

Мобільні і стаціонарні енергозасоби та їх елементи
Mobile and stationary power units and their elements

УДК 629.017

Совершенствование метода оценки надежности
тормозной системы колесной машиныА.С. Полянский¹, Е.А. Дубинин¹, Д.М.Клец², В.В. Задорожня³¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет (г. Харьков, Украина);²Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» (г. Харьков, Украина);³Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
им. П. Василенко (м. Харків, Україна)

Надежная работа тормозных систем колесных машин оказывает влияние на их устойчивость, что проявляется отсутствием склонности к заносу при торможении и возможностью остановиться за минимально возможное время. Предложен усовершенствованный метод оценки надежности тормозной системы шарнирно-сочлененной колесной машины с использованием метода парциальных ускорений. Рассмотрена схема сил, действующих на шарнирно-сочлененную колесную машину при торможении с незаблокированными колесами, при условии возможного складывания ее секций. Получен критерий в виде углового ускорения в плоскости дороги $\dot{\omega}_z$, по величине и знаку которого можно судить об отказе тормозных механизмов. При торможении с работоспособными тормозными механизмами $\dot{\omega}_z \leq 0$ (стабилизирующее парциальное угловое ускорение будет превышать возмущающее парциальное угловое ускорение) колесная машина будет обладать запасом устойчивости. При достижении $\dot{\omega}_z > 0$ машина станет неустойчивой, что может свидетельствовать о неправильной работе тормозной системы. Критерий учитывает современный уровень развития колесных машин, позволяющий создать тормозное управление, в котором распределение тормозных сил между осями осуществляется в соответствии с распределением нормальных реакций дороги. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании, производстве и эксплуатации шарнирно-сочлененных колесных машин.

Ключевые слова: метод, надежность, тормозная система, шарнирно-сочлененный.

Введение. Надежность систем и агрегатов колесных машин существенно влияет на безопасность их использования. Особого внимания требует обеспечение работоспособного состояния тормозной системы и рулевого управления.

Повышение надежности работы тормозных систем колесных машин, в том числе и шарнирно-сочлененных, оказывает влияние не только на возможность повышения их скорости движения, но и на устойчивость движения и положение вследствие отсутствия склонности к заносу при торможении, возможности остановиться за минимально возможное время.

Анализ последних достижений и публикаций Оценке устойчивости колесных машин при торможении, в том числе и многоосных, посвящено значительное количество научных исследований [1-5]. Однако в указанных работах,

при оценке показателей устойчивости машин при торможении, не учитывались как особенности конструкции шарнирно-сочлененных машин, так и надежность тормозной системы и ее техническое состояние.

Учесть влияние особенностей конструкции машины, технического состояния тормозной системы и работоспособности ее элементов на устойчивость движения позволит использование метода парциальных ускорений применительно к описанию кругового движения шарнирно-сочлененной машины в плоскости дороги [6]. В работе [7] предложен метод оценки устойчивости автомобиля при торможении на основе применения метода парциальных ускорений. Он не позволяет учесть особенности конструкции шарнирно-сочлененных машин, поэтому его дальнейшее совершенствование является актуальной задачей.

Цель и постановка задачи. Целью исследования является совершенствование методики диагностирования тормозной системы шарнирно-сочлененной колесной машины с использованием метода парциальных ускорений. Для достижения такой цели необходимо решить задачу определения углового ускорения колесной машины в плоскости дороги, с учетом особенностей конструкции шарнирно-сочлененных машин, при торможении с работоспособными и отказавшими элементами тормозной системы.

Совершенствование метода оценки надежности тормозной системы

Для решения поставленной задачи рассмотрим схему сил, действующих на шарнирно-сочлененную колесную машину при торможении с незаблокированными колесами, при условии возможного складывания ее секций (рис. 1).

