

УДК 629.113

УТОЧНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИУСОВ ИНЕРЦИИ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ

М.А. Подригало, проф., д.т.н., Е.А. Дубинин, доц., к.т.н., Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, В.В. Глущенко, соискатель, Национальная академия Национальной гвардии Украины, г. Харьков

Аннотация. Предложены уточненные формулы для расчета значений радиусов инерции автомобиля относительно трех координатных осей на этапе проектирования. Определены интервалы наиболее вероятных значений радиусов инерции, границы которых отстоят от среднего значения на величину среднего квадратического отклонения.

Ключевые слова: автомобиль, вероятностный метод, радиус инерции, точность.

УТОЧНЕННЯ ІМОВІРНІСНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ РАДІУСІВ ІНЕРЦІЇ КОЛІСНОЇ МАШИНИ

М.А. Подригало, проф., д.т.н., Є.О. Дубінін, доц., к.т.н., Харківський національний автомобільно-дорожній університет, В.В. Глущенко, здобувач, Національна академія Національної гвардії України, м. Харків

Анотація. Запропоновано уточнені формули для розрахунку значень радіусів інерції автомобіля відносно трьох координатних осей на етапі проектування. Визначено інтервали найбільш ймовірних значень радіусів інерції, межі яких відстоять від середнього значення на величину середнього квадратичного відхилення.

Ключові слова: автомобіль, імовірнісний метод, радіус інерції, точність.

REFINEMENT OF THE PROBABILISTIC METHOD OF DETERMINING THE RADII OF WHEEL VEHICLE INERTIA

M. Podrygalo, Prof., D. Sc. (Eng.), Ye. Dubinin, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), Kharkov National Automobile and Highway University, V. Gluschenko, Comp., National Academy of National Guard of Ukraine, Kharkov

Abstract. The method that allows to specify the vehicle radii of inertia values relative to three coordinate axes on the basis of using the known coordinates of its center of mass is proposed. Using the rule of «three Sigma», there were determined the intervals of the most probable values of the radii of inertia.

Key words: vehicle, method, radius of inertia, span, center of mass, design.

Введение

Моменты инерции относительно трех координатных осей определяют устойчивость и управляемость колесной машины. Определение радиусов инерции представляет собой определенную трудность, особенно на ста-

дии проектирования этих машин. В настоящей статье предложен усовершенствованный метод вероятностного определения радиусов инерции автомобиля относительно трех координатных осей по известным координатам его центра масс.

Анализ публикаций

Исследованием устойчивости автомобилей в различных режимах движения занималось большое количество авторов [1–5]. Ими были рассмотрены различные факторы и параметры, влияющие на это эксплуатационное свойство.

В настоящее время определение моментов и радиусов инерции автомобилей относительно трех координатных осей осуществляется

экспериментальным путем. Для определения момента и радиуса инерции относительно вертикальной оси используется метод крутильных колебаний подвешенной на тросах платформы с установленным на ней исследуемым автомобилем [6].

В табл. 1 приведены результаты экспериментального исследования моментов и радиусов инерции автомобиля относительно оси *OZ*, выполненных в работе [7].

Таблица 1 Результаты экспериментального определения моментов и радиусов инерции автомобилей относительно оси *OZ* [7]

Параметры	Автомобили									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
m_a , кг	2119	2590	2178	883	2050	1010	795	628	824	1167
I_{zc} , кгм ²	4571	6327	5435	1099	5444	1030	1050	481	1020	2099
i_z , м	1,225	1,563	1,579	1,115	1,629	1,009	1,149	0,875	1,113	1,341
a , м	1,470	1,680	1,500	0,900	1,490	1,240	1,322	0,863	1,368	1,148
b , м	1,530	1,350	1,550	1,280	1,700	1,020	0,958	1,167	1,012	1,552
L , м	3,00	3,03	3,05	2,18	3,20	2,26	2,28	2,03	2,38	2,70
h , м	0,500	0,500	0,500	0,400	0,500	0,450	0,473	0,421	0,421	0,510
B , м	1,470	1,485	1,570	1,280	1,568	1,107	1,117	0,995	1,166	1,323

В табл. 1 приняты следующие обозначения:

m_a – масса автомобиля;

I_{zc} – момент инерции автомобиля относительно вертикальной оси;

h – высота центра масс автомобиля;

a , b – расстояния от передней и задней осей автомобиля до проекции центра масс на горизонтальную плоскость, проходящую через эти оси;

L , B – база и колея автомобиля соответственно;

i_z – радиус инерции автомобиля относительно вертикальной оси.

