

УДК 531.8

А.Ю.Озолин (6 курс, каф. МПУ), Л.В.Штукин, к.ф.-м.н., доц.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТОРМОЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ВИХРЕТОКОВОГО ЗАМЕДЛИТЕЛЯ

Автоматизация существующих систем торможения для железнодорожного транспорта, т.е. горочных замедлителей, является важной задачей. В данной работе рассматривается вихретоковый замедлитель, который осуществляет торможение с помощью силы вихретокового демпфирования. Эта сила возникает в результате взаимодействия магнитного поля магнитов и тока в колесах вагона, который наводится этим магнитным полем.

Описание динамики движения вагона через данную магнитную систему предложено в [1] и состоит в дискретном описании электромагнитного поля путем представления распределенных вихревых токов в виде конечной системы проводящих контуров.

Постоянные магниты собраны в магнитные шины, установленные по обе стороны рельса. Отдельные магниты в шине установлены так, что их полярность чередуется в направлении вдоль рельса. Магниты установлены так, что между ними и ободом колеса имеется некоторый воздушный зазор. Включение или выключение замедлителя происходит путем приближения или отодвигания магнитов. Колесо делим на сектора с углом раствора  $\beta$ . Длина отдельного магнита равна  $l = \beta \cdot a$ , где  $a$  – радиус колеса. За обобщенную координату принимаем перемещение центра колеса  $x$ .

На рис. 1 приведены последовательные положения колеса относительно магнитной шины при его качении по поверхности от начала пересечения контура магнитным потоком до его окончания.

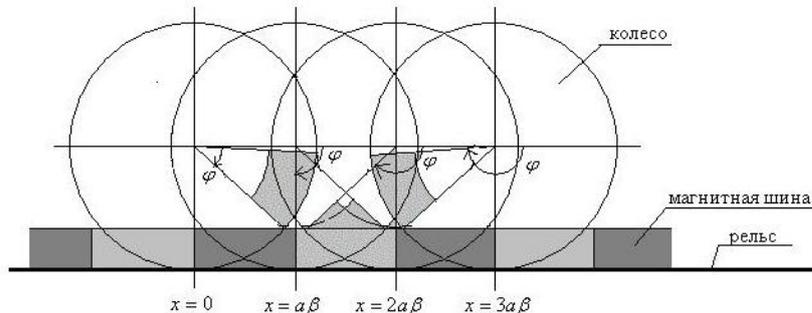
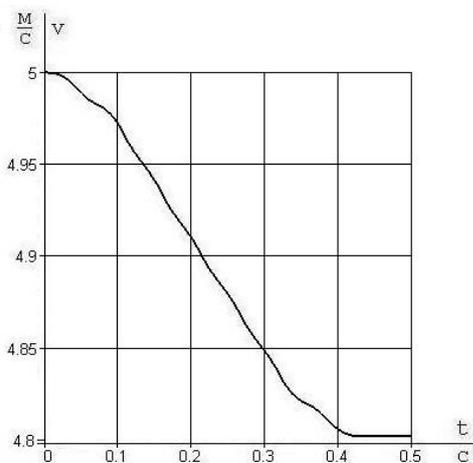
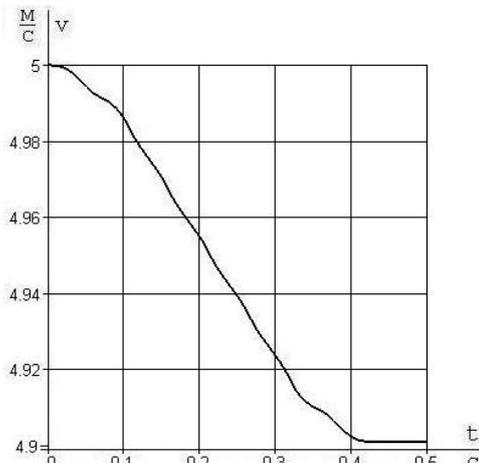


