

АВТОТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА

УДК 629.113.004

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ОБЩЕГО И ЧАСТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ АВТОМОБИЛЯ

С.И. Кривошапов, доц., к.т.н.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Изложены основные принципы аналитического определения коэффициента полезного действия всего автомобиля и по отдельным агрегатам. Приведены зависимости изменения коэффициента полезного действия в зависимости от скоростного и нагрузочного режимов эксплуатации транспортного средства. Разработанная математическая модель учитывает реальные особенности дорожных и транспортных условий эксплуатации машин.

Ключевые слова: автомобиль, эксплуатационные свойства, расход топлива, коэффициент полезного действия, математическое моделирование, силовые агрегаты.

ВПЛИВ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ЗМІНУ ЗАГАЛЬНОГО ТА ЧАСТИННИХ КОЕФІЦІЄНТІВ КОРИСНОЇ ДІЇ АВТОМОБІЛЯ

С.І. Кривошапов, доц., к.т.н.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Викладено основні принципи аналітичного визначення коефіцієнта корисної дії всього автомобіля і по окремих агрегатах. Наведено залежності зміни коефіцієнта корисної дії залежно від швидкісного і навантажувального режимів експлуатації транспортного засобу. Розроблена математична модель враховує реальні особливості умов експлуатації машин.

Ключові слова: автомобіль, експлуатаційні властивості, витрата палива, коефіцієнт корисної дії, математичне моделювання, силові агрегати.

EFFECT OF OPERATION CONDITIONS ON CHANGE OF PUBLIC AND PRIVATE EFFICIENCY OF THE CAR

S. Krivoshapov, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),
Kharkov National Automobile and Highway University

Abstract. The basic principles of analytical determination of the efficiency of the entire vehicle and individual units are stated. The dependences of change of the efficiency depending on the speed and load modes of vehicle operation are specified. The mathematical model takes into account the real characteristics of the road and transport machines operating conditions. The results of calculation of the indicator and the mechanical efficiency of the engine, transmission and the wheel efficiency, total efficiency of the car, depending on the category of roads, weight and the speed of the machine on example of GAZ-3307 truck are presented.

Key words: car, performance characteristics, fuel consumption, efficiency, mathematical modeling, power unit.

Введение

Коэффициент полезного действия (КПД) – показатель, характеризующий эффективность энергетического использования любой

сложной механической системы. Автомобиль также является сложной системой, в которой сочетаются получение, преобразование и передача различных видов энергии.

Анализ публикаций

КПД автомобиля определяется как отношение полезной энергии (мощности), реализуемой на колесах при движении автомобиля, к затраченной энергии (мощности), поступившей в двигатель автомобиля с топливом

$$\eta_a = \frac{Q_d}{Q_T} = \frac{N_d}{N_T}, \quad (1)$$

где Q_d и N_d – энергия и мощность, подведенная к дороге; Q_T и N_T – энергия и мощность сосредоточенная в топливе.

В работе [1] приведена аналитическая зависимость определения коэффициента полезного действия автомобилз

$$\eta_a = \frac{100 \cdot K_{ш} \cdot M_a}{H_n \cdot \rho_t \cdot Q}, \quad (2)$$

где $K_{ш}$ – шум ускорения, м/с²; M_a – масса автомобиля, кг; H_n – низшая теплота сгорания, кДж/кг; ρ_t – плотность топлива, г/см³; Q – расход топлива, л/100 км.

С другой стороны, КПД автомобиля можно определить через КПД отдельных агрегатов по формуле [2]

$$\eta_a = \eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_{тр} \cdot \eta_k, \quad (3)$$

где η_i и η_m – соответственно индикаторный и механический КПД двигателя; $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии; η_k – КПД колеса.

Цель и постановка задачи

Целью данного исследования является получение и анализ математических зависимостей определения общего и частных КПД автомобиля. Аналитические зависимости должны учитывать конструктивные особенности машины и условия эксплуатации транспортного средства.

