

УДК: 629. 017

А.С. Мазин

Национальная академия Национальной гвардии Украины

## ОЦЕНКА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ ДВИГАТЕЛЯ НА ВЫПОЛНЕНИЕ АВТОМОБИЛЕМ ПОВОРОТА

*В статье определены дополнительные затраты энергии двигателя, возникающие при движении автомобиля на повороте. Эти затраты необходимы на создание углового ускорения машины при входе в поворот и выходе из него, а также для движения автомобиля по траектории постоянной кривизны.*

*Ключевые слова:* автомобиль, двигатель, движение, затраты, мощность, поворот, траектория, ускорение, экономичность, энергия.

О.С. Мазин

## ОЦІНКА ДОДАТКОВИХ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ ДВИГУНА НА ВИКОНАННЯ АВТОМОБІЛЕМ ПОВОРОТА

*В статті визначені додаткові витрати енергії двигуна, ті що виникають при русі автомобіля на повороті. Ці витрати необхідні на створення кутового прискорення машини при її вході до повороту і виході з нього: а також для руху автомобіля по траєкторії постійної кривизни.*

*Ключові слова:* автомобіль, двигун, рух, витрати, потужність, поворот, траєкторія, прискорення, економічність, енергія.

A. Mazin

## EVALUATION OF ENGINE POWER ADDITIONAL EXPENDITURE IN CREATING VEHICLE A TURN

*In the article defined additional expenditure of engine energy which appears in vehicle moving while turning. This expenditure is necessary in creating of vehicle angular acceleration in starting of the corner and ending it as well as for vehicle moving describing a path of constant curvature.*

*Key words:* vehicle, engine, moving expenditure, power, turn, trajectory, acceleration, efficiency, energy.

**Постановка проблемы.** Повышение энергетической экономичности автомобилей возможно за счет снижения непроизводительных затрат энергии двигателя. Для этого необходимо уточнить дополнительные затраты энергии двигателя на выполнение автомобилем поворота.

Основные задачи исследований должны предусматривать получение аналитических выражений, позволяющих производить оценку затрат энергии двигателя на движение автомобиля по криволинейной траектории.

**Анализ последних исследований и публикаций.**

Маневренность автомобиля, наряду с другими показателями, определяется также затратами энергии и мощности двигателя на совершение маневра. Впервые на необходимость оценки энергетических затрат при совершении маневра обращено внимание в работах [1, 2, 3, 4].

В работе [4] выполнена оценка затрат мощности двигателя на совершение поворота при движении на магистральных автомобильных дорогах. В указанной работе предложено разложить расходуемую мощность двигателя на три компоненты

$$N_e = N_{e1} + N_{e2} + N_{e3} \quad (1)$$

где  $N_{e1}$  – мощность, затрачиваемая на совершение поступательного движения

$$N_{e1} = \frac{m_a \cdot V_a}{\eta_{TP}} \cdot \left( g \cdot f + \frac{C_x \cdot \rho \cdot F}{2 \cdot m_a} \cdot V_a^2 \right) \quad (2)$$

$m_a$  – общая масса автомобиля;

$V_a$  – линейная скорость автомобиля;

$\eta_{TP}$  – КПД трансмиссии;

$f$  – коэффициент сопротивления качению колес;

$C_x$  – коэффициент лобового аэродинамического сопротивления;

$F$  – лобовая площадь (мидель) автомобиля;

$\rho$  – плотность воздуха.

$N_{e2}$  – мощность необходимая для совершения установившегося поворота (при установившемся значении угловой скорости  $\omega_z$  в плоскости дороги)

$$N_{e2} = \frac{m_a \cdot V_a}{\eta_{TP}} \cdot f \cdot (h - r_\delta) \cdot \omega_z^2 \quad (3)$$

где  $h$  – высота центра масс автомобиля относительно опорной плоскости;

$r_\delta$  – динамический радиус ведущих колес;

$N_{e3}$  – мощность необходимая для поддержания созданного рулевым управлением требуемого управляющего воздействия  $\omega_z$  при повороте

$$N_{e3} = \frac{m_a \cdot V_a}{\eta_{TP}} \cdot \frac{R^2 + b^2 + i_z^2 + f \cdot b \cdot (h - r_\delta)}{R} \cdot \frac{d\omega_z}{dt} \quad (4)$$

$R$  – радиус поворота, допуская что колеса жесткие в боковом направлении, определим

$$R = L \cdot \text{ctg } \bar{\alpha} \quad (5)$$

где  $\alpha$  – средний угол поворота направляющих колес автомобиля;

$b$  – расстояние от задней оси автомобиля до проекции центра масс на горизонтальную плоскость проходящую через эту ось;

$i_z$  – радиус инерции автомобиля относительно вертикальной оси.

Однако в известных исследованиях [1, 2, 3, 4] не определены затраты энергии двигателя на совершение автомобилем поворота, что необходимо для оценки его энергетической экономичности [5].

