

МАГНИТНОЕ ТРАНСПОРТНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ГРУЗОВ

Грудачев А.Я., канд. техн. наук, доц.,
Донецкий национальный технический университет,
Ткачук А.Н., инж.,
ООО «Донецкий электромеханический завод»

Рассмотрена схема магнитного транспортного устройства и составлена система дифференциальных уравнений движения частицы ферромагнитного груза

The scheme of the magnetic transport device is reviewed and the system of differential equations of motion of a fragment of ferromagnetic freight is compounde

С целью повышения эффективности транспортирования ферромагнитных грузов с малым коэффициентом сопротивления движению, например, тел качения, разработана схема магнитного транспортного устройства с тангенциальной движущей силой. От известных устройств с тангенциальной движущей силой оно выгодно отличается простотой конструкции и возможностью самозагрузки.

Эти преимущества достигаются тем, что у известного магнитного транспортного средства, содержащего неферромагнитный желоб, вращающиеся магнитные системы и привод, последний выполнен в виде системы дисков, например, зубчатых колес, установленных с возможностью вращения и последовательного контактирования между собой, на которых закреплены магнитные системы, причем желоб снабжен ферромагнитными вставками, установленными напротив зоны контакта дисков.

Наличие в желобе ферромагнитных вставок позволяет осуществить передачу груза с одного диска на другой, исключив при этом образование зон скопления груза и его зависание, а расположение магнитных систем на вращающихся дисках позволяет упростить конструкцию устройства.

На рис. 1 изображена схема устройства, на рис. 2 – вид по стрелке А (боковая крышка условно снята).

Магнитное транспортное устройство содержит шестерни 1, находящиеся друг с другом в зацеплении, посаженные на подшипниках

на валы 2, укрепленные в неферромагнитных желобах 3. Один из валов 4 является приводным. На плоских поверхностях шестерен 1 укреплены одна или несколько магнитных систем 5, удерживающих порцию груза 6. Между поверхностью магнитной системы 5 и внутренней поверхностью желоба имеется гарантированный зазор, исключающий их касание. К желобу 3 прикреплена течка 7, а оба желоба 3 жестко связаны боковинами 8. В желобе 3 укреплены экранирующие пластины – вставки из ферромагнитного материала 9, имеющие одинаковую толщину с желобом и не выступающие над его поверхностью. В месте загрузки скапливается ферромагнитный груз 10.