Математическая модель

Согласно определения КПД и по аналогии с формулой (1), КПД отдельных агрегатов может быть получено по формулам

$$\begin{aligned} \eta_i &= \frac{N_i}{N_T}, & \eta_m &= \frac{N_e}{N_i}, \\ \eta_{тр} &= \frac{N_k}{N_e}, & \eta_k &= \frac{N_d}{N_k}, \end{aligned} \quad (4)$$

где N_i – индикаторная мощность двигателя; N_e – эффективная мощность двигателя; N_k – мощность, подведенная к колесам автомобиля.

В развернутом виде индикаторный КПД двигателя можно определять по формуле

$$\begin{aligned} \eta_i &= (12,56 \cdot r_k \cdot L_0 \cdot R \cdot T \cdot P_k \cdot V_a \cdot \alpha) \times \\ &\times 1 / (V_h \cdot \eta_m \cdot \eta_{тр} \cdot i_o \cdot i_{кп} \cdot V_{max} \times \\ &\times K_c \cdot H_n \cdot P \cdot \eta_v), \end{aligned} \quad (5)$$

где r_k – радиус колеса, м; L_0 – тахометрическое количество воздуха при сгорании 1 кг топлива, кмоль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); T – температура воздуха, К; P_k – сила, подведенная к колесам автомобиля, Н; V_a – скорость автомобиля, км/ч; α – коэффициент избытка топлива; V_h – рабочий объем двигателя, л; i_o – передаточное число главной передачи; $i_{кп}$ – передаточное число повышенной передачи коробки передач; V_{max} – максимальная скорость автомобиля, км/ч; K_c – скоростной коэффициент; H_n – низшая теплота сгорания, кДж/кг; P – давление воздуха, МПа; η_v – коэффициент наполнения цилиндров двигателя.

Коэффициенты α и η_v зависят от режима работы автомобиля и могут быть описаны полиномиальной зависимостью

$$\begin{aligned} \alpha &= A_\alpha \cdot \left(\frac{27.8 \cdot P_k}{N_{e\max} \cdot \eta_{тр}} \right)^2 + \\ &+ B_\alpha \cdot \frac{27.8 \cdot P_k}{N_{e\max} \cdot \eta_{тр}} + C_\alpha; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\eta_v = A_\eta \cdot \frac{22.8 \cdot P_k}{N_{e\max} \cdot \eta_{тр}} + B_\eta, \quad (7)$$

где A_α , B_α , C_α , A_η , B_η – коэффициенты, зависящие от типа двигателя; $N_{e\max}$ – максимальная мощность двигателя, кВт.

Механический КПД двигателя можно определить по формуле

$$\eta_m = \left[1 + \frac{V_h \cdot K_c \cdot i_0 \cdot i_{кп} \cdot \eta_{тр} \cdot V_{max}}{12,56 \cdot r_k \cdot P_k} \times \left(a_m + \frac{b_m \cdot S_n \cdot V_a \cdot K_c \cdot i_0 \cdot i_{кп} \cdot V_{max}}{11,32 \cdot V_a} \right) \right]^{-1}, \quad (8)$$

где a_m и b_m – коэффициенты механических потерь в двигателе; S_n – ход поршня, м.

Коэффициент полезного действия трансмиссии определяется через потери энергии при передаче от двигателя к колесам автомобиля

$$\eta_{тр} = \frac{P_k}{P_{тр0} + A_{тр} \cdot V_a + (1 + C_{тр}) \cdot P_k}, \quad (9)$$

где $P_{тр0}$ – сила трения в трансмиссии, Н; $A_{тр}$ – коэффициент скоростных потерь; $C_{тр}$ – коэффициент потерь при передаче нагрузки.