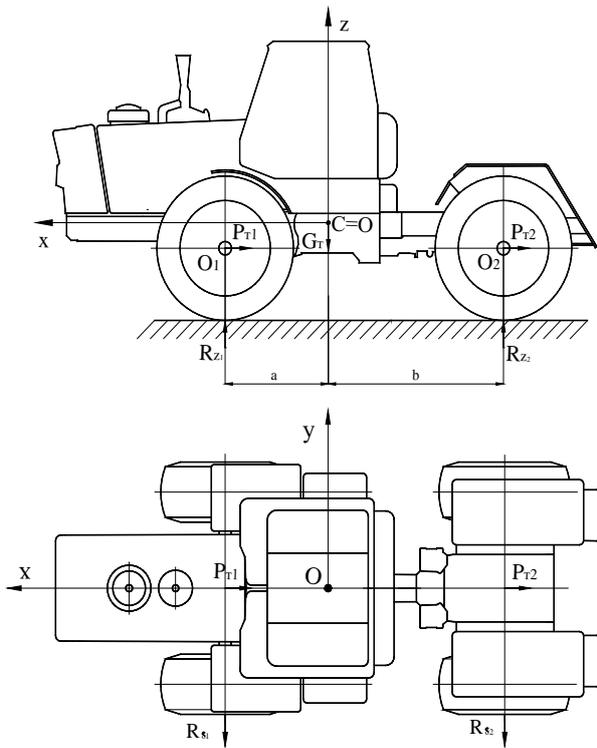


Рис.1. Схема сил, действующих на шарнирно-сочлененную машину при торможении

Занос машины проявляется появлением углового ускорения $\dot{\omega}_z$ в плоскости дороги. В подвижной системе координат XOYZ уравнение вращательного движения колесной машины в наиболее общем виде будет иметь вид

$$I_{zc} \cdot \dot{\omega}_z = R_{\delta 1} \cdot a \cdot k_a - R_{\delta 2} \cdot b \cdot k_b, \quad (1)$$

где a — расстояние от проекции передней оси до проекции центра масс на опорную плоскость;

b — расстояние от проекции задней оси до проекции центра масс на опорную плоскость; k_a, k_b — коэффициенты, учитывающие влияние складывания секций машины на расстояния от проекции центра масс до проекций соответствующих осей на опорную плоскость; $R_{\delta 1}, R_{\delta 2}$ — боковые реакции дороги на осях; I_{zc} — центральный момент инерции с учетом складывания секций, относительно вертикальной оси

$$I_{zc} = m_T \cdot i_z^2, \quad (2)$$

m_T — общая масса колесной машины; i_z — радиус инерции машины, с учетом складывания секций, относительно вертикальной оси OZ.

Из уравнения (1) получим уравнение парциальных ускорений путем деления левой и правой части на I_{zc} [6]

$$\dot{\omega}_z = \frac{R_{\delta 1} \cdot a \cdot k_a}{I_{zc}} - \frac{R_{\delta 2} \cdot b \cdot k_b}{I_{zc}} = \dot{\omega}_{z \text{ возм}}^{\text{парц}} - \dot{\omega}_{z \text{ стаб}}^{\text{парц}}, \quad (3)$$

где $\dot{\omega}_{z \text{ возм}}^{\text{парц}}$ — возмущающее парциальное угловое ускорение

$$\dot{\omega}_{z \text{ возм}}^{\text{парц}} = \frac{R_{\delta 1} \cdot a \cdot k_a}{I_{zc}}, \quad (4)$$

$\dot{\omega}_{z \text{ стаб}}^{\text{парц}}$ — стабилизирующее парциальное угловое ускорение

$$\dot{\omega}_{z \text{ стаб}}^{\text{парц}} = \frac{R_{\delta 2} \cdot b \cdot k_b}{I_{zc}}. \quad (5)$$

Боковые силы на осях могут быть определены (при условии действия на их колеса суммарных касательных реакций R_{xi} приближенно равных суммарным тормозным силам P_{Ti} на этих осях) по зависимости

$$R_{\delta i} = \sqrt{\phi^2 \cdot R_{zi}^2 - \beta_i^2 \cdot P_T^2}, \quad (6)$$

где R_{zi} — суммарная нормальная реакция дороги на колесах i -ой оси; ϕ — коэффициент сцепления колес с дорогой; P_T — общая тормозная сила на осях колесной машины

$$P_T = \sum_{i=1}^n P_{Ti}, \quad (7)$$

β_i — доля общей тормозной силы, приходящаяся на колеса i -ой оси;

$$\beta_i = \frac{P_{Ti}}{P_T}. \quad (8)$$

Общая тормозная сила P_T связана с замедлением j машины при торможении следующим соотношением

$$P_T = m_T \cdot j. \quad (9)$$

Подставляя (9) в (6), получим

$$R_{\delta i} = \sqrt{\phi^2 \cdot R_{zi}^2 - \beta_i^2 \cdot m_T^2 \cdot j^2}. \quad (10)$$

