

УДК 629.113: 693.54

Розглянуті ергономічні характеристики руху рейкового транспортного засобу з урахуванням ефекту синергізму багатокomпонентного кінематичного збудження. Встановлені залежності параметрів плавності ходу трамвая від його завантаження, міст розташування і характеристик хвилеподібно зношених ділянок шляху

Ключові слова: плавність ходу, ефект синергізму, амплітудно-фазо-частотна характеристика

Рассмотрены эргономические характеристики движения рельсового транспортного средства с учетом эффекта синергизма многокомпонентного кинематического возбуждения. Установлены зависимости параметров плавности хода трамвая от его загрузки, мест расположения и характеристик волнообразно изношенных участков пути

Ключевые слова: плавность хода, эффект синергизма, амплитудно-фазо-частотная характеристика

Ergonomic characteristics of a rail vehicle movement taking into account synergism effect of multicomponent kinematical excitation are considered. Dependences of ride comfort parameters of a tram on its loading, the locations and characteristics of wavy worn portion of line are established

Key words: ride comfort, synergism effect, amplitude-phase-frequency characteristic

К ИССЛЕДОВАНИЮ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИЖЕНИЯ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С УЧЕТОМ ЭФФЕКТА СИНЕРГИЗМА МНОГО- КОМПОНЕНТНОГО КИНЕМАТИЧЕСКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

В. П. Шпачук

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой

Контактный тел.: (057) 783-84-18

E-mail: shpachuk@ksame.kharkov.ua

А. А. Никитина

Аспирант*

Контактный тел.: 066-447-12-49

E-mail: ann.nikitina@mail.ru

А. В. Коваленко

Кандидат технических наук, доцент

*Харьковская национальная академия городского хозяйства

ул. Революции, 12, г. Харьков, Украина, 61002

Контактный тел.: 066-128-06-35

E-mail: AVMK@yandex.ru

В. В. Дудко

Начальник лаборатории специзмерений, динамики и прочности

КПХКБМ им. О.О. Морозова

Контактный тел.: (057) 757-41-92

Введение и постановка задачи исследований в общем виде и ее связь с важными практическими заданиями

Плавность хода транспортного средства является характеристикой условий комфортабельности движе-

ния водителя и пассажира [1-3]. Динамическое взаимодействие вагона и рельсового пути, вызываемое непрерывными волновыми и изолированными ступенчатыми неровностями, обуславливают паразитные вибрации кузова, а также многие расстройтва узлов

и агрегатов вагона, определяющие в совокупности их эргономические характеристики, общее техническое состояние и эксплуатационный ресурс. Плавность хода подвижного состава рельсового электрического транспорта характеризует собой не только долговечность подвижного состава, его путевых устройств, но в значительной мере его комфортабельность.

С ростом скоростей движения транспортного средства задача оценки параметров его плавности хода приобретает актуальное значение для комплексной оценки его базовых эргономических, динамических и ресурсных характеристик. Колебания, возникающие при движении экипажа, вредно отражаются на самочувствии водителей и пассажиров.

Цель работы

Целью данной работы является установление зависимостей для вагона трамвая, который отнесен к классу механических объектов пространственной структуры, эксплуатирующихся в условиях многокомпонентного вибрационного воздействия на несущую конструкцию (корпус изделия).

Установление зависимостей параметров плавности хода в зоне расположения водителя и анализ их качественных характеристик поведения. При этом рассмотрен вариант прохождения трамваем волнообразно изношенных участков рельсового пути. Проанализированы варианты загрузки трамвая: вагон пустой, средняя загруженность вагона и максимальная загрузка трамвая.

Анализ последних исследований и публикаций

Согласно работам [1-4] динамические качества рельсовых экипажей и колесных транспортных средств оценивают по значениям коэффициентов динамических добавок вертикальных и горизонтальных возмущающих сил, ускорениям различных узлов экипажа и по показателям плавности хода. Показатель плавности хода зависит от амплитуд и спектрального состава колебаний вагона и продолжительности их действия.