В работе [3] потери в колесах автомобиля предлагается учитывать комплексным энергетическим показателем – КПД колеса, который также учитывает потери в подвеске, возникающие при движении автомобиля по неровной дороге

$$\eta_k = 1 - \frac{(f_0 + f_{доп}) \cdot G_a}{P_k}, \quad (10)$$

где f_0 – коэффициент сопротивления качению колеса при движении по ровной дороге; $f_{доп}$ – дополнительный коэффициент сопротивления качению колеса при движении по неровной дороге; G_a – вес автомобиля, Н.

В случае движения автомобиля по дороге сила, подведенная к колесам автомобиля, может быть определена из уравнения силового баланса по формуле

$$P_k = G_a \cdot (f_0 + f_{доп} \pm i) + \frac{k \cdot F \cdot V_a^2}{3,6^2} \pm 0,1 \cdot \beta \cdot G_a \cdot \dot{V}_a, \quad (11)$$

где i – уклон дороги, %; k – фактор обтекаемости, Н·с²/м⁴; F – лобовая площадь автомобиля, м²; β – коэффициент, учитывающий вращательные массы двигателя и трансмиссии; \dot{V}_a – ускорение автомобиля.

Результаты моделирования

На рис. 1 приведены графики, построенные по зависимостям индикаторного и механического КПД двигателя, КПД трансмиссии и колес, на примере автомобиля ГАЗ-3302 при движении по дороге.

Индикаторный КПД бензинового двигателя достигает максимума на дороге при скорости 0,7–0,8 от максимальной. Механический КПД с увеличением скорости на дороге монотонно возрастает. КПД трансмиссии и колеса имеет минимальное значение при средних скоростях движения, но с увеличением скорости возрастает.

Значения КПД автомобиля и его составляющих в зависимости от категории условий эксплуатации (КУЭ) приведены в табл. 1. Тут добавлены 6-я и 7-я категории дорог, которые были предложены в работе [4]. Эти категории дорог характеризуют сложные и сверхсложные условия эксплуатации автомобиля.

Таблица 1 Влияние категории дороги (условий эксплуатации) на КПД автомобиля ГАЗ-3302 и его составляющих

Категория условий эксплуатации	Средняя техническая скорость, км/ч	Снаряженная масса автомобиля					Полная масса автомобиля				
		η_i	η_m	$\eta_{тр}$	η_k	η_a	η_i	η_m	$\eta_{тр}$	η_k	η_a
1	60	0,323	0,88	0,754	0,81	0,174	0,334	0,898	0,79	0,742	0,176
2	48	0,307	0,833	0,76	0,78	0,152	0,321	0,866	0,808	0,726	0,163
3	37	0,296	0,782	0,787	0,772	0,14	0,312	0,834	0,841	0,741	0,162
4	31	0,292	0,754	0,813	0,783	0,14	0,308	0,818	0,866	0,764	0,167
5	27	0,289	0,736	0,835	0,798	0,142	0,306	0,809	0,883	0,785	0,172
6	20	0,287	0,708	0,878	0,837	0,149	0,304	0,795	0,915	0,832	0,184
7	14	0,286	0,691	0,916	0,881	0,159	0,303	0,787	0,939	0,88	0,197

