

УДК 629.017

ПОДРИГАЛО М.А., ФАЙСТ В.Л., ХНАДУ

РАЗГОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Визначено потенційні динамічні можливості автомобіля й отримані розгінні характеристики автомобільного двигуна.

Введение. Способность автомобилей вписываться в интенсивный транспортный поток определяется их динамическими свойствами. В последние годы, у легковых автомобилей среднего и высокого класса наметилась тенденция увеличения удельной мощности, т.е. мощности, приходящейся на единицу веса машины. Этот параметр является показателем функциональной и технической эффективности [1] технического изделия.

Анализ последних достижений и публикаций. Важнейшим направлением повышения технического уровня и качества машины является увеличение их единичной мощности [1]. Увеличение мощности двигателя автомобиля позволяет улучшить его приемистость, максимальную скорость движения и начальное ускорение при разгоне. В работе [2] предложена методика кваліметрирования транспортних средств по критерию оценки кінетическої енергії, расходуемой на движение груза с учетом особенностей конструкции вида транспортного средства. Однако система оценок, предложенная в работе [2], не учитывает динамические свойства автомобилей, проявляющиеся при разгоне.

Цель и постановка задач исследования. Целью исследования является оценка потенциальных динамических свойств автомобилей. Для достижения указанной цели необходимо решить следующую задачу: определить разгонные характеристики двигателя автомобиля, т.е. зависимость мощности и крутящего момента двигателя от угловой скорости коленчатого вала двигателя.

Определение разгонных характеристик автомобильного двигателя. Для оценки динамики разгона автомобиля предлагается разгонная характеристика двигателя, показывающая изменение эффективной мощности N_e и эффективного крутящего момента M_e двигателя в зависимости от угловой скорости коленчатого вала при разгоне автомобиля.

Эффективная мощность двигателя определяется как

$$N_e = M_e \cdot \omega_e. \quad (1)$$

Характеристикой управляемости двигателя, в том числе и при разгоне, может являться производная эффективной мощности по времени t либо по угловой скорости ω_e

$$\frac{dN_e}{dt} = M_e \cdot \frac{d\omega_e}{dt} + \omega_e \cdot \frac{dM_e}{dt}; \quad \frac{dN_e}{d\omega_e} = M_e + \omega_e \cdot \frac{dM_e}{d\omega_e}. \quad (2)$$

Эффективный крутящий момент двигателя определяется суммарным крутящим моментом $\sum M_k$ на ведущих колесах автомобиля

$$M_e = \frac{\sum M_k}{\eta_{mp} \cdot u_{mp}}, \quad (3)$$

где u_{mp} – общее передаточное отношение трансмиссии;

η_{mp} – КПД трансмиссии.

Суммарный крутящий момент на ведущих колесах

$$\sum M_k = \sum M_f \pm P_y \cdot r_\delta + P_{\text{букс}} \cdot r_\delta + P_w \cdot r_\delta + \delta \cdot m_a \cdot r_\delta \cdot \frac{dV_a}{dt}, \quad (4)$$

где r_δ – динамический радиус колеса;

$\sum M_f$ – суммарный момент сопротивления качению на колесах,

$$\sum M_f = m_a \cdot g \cdot f \cdot r_\delta; \quad (5)$$

m_a – общая масса автомобиля;

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

f – коэффициент сопротивления качению;

P_y – сила сопротивления движению автомобиля на уклоне,

$$P_y = m_a \cdot g \cdot \sin \alpha \approx m_a \cdot g \cdot \alpha \approx m_a \cdot g \cdot i; \quad (6)$$

α, i – угол уклона и уклон пути,

$$i = \text{arctg} \alpha; \quad (7)$$

$P_{\text{букс}}$ – сила, затрачиваемая на буксование ведущих колес,

$$P_{\text{букс}} = \frac{N_{\text{букс}}}{V_a}; \quad (8)$$

V_a – линейная скорость автомобиля;

$N_{\text{букс}}$ – мощность, затрачиваемая на буксование ведущих колес,

$$N_{\text{букс}} = K_{\text{сц}} \cdot m_a \cdot g \cdot \varphi \cdot V_{\text{букс}}; \quad (9)$$

φ – коэффициент сцепления колес с дорогой;

$K_{\text{сц}}$ – коэффициент использования сцепного веса;

$V_{\text{букс}}$ – скорость буксования ведущих колес автомобиля,

$$V_{\text{букс}} = \omega_k \cdot r_{\delta} - V_a; \quad (10)$$

ω_k – угловая скорость ведущих колес;

P_w – сила аэродинамического сопротивления,

$$P_w = k \cdot F \cdot V_a^2; \quad (11)$$

$k \cdot F$ – фактор сопротивления воздуха [3];

δ – коэффициент учета вращающихся масс двигателя и трансмиссии [4].