Суммарная нормальная реакция R_{zi} на колеса i -ой оси может быть определена как

$$R_{zi} = q_i \cdot G_T = q_i \cdot m_T \cdot g, \quad (11)$$

где q_i — доля общего веса машины G_T , приходящаяся на колеса i -ой оси; g — ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

После подстановки выражения (11) в соотношение (10) получим

$$R_{\delta i} = \sqrt{\phi^2 \cdot q_i^2 \cdot m_T^2 \cdot g^2 - \beta_i^2 \cdot m_T^2 \cdot j^2} = m_T \cdot g \cdot q_i \cdot \sqrt{\phi^2 - \left(\frac{\beta_i}{q_i}\right)^2 \cdot \left(\frac{j}{g}\right)^2}. \quad (12)$$

Современный уровень развития колесных машин позволяет создать тормозное управление, в котором распределение тормозных сил между осями осуществляется в соответствии с распределением нормальных реакций дороги. В этом случае $\beta_i = q_i$ и выражение (12) примет вид

$$R_{\delta i} = m_T \cdot g \cdot q_i \cdot \sqrt{\phi^2 - \left(\frac{j}{g}\right)^2}. \quad (13)$$

Определим парциальные ускорения $\dot{\omega}_{z \text{ возм}}^{\text{парц}}$ и $\dot{\omega}_{z \text{ стаб}}^{\text{парц}}$ с учетом соотношений (2) и (13). Для этого подставим указанные соотношения в уравнения (4) и (5)

$$\dot{\omega}_{z \text{ возм}}^{\text{парц}} = \frac{g}{i_z^2} \cdot \sqrt{\phi^2 - \left(\frac{j}{g}\right)^2} \cdot q_1 \cdot a \cdot k_a; \quad (14)$$

$$\dot{\omega}_{z \text{ стаб}}^{\text{парц}} = \frac{g}{i_z^2} \cdot \sqrt{\phi^2 - \left(\frac{j}{g}\right)^2} \cdot q_2 \cdot b \cdot k_b. \quad (15)$$

Уравнения (14) и (15) позволяют осуществлять диагностику технического состояния тормозной системы колесной машины. Подставляя (14) и (15) в (3), получим

$$\dot{\omega}_z = \frac{g}{i_z^2} \cdot \sqrt{\phi^2 - \left(\frac{j}{g}\right)^2} \cdot (q_1 \cdot a \cdot k_a - q_2 \cdot b \cdot k_b). \quad (16)$$

По величине и знаку $\dot{\omega}_z$ можно судить об отказе тормозных механизмов. При торможении с работоспособными тормозными механизмами $\dot{\omega}_z \leq 0$ (стабилизирующее парциальное угловое ускорение $\dot{\omega}_{z \text{ стаб}}^{\text{парц}}$ будет превышать возмущающее парциальное угловое ускорение $\dot{\omega}_{z \text{ возм}}^{\text{парц}}$) колесная машина будет обладать запасом устойчивости. При достижении $\dot{\omega}_z > 0$ машина станет неустой-

чивой, что может свидетельствовать о неправильной работе тормозной системы, в том числе и вследствие отказа тормозных механизмов.

Выводы. Предложен уточненный метод оценки надежности тормозной системы, с использованием метода парциальных ускорений, учитывающий особенности конструкции колесных шарнирно-сочлененных машин. Получен критерий углового ускорения в плоскости дороги, по величине и знаку которого можно судить об отказе тормозных механизмов. Предложенный метод позволяет проводить диагностирование тормозных систем шарнирно-сочлененных средств транспорта.