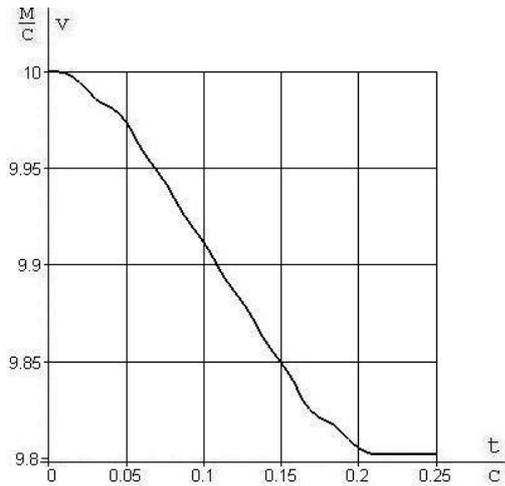
Рис. 1. Качение колеса



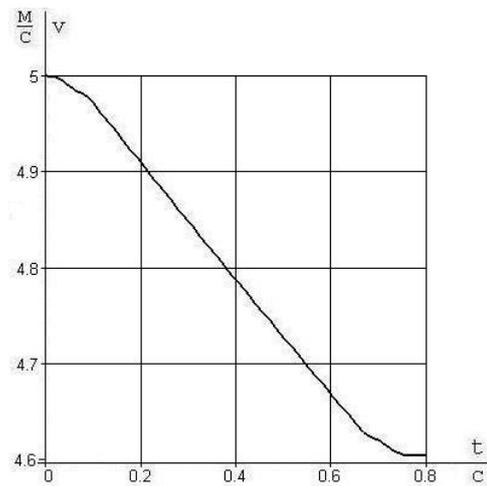
$m = 40000 \text{ кг}, \quad v_0 = 5 \text{ м/с}, \quad p = 6$



$m = 80000 \text{ кг}, \quad v_0 = 5 \text{ м/с}, \quad p = 6$



$$m = 40000 \text{ кг}, \quad v_0 = 10 \text{ м/с}, \quad p = 6$$



$$m = 40000 \text{ кг}, \quad v_0 = 5 \text{ м/с}, \quad p = 12$$

Рис. 2. Результаты численного интегрирования

Площадь пересечения контура с магнитной шиной является функцией от  $x$  и имеет вид:

$$S_1(x) = \frac{1}{2} a^2 \left( \frac{x}{a} - \cos^2 \beta (\text{tg} \beta - \text{ctg}(\frac{x}{a} + \frac{\pi}{2} - \beta)) \right), \quad 0 < x < a\beta,$$

$$S_2(x) = \frac{1}{2} a^2 \left( \beta - \cos^2 \beta (\text{ctg}(\frac{x}{a} + \frac{\pi}{2} - \beta) + \text{ctg}(\frac{x}{a} + \frac{\pi}{2} - 2\beta)) \right), \quad 0 < x < 2a\beta,$$

$$S_3(x) = \frac{1}{2} a^2 \left( -\frac{x}{a} - \pi + 3\beta - \cos^2 \beta (\text{tg} \beta + \text{ctg}(\frac{x}{a} + \frac{\pi}{2} - 2\beta)) \right), \quad 0 < x < 3a\beta.$$

Уравнение движения вагона вдоль замедлителя имеет вид:

$$\ddot{x} + \frac{B^2}{mR} \left( \left( \frac{\partial S_1(x - ja\beta)}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial S_2(x - (j-1)a\beta)}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial S_3(x - (j-2)a\beta)}{\partial x} \right)^2 \right) \dot{x} = 0, \\ j a\beta < x < (j+1)a\beta, \quad j = \overline{0, (p+1)},$$

где  $p$  – число пар полюсов,  $S_1$  равна нулю при  $j = p$  и  $j = p+1$ ,  $S_2$  – при  $j = 0$  и  $j = p+1$ ,  $S_3$  – при  $j = 0$  и  $j = 1$ .

Результаты численного интегрирования представлены на рис. 2.

Результаты вычислений показывают, что изменение скорости  $\Delta v$  определяется величиной  $k = \frac{B^2}{mR}$  и мало зависит от величины начальной скорости. Это означает, что магнитный замедлитель работает почти как элемент линейного вязкого трения.

В связи с этим может быть предложен алгоритм управления процессом торможения вагона. Вдоль пути устанавливаются вихретоковые замедлители и датчики скорости перед замедлителем и за ним. По измеренным скоростям перед и за первым замедлителем вычисляется эквивалентный коэффициент вязкого трения, а затем определяется, какие из замедлителей должны быть отключены для остановки вагона в заданной точке.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Б.С.Глаголев, Ю.В.Ободовский, Д.Ю.Скубов, Л.В.Штукин. Динамика горочного замедлителя на постоянных магнитах. Деп. ВИНТИ, 04.11.2004, №1735-B2004.