Рассмотрены оценки показателя плавности хода, основанные на данных о действии колебаний на организм человека, а также водителя.

В работах [4, 5] выполнены теоретические и экспериментальные исследования величины собственных частот, коэффициентов затухания и плавности хода, определён характер колебаний присоединенных масс автомобиля с учетом дорожного покрытия.

В работе [6] представлен анализ вертикальной динамики взаимодействия жесткого колеса с рельсом. Однако принято, что поверхность качения колеса идеально круглая и гладкая, а рельсы - прямые и недеформируемые.

В работе [7] рассмотрены особенности динамики грузовых вагонов, поезда в зависимости от степени загрузки, плана и профиля пути.

В работе [8] рассмотрена математическая модель работы рельсового подвижного состава с учетом нарушения контакта колеса с рельсом.

Таким образом, в известных работах для количественной оценки плавности хода на рельсовом электрическом транспорте применяют параметры

$$W_1 = W_1(A, f)$$

либо $W_2 = W_2(a, f)$,

где A, a, f – амплитуды перемещения, ускорения и частоты вибрации кузова в контрольной точке. Однако при этом вопросы влияния конструктивных и механических характеристик объекта исследования, а также внешних силовых факторов, на количественные характеристики параметра “плавность хода” транспортного средства не рассматриваются.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья

В данной работе исследования плавности хода трамвая построены на анализе вибрационных характеристик вагона в зоне расположения сидения водителя. При этом рассматривается вариант прохождения трамваем волнообразно изношенных участков рельсов. Проанализировано три варианта загрузки трамвая: вагон пустой; средняя загруженность вагона – 5 ч/м² при 115 пассажирах; максимальная загрузка трамвая – 10 ч/м² при 193 пассажирах.

В основу исследований положены фундаментальные уравнения колебаний объекта пространственной структуры в частотной области, полученные методом комплексных амплитуд [9, 10]. При этом функциональные зависимости параметров колебаний объекта от параметров внешнего кинематического воздействия проанализированы с использованием теорем экстремальности [10].

Изложение основного материала исследования

Механическая схема анализируемого трехмерного объекта исследований изображена на рис.1. Здесь 1-4 – детали, моделирующие корпус объекта; 5-8 – упругие элементы, моделирующие блок рессорной подвески объекта; 9 - конструктивный элемент, моделирующий инерционные свойства объекта.

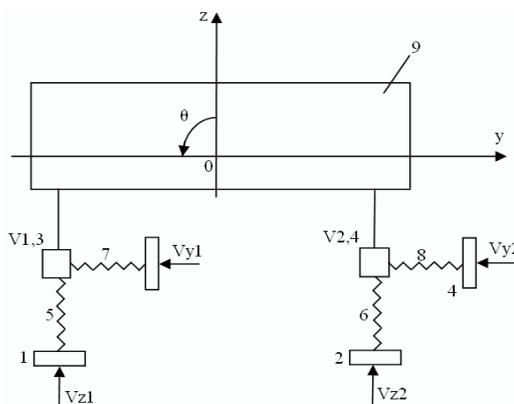


Рис. 1. Механическая схема объекта

В результате действия внешних кинематических вибрационных факторов со стороны рельсового пути (табл. 1) объект исследований совершает трехмерные колебания в плоскости yOz . Он имеет три степени свободы: возможность перемещаться вдоль осей Oy и Oz , а также возможность вращения вокруг точки O (центр масс).