**Цель и постановка задач исследований.** Целью исследования является определение энергетических затрат на совершающем автомобилем повороте.

Для достижения поставленной цели необходимо определить затраты энергии двигателя на совершение автомобилем поступательного движения, вход в поворот, выход из него и движение по траектории постоянной кривизны (постоянного радиуса поворота).

**Изложение основного материала.** Определим энергию двигателя, затрачиваемую на поступательное движение автомобиля при выполнении поворота

$$W_{e1} = \int_0^{t_{пов}} N_{e1} dt,$$

где  $t_{пов}$  – время совершения автомобилем поворота, при движении с постоянной скоростью

$$V_a = \text{const}$$

$$t_{пов} = \frac{l_{пов}}{V_a} \cong \frac{R \cdot \Psi_z}{V_a} \quad (6)$$

$l_{пов}$  – длина пути, проходимого автомобилем на повороте;

$\Psi_z$  – изменение курсового угла автомобиля за время  $t_{пов}$  совершения поворота.

После подстановки выражения (2) в (5), при условии  $V_a = \text{const}$ , получим

$$W_{e1} = \frac{m_a \cdot V_a}{\eta_{TP}} \cdot \left( g \cdot f + \frac{C_x \cdot \rho \cdot F}{2 \cdot m_a} \cdot V_a^2 \right) \cdot t_{пов} \quad (7)$$

Выражение (7) с учетом отношения (6) примет вид

$$W_{e1} = \frac{m_a \cdot \Psi_z \cdot R}{\eta_{TP}} \cdot \left( g \cdot f + \frac{C_x \cdot \rho \cdot F}{2 \cdot m_a} \cdot V_a^2 \right) \quad (8)$$

Определим энергию  $W_{e2}$  затрачиваемую на совершение установившегося поворота при установившемся значении угловой скорости  $\omega_z$  автомобиля в плоскости дороги.

$$W_{e2} = \int_0^{t_{пов}} N_{e2} dt = \frac{m_a \cdot f \cdot (h - r_\delta)}{\eta_{TP}} \cdot \int_0^{t_{пов}} V_a \cdot \omega_z^2 \cdot dt \quad (9)$$

При  $V_a = \text{const}$  и  $\omega_z = \text{const}$  выражение (9) после интегрирования примет вид

$$W_{e2} = \frac{m_a \cdot f \cdot (h - r_\delta)}{\eta_{TP}} \cdot V_a \cdot \omega_z^2 \cdot t_{\text{пов}} \quad (10)$$

После подстановки (6) в (10), получим

$$W_{e2} = \frac{m_a \cdot f \cdot (h - r_\delta)}{\eta_{TP}} \cdot R \cdot \Psi_z \cdot \omega_z^2 \quad (11)$$

При установившемся повороте, учитывая соотношение

$$\omega_z = \frac{V_a}{R} \quad (12)$$

преобразуем выражение (11) к виду

$$W_{e2} = \frac{m_a \cdot V_a^2}{R} \cdot \Psi_z \cdot \frac{f \cdot (h - r_\delta)}{\eta_{TP}} \quad (13)$$

Определим энергию двигателя, затрачиваемую на создание углового ускорения автомобиля при входе в поворот и выходе из него

$$W_{e3} = W'_{e3} + W''_{e3} = \int_0^{t_{\text{вх}}} N_{e3} dt + \int_0^{t_{\text{вых}}} N_{e3} dt \quad (14)$$

где  $W'_{e3}; W''_{e3}$  - затраты энергии двигателя на создание угловых ускорений при входе в поворот и выходе из него;

$t_{\text{вх}}; t_{\text{вых}}$  - время входа в поворот и выхода из него, соответственно

Используя соотношение (12), получим

$$d\omega_z = -\frac{V_a}{R^2} dR \quad (15)$$

Выражение (14) с учетом соотношений (3), (12) и (15) примет вид

$$W_{e3} = \frac{m_a \cdot V_a^2}{\eta_{TP}} \cdot \left\{ - \int_{R_{\text{max}}}^{R_{\text{min}}} \frac{dR}{R} - [b^2 + i_z^2 + f \cdot b \cdot (h - r_\delta)] \cdot \int_{R_{\text{max}}}^{R_{\text{min}}} \frac{dR}{R^3} - \right. \\ \left. - \int_{R_{\text{min}}}^{R_{\text{max}}} \frac{dR}{R} - [b^2 + i_z^2 + f \cdot b \cdot (h - r_\delta)] \cdot \int_{R_{\text{min}}}^{R_{\text{max}}} \frac{dR}{R^3} \right\} = 0 \quad (16)$$

где  $R_{\text{max}}; R_{\text{min}}$  - максимальный и минимальный радиусы траектории движения автомобиля при повороте,  $R_{\text{min}} = R$  и  $R_{\text{max}} \rightarrow \infty$ .

Таким образом, при определении затрат энергии на поворот автомобиля компоненту  $W_{e3}$  можно не учитывать.

