

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПЕРЕБОРУДОВАННОГО АВТОБУСА ЛАЗ-695НГ

А. Д. Бумага, к.т.н., доцент; С. В. Крахин, ст. преп.; Д. Д. Гаевой

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Аннотация. В работе [1] показано, что большинство (80%) дорожно-транспортных происшествий переоборудованных транспортных средств, возникших по техническим причинам, связаны с отклонениями в работе четырех основных систем, определяющих активную безопасность транспортных средств, в том числе управляемость и устойчивость их движения. К нарушению управляемости и устойчивости движения может привести переоборудование, при котором изменяется распределение масс между осями и координата центра масс по высоте. Характерными в этом отношении является переоборудованный в газовую модификацию автобус ЛАЗ-695НГ с установкой газовых баллонов на крыше автобуса. Поэтому для такого автобуса необходима проверка показателей не только статической устойчивости, а и устойчивости движения.

Ключевые слова: колесо, автобус, ускорение, уравнение, скорость; wheel, bus, acceleration, equation, speed.



Бумага
Александр Дмитриевич



Крахин
Станислав Валерьевич



Гаевой
Данил Дмитриевич

ЦЕЛЬ

Определение показателей поперечной устойчивости при неустановившемся круговом движении автобусов.

В работе [2] рассмотрена методика и определены показатели статической устойчивости переоборудованных автобусов. Эти показатели сравниваются с показателями, регламентируемыми Правилами ЕЭК ООН N 111 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения автоцистерн категорий N и O в отношении их устойчивости к опрокидыванию» [3]. Максимальные поперечные ускорения для переоборудованных автобусов не превышают максимально допустимых $4,5 \text{ м/с}^2$.

Показатели поперечной устойчивости определялись путем решения дифференциальных уравнений движения автобуса.

При составлении уравнений движения приняты следующие обозначения (рис.1):

V – ускорение автобуса в продольном направлении; X_1, X_2 – продольные силы на первой и второй осях, λ – вынос колеса управляемого модуля; m_1, J_1 – масса и момент инерции управляемого колесного модуля относительно центральной вертикальной оси; $a; b$ – расстояние от центра масс автобуса до точек крепления передней (управляемой) оси и задней оси; k_f – коэффициент сопротивления колес автобуса; $k_{k_1}; k_{k_2}$ – коэффициенты сопротивления уводу колес осей; k_k – приведенный коэффициент жесткости управляемого колесного модуля; h – коэффициент демпфирования по углу поворота управляемого колесного модуля, $\text{карра}_1; \text{карра}_2$ – коэффициент сцепления колес передней и задней осей при определении боковых сил увода; θ_0 – установленный угол поворота колес управляемого модуля.

Система дифференциальных уравнений движения автобусов записана относительно следующих переменных ($U, \omega, \theta, \Theta, \psi, x, y$), где U – производная

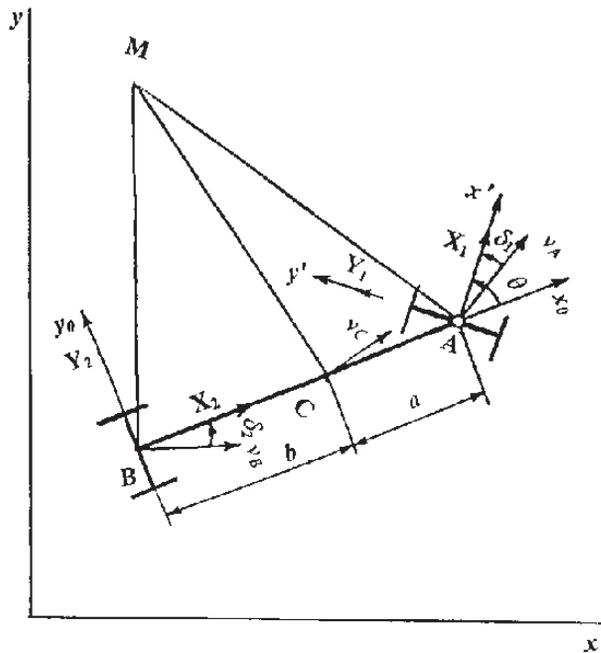


Рис. 1. Схема сил и моментов, действующих на автобус в неустановившемся повороте

боковой составляющей скорости центра масс (u); (Ω) Omega – производная угловой скорости (ω) относительно вертикальной оси; (Θ) Theta – скорость изменения угла поворота управляемого модуля; \ddot{T} – угловое ускорение управляемого модуля.