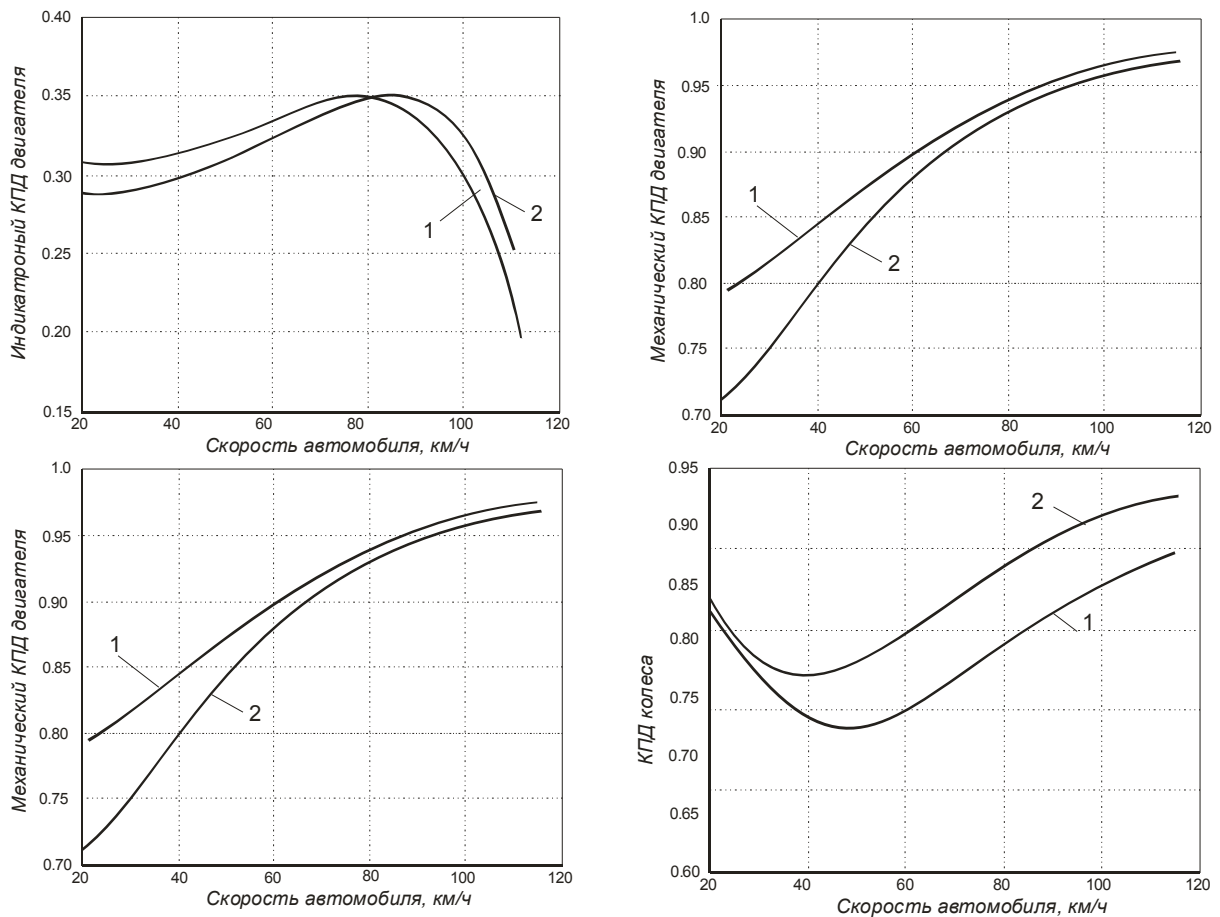


Рис. 1. Зависимость индикаторного и механического КПД, КПД трансмиссии и колес автомобиля ГАЗ-3302: 1 – снаряженная масса, 2 – полная масса

На рис. 2 приведены зависимости общего КПД автомобиля ГАЗ-3302 при движении по дороге.

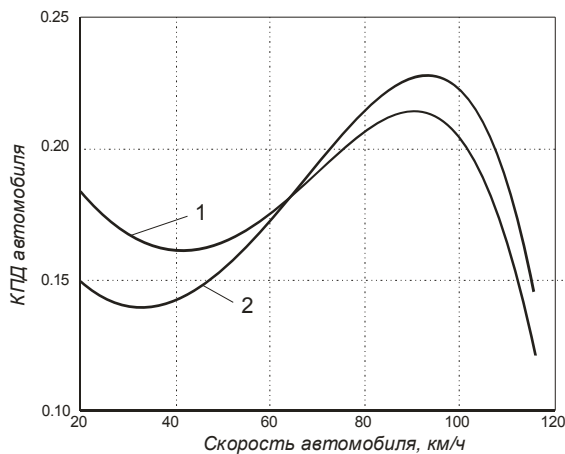


Рис. 2. Зависимость общего КПД автомобиля ГАЗ-3302: 1 – полная масса, 2 – снаряженная масса

