобильной двухмассовой вибрационной системы // Изв. РАН. ТиСУ. 2010. №1. С. 147–155.
5. Черноусько Ф.Л., Шундерюк М.В. Влияние сил трения на динамику двузвенного мобильного робота // ПММ. 2010. Т. 74. Вып. 1. С. 22–36.



а)



б)

Рис. 2

INVESTIGATING THE MOVEMENT OF A VIBRO-ROBOT ON A VERTICAL FERROMAGNETIC SURFACE

A.A. Cherepanov, S.F. Jatsun, S.B. Rublev

A scheme of a vibrating robot moving along a vertical rough ferromagnetic surface with the help of a controlled electromagnetic device depressing its case to the surface, and the rotation of the imbalanced weights built into its case, is presented. A mathematical model of the robot is developed and an algorithm of integration of the differential equations of motion is given. As a result of the computational experiments the basic laws of motion of the robot are determined.

Keywords: vibrobot, a vertical rough surface, a ferromagnetic surface, a vibrating principle of movement, modeling.