В работах [6, 8–11] предложен вероятностный метод, позволяющий на стадии проектирования автомобиля по известным координатам центра масс (a , b) определять радиус инерции. В работе [6] приведена расчетная схема, являющаяся исходной при построении вероятностной модели в указанных работах. В них предложена вероятностная модель на основе предположения о нормальном законе распределения квадрата радиуса инерции в пределах базы, колеи и габаритной высоты автомобиля. Для определения интервала наиболее вероятных значений радиусов инерции использовалось правило «трех сигм».

В результате получены следующие выражения при условии нахождения значений радиусов инерции в пределах одного среднего квадратического отклонения:

– относительно продольной оси *OX*

$$i_x = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot (H - h) \cdot h + \frac{B^2}{12} \pm \frac{1}{6} \cdot (H - h) \cdot h}; \quad (1)$$

– относительно боковой оси *OY*

$$i_y = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot a \cdot b + \frac{1}{3} \cdot (H - h) \cdot h \pm \frac{1}{6} \cdot a \cdot b}; \quad (2)$$

– относительно вертикальной оси *OZ*

$$i_z = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot a \cdot b + \frac{B^2}{12} \pm \frac{1}{6} \cdot a \cdot b}, \quad (3)$$

где H – габаритная высота автомобиля.

Однако исходная модель, предложенная ранее, является неточной, поскольку учитывает возможность смещения центра элементарной массы только в плоскости *XOZ* и не учитывает возможности его смещения в поперечной плоскости *YOZ*.

Цель и постановка задачи

Целью исследования является уточнение вероятностного метода определения радиусов инерции автомобиля относительно трех координатных осей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- получить уточненные вероятностные зависимости радиусов инерции относительно трех координатных осей;
- провести оценку точности предложенных вероятностных зависимостей.

Получение уточненных зависимостей

Для получения уточненных зависимостей используем две точечные массы (расположенные впереди и сзади поперечной плоскости YOZ) (рис.1).

Определим радиус инерции автомобиля относительно оси OY (рис. 1, а). Момент инерции автомобиля относительно центральной оси OY (создаваемый осесимметричными массами m_1 и m_2 , установленными в точках C_1 и C_2) может быть определен следующим образом

$$I_{yc} = I_{yc_1} + I_{yc_2} = m_1 \cdot (x_{c_1}^2 + z_{c_1}^2) + m_2 \cdot (x_{c_2}^2 + z_{c_2}^2) \tag{4}$$

Из условия нахождения центра масс автомобиля в точке $C \equiv 0$ определим (рис. 1, а)

$$m_1 \cdot \sqrt{x_{c_1}^2 + z_{c_1}^2} = m_2 \cdot \sqrt{x_{c_2}^2 + z_{c_2}^2} \tag{5}$$

или
$$\frac{m_2}{m_1} = \sqrt{\frac{x_{c_1}^2 + z_{c_1}^2}{x_{c_2}^2 + z_{c_2}^2}} = \frac{m_a \cdot \frac{a}{L}}{m_a \cdot \frac{b}{L}} = \frac{a}{b} \tag{6}$$

