

Е. М. ФРИШМАН (Иерусалимский академический технологический колледж, Израиль),
М. И. УМАНОВ (ДИИТ)

ВЕРТИКАЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПУТИ И ЭКИПАЖА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТНОЙ ОПОРЫ СТУПЕНЧАТОГО ТИПА

Розглядається система магнітної опори (магнітної підвіски – МП) ступінчатого типу на основі постійних магнітів. Аналізуються вертикальні сили взаємодії магнітних систем колі та екіпажу в залежності від геометричних та фізичних параметрів МП.

Рассматривается система магнитной опоры (магнитной подвески-МП) ступенчатого типа на основе постоянных магнитов. Анализируются вертикальные силы взаимодействия магнитных систем пути и экипажа в зависимости от геометрических и физических параметров МП.

The system of magnetic support (magnetic suspension – MS) using permanent magnets for suspension is under consideration. The permanent magnets are arranged in stepped order. The vertical interaction forces between magnetic systems of the track and the vehicle in dependence on geometrical and physical parameters of the MS are analyzed.

Рассматриваемая в работе система магнитной опоры (магнитной подвески – МП) содержит постоянные магниты, отличающиеся достаточно высокой стабильностью вектора намагниченности \vec{J} по всему объёму магнита.

Схема магнитной опоры транспортного устройства (ТУ) изображена на рис. 1 (поперечное сечение магнитных систем пути и

экипажа). Магниты экипажа 1a и 1b связаны жестко посредством базы 2, изготовленной из неферромагнитного материала. Аналогично магниты пути 4a и 4b закреплены на неферромагнитной жёсткой базе 3.

Направление вектора намагниченности \vec{J} магнитов пути и транспортного средства обозначены на рисунке стрелкой.

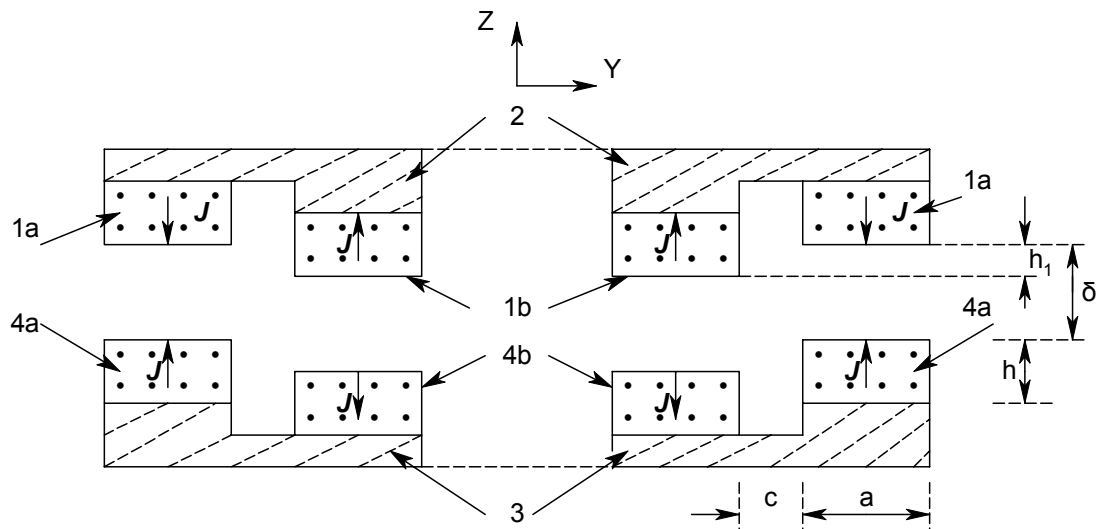


Рис. 1. Схема подвески

Ожидаемая эффективность рассматриваемой системы подвески базируется на особенностях перекрёстного взаимодействия

магнитов 1b и 4a (левой и правой пар в отдельности), что, в свою очередь, связано с картиной распределения магнитного поля этих

магнитов. Иными словами, речь идёт о возможном использовании магнитных потоков рассеяния.