В литературе [4] буксование ведущих колес оценивается относительным буксованием

$$S_x = \frac{V_{\text{букс}}}{\omega_k \cdot r_{\delta}} = \frac{\omega_k \cdot r_{\delta} - V_a}{\omega_k \cdot r_{\delta}} = 1 - \frac{V_a}{\omega_k \cdot r_{\delta}}. \quad (12)$$

Из уравнения (12) определим $V_{\text{букс}}$ и V_a

$$V_{\text{букс}} = \omega_k \cdot r_{\delta} \cdot S_x; \quad V_a = \omega_k \cdot r_{\delta} \cdot (1 - S_x). \quad (13)$$

Подставляя выражение для $V_{\text{букс}}$ (13) в (9), а затем в (8), получим

$$P_{\text{букс}} = K_{\text{цт}} \cdot m_a \cdot g \cdot \varphi \cdot \frac{S_x}{1 - S_x}. \quad (14)$$

Таким образом, выражение (3), после подстановки в него соотношений (5), (6), (11), (14) и (4), примет вид

$$M_e = \frac{m_a \cdot g \cdot r_{\delta}}{\eta_{\text{мп}} \cdot u_{\text{мп}}} \cdot \left(\psi + K_{\text{цт}} \cdot \varphi \cdot \frac{S_x}{1 - S_x} + \frac{k \cdot F}{m_a \cdot g} \cdot V_a^2 + \frac{\delta}{g} \cdot \frac{dV_a}{dt} \right), \quad (15)$$

где ψ – суммарный коэффициент дорожного сопротивления [4],

Ускорение, развиваемое автомобилем при разгоне

$$\frac{dV_a}{dt} = K_{\text{цт}} \cdot \varphi \cdot g - \frac{k \cdot F}{m_a} \cdot V_a^2. \quad (16)$$

После подстановки уравнения (16) в выражение (15) и выражения линейной скорости автомобиля V_a через угловую скорость вала двигателя ω_e с помощью соотношения (15), получим

$$M_e = \frac{m_a \cdot g \cdot r_\delta}{\eta_{mp} \cdot u_{mp}} \cdot \left(\psi + K_{cy} \cdot \varphi \cdot \left(\frac{S_x}{1 - S_x} + \delta \right) - \frac{k \cdot F}{m_a \cdot g} \cdot (1 - S_x)^2 \cdot (\delta - 1) \cdot \frac{\omega_e^2}{u_{mp}^2} \cdot r_\delta^2 \right). \quad (17)$$

Из выражения (17) определим

$$\frac{dM_e}{d\omega_e} = - \frac{2 \cdot k \cdot F \cdot r_\delta^3 \cdot (1 - S_x)^2 \cdot (\delta - 1)}{\eta_{mp} \cdot u_{mp}^3} \cdot \omega_e. \quad (18)$$

После подстановки выражений (17) и (18) в уравнение (2), а затем интегрируя полученное дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными, определим

$$N_e = \frac{m_a \cdot g \cdot r_\delta}{\eta_{mp} \cdot u_{mp}} \cdot \left(\psi + K_{cy} \cdot \varphi \cdot \left(\frac{S_x}{1 - S_x} + \delta \right) \right) \cdot \omega_e - \frac{k \cdot F \cdot r_\delta^3 \cdot (1 - S_x)^2 \cdot (\delta - 1)}{\eta_{mp} \cdot u_{mp}^3} \cdot \omega_e^3. \quad (19)$$

Условие получения максимума функции (19) имеет вид

$$\omega_N = \frac{u_{mp}}{r_\delta \cdot (1 - S_x)} \cdot \sqrt{\frac{m_a \cdot g \cdot \left(\psi + K_{cy} \cdot \varphi \cdot \left(\frac{S_x}{1 - S_x} + \delta \right) \right)}{3 \cdot k \cdot F \cdot (\delta - 1)}}, \quad (20)$$

где ω_N – угловая скорость вала двигателя, при которой достигается максимум функции (19).

