

## МЕТОДЫ СИСТЕМНОГО РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО И СТЕНДОВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

**Н.Я. Говорушенко, профессор, д.т.н., Ю.В. Горбик, инженер, ХНАДУ**

***Аннотация.** Разработана принципиально новая энергетическая модель диагностирования расхода топлива, позволяющая просто и доступно оценивать общее состояние машин и их отдельных агрегатов по замеру и анализу частных и общих КПД агрегатов.*

***Ключевые слова:** автомобиль, диагностика, индикаторный расход топлива, КПД, условия работы.*

## МЕТОДИ СИСТЕМНОГО РОЗРАХУНКОВО-АНАЛІТИЧНОГО Й СТЕНДОВОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ

**М.Я. Говорушенко, професор, д.т.н., Ю.В. Горбик, інженер, ХНАДУ**

***Анотація.** Розроблено принципово нову енергетичну модель діагностування витрати палива, що дозволяє просто й доступно оцінювати загальний стан машин, а також окремих агрегатів за виміром й аналізом окремих і загальних ККД агрегатів.*

***Ключові слова:** автомобіль, діагностика, індикаторна витрата палива, ККД, умови роботи.*

## METHODS OF SYSTEM CALCULATION-ANALYTICAL AND STAND DIAGNOSTICATING OF PASSENGER VEHICLES

**M. Govoruschenko, professor, dr. eng. sc., Yu. Gorbik, engineer, KhNAHU**

***Abstract.** The new power model for fuel expense diagnosticating is developed on the principle that allows to estimate the general state of vehicles in a simple and accessible way as well as particular units for measuring and analysis of private and general efficiency of machines.*

***Key words:** vehicle, diagnostics, indicated fuel consumption, performance, environment.*

### **Введение**

В транспортной системотехнике особое внимание уделяется построению математических моделей и количественным оценкам различных свойств и характеристик отдельных подсистем. Основным физическим объектом являются транспортные машины, работающие в специфических дорожных, транспортных, атмосферно-климатических и других условиях. Современные специалисты должны уметь грамотно планировать и решать проблемы использования транспортных машин, экономии топлива и снижения токсичности и повышения безопасности дорожного движения.

В этой статье мы предлагаем рассмотреть разработку принципиально новой энергетической модели диагностирования по расходу топлива ранее мало исследованную.

### **Цель и постановка задачи**

При создании новых видов транспортных машин широко используются экспериментальные и инженерные расчетные методы. Экспериментальные исследования очень дорогие, пробеги автомобилей при дорожных испытаниях достигают 10...15 тыс. км, точность испытаний колеблется в пределах  $\pm 15...10\%$ . Длительные исследования в заданных условиях работы практически невоз-

можны. По этим причинам расчетные методы исследований, базирующиеся на достоверной теории и верных теоретических моделях, имеют ряд преимуществ, т.к. в них отсутствуют случайные факторы, нестабильность дорожно-транспортных условий, влияние профессиональных качеств водителей и др. Поэтому в настоящее время на автомобильном транспорте необходимо основное внимание уделять не экспериментальным исследованиям в дорожных условиях, а простым расчетным методам и испытанию автомобилей на специальных стендах в лабораторных условиях. Диагностирование технического состояния автомобилей следует выполнять на стендах с беговыми барабанами при скоростях  $\sim 35$  км/ч, при которых не нужно учитывать потери топлива на преодоление сопротивления воздуха. Общая оценка технического состояния автомобиля должна выполняться по экспериментально-расчетным данным расхода топлива. Индивидуальная оценка технического состояния агрегатов должна оцениваться по частным КПД и индикаторному расходу топлива.

