

К ВЫБОРУ ОЧЕРТАНИЙ КОНТУРОВ ПЛОСКОЙ ПУТЕВОЙ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Приведены результаты теоретических исследований, которые оценивают пространственные колебания и стойкость левитационного движения электродинамического транспортного экипажа вдоль плоской дорожной структуры для случаев разного очертания ее путевых контуров

Наведені результати теоретичних досліджень, які оцінюють просторові коливання і стійкість левітаційного руху електродинамічного транспортного екіпажу вздовж плоскої шляхової структури для випадків різного окреслення її шляхових контурів.

The results of theoretical investigations on evaluation of spatial oscillations and the stability of the levitation motion of an electrodynamic transportation vehicle along a flat track structure with different shapes of track contours are presented.

В проведенных ранее исследованиях [1, 2] показана целесообразность использования для электродинамических транспортных систем плоских путевых структур с прямоугольными токопроводящими контурами. Для них обеспечивается устойчивость левитационного движения на прямолинейных и криволинейных участках путевой структуры при рациональном выборе основных параметров систем. Это требование выполняется в случае, когда геометрические размеры сверхпроводящих магнитов и путевых контуров, а также их взаимное расположение удовлетворяют условиям их взаимодействия, при которых имеет место при относительном их перемещении в поперечном направлении нисходящая зависимость касательных поперечных электродинамических сил и минимальное значение нормальных электродинамических сил в состоянии равновесия при значении намагничивающей силы в соленоидах сверхпроводящих магнитов, обеспечивающем левитацию экипажа.

Как показали приведенные ниже результаты теоретических исследований, устойчивость прямолинейного и криволинейного движения обеспечивается не только для исходной системы с прямоугольными путевыми контурами одинаковой ширины, но и для случаев, когда отдельные полосы прямоугольных путевых контуров имеют меньшие размеры в поперечном направлении и когда контуры отдельных полос могут иметь пятиугольное очертание. Эти случаи могут представлять интерес для конструкторов и исследователей в связи с возможными вариантами использования путевой структуры с более приемлемыми показателями, характеризующими расход ферромагнитного материала для путевых контуров и устойчивость движения экипажа по сравнению с этими показателями для исходной системы. Поиск этих вариантов является целью данной работы.

Будем рассматривать электродинамические транспортные системы, в которых, в отличие от исходной системы с четырьмя полосами путевых контуров, плоской путевой структурой и двумя полосами сверхпроводящих магнитов [1, 2], используются контуры, имеющие следующие очертания: прямоугольные очертания ширины двух полос этих контуров под каждой из полос магнитов равны 0,15 м (вариант I), контуры пятиугольного очертания для одной из полос и пятиугольного очертания для другой полосы (вариант II) и контуры пятиугольного очертания всех полос (вариант III). Пятиугольные контуры отличаются от прямоугольных тем, что продольная сторона одного из контуров (внутреннего относительно оси экипажа) (вариант II) состоит из двух равных отрезков с точкой пересечения, сдвинутой в сторону оси эки-

© Н.А. Радченко, Т.Л. Губа, Т.И. Кузнецова, 2010

пажа (рис. 1 а), а пятиугольные контуры, соответствующие варианту III, аналогичны контурам варианта II с тем лишь отличием, что точка пересечения двух равных отрезков продольной стороны контура сдвинута в сторону оси экипажа для контуров, расположенных ближе к оси, и в сторону от нее для контуров, удаленных от оси экипажа (см. рис. 1 б).

