

М.А. ПОДРИГАЛО, д-р техн. наук, ХНАДУ (г. Харьков), **Д.М. КЛЕЦ**, канд. техн. наук, ХНАДУ (г.Харьков), **В.Л. ФАЙСТ**, аспирант, ХНАДУ (г. Харьков)

ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ПО УСЛОВИЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Визначені граничні значення питомої потужності автомобіля, що означає необхідність або обмеження потужності двигуна на небезпечних режимах руху, або установки на автомобілі систем динамічної стабілізації курсового кута (ESP).

Limiting values of vehicle specific capacity that means necessity or engine power restrictions on dangerous modes of movement, or dynamic stabilization systems (ESP) installation are defined.

Введение. Увеличение мощности двигателя по отношению к полной массе автомобиля влечет за собой рост динамических показателей последнего (динамического фактора и линейного ускорения). При этом, особенно для заднеприводных автомобилей, возрастает опасность потери устойчивости движения.

Анализ последних достижений и публикаций. Коэффициенты динамичности и устойчивости против заноса автомобиля определены нами ранее в работе [1].

$$K_{дин} = \frac{P_K}{\sum P_C}; \quad (1)$$

$$K_{уст} = \frac{M_{сопр}}{M_{возм}}, \quad (2)$$

где $K_{дин}$ – коэффициент динамичности;

$K_{уст}$ – коэффициент устойчивости;

P_K – тяговая сила автомобиля;

$\sum P_C$ – суммарная сила сопротивления движению автомобиля;

$M_{сопр}$ – момент сопротивления заносу автомобиля,

$M_{возм}$ – возмущающий занос крутящий момент.

Суммарная сила сопротивления движению автомобиля:

$$\sum P_c = m_a \cdot g \cdot \psi + K \cdot F \cdot V^2, \quad (3)$$

где m_a – общая масса автомобиля;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

KF – фактор сопротивления воздуха (K – коэффициент сопротивления воздуха; F – мидель);

V – линейная скорость автомобиля;

ψ – суммарный коэффициент дорожного сопротивления,

$$\psi = f \pm i; \quad (4)$$

f – коэффициент сопротивления качению колес автомобиля;

i – продольный уклон пути.

В работе [1] получена зависимость для коэффициента устойчивости автомобиля против заноса в тяговом режиме движения

$$K_{уст} = \sqrt{\frac{\left[g \cdot \varphi \cdot \frac{b}{L} + \left(\frac{KF}{m_a} \cdot V^2 + \dot{V} \right) \varphi \cdot \frac{h}{L} \right] - (1 - K_R)^2 \cdot \frac{b^2}{a^2} \cdot \left(\frac{K \cdot F}{m_a} \cdot V^2 + \dot{V} \right)^2}{\left[g \cdot \varphi \cdot \frac{b}{L} - \left(\frac{K \cdot F}{m_a} \cdot V^2 + \dot{V} \right) \cdot \varphi \cdot \frac{h}{L} \right]^2 - K_R^2 \cdot \left(\frac{K \cdot F}{m_a} \cdot V^2 + \dot{V} \right)^2}}, \quad (5)$$

где φ – коэффициент сцепления колес с дорогой;

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

h – высота центра масс автомобиля;

L – продольная колесная база автомобиля;

K_R – коэффициент распределения касательных реакций между передними и задними ведущими колесами,

$$K_R = \frac{R}{R_{K_1} + R_{K_2}}, \quad (6)$$

R_{K_1}, R_{K_2} – касательные реакции на передних и задних ведущих колесах автомобиля.

У переднеприводных автомобилей $K_R = 1$, а заднеприводных – $K_R = 0$.

В работе [1] из условия $K_{уст} \geq 1$ определено условие устойчивости движения при разгоне автомобиля

$$\dot{V} \leq \frac{\varphi^2 \cdot g \cdot \frac{h}{L} \cdot \frac{b}{a}}{0,5 \cdot \left(\frac{b^2}{a^2} - 1 \right) \cdot \left(K_R^2 - \varphi^2 \cdot \frac{h^2}{L^2} \right) - \frac{b^2}{a^2} \cdot (K_R - 0,5)} - \frac{KF}{m_a} \cdot V^2. \quad (7)$$

Выражение в правой части неравенства (7) определяет значение максимального допустимого линейного ускорения $\dot{V}_{уст}^{\max}$ по условию обеспечения устойчивого движения автомобиля. Величина линейного ускорения автомобиля при разгоне, характеризующая приемистость последнего, определяется удельной мощностью двигателя, т.е. соотношением максимальной мощности двигателя и общей массы автомобиля. Однако в известных исследованиях не определены значения удельной мощности двигателя, соответствующие сохранению устойчивости движения автомобиля.