#### Расчетные модели диагностирования автомобилей

Схематически изменение топливо-энергетического баланса автомобиля представлено на рис. 1. Из рисунка видно, что из 100 % энергии топлива примерно 33 % затрачивается на выпуск и 35 % – на охлаждение. Индикаторный расход составляет  $\sim 32$  %. Из 32 % оставшегося топлива около 10% затрачивается на насосные и механические потери в двигателе. На эффективную мощность расходуется около 22,0 % топлива, на транспортную полезную работу (преодоление уклонов, сопротивления воздуха и разгон-торможение) затрачивается 8,5 %. Общий КПД автомобиля в средних условиях работы равен примерно 0,062...0,065. В общем виде

$$\eta_a = \eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_T \cdot \eta_{\Pi} = \frac{N_i}{H_n \cdot Q} \cdot \frac{N_e}{N_i} \cdot \frac{N_{\Pi}}{N_e} \cdot \frac{N_d}{N_{\Pi}} = \frac{N_d}{H_n \cdot Q} = \frac{100 \cdot P_d}{H_n \cdot \rho_T \cdot Q} = \frac{100 \cdot M_a \cdot K_d}{H_n \cdot \rho_T \cdot Q} \quad (1)$$

Из исходного выражения можно получить уравнение общего расхода топлива (л/100 км), которое можно записать так:

$$Q = \frac{100 \cdot M_a \cdot K_d}{H_n \cdot \rho_T \cdot \eta_a} = \frac{100 \cdot M_a \cdot K_d}{H_n \cdot \rho_T \cdot \eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_T \cdot \eta_{\Pi}} \quad (2)$$

где  $M_a$  – масса автомобиля в кг;  $K_d$  – коэффициент качества дорожно-транспортных условий работы в  $\text{м/с}^2$ ;  $H_n$  – низшая теплота сгорания в кДж/л;  $\eta_a$  – общий КПД автомобиля.

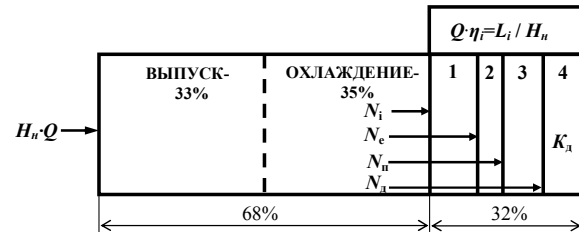


Рис. 1. Схема топливо-энергетического баланса бензинового автомобиля: 1 – механические и насосные потери в двигателе – 10 %; 2 – потери в трансмиссии – 3,0 %; 3 – потери в подвеске – 10,5 %; 4 – затраты на транспортную работу – 8,5 %

Уравнение индикаторного расхода топлива запишется таким образом:

$$Q_i = Q \cdot \eta_i = \frac{100 \cdot M_a \cdot K_d}{H_n \cdot \rho_T \cdot \eta_m \cdot \eta_T \cdot \eta_{\Pi}} \quad (3)$$

На качество дорожно-транспортного движения оказывает величина профиля дороги ( $i$ ), количество перекрестков и поворотов, плотность и интенсивность движения, разгоны и торможения. Значительное влияние на качество движения автомобиля оказывают профессиональные качества водителя.

Выполненные экспериментальные исследования [1] по замеру «шума ускорения» ( $K_d$ ) на дорогах США показывают, что на дорогах с низкой интенсивностью движения и высокими средними скоростями  $K_d \approx 0,1 \text{ м/с}^2$ , на магистральных дорогах  $0,12^{\pm 0,01} \text{ м/с}^2$  и на дорогах с плохим покрытием  $\sim 0,44 \text{ м/с}^2$ , на загородных дорогах –  $0,24 \dots 0,40 \text{ м/с}^2$ .

В работе [2] приведена окончательная формула для вычисления  $K_d$  ( $\text{м/с}^2$ ) при движении автомобиля в разных дорожных условиях

$$K_d \approx \left( \frac{3,14}{V_a} + \frac{0,077 \cdot kF \cdot V_a^2}{M} + \delta \cdot \dot{V} \right) \quad (4)$$

Из приведенной зависимости следует, что  $K_d$  снижается при изменении уклонов дороги ( $i$ ),

при снижении скоростей и увеличении массы автомобиля.

С учетом высказанных выше замечаний нами для расчетных исследований  $K_d$  принят постоянным и равным 0,13, который соответствует принятым в проведенных расчетах режиму движения с постоянной скоростью.