Таблица 1

Характеристика возмущающих воздействий на объект

Разновидность возбуждающих воздействий	Возбуждение в направлении оси y	Возбуждение в направлении оси z
Кинематические возбуждения со стороны неровностей рельсового пути (волнообразно изношенные участки рельсов)	$V_{y_1}(t) = V_{y_2}(t) = 0$;	$V_{z_1}(t) = A \cdot \sin \omega t$; $V_{z_2}(t) = A \cdot \sin(\omega t + \alpha)$; $A = 0,004$ м, $\alpha = [0, 2\pi]$ рад, $\omega = [0, 20]$ рад/с

Закон движения объекта в матричной форме, учитывая [9, 10], имеет вид:

$$W \cdot r = q,$$

где $r(t) = (y(t), z(t), \theta(t))$ – вектор обобщенных координат;

$$W = \begin{pmatrix} W_y & 0 & -W_{y\theta} \\ 0 & W_z & W_{z\theta} \\ -W_{y\theta} & W_{z\theta} & W_\theta \end{pmatrix} - \text{матрица передаточных}$$

функций объекта исследований;

$$W_y = M \cdot P^2 + b_y \cdot P + c_y; \quad W_z = M \cdot P^2 + b_z \cdot P + c_1z + c_2z;$$

$$W_\theta = I_c \cdot P^2 + (b_y \cdot P + c_y) \cdot z_{13}^2 + \frac{1}{2} b_z \cdot P \cdot (y_{11}^2 + y_{12}^2) + c_1z y_{11}^2 + c_2z y_{12}^2;$$

$$W_{y\theta} = (b_y \cdot P + c_y) \cdot z_{13};$$

$$W_{z\theta} = \frac{1}{2} b_z \cdot P \cdot (y_{11} + y_{12}) + c_1z y_{11} + c_2z y_{12};$$

$q(t) = (q_1(t), q_2(t), q_3(t))$ – вектор возбуждения;

$$q_1(t) = \frac{1}{2} (b_y \cdot P + c_y) \cdot V_{y_1}(t) +$$

$$+ \frac{1}{2} (b_y \cdot P + c_y) \cdot V_{y_2}(t) = |V_{y_1}(t) = V_{y_2}(t);$$

$$= (b_y \cdot P + c_y) \cdot V_{y_2}(t);$$

$$q_2(t) = \frac{1}{2} b_z \cdot P \cdot (V_{z_1}(t) + V_{z_2}(t)) + c_1z V_{z_1}(t) + c_2z V_{z_2}(t);$$

$$q_3(t) = \frac{1}{2} b_z \cdot P \cdot (y_{11} \cdot V_{z_1}(t) + y_{12} \cdot V_{z_2}(t)) +$$

$$+ c_1z y_{11} \cdot V_{z_1}(t) + c_2z y_{12} \cdot V_{z_2}(t) -$$

$$- (b_y \cdot P + c_y) \cdot z_{13} \cdot V_{y_2}(t)$$

Здесь: $P = \frac{d}{dt}$ – оператор дифференцирования, $V_{y_{1,2}}, V_{z_{1,2}}$ – сигналы кинематического возбуждения; b_y – суммарный коэффициент сопротивления пружин, параллельных оси Oy ; b_z – суммарный коэффициент сопротивления пружин, параллельных оси Oz ; c_y – суммарный коэффициент жесткости пружин, параллельных оси Oy ; c_1z, c_2z – коэффициенты жесткости соответственно пружин 5, 6, параллельных оси Oz ; I_c – момент инерции относительно оси, проходящей через его центр масс; z_{13}, y_{11}, y_{12} – координаты закрепления упругих элементов соответственно 7, 8; 5; 6.