Цель и постановка задач исследования. Целью исследования является определение предельной мощности двигателя по условию обеспечения устойчивого движения автомобиля в тяговом режиме.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить предельную величину коэффициента динамичности;
- определить предельную величину удельной мощности двигателя.

Определение предельной величины коэффициента динамичности.

Величина линейного ускорения автомобиля связана с коэффициентом динамичности следующей зависимостью [1]:

$$\dot{V} = \frac{\sum P_c}{\delta \cdot m_a} \cdot (K_{дин} - 1), \quad (8)$$

где δ – коэффициент учета вращающихся масс двигателя и трансмиссии.

Подставляя правую часть выражения (8), в левую часть неравенства (7), определим зону допустимых значений коэффициента динамичности автомобиля

$$K_{дин} \leq 1 + \delta \cdot \frac{m_a \cdot g \cdot \varphi^2 \cdot \frac{h}{L} \cdot \frac{b}{a}}{0,5 \left(\frac{b^2}{a^2} - 1 \right) \cdot \left(K_R^2 - \varphi^2 \cdot \frac{h^2}{L^2} \right) - \frac{b^2}{a^2} \cdot (K_R - 0,5)} - KFV^2. \quad (9)$$

После подстановки выражения (3) для $\sum P_c$ в неравенство (9) окончательно получим

$$K_{дин} \leq 1 + \delta \cdot \frac{\varphi^2 \cdot \frac{h}{L} \cdot \frac{b}{a}}{0,5 \cdot \left(\frac{b^2}{a^2} - 1 \right) \cdot \left(K_R^2 - \varphi^2 \cdot \frac{h^2}{L^2} \right) - \frac{b^2}{a^2} \cdot (K_R - 0,5) \frac{K \cdot F}{g \cdot m_a} \cdot V^2} - \frac{K \cdot F}{g \cdot m_a} \cdot V^2} \varphi + \frac{KF}{m_a g} \cdot V^2} \quad (10)$$

Правая часть неравенства (10) определяет максимально допустимую величину $K_{дин}^{max}$ коэффициента динамичности по условию обеспечения устойчивого движения автомобиля. На рис. 1 приведены график зависимости $K_{дин}^{max}(V)$ для нескольких моделей автомобилей: заднеприводного и полноприводного.

Переднеприводные автомобили обладают устойчивостью движения при наиболее высоких значениях коэффициента динамичности. Анализ графиков, приведенных на рис. 1, показывает, что полноприводные автомобили более устойчивы (кривая VAZ-2121 на рис. 1) чем заднеприводные (кривая VAZ-2101 на рис. 1).

Коэффициент динамичности определяется удельной мощностью двигателя автомобиля. Поэтому целесообразно определить предельную по условию устойчивости величину удельной мощности двигателя.

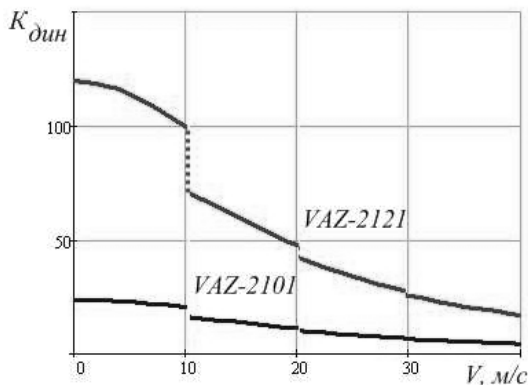


Рисунок 1 – Предельные значения коэффициента динамичности по условию обеспечения устойчивого движения автомобиля

