

УСТОЙЧИВОСТЬ ЛЕВИТАЦИОННОГО ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ЭКИПАЖА НЕТРАДИЦИОННОЙ УПРОЩЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ

Предложена конструктивная схема электродинамической транспортной системы с плоской путевой структурой, двумя рядами путевых контуров и одним рядом сверхпроводящих магнитов на экипаже, устойчивость левитационного движения которого оценена в прямолинейных и криволинейных участках путевой структуры.

Запропонована конструктивна схема електродинамічної транспортної системи із плоскою колійною структурою, двома рядами колійних контурів і одним рядом надпровідних магнітів на екіпажі, стійкість левітаційного руху якого оцінена в прямолінійних і криволінійних ділянках колійної структури.

A new structural arrangement for an electrodynamic transportation system with a flat track structure, two rows of the track paths and a row of superconducting magnets on the vehicle is proposed. The stability of the levitation motion in rectilinear and curvilinear sections of the track structure is estimated.

В ранее проверенных теоретических исследованиях [1, 2] описаны различные нетрадиционные конструктивные схемы электродинамических транспортных систем с плоской путевой структурой и приведены результаты исследований левитационного движения экипажей этих систем вдоль прямолинейных и криволинейных участков путевой структуры.

В этих конструкциях предполагалась установка на плоской путевой структуре двух, трёх или четырёх рядов путевых контуров и двух или четырёх рядов сверхпроводящих магнитов на плоских горизонтальных поверхностях тележек экипажей.

Дальнейшие поиски в области взаимодействия движущихся сверхпроводящих магнитов над плоской путевой структурой с установленными на ней путевыми короткозамкнутыми неферромагнитными контурами привели к разработке транспортной электродинамической системы с одним рядом сверхпроводящих магнитов на тележках экипажа и с двумя рядами путевых прямоугольных короткозамкнутых контуров.

Эта система представляет собой экипаж, опирающийся на две тележки посредством упруго-диссипативных элементов, на которых установлены сверхпроводящие магниты симметрично относительно продольной оси, соленоиды которых имеют прямоугольное очертание в плане, и плоскую путевую структуру с двумя рядами путевых прямоугольных контуров.

Геометрические размеры соленоидов сверхпроводящих магнитов и путевых контуров, разнесенных по ширине экипажа в определенном диапазоне, а также их взаимное расположение обеспечивают при рациональных значениях их параметров устойчивое левитационное движение экипажа, как показали результаты расчетов, вдоль путевой структуры прямолинейного и криволинейного очертания в плане в широком диапазоне скоростей. Это было показано на основании оценки пространственных колебаний экипажа, масса кузова которого соответствует 25 т, а каждая из тележек по 3,75 т, движущегося вдоль плоской путевой структуры переменной кривизны с двумя полосами путевых контуров.

При этом были приняты размеры соленоидов сверхпроводящих магнитов равными в продольном и поперечном направлениях соответственно 1,2 и 1,0 м, а путевых контуров равными 1,0 и 0,5 м диаметром 0,03 м. Расстояние

© Н.А. Радченко, Т.Л. Губа, О.В. Звонарева, 2011

Техн. механика. – 2011. – № 1.

между продольными осями контуров было принято 0,9 м. Намагничивающая сила в соленоидах магнитов соответствовала 700000 А·витков. Радиус круговой кривой, следующей за прямолинейным участком путевой структуры, был принят 8000 м, длины входной и выходной переходных кривых 400 и 500 м. Кривизна переходных кривых изменялась по синусоидальной зависимости от их протяженности [3].

Следует отметить, что оговоренные значения параметров экипажа и путевой структуры, которые обеспечивают устойчивость левитационного движения экипажа, могут быть изменены. Например, при значениях ширины магнитов и контуров, равных соответственно 1,4 и 0,4 м при расстоянии в поперечном направлении между осями контуров, равном 1,36 м. При этом важно, чтобы были выполнены следующие условия: электродинамические касательные силы взаимодействия магнита и двух рядов контуров должны иметь нисходящую зависимость при их взаимном перемещении в поперечном направлении, а нормальные их значения должны быть минимальными в положении магнита, соответствующем равновесию экипажа, т.е. в состоянии экипажа, когда его продольная ось совпадает с осью путевой структуры.