Література

1. Подригало М.А. Стабильность эксплуатационных свойств колесных машин [Текст] / М.А. Подригало, В.П. Волков, В.А. Карпенко и др.; под ред. М.А. Подригало. – Х.: ХНАДУ, 2003. – 614 с.
2. Вопросы динамики торможения и рабочих процессов тормозных систем автомобилей [Текст] / Б.Б. Генбом, Г.С. Гудз, В.А. Демянюк и др.; под ред. Б.Б. Генбома. – Львов: Выща школа, 1974. – 234 с.
3. Мартынюк А.А. Динамика и устойчивость движения колесных транспортных машин [Текст] / А.А. Мартынюк, Л.Г. Лобас, Н.В. Никишина – К.: Техніка, 1981. – 223 с.
4. Подригало М.А. Устойчивость колесных машин при заносе и способы ее повышения / М.А. Подригало, В.П. Волков, В.Ю. Степанов, М.В. Доброгорский; под ред. М.А. Подригало – Х.: ХНАДУ, 2006. – 335 с.
5. Антонов Д.А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей [Текст] / Д.А. Антонов – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
6. Артемов Н.П. Метод парциальных ускорений и его приложение в динамике мобильных машин [Текст] / Н.П. Артемов, А.Т. Лебедев, М.А. Подригало и др.; под ред. М.А. Подригало – Х.: Мiськдрук, 2012 – 220 с.
7. Полянский А.С. Применение метода парциальных ускорений для оценки устойчивости автомобиля при торможении [Текст] / А.С. Полянский, Е.А. Дубинин, В.Н. Плетнев // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета: сборник научных трудов. – 2012. – Вып. 36. – С. 17 - 19.

Анотація

Удосконалення методу оцінки надійності гальмівної системи колісної машини

О.С. Полянський, Є.О. Дубінін, Д.М. Клец, В.В. Задорожня

Надійна робота гальмівних систем колісних машин впливає на їх стійкість, що проявляється відсутністю схильності до заносу при гальмуванні і можливістю зупинитися за мінімально можливий час. Запропоновано удосконалений метод оцінки надійності гальмівної системи шарнірно-зчленованої колісної машини з використанням методу парціальних прискорень. Розглянуто схему сил, діючих на шарнірно-зчленовану колісну машину при гальмуванні з незаблокованими колесами, за умови можливого складання її секцій. Отримано критерій у вигляді кутового прискорення в площині дороги $\dot{\omega}_z$, за величиною і знаком якого можна судити про відмову гальмівних механізмів. При гальмуванні з працюючими гальмівними механізмами $\dot{\omega}_z \leq 0$ (стабілізуюче парціальне кутове прискорення буде перевищувати збурююче парціальне кутове прискорення) колісна машина буде володіти запасом стійкості. При досягненні $\dot{\omega}_z > 0$ машина стане нестійкою, що може свідчити про неправильну роботу гальмівної системи. Критерій враховує сучасний рівень розвитку колісних машин, що дозволяє створити гальмівне управління, в якому розподіл гальмівних сил між осями здійснюється відповідно до розподілу нормальних реакцій дороги. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні, виробництві та експлуатації шарнірно-зчленованих колісних машин.

Ключові слова: *метод, надійність, гальмівна система, шарнірно-зчленований.*

Abstract

Improvement of reliability assessing method of the wheeled vehicle brake system

O.S. Polyanskyi, Ye.A. Dubinin, D.M. Klets, V.V. Zadorozhnyia

Reliable operation of wheeled vehicles brake systems has an impact on their stability, which manifested a lack of propensity to skidding when braking and the ability to stay in the shortest possible time. The improved method for assessing the reliability of the articulated wheeled vehicle brake system using the method of partial acceleration is offered. The scheme of the forces acting on the articulated wheeled vehicle when braking with the unlocked wheels, provided the possibility of folding its sections, is reviewed. The criterion in the form of angular acceleration in the plane of the road $\dot{\omega}_z$, on the magnitude and sign of which can be seen on the refusal of brake mechanisms, is received. When braking with operable brakes $\dot{\omega}_z \leq 0$ (stabilizing partial angular acceleration exceeds the disturbing partial angular acceleration) wheeled vehicle will have a margin of stability. Upon reaching $\dot{\omega}_z > 0$ the vehicle becomes unstable, which may indicate of the braking system malfunction. The criterion takes into account the current level of wheeled vehicles, allowing to create a braking control in which the brake force distribution between the axles is in accordance with the distribution of the normal reaction of the road. The results can be used in the design, manufacture and operation of articulated wheeled vehicles.

Keywords: *method, reliability, brake system, articulated.*

Представлено: М.А.Подригало / Presented by: M.A.Podrygalo

Рецензент: В.І.Мельник / Reviewer: V.I.Mel'nik

Подано до редакції / Received: 24.05.2015