Таблица 2

Основные характеристики объекта исследований для разных типов загрузки вагона Т-3

№ п/п	Характеристики вагона	Пустой вагон	Средняя загрузка (5 ч/м ² , 115 чел)	Максимальная загрузка (10 ч/м ² , 193 чел)
1	Масса вагона M , кг	17000	25050	30510,0
2	Координаты центра масс вагона $C_{п}$, м	$y_{п}=0$; $z_{п}=0,57$	$y_{п}=0$; $z_{п}=0,64$	$y_{п}=0$; $z_{п}=0,67$
3	Момент инерции вагона I_c , кг·м ²	252692,67	351295,32	418092,419
4	Коэффициенты сопротивления пружин, параллельных осям Oy, Oz – b_y, b_z , Н·с/м	10·10 ³		
5	Коэффициенты жесткости пружин, параллельных осям Oy, Oz – c_y, c_z , Н/м	3,75·10 ⁵ , 8,45·10 ⁵		
7	Координаты точек крепления упругих элементов, м	(-3,2; -1,12); (3,2; -1,12)	(-3,2; -1,19); (3,2; -1,19)	(-3,2; -1,22); (3,2; -1,22)
8	Координаты контрольной точки K , м	(-6,0м; 0,5м)	(-6,0м; 0,43м)	(-6,0м; 0,4м)

Принятая в настоящей работе расчетная схема объекта исследований приведена на рис. 2, где 1 – базовый инерционный элемент; 2 – изотропный инерционный элемент, аддитивно и равномерно вкладывающийся в базовый; 3 – абсолютно-жесткое основание с изоли-

рованными неровностями, моделирующими, например, волнообразно изношенный рельсовый путь; $C_{\text{пас}}$ – центр масс аддитивного элемента (пассажиров трамвая); $C_{\text{п}}$ – центр масс базового инерционного элемента (пустого вагона); $K(-6,0\text{м}; 0,5\text{м})$ – контрольная точка объекта (определяется с учетом координат сидения водителя).

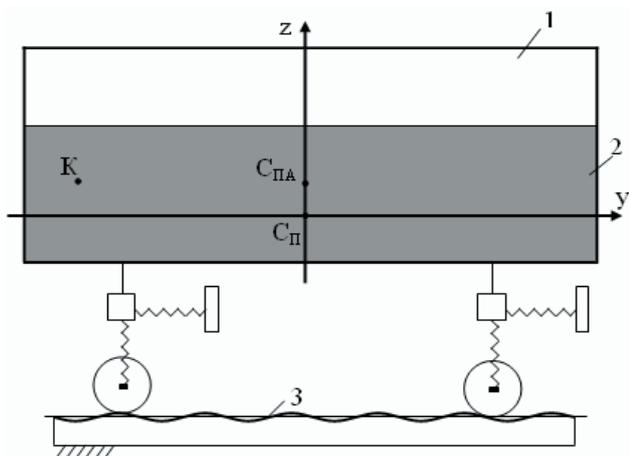
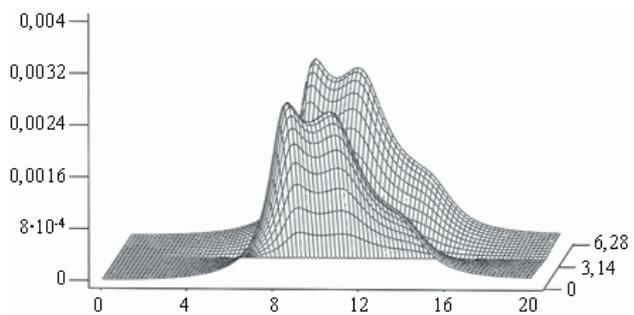


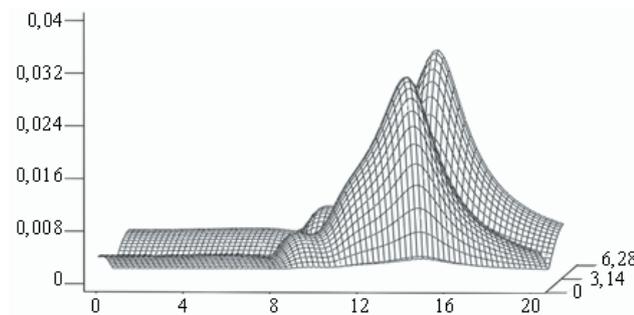
Рис. 2. Расчетная схема объекта исследований

Результаты исследования амплитудно-фазо-частотных характеристик (АФЧХ) контрольной точки объекта по координатам Z и Y представлены соответственно на рис. 3 – 5 и в табл. 3, 4.