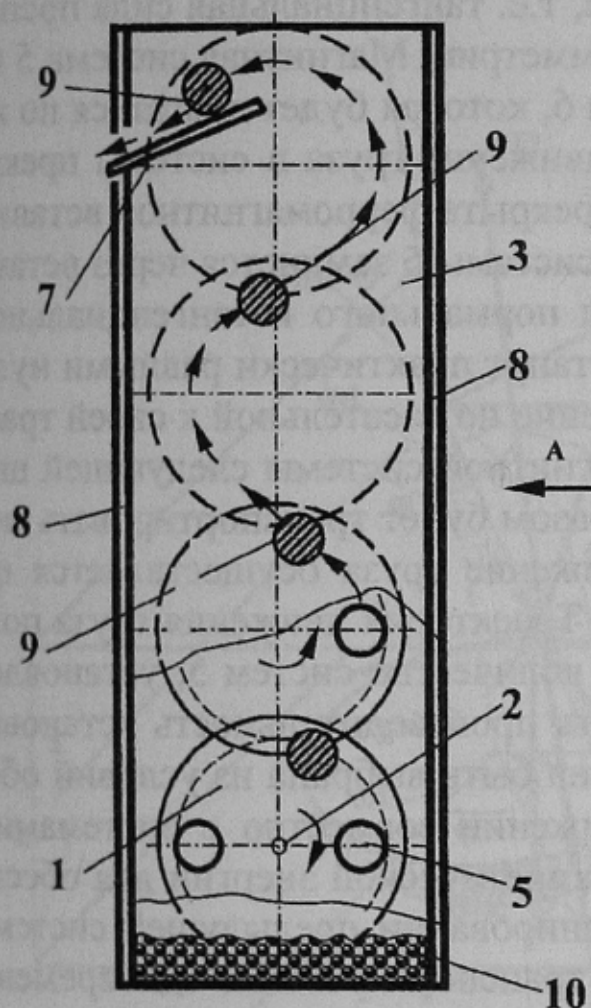


Рис. 1 – Схема магнитного транспортного устройства для ферромагнитных грузов

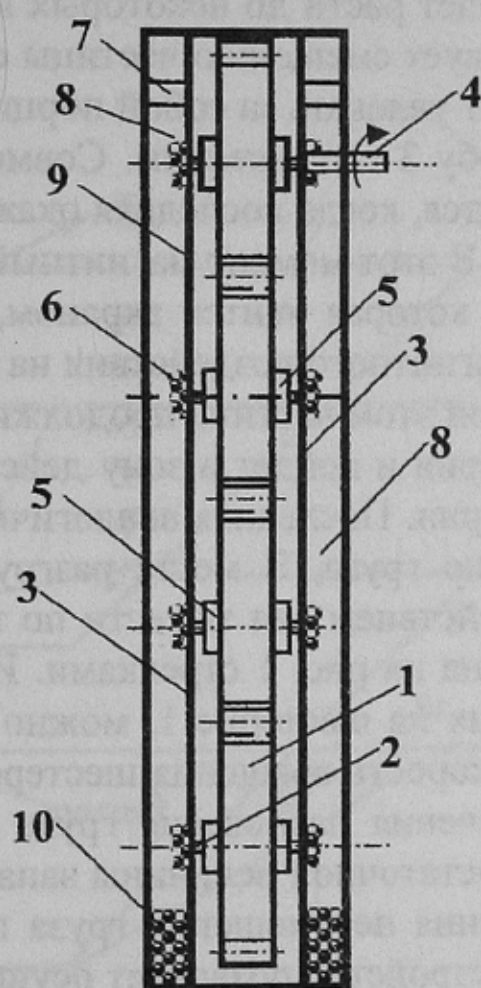


Рис. 2 – Схема магнитного транспортного устройства для ферромагнитных грузов (вид по А)

Устройство работает следующим образом. При вращении приводного вала 4 шестерни 1, посаженные на валах 2, приводятся во вращение. Магнитная система 5 нижней шестерни 1, проходя возле

груза 10, увлекает за собой его порцию 6. Сущность возникающего физического процесса следующая. На груз действуют центробежная сила, сила тяжести, нормальная сила магнитного притяжения, приводящая к возникновению силы сопротивления движению, и тангенциальная сила магнитного взаимодействия, которая и является движущей силой. При вращательном движении частицы по окружности с постоянной скоростью тангенциальная движущая сила равна равнодействующей всех указанных выше сил сопротивления движению. Следует иметь ввиду, что при расположении частицы груза строго по оси симметрии системы тангенциальная сила магнитного взаимодействия будет равна 0, а при смещении частицы от оси симметрии она будет расти до некоторых пределов, т.е. тангенциальная сила препятствует смещению частицы с оси симметрии. Магнитная система 5 будет увлекать за собой порцию груза 6, которая будет двигаться по желобу 3 скольжением. Совместное движение груза и системы прекратится, когда последняя окажется перекрыта ферромагнитной вставкой 9. В этот момент магнитный поток системы 5 замкнется через вставку 9, которая явится экраном, и силы нормального и тангенциального магнитного воздействия на груз 6 станут практически равными нулю. При этом частица продолжит движение по касательной к своей траектории и войдет в зону действия магнитной системы следующей шестерни. Последняя аналогичным образом будет транспортировать порцию груза, В месте разгрузки движение груза осуществляется под действием сил тяжести по точке 7. Траектория движения груза показана на рис. 1 стрелками. Изменяя количество систем 5, установленных на шестерне 1, можно изменять производительность установки. Скорость вращения шестерен должна быть выбрана из условий обеспечения равновесия груза при движении совместно с системами и достаточной величины запасенной кинетической энергии для обеспечения перемещения груза при экранировании предыдущей системы. Устройство позволяет осуществить транспортирование одновременно обеими ветвями при горизонтальном и крутонаклонном транспортировании.

Составим дифференциальное уравнение движения ферромагнитной частицы массы m по неферромагнитному желобу, составляющему угол β с горизонтом, под действием тягового магнитного органа, совершающего вращательное движение с постоянной угловой скоростью ω и отстоящего от него на расстоянии h . В начальный мо-

мент скорость частицы равна нулю, частица отстоит от магнита на расстоянии r_0 . Силу взаимодействия между частицей и магнитом, размерами которого пренебрегаем, считаем обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними $F = k \cdot r^{-2}$. В процессе движения магнит совершает движение по окружности радиуса R .