Зависимость (19) представляет собой разгонную характеристику двигателя автомобиля, реализуемую на разных передачах при известном коэффициенте использования сцепного веса K_{cy} .

Для полноприводного автомобиля при реализации предельных касательных реакций на ведущих колесах $K_{cy} = 1$. Для заднеприводных и переднеприводных автомобилей соответственно

$$K_{cy} \cong \frac{a/L}{1 - \delta \cdot \varphi \cdot h/L}; \quad K_{cy} \cong \frac{b/L}{1 + \delta \cdot \varphi \cdot h/L}, \quad (21)$$

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

L, h – продольная колесная база и высота центра масс автомобиля.

Коэффициент учета вращающихся масс можно определить по эмпирической формуле [3]

$$\delta = 1.03 + 0.05 \cdot u_{КП}^2, \quad (22)$$

где $u_{КП}$ – передаточное отношение коробки передач.

На рис. 1 приведены графики зависимости (19), построенные в функции ω_e для различных передач.

Внешние разгонные характеристики автомобиля ГАЗ – 24, приведенные на рис. 1, не являются наилучшими, поскольку улучшение динамических свойств автомобиля не сопровождается увеличением максимальной скорости движения. Для достижения значений максимальной скорости V_{max} , приближающихся к предельным, необходимо уменьшать передаточные отношения трансмиссии u_{mp} . Это позволит увеличить угол наклона разгонных характеристик.

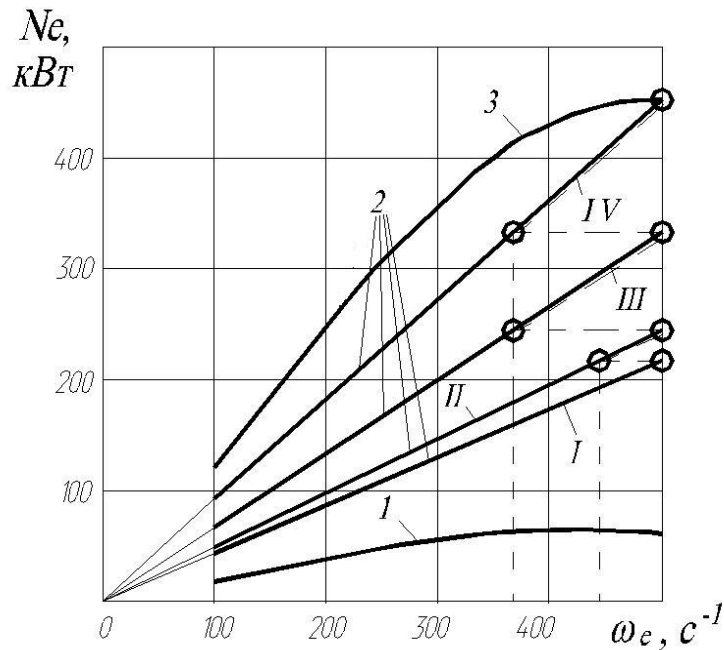


Рисунок 1 – Характеристики двигателя для автомобиля ГАЗ-24: 1 – внешняя скоростная характеристика двигателя ЗМЗ-24; 2 – требуемые разгонные характеристики двигателя на различных передачах; 3 – внешняя скоростная характеристика двигателя, обеспечивающая реализацию потенциальных динамических свойств ГАЗ-24

Выводы

Полученные внешние разгонные характеристики двигателя позволяют определить предельные динамические возможности автомобиля. Анализ динамических характеристик автомобиля ГАЗ–24 показал, что для получения внешних разгонных характеристик двигателя максимальную мощность $N_{e\ max}$ последнего нужно увеличить до 450 кВт.

Список литературы: 1. Федюкин В.Н. Основы квалиметрии. Управление качеством продукции. Учебное пособие. – М.: Филинь, 2004. – 296 с. 2. Бурдаков В.Д. Квалиметрия транспортных средств (Методика оценки эффективности использования). – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 160 с. 3. Бортницкий П.И., Задорожный В.И. Тягово-скоростные качества автомобилей: - К.: Вища школа, 1978. – 176 с. 4. Фалькевич Б.С. Теория автомобиля. - М.: Машгиз, 1963. – 239 с.