Вариант пустого вагона.



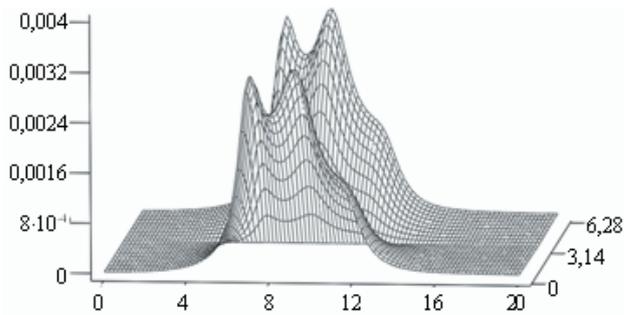
а)



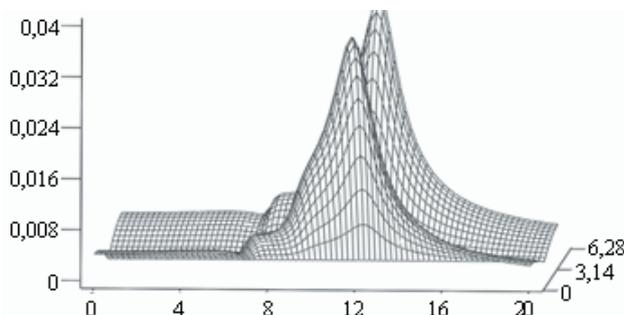
б)

Рис. 3. АФЧХ контрольной точки объекта (вариант пустого вагона): а) Y ; б) Z

Вариант средней загрузки вагона.



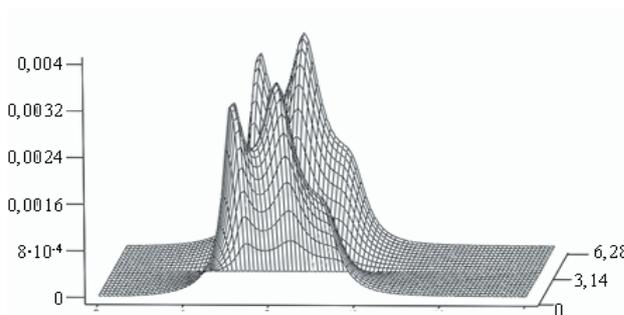
а)



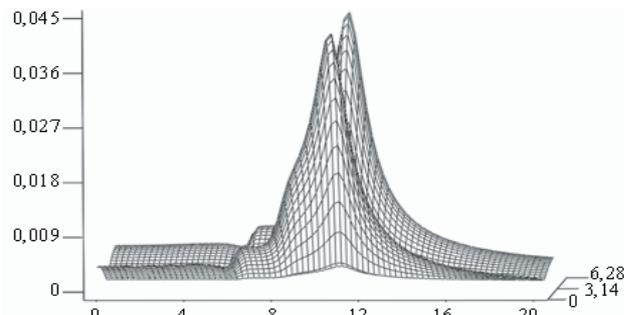
б)

Рис. 4. АФЧХ контрольной точки объекта (вариант средней загрузки вагона): а) Y ; б) Z

Вариант максимальной загрузки вагона.