$$m(U + \varpi v) = Y_2 + Y_1 \cos(\theta) + \sin(\theta)X_1 + ml \cos(\theta)y\Omega + ml \cos(\theta)\ddot{T} - ml a\Omega - ml \varpi v - ml \sin(\theta)\lambda \varpi^2 - ml \sin(\theta)\lambda \Theta^2 - 2ml \sin(\theta)\varpi \lambda \Theta - ml U$$

$$J\Omega = a \cos(\theta)Y_1 + a \sin(\theta)X_1 + a ml \cos(\theta)y\Omega + a ml \cos(\theta)\ddot{T} - ml a^2\Omega - a ml \varpi v - a ml \sin(\theta)\lambda \varpi^2 - a ml \sin(\theta)\lambda \Theta^2 - 2 a ml \sin(\theta)\varpi \lambda \Theta - ml U - bY_2$$

$$J_1(\Omega + \ddot{T}) = -\sin(\theta)ml \varpi u - \sin(\theta)ml a \varpi^2 - \cos(\theta)ml a \Omega - \cos(\theta)ml a v + \sin(\theta)ml V + \lambda ml \Omega + \lambda ml \ddot{T} - \cos(\theta)ml U \quad (1)$$

Углы увода колес осей автобуса определены по следующим выражениям [4]:

– передней оси:

$$\delta_1 = \theta - \frac{u + (a - \lambda \cos(\theta)) \omega}{v + \lambda \omega \sin(\theta)}, \quad (2)$$

которое после преобразований запишется в виде

$$\delta_1 = - \frac{-v \sin(\theta) + (u + a \omega) \cos(\theta) - \omega \lambda}{v \cos(\theta) + (u + a \omega) \sin(\theta)}, \quad (3)$$

– задней оси:

$$\delta_2 = \frac{-u + b \omega}{v}, \quad (4)$$

Продольная база автобуса определена как

$$l = a + b - \lambda, \quad (5)$$

Нормальные реакции опорной поверхности на колесах осей автобуса записаны в виде:

– передней оси:

$$Z_1 = ml g + \frac{m g b}{a + b - \lambda}, \quad (6)$$

– задней оси:

$$Z_2 = \frac{m g (a - \lambda)}{a + b - \lambda}, \quad (7)$$

Боковые силы на колесах осей автобуса записаны в виде:

– передней оси:

$$Y_1 = \frac{-kk l(-v \sin(\theta) + (u + a \omega) \cos(\theta) - \omega \lambda)}{(v \cos(\theta) + (u + a \omega) \sin(\theta)) \cdot \sqrt{1 + \frac{kk l(-v \sin(\theta) + (u + a \omega) \cos(\theta) - \omega \lambda)^2}{(v \cos(\theta) + (u + a \omega) \sin(\theta))^2 k l^2 \left(ml g + \frac{m g b}{a + b - \lambda} \right)^2}}} \quad (8)$$

– задней оси:

$$Y_2 = \frac{kk^2 (-u + b \omega)}{v \sqrt{1 + \frac{kk^2 (-u + b \omega)^2 (a + b - \lambda)^2}{v^2 \kappa^2 m^2 g^2 (a - \lambda)^2}}}, \quad (9)$$

В дальнейшем рассмотрим установившиеся круговые режимы движения, для которых скорость изменения фазовых координат равняется нулю ($U=0$, $\Omega=0$, $\ddot{T}=0$, $\Theta=0$).

