

УДК 621.113

ВЕРБИЦКИЙ В.Г., д.ф-м.н., профессор,
Государственный экономико-технологический университет транспорта;
БАННИКОВ В.А., к.т.н., доцент,
Запорожский национальный технический университет;
ЧЕРВЯКОВА Е.В., ст. преп., **ЗИНОВЬЕВ Е.Я.**, ст. преп.,
Донецкая академия автомобильного транспорта

УСЛОВИЯ ОПРОКИДЫВАНИЯ ТРЕХКОЛЕСНОГО ЭКИПАЖА ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО КРИВОЛИНЕЙНОЙ ТРАЕКТОРИИ

Рассмотрены условия опрокидывания при движении по криволинейной траектории для 3-х колесного экипажа с учетом действия продольных сил инерции. Получены максимальные значения скорости движения по траектории постоянной кривизны и минимальные радиусы кривизны, в которых может двигаться без опрокидывания трехколесный экипаж, при наличии продольного замедления.

Ключевые слова: условия опрокидывания, криволинейная траектория, радиус кривизны, скорость движения, 3-х колесный экипаж

Постановка проблемы

Необходимость устранения проблемы перегруженности автотранспортом улично-дорожной сети обуславливает поиск ее решения, в том числе, и за счет внедрения новых видов транспортных средств, в частности высокоманевренных 3-х колесных микроавтомобилей. При этом вопросы обеспечения безопасности не могут быть оставлены без внимания. Одним из главных направлений является устойчивость по опрокидыванию 3-х колесного экипажа с одним передним управляемым колесом.

Анализ последних исследований и публикаций

Известны условия для поперечного опрокидывания автомобиля, связывающие его геометрические параметры: h_{cm} – высоту центра масс, B – колею, а также R – радиус кривизны траектории и V – скорость продольного движения [1,3]. Но в этом случае (для 4-х колесного экипажа) величина силы инерции в продольном направлении не влияет на условия его опрокидывания. Для случая 3-х колесного экипажа [1,2] влияние продольной силы инерции по условиям опрокидывания существенно.

В данной работе новизна не привносится в известные соотношения, отражающие условия опрокидывания, но рассматриваются конкретные численные значения параметров, которые относятся к реальному 3-х колесному микроавтомобилю.

Цель статьи

Дать оценку устойчивости по опрокидыванию 3-х колесного экипажа с одним передним управляемым колесом в прямолинейном и круговом движении и одновременном действии на него продольных и поперечных ускорений.

Основной раздел

На 3-х колесный экипаж, движущийся по ровной и горизонтальной поверхности, в общем случае действуют продольные и поперечные силы инерции, условно приложенные в центре масс. Геометрическая схема определения момента опрокидывания сил инерции представлена на рисунке 1. Уравнение моментов, в соответствии с приведенной схемой, имеет вид:

$$mg \cdot c = h(P_x \sin \alpha + P_y \cos \alpha), \quad (1)$$

где $c = a \cdot \sin \alpha$;

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{B}{2 \cdot l}.$$

Разделив обе части уравнения (1) на m , получим:

$$\frac{g \cdot a \cdot \sin \alpha}{h} - a_x \sin \alpha = a_y \cos \alpha \quad (2)$$

Окончательно получим выражение, пригодное для определения продольных и поперечных ускорений, их взаимного влияния и критических значений параметров по опрокидыванию:

т.к. $\operatorname{tg} \alpha \left(\frac{g \cdot a}{h} - a_x \right) = a_y$, имеем:

$$\frac{B}{2 \cdot l} \left(\frac{a}{h} - \frac{a_x}{g} \right) = \frac{a_y}{g}, \quad (3)$$

где a_x и a_y – соответственно продольное и поперечное ускорения.