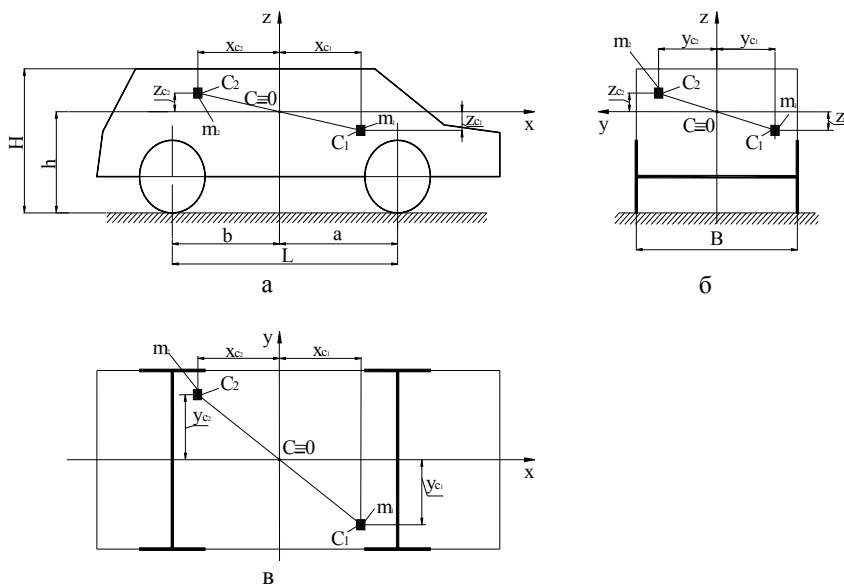


Рис. 1. Исходная расчетная схема для определения радиусов инерции относительно трех координатных осей: а – относительно оси OY; б – относительно оси OX; в – относительно оси OZ

Уравнение (4), с учетом соотношения (6), после преобразований примет вид

$$I_{yc} = m_a \cdot \frac{b}{L} \cdot (x_{c_1}^2 + z_{c_1}^2) \cdot \left(1 + \frac{b}{a}\right) = m_a \cdot \frac{b}{a} \cdot (x_{c_1}^2 + z_{c_1}^2) \tag{7}$$

Из уравнения (7) определим квадрат радиуса инерции автомобиля относительно оси OY

$$i_y^2 = \frac{I_{yc}}{m_a} = \frac{b}{a} \cdot (x_{c_1}^2 + z_{c_1}^2) \tag{8}$$

Величина квадрата радиуса инерции i_y^2 может находиться в пределах от 0 до

$$(i_{y \max}^2)^* = (a^2 + h^2) \cdot \frac{b}{a}, \quad (9)$$

либо

$$i_{y \max}^2 = [a^2 + (H - h)^2] \cdot \frac{b}{a}. \quad (10)$$

Сравнивая уравнения (9) и (10), можно сделать вывод о том, что $(i_{y \max}^2)^* < i_{y \max}^2$, поскольку для большинства автомобилей

$$H > 2h. \quad (11)$$

Среднее значение квадрата радиуса инерции относительно оси OY находим в предположении усеченного нормального закона его распределения

$$\begin{aligned} \bar{i}_y^2 &= \frac{i_{y \max}^2 + i_{y \min}^2}{2} = \\ &= \frac{b}{a} \cdot \left[\frac{a^2}{2} + \frac{1}{2} \cdot (H - h)^2 \right] = - \text{при } H > 2h; \quad (12) \\ &= \frac{1}{2} \cdot a \cdot b + \frac{b}{2a} \cdot (H - h)^2 \end{aligned}$$

или

$$\bar{i}_y^2 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot b + \frac{b}{2a} \cdot h^2 \quad - \text{при } H < 2h. \quad (13)$$

Среднее квадратическое отклонение квадрата радиуса инерции относительно оси OY находим с использованием правила «трех сигм»

$$\begin{aligned} \sigma_{i_y^2} &= \frac{i_{y \max}^2 - i_{y \min}^2}{6} = \\ &= \frac{1}{6} \cdot a \cdot b + \frac{b}{6a} \cdot (H - h)^2 \quad - \text{при } H > 2h; \quad (14) \end{aligned}$$

$$\sigma_{i_y^2} = \frac{1}{6} \cdot a \cdot b + \frac{b}{6a} \cdot h^2 \quad - \text{при } H < 2h. \quad (15)$$

Таким образом, допуская, что наиболее вероятные значения i_y^2 находятся в окрестностях среднего значения \bar{i}_y^2 , ограниченных одним среднеквадратическим отклонением $\sigma_{i_y^2}$, определим

$$\begin{aligned} i_y &= \sqrt{\bar{i}_y^2 \pm \sigma_{i_y^2}} = \\ &= \sqrt{\left[ab + \frac{b}{a} \cdot (H - h)^2 \right] \cdot \left(\frac{1}{2} \pm \frac{1}{6} \right)} \quad - \text{при} \\ &H > 2h; \quad (16) \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} i_y &= \sqrt{\left(ab + \frac{b}{a} \cdot h^2 \right) \cdot \left(\frac{1}{2} \pm \frac{1}{6} \right)} \quad - \text{при} \\ &H < 2h. \quad (17) \end{aligned}$$

Определим радиус инерции относительно оси OX (рис. 1, б). Момент инерции осесимметричных точечных масс m_1 и m_2 относительно оси OX

$$I_{xc} = m_1 \cdot (z_{c1}^2 + y_{c1}^2) + m_2 \cdot (z_{c2}^2 + y_{c2}^2). \quad (18)$$