Из первого уравнения системы (1) следует, что центробежная поперечная сила приблизительно равняется $m \times \omega \times v$ продольная составляющая $m \times \omega \times u$.

При таких условиях система дифференциальных уравнений движения (1) превращается в такую систему:

$$e_1 = (m + ml) \omega v + ml \sin(\theta) \lambda \omega^2 - Y_1 \cos(\theta) - Y_2$$

$$e_2 = a ml \omega v + a ml \sin(\theta) \lambda \omega^2 - kk(\theta - \Theta) - i \cos(\theta) Y_1 + b Y_2 \quad (10)$$

$$e_3 = -ml \lambda v \omega \cos(\theta) - ml \lambda \omega u \sin(\theta) - ml a \lambda \omega^2 \sin(\theta) + kk(\theta - \Theta) + \lambda Y_1$$

Решение системы дифференциальных уравнений движения (10) автобуса осуществлено с помощью программного обеспечения Maple по следующим исходным данным: $g = 9,81$; $m_1 = 100$; $m = 12000$; $a = 2,79$; $b = 1,4$; $h = 0$; $\lambda = -0,0023$; $J_1 = 3,22$; $J = 0,8 \cdot m \cdot a \cdot b$; $kk_1 = 160000$; $kk_2 = 326000$; $\kappa_1 = 0,8$; $\kappa_2 = 0,8$.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что при приведенной жесткости управляемого колесного модуля $kk = 100 \text{ Н/рад}$, движение автобуса при скорости 25 м/с является неустойчивым. При увеличении жесткости управляющего колесного модуля до 2000 Н/рад величина продольного и поперечного ускорений изменяется как от скорости движения, так и от угла поворота управляющего колесного модуля. Если принять как нормативную величину бокового ускорения 4,5 м/с², то при скорости 25 м/с угол поворота управляемого колесного модуля не должен превышать 0,05 рад (радиус поворота автобуса $R = 83,8 \text{ м}$), а при скорости 8 м/с – 0,36 рад ($R = 12,47 \text{ м}$). Полученные предельные углы поворота управляемого колесного модуля, радиусов поворота и скоростей движения

