

УДК 629.017

Подригало М.А., Клец Д.М., Мостовая А.Н., Назарько О.А.

ДИНАМИКА РАЗГОНА И КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Введение

Определению коэффициента полезного действия (КПД) автомобиля посвящено значительное количество научных исследований. Проблема его определения связана с понятием полезной работы, но затраченная энергия на движение автомобиля известна. Понятие полезной работы относительно и определяется целью, поставленной при решении той или иной задачи, оценкой эффективности работы автомобиля или его квалитетом.

Квалитетными показателями легковых автомобилей являются показатели, характеризующие их динамические свойства. В настоящей статье предложены определения полезной работы и КПД легкового автомобиля на основе оценки его динамичности.

Анализ последних достижений и публикаций

Определению КПД автомобиля посвящено значительное количество публикаций [1] – [7] и [10] - [19]. Споры, вызванные этой проблемой, связаны с определением полезной работы, поскольку цикловой КПД машины или механизма [20] определяется как

$$\eta = \frac{A_{пол}}{W_{затр}}, \quad (1)$$

где: $A_{пол}$ - полезная работа, выполняемая машиной или механизмом за цикл;

$W_{затр}$ - затраченная за цикл энергия.

Если для технологических машин полезная работа очевидна, то для автомобиля однозначного решения нет. В работах [3], [12], [19] под полезной работой понимается работа преодоления сил сопротивления движению при перемещении только груза (или пассажиров) автомобиля на требуемое расстояние. Такой подход стимулирует снижение аэродинамического сопротивления движению и собственного веса автомобиля (коэффициента тары). В работах [12], [19] предлагается определить КПД через коэффициент потерь энергии

$$\xi = 1 - \eta = \frac{W_{затр} - A_{пол}}{W_{затр}} = \frac{W_{пот}}{W_{затр}}, \quad (2)$$

где: $W_{затр}$ - потери энергии, вызванные непроизводительными (с точки зрения исследователя) затратами мощности двигателя за цикл работы машины.

С точки зрения улучшения конструкции и решения задач, которые ставят перед собой исследователи и конструкторы автомобилей, коэффициент потерь ξ характеризует потери энергии, которых можно избежать или которые можно уменьшить [12], [19]. Таким образом, КПД является квалитетическим показателем автомобиля и является инструментом для улучшения его эксплуатационных свойств.

Для легковых автомобилей (в том числе гоночных и спортивных) транспортная работа по перемещению пассажиров не является показателем их эффективности.

Динамические свойства относятся к наиболее важной группе свойств, определяющих технический уровень легковых автомобилей.

Цель и постановка задач исследования

Целью исследования является определение понятий полезной работы и КПД легкового автомобиля с позиций оценки его динамичности. Для достижения указанной цели нужно определить понятия полезных мощности и работы автомобиля при разгоне, а затем – мгновенный и цикловой КПД.

Определение понятий полезных мощности и работы легкового автомобиля при разгоне

В работе [21] определена величина запаса удельной мощности двигателя, идущая на разгон

$$\eta_{тр}^{общ} \Delta N_{y\delta} = V_a \cdot \dot{V}_a, \quad (3)$$

где: $\eta_{тр}^{общ}$ - общий КПД трансмиссии автомобиля при разгоне [12], [19]

$$\eta_{тр}^{общ} = \eta_{тр}^{стат} \cdot \eta_{тр}^{дин} \cdot \eta_{тр}^{кин}, \quad (4)$$

$\eta_{тр}^{стат}$ – статический КПД трансмиссии автомобиля, учитывающий потери на трение;

$\eta_{тр}^{кин}$ – кинематический КПД трансмиссии, учитывающий потери мощности на перемешивание масла в картерах агрегатов;

$\eta_{тр}^{дин}$ – динамический КПД трансмиссии, учитывающий потери мощности на разгон вращающихся масс двигателя и трансмиссии [12], [19]

$$\eta_{тр}^{дин} = \frac{1}{\delta}, \quad (5)$$

δ – коэффициент учета вращающихся масс двигателя и трансмиссии;

$\Delta N_{y\delta}$ – запас удельной мощности двигателя, расходуемый на разгон автомобиля;

$$\Delta N_{y\delta} = \frac{\Delta N_e}{m_a}, \quad (6)$$

ΔN_e – запас мощности двигателя, идущий на разгон;

m_a – общая масса автомобиля;

$V_a; \dot{V}_a$ – текущие значения скорости и ускорения автомобиля.