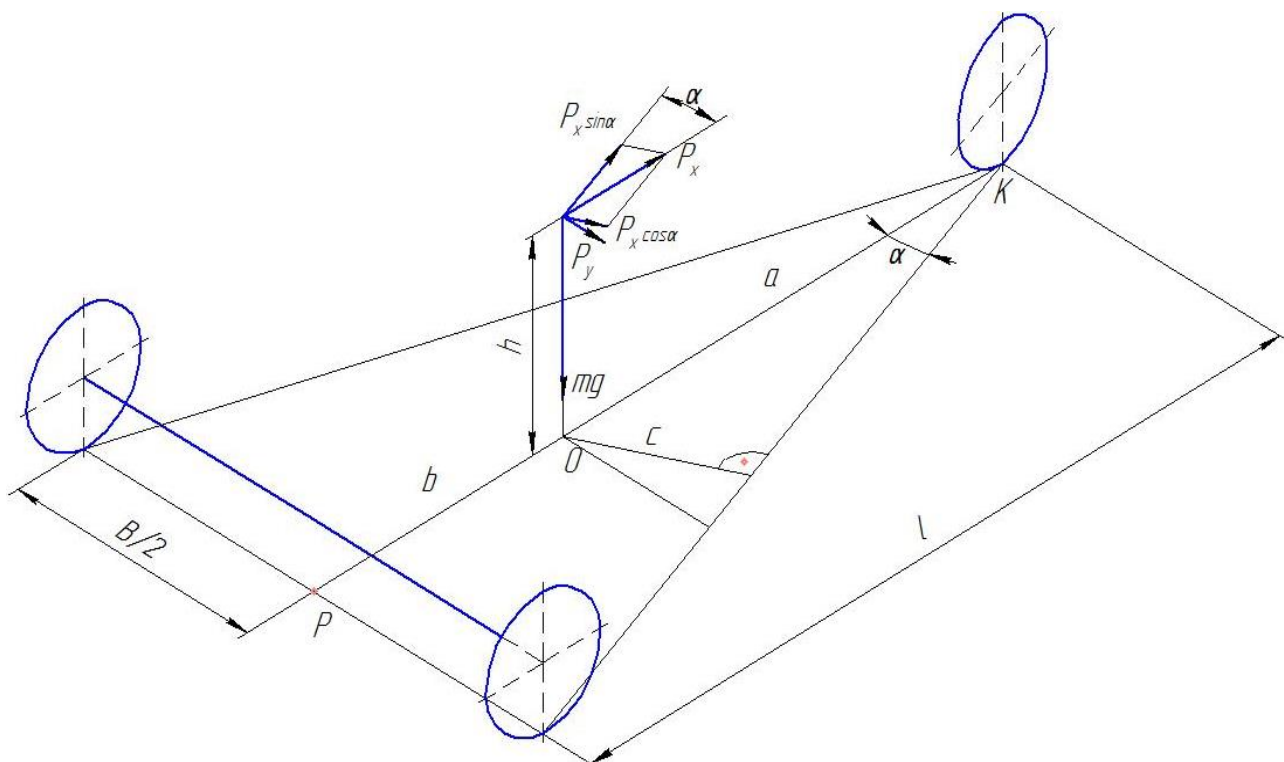


Рис.1. Расчетная схема 3-х колесного экипажа

Часть численных значений, используемых в дальнейшем, соответствует одной из реальных экспериментальных моделей 3-х колесного экипажа:

- колесная база $l = 1,7$ м,
- расстояние от оси вращения переднего колеса до центра масс по горизонтали $a = 1,15$ м,

- колея задних колес $B = 0,84 \text{ м}$,
- высота центра масс $h_{\text{цм}} = 0,35 \text{ м}$

Ниже, на рисунке 2, приведена область в плоскости безразмерных продольных и поперечных ускорений центра масс трехколесного экипажа, допустимых с точки зрения опрокидывания в круговых и прямолинейных движениях, которая получена на основе выражения (3).