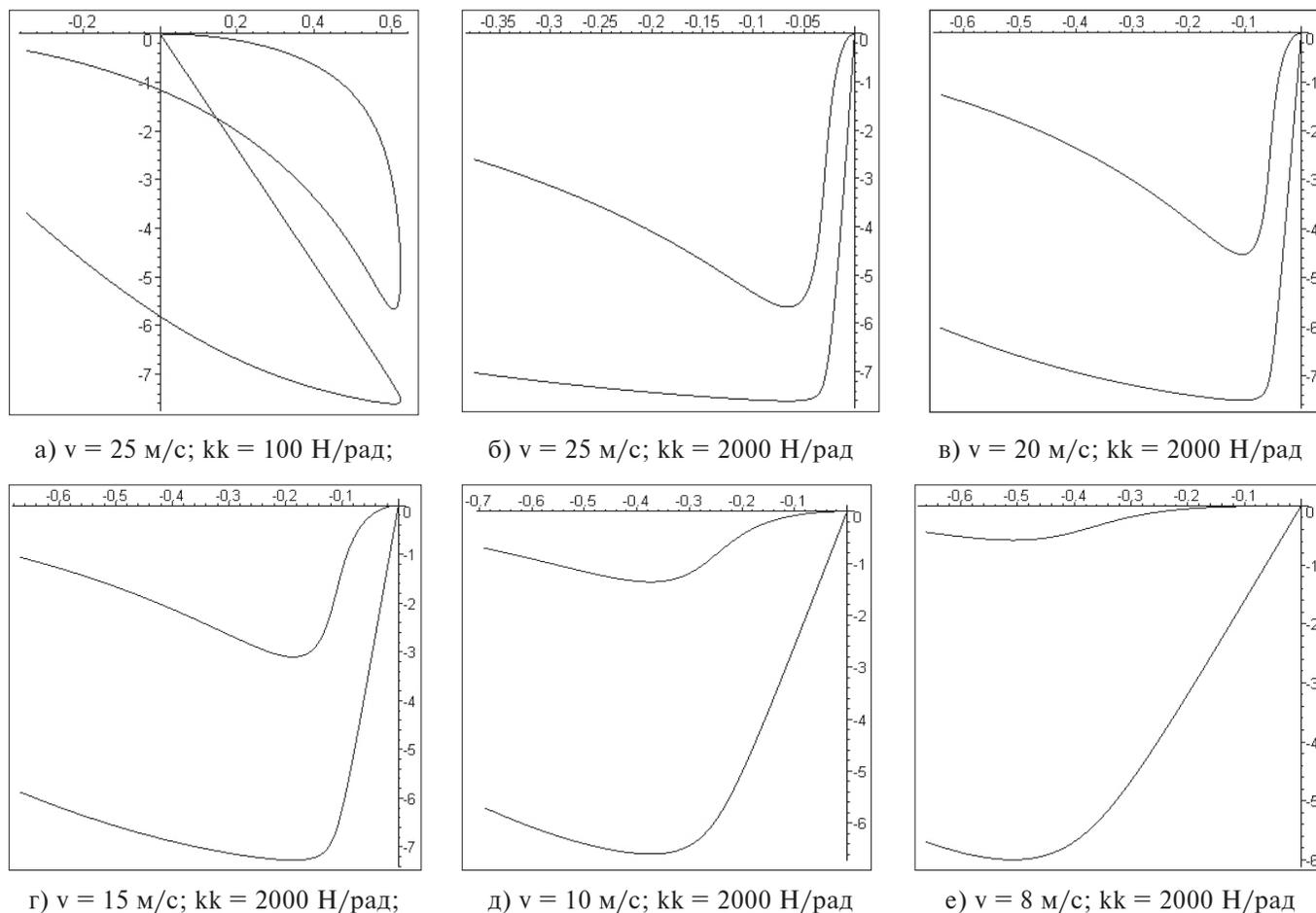


Рис. 2. Зависимость продольного и поперечного ускорений автобуса от угла поворота управляемого колесного модуля

находятся в зоне эксплуатационных параметров движения автобуса и поэтому должны быть учтены при переоборудовании автобусов.

ВЫВОД

Проведенными исследованиями установлено, что при переоборудовании автобусов необходимо очень взвешенно выбирать приведенную жесткость управляющего модуля, которая определяет предельные величины угла поворота управляемого колесного модуля, скорость движения автобуса и его радиус поворота.

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ

Среди конструктивных параметров автобуса, влияющих на показатели его поперечной устойчивости, особого внимания заслуживают коэффициент сопротивления уводу колес осей автобуса, коэффициенты жесткости подвески, наличие стабилизаторов поперечной устойчивости и т. д. Влияние этих параметров на показатели поперечной устойчивости переоборудованных автобусов и станет предметом дальнейших исследований.

Список литературы

1. Зубрицкий, С. Г. Переоборудование АТС и их конструктивная безопасность [Текст] / Зубрицкий С. Г. — Автомобильная промышленность, 2003. — №1. — с. 21-24.
2. Бумага, А. Д. К определению показателей устойчивости движения переоборудованного автобуса ЛАЗ-695НГ // Системные методы управления, технология и организация производства, ремонта и эксплуатации автомобилей. [Текст] / Бумага А. Д. — Киев: НТУ, ТАУ, 2003. — Вып. 17. — С. 12-17.
3. Правила ЕЭК ООН N 111 Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения автоцистерн категорий N и O в отношении их устойчивости к опрокидыванию [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200106493> (дата обращения 03.12.2020).
4. Сахно, В. П. К определению условий поперечной потери устойчивости прямолинейного движения автомобиля с управляемым колесным модулем [Текст] / Сахно В. П., Вербицкий В. Г., Веремчук О. А., Загороднов М. И. — Автошляховик України. Отдельный выпуск. Вестник Северного научного центра ТАУ. — Вып.5.2002. — С.67-69.