Поскольку запас мощности двигателя расходуется только на разгон автомобиля, то мощность ΔN_e следует считать полезной мощностью

$$N_{пол} = m_a \cdot V_a \cdot \dot{V}_a. \quad (7)$$

Если реальный автомобиль разгоняется до максимальной скорости V_{max} за время t_p , то полезная работа может быть определена как

$$A_{пол} = \int_0^{t_p} N_{пол} dt = m_a \int_0^{t_p} V_a \cdot \dot{V}_a dt = m_a \int_0^{V_{max}} V_a dV_a = m_a \cdot (V_{max})^2, \quad (8)$$

т.е. она равна накопленной автомобилем кинетической энергии.

Определение мгновенного КПД автомобиля

Мгновенный КПД равен отношению полезной мощности к мощности двигателя, затраченной на разгон [20]

$$\eta_{авт}^{мгн} = \frac{N_{пол}}{N_{затр}}, \quad (9)$$

где: $N_{затр}$ – мощность двигателя, затрачиваемая на разгон.

Учитывается, что $N_{затр}$ равна мощности N_e , развиваемой двигателем и, подставляя (7) в (9), получим

$$\eta_{авт}^{мгн} = \frac{m_a \cdot V_a \cdot \dot{V}_a}{N_e} = \frac{V_a \cdot \dot{V}_a}{N_{y\partial t}}, \quad (10)$$

где: $N_{y\partial t}$ – удельная мощность двигателя, развиваемая в рассматриваемый момент времени, $N_{y\partial t} = N_e / m_a$

Если правую часть (10) умножить и разделить на максимальную мощность двигателя $N_{e\max}$, то получим

$$\eta_{авт}^{мгн} = \frac{m_a \cdot V_a \cdot \dot{V}_a}{N_e} \cdot \frac{N_{e\max}}{N_{e\max}} = \frac{m \cdot V_a \cdot \dot{V}_a}{N_{e\max}} \cdot \frac{N_{e\max}}{N_e} = \frac{V_a \cdot \dot{V}_a}{N_{y\partial} \cdot K_N}, \quad (11)$$

где: K_N – коэффициент использования мощности двигателя, $K_N = N_e / N_{e\max}$.

Из выражения (11) видно, что чем выше удельная мощность двигателя и величина K_N , тем ниже значение мгновенного КПД автомобиля при прочих равных усло-

виях.

Умножив левую и правую часть (11) на произведение $\eta_{mp}^{общ} \cdot K_N$, получим в левой части коэффициент K_9 , характеризующий не только КПД, но и использование мощности двигателя.

$$K_9 = \eta_{авт}^{мгн} \cdot K_N = \frac{V_a \cdot \dot{V}_a}{N_{y\partial}}. \quad (12)$$

Величина K_9 является случайной, определяемой произведением двух случайных величин $V_a \cdot \dot{V}_a$. Ранее экспериментально нами был установлен усеченный нормальный закон распределения указанных величин $V_a \cdot \dot{V}_a$

$$f[(V_a \cdot \dot{V}_a)] = \frac{490}{8,98\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[(V_a \cdot \dot{V}_a) - 6,84]^2}{2 \cdot 8,98^2}\right\}. \quad (13)$$

Математическое ожидание величины $V_a \cdot \dot{V}_a$ составляет $6,84 \text{ м}^2/\text{с}^3$, а среднее квадратическое отклонение $8,98 \text{ м}^2/\text{с}^3$. Размах значений величины – от $25 \text{ м}^2/\text{с}^3$ до $30 \text{ м}^2/\text{с}^3$.