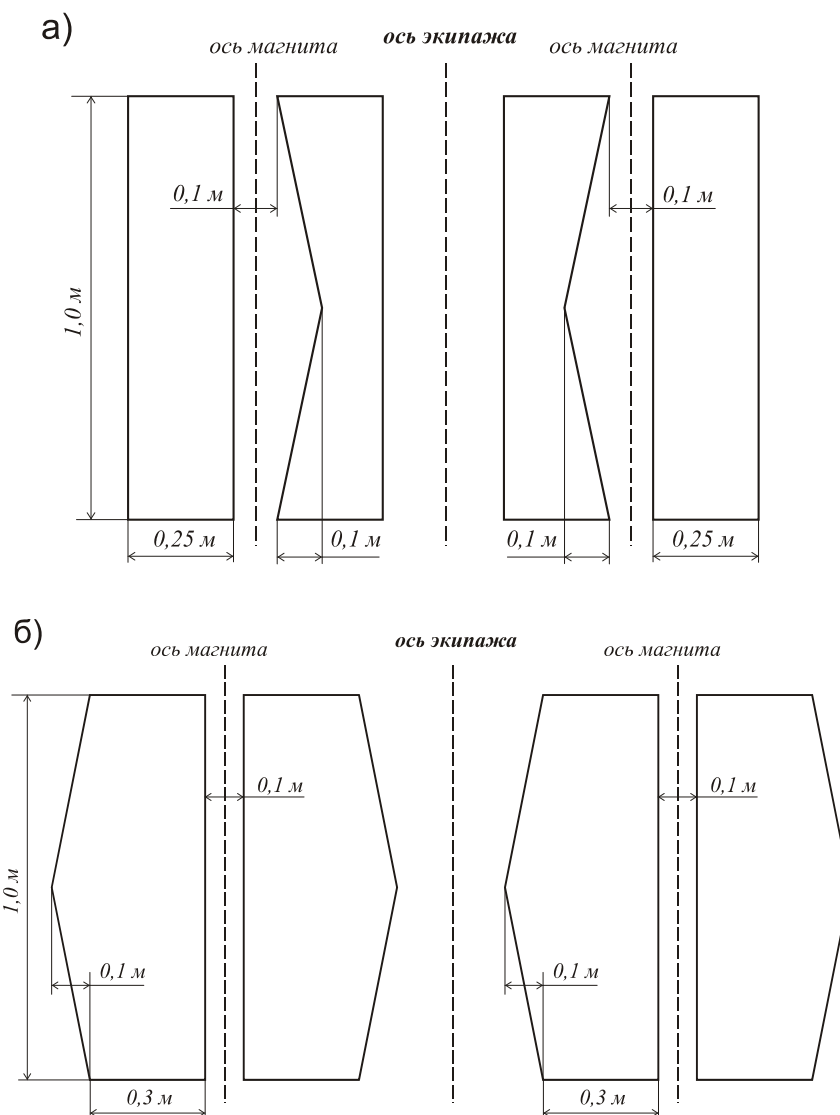


Рис. 1

Для исследования пространственных колебаний и устойчивости движения описанных выше транспортных систем (варианты I, II, III) будем их представлять в виде электромеханических систем, в которых экипажи состоят из трех твердых тел: кузова и двух тележек со сверхпроводящими магнитами, а также короткозамкнутых токопроводящих путевых контуров.

Математическая модель движения экипажей исследуемых транспортных систем была представлена в виде связанных дифференциальных уравнений

Лагранжа, описывающих движение экипажа, и уравнений токов в контурах путевой структуры, которые имеют следующий вид:

$$L \frac{dI}{dt} + rI = f,$$

где L – матрица коэффициентов самоиндукции и взаимной индукции путевых контуров; r – активное сопротивление путевого контура; I – вектор-столбец токов в путевых контурах; f – вектор эдс f_k , наводимых экипажными магнитами в k -тых путевых контурах.

Величины f_k определялись из выражения:

$$f_k = - \sum_{m=1}^n i_m^c \frac{\partial M_{km}}{\partial t},$$

где M_{km} – коэффициенты взаимной индукции между m -м экипажным магнитом и k -м путевым контуром; n – число экипажных сверхпроводящих магнитов; i_m^c – ток в m -ом сверхпроводящем магните.

С помощью численного интегрирования уравнений, описывающих колебания экипажа и изменение токов в путевых контурах, были оценены пространственные колебания экипажей по значениям перемещений кузова и тележек, левитационным зазорам, электродинамическим силам взаимодействия между сверхпроводящими магнитами и путевыми контурами и ускорениям кузова в вертикальном и поперечном направлениях.