Расчетная схема рассматриваемой системы с одним магнитом приведена на рис. 3. Движение будем рассматривать в полярной системе координат (ρ, φ) [1].

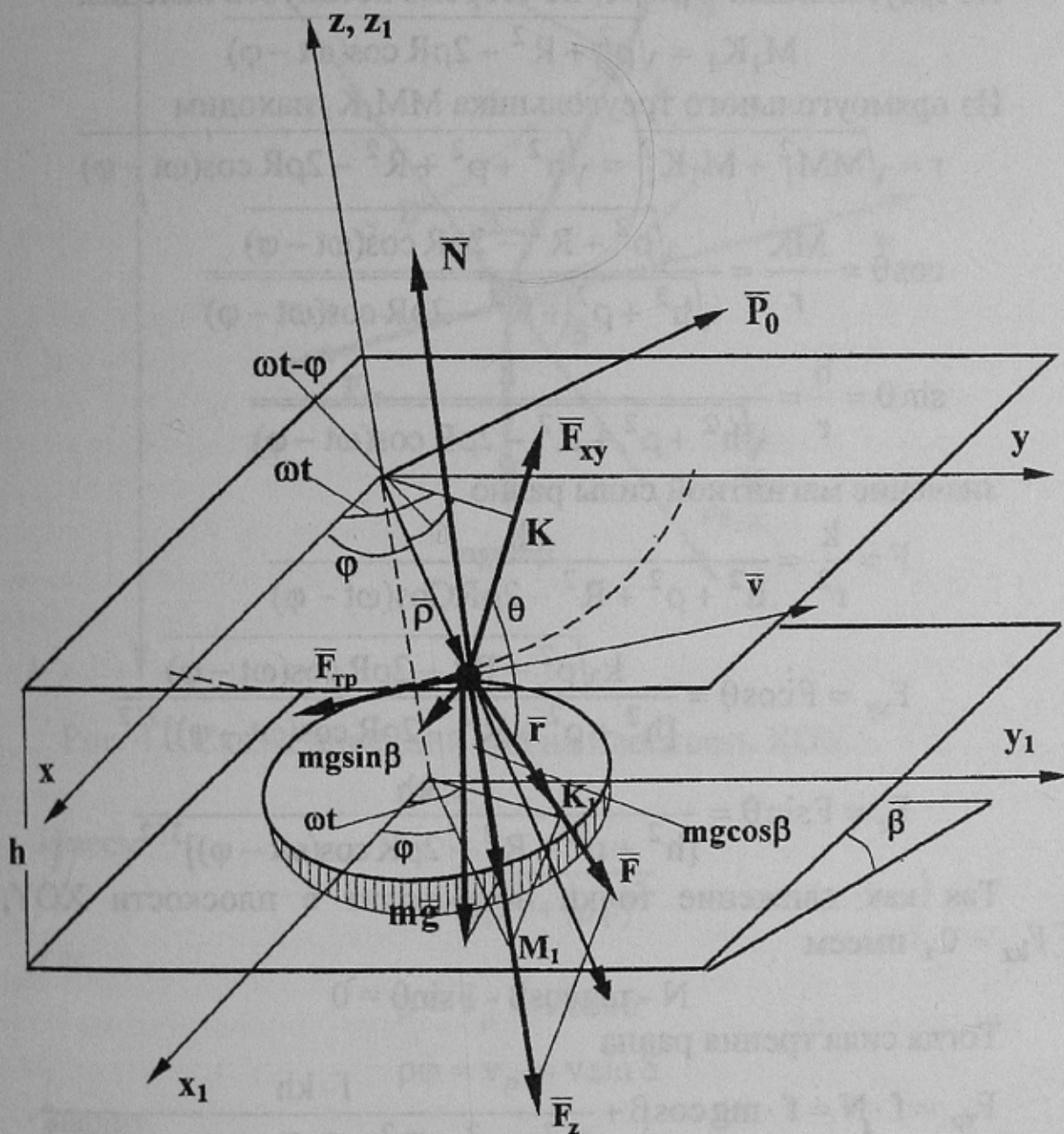


Рис. 3 – Расчетная схема к составлению дифференциального уравнения движения

Прикладываем к точке все активнодействующие на нее силы (силы тяжести – mg и силу магнитного воздействия – F) связь (неферромагнитный желоб) заменим реакциями (нормальной – N и силой трения – $F_{тр}$). Направление сил показано на расчетной схеме. Для удобства в проектировании некоторые из сил разложены на составляющие.