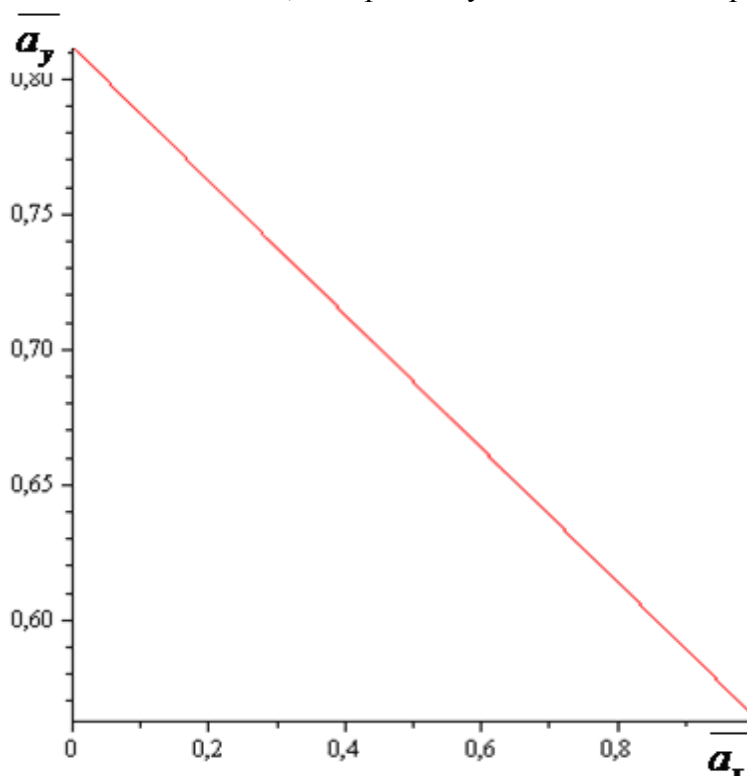


Рис.2. Взаимосвязь продольных и поперечных ускорений

Ниже, в таблице 1, приведены результаты расчета критических значений скорости движения экипажа по опрокидыванию при различных радиусах кривизны круговых траекторий, в зависимости от величины безразмерного продольного замедления \bar{a}_x .

Таблица 1

Критические значения скорости движения экипажа

Безразмерные значения замедления	$R, \text{ м}$				
	5	10	15	20	25
$\bar{a}_x = 1,1$	5,15	7,28	8,91	10,29	11,5
$\bar{a}_x = 0,6$	5,71	8,07	9,88	11,41	12,76
$\bar{a}_x = 0$	6,31	8,92	10,92	12,61	14,10

В таблице 2 представлены значения минимально допустимых радиусов кривизны траектории при различных скоростях движения. Минимальные значения величин радиусов круговых траекторий движения экипажа по опрокидыванию получены при различных значениях безразмерных величин продольного замедления экипажа \bar{a}_x .

Таблица 2

Величины радиусов круговых траекторий движения экипажа по опрокидыванию

Безразмерные значения замедления	$V_1=16,67$ м/с	$V_2=11,11$ м/с	$V_3=5,56$ м/с	$V_4=2,78$ м/с
$\bar{a}_x=0,6$	42,67	18,96	4,74	1,18
$\bar{a}_x=0,3$	38,38	17,06	4,26	1,07
$\bar{a}_x=0$	34,88	15,50	3,87	0,65

Выводы

Получены максимальные значения скорости движения по траектории постоянной кривизны с различными значениями замедления. Определены минимальные радиусы кривизны, в которых может двигаться без опрокидывания трехколесный экипаж, при наличии продольного замедления; при этом, в работе не учтены крены кузова, связанные с податливостью, в частности, передней подвески.

Список литературы

1. Мамити Г.И. Расчет устойчивости мотоциклов с эластичными шинами / Г.И. Мамити, М.С. Льянов // Автомобильная промышленность. – 2006.– № 5. – М: Машиностроение. – С. 34-37.
2. Mukherjee S., Three-wheeled scooter taxi: A safety analysis / S. Mukherjee, D. Mohan, T.R.Gawade //Transportation Research and Injury Prevention Programme, Indian Institute of Technology, Hauz Khas, New Delhi 110016, Sadhana vol. 32, Part 4, August 2007, pp. 459 – 478.
3. Литвинов А.С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: Учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин// – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.

Вербицкий В.Г., Банников В.О., Червякова О.В., Зинов'єв Є.Я. Умови перекидання 3-х колісного екіпажу при русі по криволінійній траєкторії

Анотація. Розглянуто умови перекидання під час руху 3-х колісного екіпажу по криволінійній траєкторії з урахуванням дії поздовжніх сил інерції. Отримано максимальні значення швидкості руху по траєкторії постійної кривизни і мінімальні радіуси кривизни, при яких може рухатися триколісний екіпаж без перекидання, за умови поздовжнього уповільнення.

Ключові слова: умови перекидання, криволінійна траєкторія, радіус кривизни, швидкість руху, 3-х колісний екіпаж

Verbitsky V.G., Bannikov V.A., Chervyakova E.V., Zinovev E.Ya. Conditions for overturning for three-wheeled vehicle when moving along a curved path

Abstract. The conditions for overturning the motion along a curved path for 3-wheeled vehicle with a view of the longitudinal forces of inertia are considered. The maximal values of rate of movement are considering for the trajectories of permanent curvature and minimum radiuses curvatures the three-wheeled vehicle can move in that without overturning, at presence of longitudinal deceleration.

Keywords: conditions for overturning, along a curved path, radius of curvature, rate of movement, 3-wheeled vehicle

Стаття надійшла до редакції 25.04.2014 р.