Определение предельной величины удельной мощности двигателя.
 Коэффициент динамичности автомобиля определяется также отношением мощностей

$$K_{дин} = \frac{N_K}{N_C} = \frac{\eta_{mp} \cdot N_e}{N_C}, \quad (11)$$

где N_K – мощность на ведущих колесах автомобиля;

N_e – мощность двигателя (эффективная);

η_{mp} – КПД трансмиссии;

N_C – мощность двигателя, затрачиваемая на преодоление суммарной силы сопротивления движению автомобиля,

$$N_C = V \cdot \sum P_C. \quad (12)$$

Подставляя (12) в (11) получим с учетом (3)

$$K_{дин} = \frac{\eta_{mp} \cdot N_e}{V \cdot (m_a \cdot g \cdot \psi + K \cdot F \cdot V^2)} = \frac{N_e}{m_a} \cdot \frac{\eta_{mp}}{g \cdot \psi \cdot V + \frac{K \cdot F}{m_a} \cdot V^3}. \quad (13)$$

Подставляя выражение (13) в левую часть неравенства (10), получим после преобразований

$$\frac{N_e}{m_a} \leq \frac{g \cdot \psi \cdot V + \frac{KF}{m_a} \cdot V^3}{\eta_{mp}} + \frac{\delta \cdot g}{\eta_{mp}} V \times \left[\frac{\varphi^2 \cdot \frac{h}{L} \cdot \frac{b}{a}}{0,5 \cdot \left(\frac{b^2}{a^2} - 1 \right) \cdot \left(K_R^2 - \varphi^2 \cdot \frac{h^2}{L^2} \right) - \frac{b^2}{a^2} (K_R - 0,5)} - \frac{K \cdot F}{g \cdot m_a} \cdot V^2 \right] \quad (14)$$

Преобразовав неравенство (14), получим

$$\frac{N_e}{m_a} \leq \frac{g \cdot V}{\eta_{\delta\delta}} \cdot \left[\psi - \frac{K \cdot F}{m_a \cdot g} \cdot V^2 \cdot (\delta - 1) + \delta \cdot \frac{\varphi^2 \frac{h}{L} \cdot \frac{b}{a}}{0,5 \cdot \left(\frac{b^2}{a^2} - 1 \right) \cdot \left(K_R^2 - \varphi^2 \cdot \frac{h^2}{L^2} \right) - \frac{b^2}{a^2} \cdot (K_R - 0,5)} \right] \quad (15)$$

Неравенство (15) определяет величины допустимых значений удельной мощности двигателя в зависимости от линейной скорости автомобиля. На рис. 2 приведены графики зависимости (15) для передне- и заднеприводных автомобилей на различных передачах. При $\delta = 1$ (см. выражение (15)) аэродинамическое сопротивление не оказывает влияния на величину максимально допустимо по условию устойчивости движения удельной мощности двигателя.

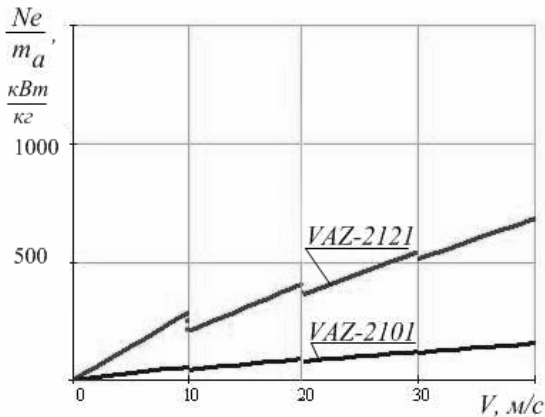


Рисунок 2 – Зависимость предельной удельной мощности по условию устойчивости от скорости движения автомобиля

Выводы.

1. Переднеприводные автомобили обладают устойчивостью движения при наиболее высоких значениях коэффициента динамичности. Полноприводные автомобили более устойчивы, чем заднеприводные.

2. При $\delta = 1$ аэродинамическое сопротивление не оказывает влияния на величину максимально допустимо по условию устойчивости движения удельной мощности двигателя.

Список литературы: 1. Динамика автомобиля Подригало М.А., Волков В.П., Бобошко А.А., Павленко В.А., Файст В.Л., Клец Д.М., Редьков В.В.; под ред. М.А. Подригало. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2008. – 424 с.