Для определения закона распределения величины K_9 достаточно в выражении (13) значения $V_a \cdot \dot{V}_a$ математического ожидания этой величины и среднего квадратического отклонения разделить на $N_{y\partial}$. В этом случае получим

$$f(K_9) = \frac{490}{8,98 \cdot N_{y\partial} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left\{-\frac{[(V_a \dot{V}_a) - 6,84]^2}{2 \cdot 8,98^2}\right\}. \quad (14)$$

График функции (14) будет иметь такой же вид, как и график функции (13), но будет иметь другой масштаб, т.е.

$$f(K_9) = N_{y\partial} \cdot f[(V_a \dot{V}_a)]. \quad (15)$$

На рис. 1 представлен график функции (14).

Определение циклового КПД автомобиля

Затраченная двигателем энергия может быть определена как

$$W_{затр} = \int_0^{tp} N_e dt. \quad (16)$$

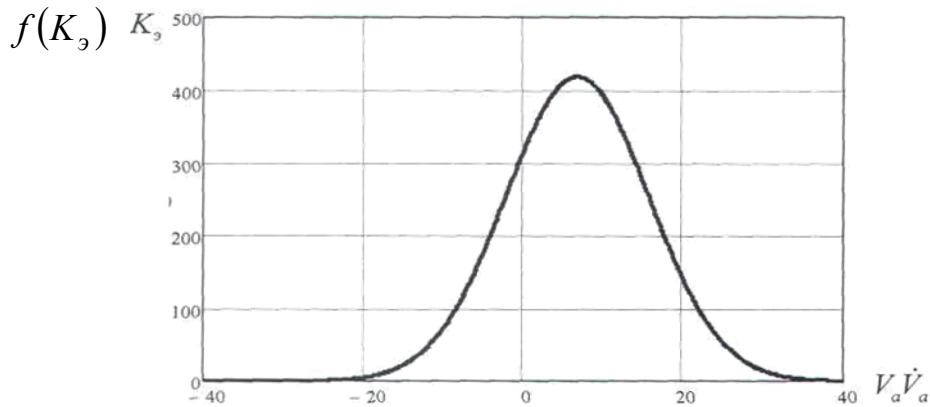


Рисунок 1 - График зависимости $f(K_{э})$ от произведения $V_a \cdot \dot{V}_a$

Заменим уравнение баланса мощностей

$$N_e \cdot \eta_{mp}^{кин} \eta_{mp}^{стат} = m_a g \psi \cdot V_a + kF \cdot V_a^3 + \delta \cdot m_a V_a \dot{V}_a . \quad (17)$$

где: g – ускорение свободного падения, $g = 9.81 \text{ м/с}^2$;

ψ – коэффициент суммарного дорожного сопротивления;

kF – фактор сопротивления воздуха (k – коэффициент сопротивления воздуха, а величина « F » – мидель).

Из выражения (17) определим

$$N_e = \frac{1}{\eta_{mp}^{стат} \eta_{mp}^{кин}} (m_a g \psi V_a + kF V_a^3) + \frac{m_a V_a \dot{V}_a}{\eta_{mp}^{общ}} . \quad (18)$$

Подставляя (18) в (16) получим

$$W_{затр} = \frac{1}{\eta_{mp}^{стат} \eta_{mp}^{кин}} \left(m_a g \psi \int_0^{t_p} V_a dt + kF \int_0^{t_p} V_a^3 dt \right) + \frac{m_a}{\eta_{mp}^{общ}} \int_0^{t_p} V_a \dot{V}_a dt , \quad (19)$$

где: t_p – время разгона автомобиля до максимальной скорости V_{max} .

В выражении (19) определим интеграл

$$\int_0^{t_p} V_a \cdot dt = S_p . \quad (20)$$

где: S_p – путь разгона автомобиля до максимальной скорости.