Из условия положения центра масс машины в точке $C \equiv 0$ определим

$$\frac{m_1}{m_2} = \sqrt{\frac{z_{c2}^2 + y_{c2}^2}{z_{c1}^2 + y_{c1}^2}} = \frac{b}{a}. \quad (19)$$

После подстановки (19) в (18) и преобразований получим

$$I_{xc} = m_a \cdot \frac{b}{a} \cdot (z_{c1}^2 + y_{c1}^2). \quad (20)$$

Квадрат радиуса инерции автомобиля относительно оси OX

$$i_x^2 = \frac{I_{xc}}{m_a} = \frac{b}{a} \cdot (z_{c1}^2 + y_{c1}^2). \quad (21)$$

Наименьшее значение

$$(z_{c1}^2 + y_{c1}^2)_{\min} = 0, \quad (22)$$

а наибольшее –

$$(z_{c1}^2 + y_{c1}^2)_{\max} = \begin{cases} \frac{B^2}{4} + (H - h)^2 - \\ \text{при } H > 2h; \\ \frac{B^2}{4} + h^2 - \\ \text{при } H < 2h. \end{cases} \quad (23)$$

$$(24)$$

Таким образом,

$$i_{x \min}^2 = 0; \quad (25)$$

$$i_{x \max}^2 = \begin{cases} \left[\frac{B^2}{4} + (H-h)^2 \right] \cdot \frac{b}{a} & \text{при } H > 2h; \quad (26) \\ \left(\frac{B^2}{4} + h^2 \right) \cdot \frac{b}{a} & \text{при } H < 2h. \quad (27) \end{cases}$$

Принимая усеченный нормальный закон распределения i_x^2 , а также используя правило «трех сигм», получим

$$\bar{i}_x^2 = \begin{cases} \frac{1}{2} \cdot \frac{b}{a} \cdot \left[\frac{B^2}{4} + (H-h)^2 \right] & \text{при } H > 2h; \quad (28) \\ \frac{1}{2} \cdot \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{B^2}{4} + h^2 \right) & \text{при } H < 2h. \quad (29) \end{cases}$$

$$\sigma_{i_x^2} = \begin{cases} \frac{1}{6} \cdot \frac{b}{a} \cdot \left[\frac{B^2}{4} + (H-h)^2 \right] & \text{при } H > 2h; \quad (30) \\ \frac{1}{6} \cdot \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{B^2}{4} + h^2 \right) & \text{при } H < 2h. \quad (31) \end{cases}$$

Наиболее вероятные значения радиуса инерции автомобиля относительно продольной оси OX автомобиля могут быть определены по следующей формуле

$$i_x = \begin{cases} \sqrt{\frac{b}{a} \cdot \left[\frac{B^2}{4} + (H-h)^2 \right] \cdot \left(\frac{1}{2} \pm \frac{1}{6} \right)} & \text{при } H > 2h; \quad (32) \\ \sqrt{\frac{b}{a} \cdot \left(\frac{B^2}{4} + h^2 \right) \cdot \left(\frac{1}{2} \pm \frac{1}{6} \right)} & \text{при } H < 2h. \quad (33) \end{cases}$$

Определим радиус инерции автомобиля относительно оси OZ (рис. 1, в). Момент инерции осесимметричных точечных масс m_1 и m_2 относительно оси OZ

$$I_{zc} = m_1 \cdot (x_{c1}^2 + y_{c1}^2) + m_2 \cdot (x_{c2}^2 + y_{c2}^2). \quad (34)$$

Из условия нахождения центра масс машины в точке $C \equiv 0$ находим

$$\frac{m_1}{m_2} = \sqrt{\frac{x_{c2}^2 + y_{c2}^2}{x_{c1}^2 + y_{c1}^2}} = \frac{b}{a}. \quad (35)$$

После подстановки (35) в (34) и преобразований получим

$$I_{zc} = m_a \cdot \frac{b}{a} \cdot (x_{c1}^2 + y_{c1}^2). \quad (36)$$

Квадрат радиуса инерции автомобиля относительно оси OZ

$$i_z^2 = \frac{b}{a} \cdot (x_{c1}^2 + y_{c1}^2). \quad (37)$$

Предельные значения квадрата радиуса инерции автомобиля относительно оси OZ

$$i_{z \min}^2 = 0; \quad (38)$$

$$i_{z \max}^2 = \frac{b}{a} \cdot \left(a^2 + \frac{B^2}{4} \right). \quad (39)$$