а)



б)

Рис. 5. АФЧХ контрольной точки объекта (вариант максимальной загрузки вагона): а) Y ; б) Z

Таблица 3

Результаты исследования АФЧХ в контрольной точке объекта для координаты Z

Параметр АФЧХ	Частота резонанса ω_y	Частота резонанса ω_θ	Частота резонанса ω_z
Пустой вагон			
ω_{\max} , рад/с	5,915	9,202	14,175
Z_{\max} , м	$4,315 \cdot 10^{-3}$	$7,742 \cdot 10^{-3}$	$32 \cdot 10^{-3}$
α_{\max} , рад	0; 6,28	0; 6,28	0; 6,28
Средняя загрузка вагона			
ω_{\max} , рад/с	4,237	6,596	11,668
Z_{\max} , м	$4,228 \cdot 10^{-3}$	$8,467 \cdot 10^{-3}$	$35 \cdot 10^{-3}$
α_{\max} , рад	0; 6,28	0; 6,28	0; 6,28
Максимальная загрузка вагона			
ω_{\max} , рад/с	3,665	5,706	10,571
Z_{\max} , м	$4,206 \cdot 10^{-3}$	$8,938 \cdot 10^{-3}$	$38 \cdot 10^{-3}$
α_{\max} , рад	0; 6,28	0; 6,28	0; 6,28

Таблица 4

Результаты исследования АФЧХ в контрольной точке объекта для координаты Y

Параметр АФЧХ	Частота резонанса ω_y	Частота резонанса ω_θ	Частота резонанса ω_z
Пустой вагон			
ω_{\max} , рад/с	8,591	10,58	13,45
Y_{\max} , м	$2,504 \cdot 10^{-3}$	$2,603 \cdot 10^{-3}$	$1,113 \cdot 10^{-3}$
α_{\max} , рад	0; 6,28	0; 6,28	0; 6,28
Средняя загрузка вагона			
ω_{\max} , рад/с	6,377	8,252	11,4
Y_{\max} , м	$3,083 \cdot 10^{-3}$	$2,276 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$
α_{\max} , рад	0; 6,28	0; 6,28	0; 6,28
Максимальная загрузка вагона			
ω_{\max} , рад/с	5,568	7,443	10,166
Y_{\max} , м	$3,294 \cdot 10^{-3}$	$2,193 \cdot 10^{-3}$	$0,79 \cdot 10^{-3}$
α_{\max} , рад	0; 6,28	0; 6,28	0; 6,28

Анализ поведения АФЧХ объекта исследований в контрольной точке, соответствующей зоне расположения сидения водителя, показывает следующее.

1. В вертикальном направлении на частоте резонанса амплитуды колебаний возрастают в 8; 8,5; 9,5 раз и составляют $32 \cdot 10^{-3}$; $35 \cdot 10^{-3}$; $38 \cdot 10^{-3}$ м соответственно для пустого, средне и максимально загруженного вагона.

2. В направлении горизонтальной координаты амплитуды колебаний на резонансных частотах составляют $2,504 \cdot 10^{-3}$; $3,083 \cdot 10^{-3}$; $3,294 \cdot 10^{-3}$ м соответственно для пустого, средне и максимально загруженного вагона.

3. Увеличение загрузки вагона приводит к возрастанию коэффициента динамичности колебаний вагона в направлении координаты Z на 9,4; 18,7 % при одновременном снижении частоты резонанса в 1,21; 1,34 раза соответственно при средней и максимальной загрузке.

4. Имеют место значения сдвигов фаз $\alpha_{\min} = \pi$ рад и $\alpha_{\max} = (0; 2\pi)$ рад, при которых амплитуды колебаний вагона в зоне расположения сидения водителя принимают соответственно минимальное, равное $8,187 \cdot 10^{-7}$ м при $M = 17000$ кг, и максимальное при $M = 30510$ кг, на уровне $38 \cdot 10^{-3}$ м значения.

Вывод

Практическое значение полученных в работе результатов проявляется в том, что они являются базовой характеристикой при создании новых и совершенствовании существующих рельсовых транспортных средств с точки зрения их геометрических, весовых и жесткостно-демпфирующих характеристик.