При исследовании пространственных колебаний экипажа рассматривалась электромеханическая система, состоящая из трех твердых тел: кузова экипажа, опирающегося посредством упруго-диссипативных элементов на две тележки, и токопроводящих контуров путевой структуры.

Математическая модель движения экипажа вдоль плоской путевой структуры была представлена в виде системы связанных дифференциальных уравнений, описывающих линейные и угловые перемещения кузова и тележек экипажа, т.е. твердых тел системы с помощью уравнений Лагранжа II рода и изменение наведенных магнитами токов в путевых контурах [4].

Результаты интегрирования уравнений, описывающих пространственные колебания экипажа, показали, что в диапазоне скоростей движения 30 – 100 м/с как в прямолинейных, так и криволинейных участках путевой структуры имеют место быстро затухающие колебания твердых тел системы при левитационном движении; причем колебания галопирования, подпрыгивания и виляния не зависят от кривизны пути, а перемещения бокового отбоя y_k , y_i (k и $i = 1, 2$ – индексы для обозначения кузова и тележек) и боковой качки θ_k и θ_i имеют экстремальные значения в круговой кривой.

Приведем значения левитационных зазоров z_i под i -ми тележками, максимальные значения бокового отбоя y_k , y_i и боковой качки θ_k и θ_i имеющие место в круговой кривой, а также ускорений кузова в вертикальном и в поперечном направлениях \ddot{y}_k и \ddot{z}_k : а) при значении скорости $v = 30$ м/с, $z_i = 0,051$ м, $y_k = 0,05$ м, $y_i = 0,007$ м, $\theta_k = 0,0185$ рад, $\theta_i = 0,012$ рад, $\ddot{z}_k = 0,4$ м/с², $\ddot{y}_k = 0,85$ м/с²; б) при значении скорости $v = 100$ м/с, $z_i = 0,165$ м, $y_k = 0,022$ м, $y_i = 0,024$ м, $\theta_k = 0,009$ рад, $\theta_i = 0,0067$ рад, $\ddot{z}_k = 0,04$ м/с², $\ddot{y}_k = 0,27$ м/с². Как видно из этих результатов, при значениях скоростей движения экипажа 30 м/с и 100 м/с имеет место левитационное движение, перемещения кузова и тележек в поперечной плоскости имеют небольшие значения, также как и приемлемые значения ускорений кузова в вертикальном и поперечном направлении. Отметим, что ускорение кузова в поперечном направлении y_k обусловлено главным образом углом наклона поверхности путевой структу-

ры к горизонтальной поверхности в поперечной плоскости в сторону центра ее кривизны, значение которого принято в круговой кривой равным 0,1 рад.

При других значениях скорости в интервале 30 – 100 м/с также имеет место устойчивое левитационное движение экипажа.

Таким образом, на основании полученных результатов расчетов можно заключить, что предлагаемая транспортная система с плоской путевой структурой может быть реализована для высокоскоростного движения.

1. Колебания и устойчивость движения экипажей электродинамических транспортных систем нетрадиционных конструкций / *В. А. Дзензерский, О. В. Звонарева, В. В. Малый, Н. А. Радченко, Н. М. Хачатуридзе* // Вестник Херсонского национального технического университета «ХНТУ». – 2009. – Вып.35. – С. 185 – 189.
2. Электродинамическая транспортная система с плоской путевой структурой и тремя полосами путевых контуров / *Дзензерский В. А., Кузнецова Т. И., Радченко Н. А., Филоненко Л. А., Хачатуридзе Н. М.* // Тезисы докладов 69-ой Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта, Днепропетровск, 2009. – С. 24 – 25.
3. *Шахуняц Г. М.* Железнодорожный путь / *Г. М. Шахуняц.* – М : Транспорт, 1969. – 536 с.
4. *Дзензерский В. А.* Динамика транспорта на сверхпроводящих магнитах / *В. А. Дзензерский, Н. А. Радченко.* – Днепропетровск, 2003. – 231 с.

Институт транспортных
систем и технологий
НАН Украины,
Днепропетровск

Получено 15.11.10,
в окончательном варианте 20.01.11