В выражении (19) также

$$\int_0^{t_p} \dot{V}_a V_a dt = \int_0^{t_p} \frac{\dot{V}_a V_a}{dV_a/dt} dV_a = \int_0^{V_{max}} V_a dV_a = \frac{V_{max}^2}{2} . \quad (21)$$

Таким образом, получим

$$W_{затр} = \frac{m_a g \psi S_p}{\eta_{тр}^{стат} \eta_{тр}^{кин}} + \frac{m_a V_{max}^2}{\partial \cdot \eta_{тр}^{общ}} + \frac{kF}{\eta_{тр}^{стат} \eta_{тр}^{кин}} \int_0^{tp} V_a^3 dt, \quad (22)$$

Интеграл в правой части уравнения (22) подлежит численному решению, поскольку аналитическое решение затруднено

Подставляя (22) и (8) в (1), получим после преобразования

$$\eta_{авт}^{цикл} = \frac{1}{\frac{2\eta_{тр}^{дин}}{V_{max}^2} (g\psi S_p + \frac{kF}{m_a} \int_0^{tp} V_a^3 dt) + 1}. \quad (23)$$

Интегральное выражение в знаменателе (23) можно выразить следующим образом

$$\int_0^{tp} V_a^3 dt = \int_0^{V_{max}} \frac{V_a^3 dV_a}{dV_a/dt} = \int_0^{V_{max}} \frac{V_a^3}{\dot{V}_a} dV_a. \quad (24)$$

Из уравнения (17) определим \dot{V}_a

$$\dot{V}_a = \frac{N_{y\delta} \eta_{тр}^{общ}}{V_a} - g\psi \cdot \eta_{тр}^{дин} - \frac{kF}{m_a} \eta_{тр}^{дин} \cdot V_a^2. \quad (25)$$

Подставляя (24) в (23) с учетом (25), получим

$$\eta_{авт}^{цикл} = \left[\frac{2\eta_{тр}^{дин}}{V_{max}^2} \left(g\psi S_p + \frac{kF}{m_a} \int_0^{V_{max}} \frac{V_a^4 dV_a}{N_{y\delta} \cdot \eta_{тр}^{общ} - g\psi \eta_{тр}^{дин} V_a - \frac{kF}{m_a} \eta_{тр}^{дин} V_a^3} \right) + 1 \right]^{-1}. \quad (26)$$

На рис.2 приведены графики зависимости (26) для исследуемого автомобиля Ford Explorer.

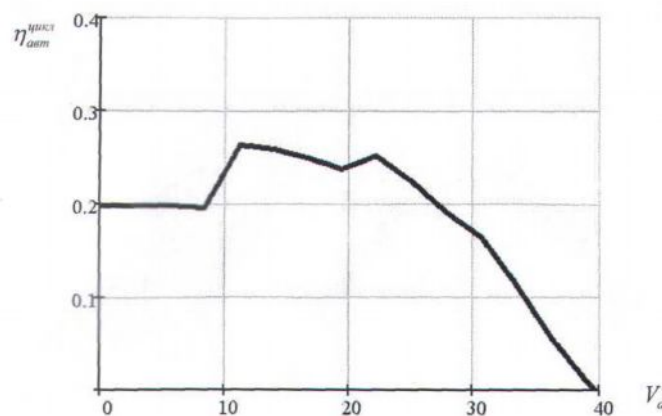


Рисунок 2 - Зависимость циклового КПД автомобиля от скорости его движения

Выводы

1. Полезной работой при движении легкового автомобиля в динамическом режиме (режиме движения с ускорением) следует считать работу двигателя, затраченную на его разгон.

2. Полученные аналитические выражения позволяют производить оценку динамических свойств легковых автомобилей по полезной работе, затраченной энергии, мгновенному и цикловому КПД. Эти выражения могут быть использованы при моделировании движения легковых автомобилей в городском цикле движения.