Найдем значение синусов и косинусов углов вращения для магнитной силы и ее проекций.

Из треугольника $O_1M_1K_1$ по теореме косинусов находим

$$M_1K_1 = \sqrt{\rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos(\omega t - \varphi)} \quad (1)$$

Из прямоугольного треугольника MM_1K_1 находим

$$r = \sqrt{MM_1^2 + M_1K_1^2} = \sqrt{h^2 + \rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos(\omega t - \varphi)}$$

$$\cos \theta = \frac{MK}{r} = \frac{\sqrt{\rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos(\omega t - \varphi)}}{\sqrt{h^2 + \rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos(\omega t - \varphi)}} \quad (2)$$

$$\sin \theta = \frac{h}{r} = \frac{h}{\sqrt{h^2 + \rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos(\omega t - \varphi)}}$$

Значение магнитной силы равно

$$F = \frac{k}{r^2} = \frac{k}{h^2 + \rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos(\omega t - \varphi)}$$

$$F_{xy} = F \cos \theta = \frac{k \sqrt{\rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos(\omega t - \varphi)}}{[h^2 + \rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos(\omega t - \varphi)]^{3/2}} \quad (3)$$

$$F_z = F \sin \theta = \frac{kh}{[h^2 + \rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos(\omega t - \varphi)]^{3/2}}$$

Так как движение точки происходит в плоскости XOY , то $\sum F_{kz} = 0$, имеем

$$N - mg \cos \beta - F \sin \theta = 0 \quad (4)$$

Тогда сила трения равна

$$F_{тр} = f \cdot N = f \cdot mg \cos \beta + \frac{f \cdot kh}{[h^2 + \rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos(\omega t - \varphi)]^{3/2}} \quad (5)$$

Схема сил, действующих на частицу в плоскости XOY , показана на рис.4.