Как видно из рисунка, магнитные полосы 1а и 1б (или 4а и 4б) сдвинуты в вертикальном направлении на величину h_1

Для оценки сил вертикального взаимодействия магнитных систем пути и ТУ можно воспользоваться выражением для потенциальной энергии, которой обладает постоянный магнит, находящийся во внешнем магнитном поле [1]:

$$E_p = \mu_0 \iiint_V \vec{J} \cdot \vec{H} \cdot dV, \quad (1)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Г/м, \vec{J} – вектор намагниченности, например, магнита 1а или 1б, $\vec{H}(y, z)$ – вектор напряженности внешнего магнитного поля, создаваемого, например, магнитом 4а или 4б.

Интегрирование производится по объёму магнита, обладающего намагниченностью \vec{J} .

Выражения для сил вертикального или бокового взаимодействия пути и экипажа могут быть получены на основании известной формулы $\vec{F} = -\vec{\nabla} E_p$, что для вертикальной и горизонтальной составляющих силы \vec{F} даёт:

$$F_z = -\frac{\partial E_p}{\partial z}, \quad F_y = -\frac{\partial E_p}{\partial y}. \quad (2)$$

Для оценки работоспособности схемы МП, приведенной на рис. 1, можно ввести показатель эффективности $\mu_{\text{эф}}$, определяемый как отношение вертикальной силы

взаимодействия f_{z1} (Н/м) единицы длины системы к весу магнитов ТУ:

$$\mu_{\text{эф}} = f_{z1} / mg \quad (3)$$

Расчёт силы f_{z1} можно осуществить с учётом того обстоятельства, что напряженность магнитного поля $\vec{H}(y, z)$ в (1) может быть найдена с помощью понятия фиктивного магнитного заряда.

На рис.2 приведена расчётная схема для определения $\vec{H}(y, z)$.

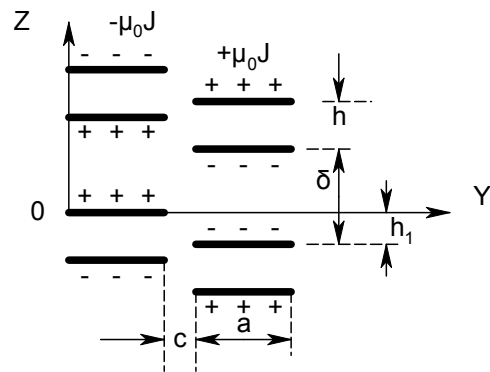


Рис. 2. Расчетная схема

Каждый магнит, изображенный на рис.1 и имеющий прямоугольную форму сечения, может быть представлен двумя «заряженными» гранями (полосами) с поверхностной плотностью магнитного заряда $\pm\mu_0 J$. На основании данных работы [2], базирующихся на понятии фиктивного магнитного заряда, силу f_{z1} для рассматриваемой схемы МП можно представить в виде:

$$\begin{aligned} f_{z1} = & 2f_z(0, \delta) - 4f_z(0, \delta + h) + 2f_z(0, \delta + 2h) - f_z(a + c, \delta - h_1) + \\ & + 2f_z(a + c, \delta + h - h_1) - f_z(a + c, \delta + 2h - h_1) - f_z(a + c, \delta + h_1) + \\ & + 2f_z(a + c, \delta + h + h_1) - f_z(a + c, \delta + 2h + h_1), \end{aligned} \quad (4)$$

где выражение для $f_z(y, z)$ имеет следующий вид [3]:

$$\begin{aligned} f_z(y, z) = & \frac{\mu_0 \cdot J^2}{2\pi} \cdot \left\{ (y + a) \cdot \arctg \frac{y + a}{z} - 2y \cdot \arctg \frac{y}{z} + (y - a) \cdot \arctg \frac{y - a}{z} + \right. \\ & \left. + \frac{z}{2} \cdot \ln \frac{(z^2 + y^2)^2}{[z^2 + (y - a)^2] \cdot [z^2 + (y + a)^2]} \right\} \text{ (Н/м)} \end{aligned} \quad (5)$$