Среднее значение (при условии усеченного нормального закона распределения i_z^2)

$$\bar{i}_z^2 = \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{a^2}{2} + \frac{B^2}{8} \right). \quad (40)$$

Среднеквадратическое отклонение i_z^2 (при использовании правила «трех сигм»)

$$\sigma_{i_z^2} = \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{a^2}{6} + \frac{B^2}{24} \right). \quad (41)$$

Наиболее вероятные значения радиуса инерции автомобиля относительно вертикальной оси OZ

$$i_z = \sqrt{\left(a \cdot b + \frac{B^2}{4} \cdot \frac{b}{a} \right) \cdot \left(\frac{1}{2} \pm \frac{1}{6} \right)}. \quad (42)$$

Оценка точности предложенных вероятностных зависимостей

Оценку точности полученных зависимостей проведем на примере расчетов \bar{i}_z , для которого имеются соответствующие эксперимен-

тальные значения, определенные в работе [7]. В табл. 2 приведены результаты расчетов радиуса инерции \bar{i}_z по формулам (3) и (42) для десяти моделей, представленных в табл. 1.

Таблица 2. Сравнение результатов расчета \bar{i}_z по формулам (3) и (42)

Параметры	Автомобили									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
i_z , м	1,225	1,563	1,579	1,115	1,629	1,009	1,149	0,875	1,113	1,341
\bar{i}_z , м (3)	1,142	1,148	1,170	0,844	1,213	0,857	0,859	0,766	0,897	1,018
\bar{i}_z , м (42)	1,186	1,164	1,217	0,931	1,272	0,871	0,864	0,819	0,904	1,089
$\delta(\bar{i}_z)$, % (3)	7,25	36,16	35,01	32,09	34,29	17,73	33,82	14,30	24,01	31,70
$\delta(\bar{i}_z)$, % (42)	3,32	34,25	29,75	19,73	28,1	15,86	33,01	6,83	23,07	23,10

Для обоих результатов теоретического расчета определена погрешность определения среднего значения радиуса инерции \bar{i}_z по отношению к результатам экспериментального определения, приведенным в работе [7]. Анализ результатов исследований, приведенных в таблице 2, показывает, что использование уточненной расчетной формулы (42) позволяет уменьшить расхождение с результатами экспериментов для всех десяти автомобилей. Средняя по десяти машинам погрешность составляет 26,6 % при использовании формулы (3) и 21,7 % – при использовании зависимости (42). Снижение средней погрешности составляет $\approx 22,6$ %. Использование усеченного нормального распределения в пределах $\pm \sigma$ обеспечивает достоверность полученных результатов 68 %.

Выводы

В результате проведенного исследования получены уточненные формулы для расчета средних значений радиусов инерции автомобилей относительно трех координатных осей. Определены интервалы наиболее вероятных значений радиусов инерции, границы которых отстоят от среднего значения на величину среднего квадратического отклонения.

Приведенное в качестве примера сравнение результатов расчета радиусов инерции относительно вертикальной оси для десяти автомобилей по известной и уточненной формулам показало, что уточненная формула позволяет повысить точность более чем на 20 %.

Литература

1. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля / А.С. Литвинов. – М.: Машиностроение, 1971. – 416 с.
2. Антонов Д.А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей / Д.А. Антонов. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
3. Вопросы динамики торможения и рабочих процессов тормозных систем автомобилей / Б.Б. Генбом, Г.С. Гудз, В.А. Демьянюк и др.; под ред. Б.Б. Генбома. – Львов: Вища школа, 1974. – 234 с.
4. Голомидов А.М. Эксплуатационные свойства автомобилей с приводом на передние колеса / А.М. Голомидов. – М.: Машиностроение, 1986. – 112 с.
5. Джонс И.С. Влияние параметров автомобиля на дорожно-транспортные происшествия / И.С. Джонс; пер. с англ. С.Р. Майзельс; под ред. Р.В. Ротенберга. – М.: Машиностроение, 1979. – 208 с.
6. Волков В.П. Формирование функциональной стабильности тормозных свойств колесных машин при проектировании: дисс... д-ра техн. наук: 05.22.02 / Волков Владимир Петрович. – Харьков, 2005. – 334 с.
7. Эллис Д.Р. Управляемость автомобилей / Д.Р. Эллис; перевод с англ. Г.К. Мирзоева. – М.: Машиностроение, 1975. – 244 с.
8. Маневренность и тормозные свойства колесных машин / Подригало М.А., Волков В.П., Кирчатый В.И., Бобошко А.А.; под ред. М.А. Подригало. – Х.: ХНАДУ, 2003. – 404 с.