Литература: 1. Говорущенко Н. Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. – М. Транспорт, 1990. – 135 с. 2. Евсеев П.П. Энергетические показатели функционирования автомобиля на маршруте. Термины и "тернии". // Автомобильная промышленность. – 1999. – №2. – С. 15-17. 3. Евсеев П.П. И еще раз о КПД автомобиля. // Автомобильная промышленность. – 1999. – №3. – С. 20-21. 4. Евсеев П.П. Работа, производительность и КПД автомобиля с позиций физики, стандартизации и метрологии // Автомобильная промышленность. – 2003. – №4. – С. 7-10. 5. Евсеев П.П. Некоторые вопросы энергетики автомобиля. Сборник научно-технических разработок. – К.: ЗАТ «Випол», 2006. – 236 с. 6. Евсеев П.П. Эффективный КПД двигателя автомобиля. // Автомобильная промышленность. – 2006. – №4. – С. 12-14. 7. Евсеев П.П. Возможности аппаратного метода оценки работы автомобиля / П.П.Евсеев // Автомобильная промышленность. – 2007. – №1. – С. 27 – 30. 8. Карпенко В.А. Оценка потенциальных динамических характеристик автомобиля / В.А.Карпенко // Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов ХГАДТУ. – 1998. – Вып.1. — С. 64-67. 9. Кривошапов С.И. Оценка автомобиля по коэффициенту полезного действия / С.И. Кривошапов // Вестник ХГАДТУ. – 1996. – Вып.4. – С. 12–15. 10. Лефаров А.Х. К вопросу о КПД колесного двигателя многоприводного автомобиля / А.Х. Лефаров, В.И. Кабанов // Автомобильная промышленность. – 1976. – №12. – С. 21-23. 11. Наркевич Э.И. К оценке эффективности использования энергии автомобилем / Э.И. Наркевич, А.А. Токарев // Автомобильная промышленность. – 1978 – №5. – С. 16-17. 12. Подригало М.А. Полезная работа и КПД автомобиля / М.А. Подригало, Н.М. Подригало // Автомобильная промышленность. – 2007. – №8. – С. 19-21. 13. Токарев А.А. Приемистость автомобиля / А.А. Токарев // Автомобильная промышленность. – 1979. – №5. – С. 11-15. 14. Токарев А.А. Выбор неадекватных конструктивных параметров автомобиля и его агрегатов с помощью КПД / А.А. Токарев // Автомобильная промышленность. – 2001. – №1. – С. 9-11. 15. Шмидт А.Г. Мощностные показатели двигателя на режиме разгона автомобиля / А.Г. Шмидт, П.Н. Новохатный, К.Ю. Сытин // Автомобильная промышленность. – 1977. – №7. – С. 8-10. 16. Подригало М.А. Мощность двигателя и КПД автомобиля при разгоне / М.А. Подригало, Н.М. Подригало, В.Л. Файст // Автомобильная промышленность. – 2008. – №8. – С. 12-16. 17. Файст В.Л. Мощность и КПД при разгоне автомобиля на уклоне / В.Л. Файст // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Науковий журнал. – 2008. – №7 (25). Частина 2. – С. 8-10. 18. Динамика автомобиля / [Подригало М.А., Волков В.П., Бобошко А.А. и др.]; под ред. М.А. Подригало – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2008. – 424 с. 19. Квалиметрия, стандартизация и унификация тормозного управления колесных машин / [Подригало М.А., Волков В.П., Абрамов Д.В. и др.]; под ред. М.А. Подригало. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2007. – 446 с. 20. Крайнев А.Ф. Словарь – справочник по механизмам / А.Ф.Крайнев – [2-е изд.]. – М.: Машиностроение, 1987. – 560 с. 21. Подригало М.А. Новый подход к оценке тягового баланса автомобиля /М.А. Подригало // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Технические науки. – 2009. – Вып. 18. – С. 50-54.

Подригало М.А., Клец Д.М., Мостова А.М., Назарько О.А.

ДИНАМІКА РОЗГОНУ ТА КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ ЛЕГКОВОГО
АВТОМОБІЛЯ

Аналітичні вирази, що були отримані, дозволяють проводити оцінку динамічних властивостей легкових автомобілів за корисною роботою, затрачуваною енергією, миттєвому та цикловому ККД. Ці вирази можуть бути досліджені при моделюванні руху легкових автомобілів в міському циклі руху.

Podrigalo M., Klets D., Mostovaya A, Nazarko O.

TRACK DYNAMIC OF THE RUNAWAY AND COEFFICIENT OF EFFICIENCY CAR

Got analytical expressions allow to produce the estimation dynamic characteristic cars on useful work, spent to energy, instant and cyclic coefficient of efficiency. These expressions can be explored at modeling of the moving the cars in town cycle of the motion.