При расчётах f_{z1} (выражение (4)) были приняты следующие значения параметров системы:

$$a = 0.02 \text{ м}, h = 0.015 \text{ м},$$

$$h_1 = 0.01 \dots 0.02 \text{ м} (\Delta h_1 = 0.002 \text{ м}),$$

$$\delta = 0.005 \dots 0.02 \text{ м} (\Delta \delta = 0.0025 \text{ м}),$$

$$c = 0 \dots 0.01 \text{ м} (\Delta c = 0.0025 \text{ м}),$$

$$c_1 = 0 \text{ и } c_1 = 0.005 \text{ м}.$$

Некоторые результаты расчётов представлены в табл.1. При этом f_{z0} – это вертикальная сила взаимодействия при $h_1 = 0$, т.е. при отсутствии ступеньки, $c = 0$, $\delta = 0.0075 \text{ м}$.

График зависимости $f_z(\delta)$ для двух случаев (со ступенькой f_{z1} и без ступеньки f_{z0}) представлен на рис.3.

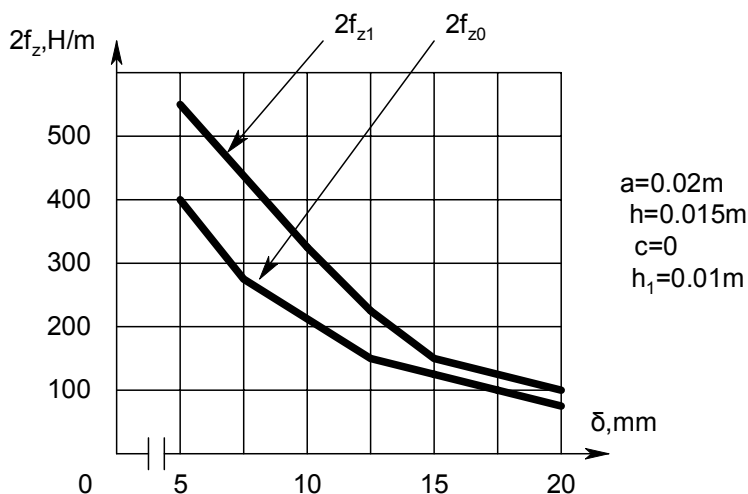


Рис. 3

Дальнейший анализ и развитие системы МП с вертикальным сдвигом магнитных полос следует проводить в направлении поиска оптимальных параметров магнитной системы, обеспечивающих максимум показателя эффективности μ_{eff} , представляющего собой целевую функцию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rao N. N. Elements of Engineering Electromagnetics. – Prentice-Hall Inc., 2000.

2. Baran W. Berechnung von Anziehungs- und Haftkräften für Magnet mit Feinpolteilung // Techn. Mitt. Krupp Forsch. – Ber., 1963, № 21. – S.72-83.

3. Фришман Е. М. Определение вертикальной и боковой сил взаимодействия пути и экипажа на магнитном подвесе в случае чередования полярностей полюсных граней магнитных полос. – Деп. рук. № 1885. – Оpubл. в указателе ВИНТИ «Деп. рукописи», 1982, № 9. – С. 74.

Поступила в редакцию 06.01.2008.

Таблица 1

$h_1 \cdot 10^2, \text{ м}$	f_{z1} / f_{z0}	f_{z1} / mg
1.0	1.49	15.4
1.2	1.53	16.0
1.4	1.54	16.0
1.6	1.50	15.5
1.8	1.41	14.6
2.0	1.24	12.8

Анализ полученных данных показывает, что при выбранных параметрах магнитных систем пути и экипажа имеет место заметное преимущество системы ступенчатого типа по сравнению с классической системой МП горизонтального типа.