КПД автомобиля ГАЗ-3302 достигает максимального значения при движении по дороге со скоростью 90 км/ч, а минимального зна-

чения – при 30–40 км/ч. КПД груженого автомобиля на малых скоростях выше порожнего, поскольку этот режим характерен для неровных дорог.

Выводы

Данная методика позволила связать конструктивные параметры автомобиля с коэффициентом полезного действия автомобиля. Полученные результаты могут быть использованы в оценке эксплуатационных свойств автомобиля в целом и по отдельным агрегатам, таких как двигатель, трансмиссия и ходовая часть.

Литература

1. Кривошапов С.И. Оценка энергетической эффективности транспортных средств по коэффициенту полезного действия / С.И. Кривошапов // Проблемы автомобильно-дорожного комплекса России : Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта: материалы X Междунар.

- заочн. науч.-техн. конф. 21 ноября 2013 г., Пенза / [редкол.: Э.Р. Домке (отв. ред.) и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2013. – С. 83–87.
2. Говорущенко Н.Я. Новая методика нормирования расхода топлива транспортных машин (метод четырех КПД) / Н.Я. Говорущенко, С.И. Кривошапов // *Автомобильный транспорт: сб. науч. тр.* – 2004. – Вып. 15. – С. 34-36.
 3. Кривошапов С.И. Алгоритм расчета КПД транспортных машин / С.И. Кривошапов, Е.Ю. Говорущенко // *Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр.* – 2003. – Вып. 20. – С. 34–36.
 4. Мастепан С.Н. Диагностирование и прогнозирование остаточного ресурса транспортных машин с помощью детерминированных методов расчета: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / С.Н. Мастепан. – Харьков: ХНАДУ, 2006. – 167 с.
- Reference**
1. Krivoshapov S.I. *Ocenka energeticheskoj effektivnosti transportnyh sredstv po koefficientu poleznogo dejstvija* [Assessment of the energy efficiency of vehicles on the efficiency]. *Problemy avtomobil'no-dorozhnogo kompleksa Rossii: ekspluatatsija i razvitie avtomobil'nogo transporta: Materialy X mezhdunar. zaочn. nauch.-tehn. konf.*, Penza, PGUAS Publ., 2013, pp. 83-87.
 2. Govorushhenko N.Ja., Krivoshapov S.I. *Novaja metodika normirovanija rashoda topliva transportnyh mashin (metod chetyreh KPD)* [The new technique of rationing of fuel transport vehicles (four-efficiency method)] *Avtomobil'nyj transport, Automobile transport: coll. of scientific works*, 2004, Vol. 15, pp. 34-36.
 3. Krivoshapov S.I., Govorushhenko E.Ju. *Algoritm rascheta KPD transportnyh mashin* [The algorithm for calculating the efficiency of transport vehicles]. *Vesnik KHNADU: sb. nauch. tr. - Bulletin of KhNAHU: collection of scientific works*, 2003, Vol. 20, pp. 34-36.
 4. Mastepan S.N. *Diagnostirovanie i prognozirovanie ostatochnogo resursa transportnyh mashin s pomoshh'ju determinirovannyh metodov rascheta. diss., Ph.D. tehn. work* [Diagnosing and forecasting residual resource of transport vehicles using deterministic methods of calculation calculation. Ph. D. techn. diss.]. Kharkov, HNADU, 2006, 167 p.
- Рецензент: М.А. Подригало, профессор, д.т.н., ХНАДУ.
- Статья поступила в редакцию 2 июня 2015 г.
-