Литература

- Ефремов И.С., Гуцо-Малков Б.П. Теория и расчет механического оборудования подвижного состава городского электрического транспорта. – М.: Транспорт, 1970. – 480 с.
- Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. / Под ред. М.Ф. Вериго. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
- Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагонов. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.
- Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля. Колебания и плавность хода. Изд 3-е. – М.: «Машиностроение», 1972 – 392 с.
- Герасименко В.Г., Москаленко Т.В., Доля А.Г., Грицук И.В. Исследование влияния состояния дорожного покрытия на плавность хода и колебания автомобиля. Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту, № 2, 2009. – С10-13.
- Bureika G., Subachius R. Mathematical model of dynamic interaction between wheel-set and rail track // Transport. – Vilnius: Technika, 2002, Vol. 17, № 2, p. 46-51.
- Miamlin S.V., Reidemeister A.G., Sorokolet A.V., Jastremskas V. Correlation dynamics of freight wagons with cargo position. Proceedings of the 6th International Scientific Conference TRANSBALTICA 2009. – Vilnius. Vilnius Gediminas Technical University. Transport Engineering Faculty, 2009, pp. 167-172.

8. Dailydka S., Lingaitis L.P., Myamlin S., Prichodko V. Modelling the interaction between railway wheel and rail // Transport 2008, 23(3), pp. 236-239.
9. Божко А.Е., Гноевой А.В., Шпачук В.П. Пространственное вибронагружение. - Киев: Наукова думка, -1987. – 192с.
10. Шпачук В.П. К проблеме испытаний объектов пространственной структуры на виброненадежность, реализующих эффект синергизма // Прикл. механика. -2005.-№7.-С.116-121.

Здійснюється аналіз природи виникнення додаткових похибок поплавкового двохступеневого гіроскопа в режимі експлуатаційного використання літальних апаратів. З'ясовується ступінь впливу проникаючого акустичного випромінювання на похибку вимірювань внаслідок дифракційних явищ в ревербераційному об'ємі

Ключові слова: поплавковий гіроскоп, дифракційна хвиля, рідностатичний підвіс

Проводится анализ природы возникновения дополнительных погрешностей поплавкового двухступенного гироскопа в режиме эксплуатационного использования летательных аппаратов. Устанавливается степень влияния проникающего акустического излучения на погрешность измерений вследствие дифракционных явлений в реверберационном объеме

Ключевые слова: поплавковый гироскоп, дифракционная волна, жидкостатический подвес

It is analyzed the nature of appearance of additional errors of floating double-stage gyroscope mode operational use of aircraft. It is established the degree of influence of penetrating acoustic radiation on measurement error due to diffraction phenomena in the reverberation volume

Key words: floating gyroscope, diffraction wave, oil-fed hydrostatic suspension

УДК 629.7.054

НЕЛИНЕЙНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПОПЛАВКОВОГО ПОДВЕСА ГИРОСКОПА И ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

В. В. Карачун

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой*

Контактный тел.: (044) 454-94-51

E-mail: karachun 1@gala.net

В. Н. Мельник

Кандидат технических наук, доцент*

*Кафедра биотехники и инженерии

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

пр-т Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056

1. Введение

Исследования относятся к области прикладной механики и посвящены изучению и описанию природы возникновения нелинейных колебаний в жидкостатическом подвесе двухступенного гироскопа. Такие приборы нашли широкое применение как пилотажно-навигационные. Достаточно часто они используются как чувствительные элементы трехосной гиросtabilизированной платформы на летательных аппаратах различного класса и базирования.

Известно, что оценка параметров полета широкой модификации аппаратов проводится уже непосредственно на борту носителя и потому вопросы точности построения опорной системы координат приобретают

исключительную важность и актуальность. Особенно при решении задач ближнего космоса, когда погрешности приборов инерциальной навигации могут привести к необходимости коррекции орбиты, либо к доукомплектованию носителя дополнительным количеством горючего.

2. Анализ состояния проблемы и постановка задачи исследований

Упругое взаимодействие механических систем бортовой аппаратуры летательных аппаратов с проникающим акустическим излучением и возникающие, как следствие, особенности приборов командно-из-