9. Стабильность эксплуатационных свойств колесных машин / М.А. Подригало, В.П. Волков, В.А. Карпенко и др.; под ред. М.А. Подригало. – Х.: ХНАДУ, 2003. – 614 с.
10. Подригало М.А. Определение радиусов инерции автомобиля на стадии его проектирования / М.А. Подригало, В.П. Волков // Автомобильная промышленность: научно-техн. журнал. – 2003. – №6. – С. 19–22.
11. Подригало М.А. Вероятностный метод определения радиусов инерции автомобиля / М.А. Подригало, В.П. Волков, П.В. Волков, В.М. Ефимчук // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2002. – Вып. 17. – С. 48–51.

References

1. Litvinov A.S. *Upravlyaemost' i ustoychivost' avtomobilya* [Vehicle handling and stability], Moscow, Mashinostroenie Publ., 1971, 416 p.
2. Antonov D.A. *Teoriya ustoychivosti dvizheniya mnogoosnykh avtomobiley* [The theory of multi-axle cars motion stability], Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978, 216 p.
3. Genbom B.B., Gudz G.S., Dem'yanyuk V.A., Kizman A.M., Kobylinskiy V.N. *Voprosy dinamiki tormozheniya i rabochikh protsessov tormoznykh sistem avtomobiley* [The questions of dynamics of vehicles brake systems braking and work processes]. L'vov, Vishcha shk. Publ., 1974, 234 p.
4. Golomidov A.M. *Ekspluatatsionnye svoystva avtomobiley s privodom na perednie kolea* [Operational properties of vehicles with front-wheel drive], Moscow, Mashinostroenie Publ., 1986. 112 p.
5. Jones I.S. *The effect of vehicle characteristics on road accidents*. New York, Pergamon press Publ., 1976, 220 p. (Russ. ed.: S.R. Maizel's, R.V. Rotenberg. *Vliyanie parametrov avtomobilya na dorozhno-transportnye proisshestiya*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1979, 208 p.).
6. Volkov V.P. *Formirovaniye funktsional'noi stabil'nosti tormoznykh svoystv kolesnykh mashin pri proektirovaniy*. Diss... d-ra tekhn. nauk [Formation of functional stability of wheeled vehicles brake properties in the design. D-r. tech. sci. diss.], Kharkov, 2005, 334 p.
7. Ellis J.R. *Vehicle dynamics*. London: Business Books Limited Publ., 1969. 198 p. (Russ. ed.: G.K. Mirzoev *Upravlyaemost' avtomobiley*), Moscow, Mashinostroenie Publ., 1975, 216 p.
8. Podrigalo M.A., Volkov V.P., Kirchatyi V.I., Boboshko A.A. *Manevrennost' i tormoznye svoystva kolesnykh mashin* [Maneuverability and braking properties of wheeled vehicles], Kharkov, KhNADU Publ., 2003, 404 p.
9. Podrigalo M.A., Volkov V.P., Karpenko V.A., Getsovich E.M., Boboshko A.A., Efimchuk V.M., Matyrin A.N. *Stabil'nost' ekspluatatsionnykh svoystv kolesnykh mashin* [Stable of wheeled vehicles performances], Kharkov, KhNADU Publ., 2003, 614 p.
10. Podrigalo M.A., Volkov V.P. *Opreделение radiusov inertsii avtomobilya na stadii ego proektirovaniya* [Determination of vehicles radii of inertia at the design stage]. *Avtomobil'naya promyshlennost' - Car industry*, 2003, Vol. 6, pp. 19-22.
11. Podrigalo M.A., Volkov V.P., Volkov P.V., Efimchuk V.M. *Veroyatnostnyi metod opredeleniya radiusov inertsii avtomobilya* [The probabilistic method for determining the cars radii of inertia]. *Vestnik KhNADU - Bulletin of KNAHU*, 2002, Vol. 17, pp. 48-51.

Рецензент: А.В. Бажинов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 22 октября 2015 г.