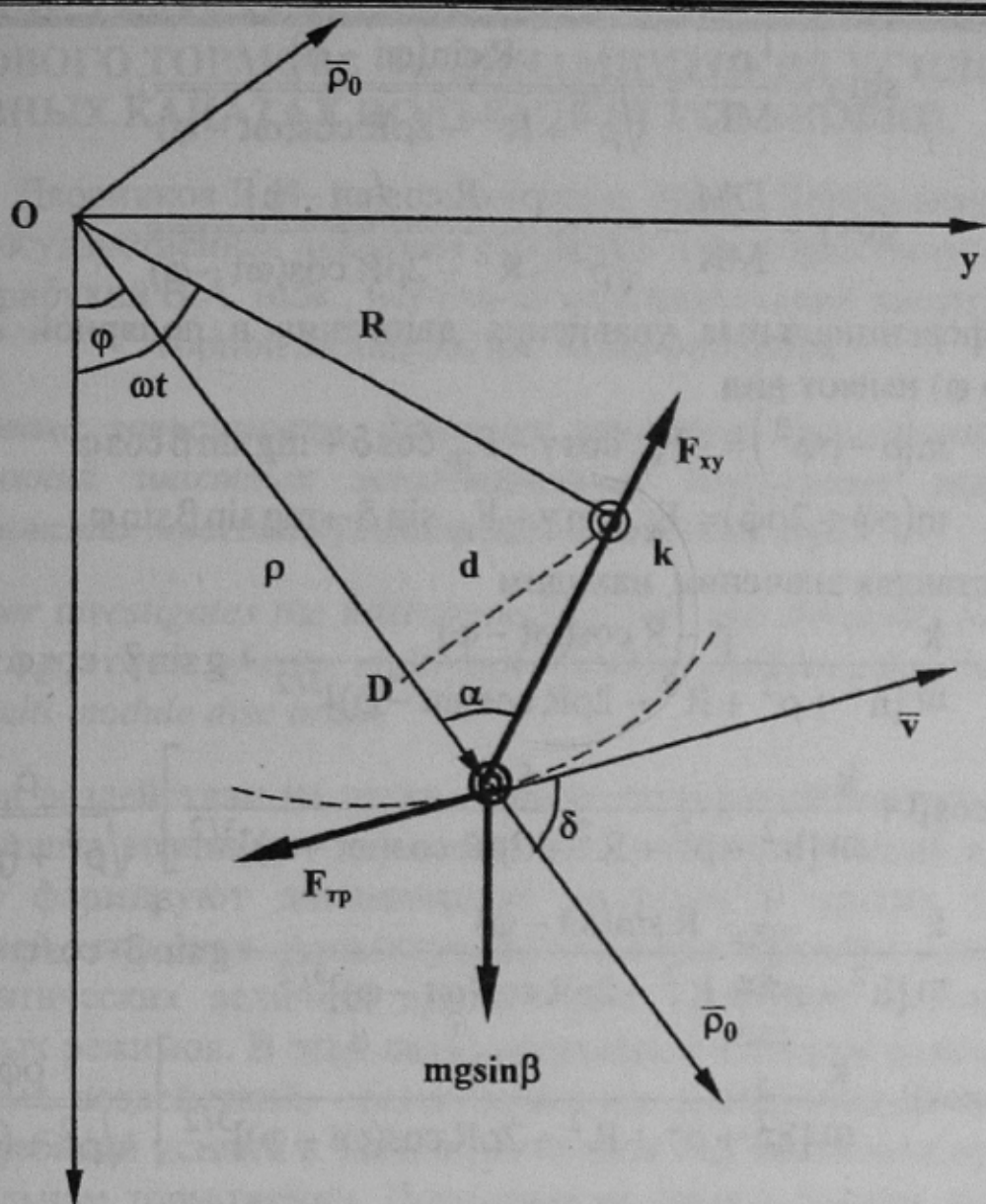


Рис. 4 – Схема проекцій сил на площину XOY

Имеем

$$v = \sqrt{\dot{\rho}^2 + (\rho\dot{\phi})^2} \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} \dot{\rho} &= v_{\rho} = v \cos \delta \\ \rho\dot{\phi} &= v_{\phi} = v \sin \delta \end{aligned}$$

Значит

$$\cos \delta = \frac{\dot{\rho}}{v} = \frac{\dot{\rho}}{\sqrt{\dot{\rho}^2 + (\rho\dot{\phi})^2}}; \quad \sin \delta = \frac{\rho\dot{\phi}}{v} = \frac{\rho\dot{\phi}}{\sqrt{\dot{\rho}^2 + (\rho\dot{\phi})^2}}. \quad (7)$$

Из прямоугольного треугольника DKM находим

$$\sin \gamma = \frac{\alpha}{MK} = \frac{R \sin(\omega t - \varphi)}{\sqrt{\rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos(\omega t - \varphi)}}; \quad (8)$$

$$\cos \gamma = \frac{DM}{MK} = \frac{\rho - R \cos(\omega t - \varphi)}{\sqrt{\rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos(\omega t - \varphi)}}.$$

Дифференциальные уравнения движения в полярной системе отсчета (ρ, φ) имеют вид

$$m(\ddot{\rho} - \rho\dot{\varphi}^2) = -F_{xy} \cos \gamma - F_{TP} \cos \delta + mg \sin \beta \cos \varphi$$

$$m(\rho\ddot{\varphi} + 2\dot{\rho}\dot{\varphi}) = F_{xy} \sin \gamma - F_{TP} \sin \delta - mg \sin \beta \sin \varphi \quad (9)$$

Подставляя значения, находим

$$\ddot{\rho} - \rho\dot{\varphi}^2 = -\frac{k}{m} \frac{\rho - R \cos(\omega t - \varphi)}{[h^2 + \rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos(\omega t - \varphi)]^{3/2}} + g \sin \beta \cdot \cos \varphi -$$

$$- \left[f \cdot g \cos \beta + \frac{k}{m} \frac{f \cdot h}{[h^2 + \rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos(\omega t - \varphi)]^{3/2}} \right] \cdot \frac{\dot{\rho}}{\sqrt{\dot{\rho}^2 + (\rho\dot{\varphi})^2}}; \quad (10)$$

$$\rho\ddot{\varphi} + 2\dot{\rho}\dot{\varphi} = \frac{k}{m} \frac{R \sin(\omega t - \varphi)}{[h^2 + \rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos(\omega t - \varphi)]^{3/2}} - g \sin \beta \cdot \cos \varphi -$$

$$- \left[f \cdot g \cos \beta + \frac{k}{m} \frac{f \cdot h}{[h^2 + \rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos(\omega t - \varphi)]^{3/2}} \right] \cdot \frac{\rho\dot{\varphi}}{\sqrt{\dot{\rho}^2 + (\rho\dot{\varphi})^2}}.$$

Список источников.

1. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики. Ч. I и II, М., 1966.