Суммарные затраты энергии двигателя на поворот автомобиля

$$W_e = W_{e1} + W_{e2} = \frac{m_a}{\eta_{TP}} \cdot \left[ \Psi_z \cdot R \cdot (g \cdot f + \frac{C_x \cdot \rho \cdot F}{2m_a} \cdot V_a^2) + \frac{V_a^2}{R} \cdot \Psi_z \cdot f \cdot (h - r_\delta) \right] \quad (17)$$

Преобразуем выражение (17) к виду

$$W_e = \frac{m_a \cdot V_a^2}{2\eta_{TP}} \cdot \left[ \Psi_z \cdot R \cdot \left( \frac{2g \cdot f}{V_a^2} + \frac{C_x \cdot \rho \cdot F}{m_a} \right) + 2\Psi_z \cdot \frac{f \cdot (h - r_\delta)}{R} \right] \quad (18)$$

В уравнении (18) выделим кинетическую энергию поступательного движения

$$W_{\text{кин}} = \frac{m_a \cdot V_a^2}{2} \quad (19)$$

Тогда

$$\frac{W_e}{W_{кин}} = \frac{\Psi_z}{\eta_{TP}} \left[ R \cdot \left( \frac{2g \cdot f}{V_a^2} + \frac{C_x \cdot \rho \cdot F}{m_a} \right) + 2 \cdot \frac{f \cdot (h - r_\delta)}{R} \right] = K_w \quad (20)$$

где  $K_w$  – коэффициент отношения энергий.

Коэффициент отношения энергий  $K_w$  позволяет производить оценку затрат энергии двигателя на поворот по критерию кинетической энергии поступательного движения автомобиля.

Компонента  $W_{e2}$  представляет собой дополнительные затраты энергии на совершение автомобилем поворота. Относительное увеличение затрат энергии двигателя при совершении автомобилем поворота

$$\begin{aligned} \delta W_{доп} = \frac{W_{e2}}{W_{e1}} &= \frac{\frac{m_a \cdot V_a^2}{R} \cdot \Psi_z \cdot \frac{f \cdot (h - r_\delta)}{\eta_{TP}}}{\frac{m_a \cdot \Psi_z \cdot R}{\eta_{TP}} \cdot \left( g \cdot f + \frac{C_x \cdot \rho \cdot F}{2 \cdot m_a} \cdot V_a^2 \right)} = \\ &= \frac{f \cdot (h - r_\delta)}{R^2 \left( \frac{g \cdot f}{V_a^2} + \frac{C_x \cdot \rho \cdot F}{2 \cdot m_a} \right)} \end{aligned} \quad (21)$$

Анализ выражения (21) показывает, что с уменьшением радиуса поворота  $R$  и увеличением линейной скорости автомобиля  $V_a$  происходит увеличение относительного показателя  $\delta W_{доп}$  дополнительных затрат энергии двигателя.

#### Выводы:

1. В результате проведенного исследования получены аналитические выражения, позволяющие производить оценку затрат энергии двигателя на движение автомобиля по криволинейной траектории.
2. Затраты энергии двигателя на совершение автомобилем поворота удобнее всего сравнивать с уровнем кинетической энергии поступательного движения автомобиля. С этой целью определен коэффициент пропорциональности.
3. Отношение компоненты  $W_{e2}$  затрат энергии к величине  $W_{e1}$  представляет собой относительное увеличение затрат энергии двигателя при совершении поворота автомобиля.

#### Список литературы:

1. Бобошко А.А. Нетрадиционные способы маневрирования колесных машин / А.А. Бобошко. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2006. – 172 с.
2. Маневренность и тормозные свойства колесных машин / [ М.А. Подригало, В.П. Волков, В.И. Кирчатый, А.А. Бобошко ]; под редакцией М.А. Подригало. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2003. – 403 с.
3. Стабильность эксплуатационных свойств колесных машин / [ М.А. Подригало, В.П. Волков, В.А. Карпенко, Е.М. Гецович, А.А. Бобошко и др. ]; под редакцией М.А. Подригало. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2003. – 614 с.
4. Подригало М.А. Энергетический аспект обеспечения маневренности автомобилей / М.А. Подригало, Д.М. Клец // Автомобильная промышленность – М.: Машиностроение, 2013. - №7. – с. 10 – 13.
5. Энергетическая экономичность автомобиля и критерии ее оценки / М.А. Подригало, Д.В. Абрамов, Ю.В. Тарасов, В.М. Ефимчук // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле – та тракторобудування. Х.: НТУ «ХПІ». – 2015. - № 10 (1119). – с. 28 – 37.

#### РЕЦЕНЗЕНТИ

1. Профессор кафедры технологии машиностроения и ремонта машин, доктор технических наук, профессор А.С. Полянський.
2. Начальник кафедры эксплуатации и ремонта автомобилей и боевых машин, кандидат воен. наук, полковник В.А. Темников.

Стаття надійшла до редакції 14.03.2017