Для расчетов были приняты следующие значения основных параметров исследуемых транспортных систем: масса кузова и каждой из тележек соответственно 25 и 3,75 т, коэффициенты жесткости и вязкости упруго-диссипативных элементов между кузовом и тележками в вертикальном и поперечном направлениях 200 кН/м и 20 кН·с/м, намагничивающая сила в соленоидах сверхпроводящих магнитов $3,80 \cdot 10^5$ А·витков для системы, соответствующей варианту I, $6,6 \cdot 10^5$ А·витков для системы варианта II и $7 \cdot 10^5$ А·витков для системы варианта III. Продольные размеры соленоидов сверхпроводящих магнитов и путевых контуров были приняты равными для всех вариантов соответственно 1,2 и 1,0 м, а поперечные их размеры – 0,5 и 0,15 м для варианта I; 0,4 и 0,25 м для варианта II и 0,5 и 0,3 м для варианта III. Зазоры в продольном направлении между путевыми контурами для всех систем были приняты 0,05 м и в поперечном направлении 0,1 м, диаметр прутков путевых контуров равен для всех систем 0,03 м.

Расчеты проводились для случаев движения экипажей по участку пути переменной кривизны следующего очертания в плане: прямолинейный участок пути длиной 300 м, входящая переходная кривая длиной 500 м, круговая кривая радиусом 8000 м и углом поперечного наклона к горизонтальной плоскости 0,1 рад протяженностью 150 м, выходная переходная кривая длиной 400 м, прямая – 250 м. Углы наклона поверхности путевой структуры к горизонтальной плоскости в переходных кривых принимались пропорциональными кривизне пути, которая изменялась от нуля до значения, равного кривизне пути в круговой кривой, по синусоидальной зависимости.

Результаты расчетов показали, что для всех упомянутых систем при параметрах, оговоренных выше, имеет место устойчивое левитационное движе-

ние экипажа как в прямолинейных, так и в криволинейных участках путевой структуры с приемлемыми левитационными зазорами и уровнем ускорений кузова в поперечном и вертикальном направлениях.

Так, при скорости 100 м/с левитационные зазоры равны соответственно: 0,18; 0,17 и 0,175 м для вариантов I, II, III и они практически не зависят от кривизны пути. Поперечные перемещения тележек и корпуса не превышают соответственно значений 0,0125 и 0,003 м для транспортной системы варианта I; 0,001 и 0,0125 м для системы варианта II и 0,02 и 0,14 для системы варианта III. Углы боковой качки тележек и кузова не превышают значений 0,004 и 0,0015 рад, 0,0025 и 0,005 рад и 0,0037 и 0,0052 рад соответственно для систем вариантов I, II, III.

Углы боковой качки и виляния твердых тел всех рассматриваемых систем быстро затухают и имеют весьма небольшие значения ($<0,00001$ рад).

Ускорения корпуса в вертикальном и поперечном направлениях весьма небольшие в прямолинейном участке пути, а в криволинейном не превышают соответственно значений $0,35 \text{ м/с}^2$ и $0,9 \text{ м/с}^2$.

Аналогичные результаты получены также для скорости 30 м/с для всех рассмотренных систем.

Следует отметить, что исследуемые транспортные системы являются более экономичными (варианты I и II) по показателю расхода материала токопроводящих контуров, а система, соответствующая варианту III, может также оказаться более экономичной по сравнению с исходной системой, изложенной в работе [2], при рациональном выборе геометрических размеров путевых контуров.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что все рассмотренные варианты очертаний токопроводящих контуров путевой структуры могут быть использованы для транспортных систем с плоской путевой структурой, четырьмя полосами путевых контуров и двумя полосами экипажных сверхпроводящих магнитов.

1. Дзензерский В. А. Колебания и устойчивость движения экипажей электродинамических транспортных систем нетрадиционных конструкций / В. А. Дзензерский, О. В. Звонарева, В. В. Малый, Н. А. Радченко, Н. М. Хачапуридзе // Вестник Херсонского национального технического университета «ХНТУ». – 2009. – Вып.35. – С. 185 – 189.
2. Зевин А. А. Электродинамические транспортные системы с плоской путевой структурой / А. А. Зевин, Н. А. Радченко, Т. И. Кузнецова, А. А. Филоненко // Техническая механика. – 2004. – № 2. – С. 120 – 122.

Институт транспортных систем
и технологий НАН Украины,
Днепропетровск

Получено 28.01.10,
в окончательном варианте 4.02.10