Рассмотрим алгоритм расчета частных КПД на примере автомобиля ГАЗ-31029. В самом общем виде выражение для расчета расхода топлива можно записать так [2]:

$$Q = \frac{7,95 \cdot V_h \cdot i_0 \cdot i_k}{H_n \cdot \rho_T \cdot r_k} \cdot \frac{P_e}{\eta_e} \text{ или} \quad (5)$$

$$\frac{7,95 \cdot V_h \cdot i_0 \cdot i_k}{H_n \cdot \rho_T \cdot r_k} \cdot \frac{P_i}{\eta_i} \text{ л/100 км.} \quad (6)$$

При  $i_k = 60/V_a$  последние формулы запишутся следующим образом:

$$Q = \frac{7,95 \cdot 2,44 \cdot 3,9 \cdot 60}{44000 \cdot 0,74 \cdot 0,31 \cdot V_a} \cdot \frac{P_e}{\eta_e} = \frac{0,449}{V_a} \cdot \frac{P_e}{\eta_e} =$$

$$\frac{0,449}{V_a} \cdot \frac{P_i}{\eta_i} = K_p \cdot \frac{P_i}{\eta_i}, \text{ л/100 км,}$$

где  $K_p$  – расчетный коэффициент для данного автомобиля.

В табл. 1 для каждой категории дорог приведены значения усилий  $P_k$ , подведенных к колесам. Зная эти усилия, можно определить среднее эффективное давление по формуле

$$P_e = 12,56 \frac{r_k}{V_h \cdot i_0 \cdot i_k \cdot \eta_T} \cdot P_k, \text{ кПа.} \quad (7)$$

ления  $P_e$ . Механические потери в двигателе определяются по формуле [3]

$$P_M = (a_n + b_n \cdot W_n), \quad (8)$$

где  $a_n$  и  $b_n$  – постоянные для данного двигателя коэффициенты;  $W_n$  – средняя скорость поршня в м/с.

Если известны ход поршня  $S_n$  и частота вращения коленвала  $n$  мин<sup>-1</sup>, тогда

$$P_M = (a_n + b_n \cdot 2S_n \cdot n/60) =$$

$$= (a_n + 0,033 \cdot b_n \cdot S_n \cdot n), \text{ кПа.} \quad (9)$$

Если принять для ГАЗ-31029 [2, 3]  $a_n = 45$  кПа,  $b_n = 13$  кПа·с·м<sup>-1</sup>, ход поршня  $S_n = 0,092$  м и  $n = 2500$  мин<sup>-1</sup>, тогда при

$$P_M = (45 + 0,033 \cdot 13 \cdot 0,092 \cdot 2500) =$$

$$(45 + 98,6) = 143,6 \text{ кПа.}$$

При более высоких частотах вращения коленвала и  $i_k = 1$  [2]

$$P_M = 45 + 1,31 \cdot V_a. \quad (10)$$

КПД трансмиссии автомобиля самый высокий и изменяется в пределах – 0,8...0,95. КПД трансмиссии рассчитываем по формуле

$$\eta_T = \frac{P_k}{(1,3 \cdot V_a + 1,025 \cdot P_k)}. \quad (11)$$

КПД подвески также можно определить по расходу топлива по формуле

$$\eta_n = \frac{100 \cdot 1600 \cdot 0,13}{H_n \cdot \rho_T \cdot \eta_i \cdot \eta_M \cdot \eta_T \cdot Q}. \quad (12)$$

Таблица 1 Расчетные данные для трех категорий дорог на примере автомобиля ГАЗ-31029

$V_a$ , км/ч	$P_k$ , Н	$P_e$ , кПа	$P_M$ , кПа	$P_i$ , кПа	$Q$ , л/100 км	$\eta_i$	$\eta_M$	$\eta_e$	$\eta_T$	$\eta_n$	$\eta_a$
<b>60</b>	367,68	186,19	143,6	329,79	<b>7,6</b>	0,325	0,564	0,183	0,808	0,568	0,084
<b>35</b>	412,67	111,84	143,6	255,44	<b>10,1</b>	0,324	0,438	0,142	0,881	0,506	0,063
<b>26</b>	512,7	98,92	143,6	242,52	<b>13,3</b>	0,315	0,406	0,128	0,917	0,410	0,048

Для определения КПД индикаторного надо определить среднее индикаторное давление  $P_i$  кПа, которое складывается из среднего давления механических потерь на трение в двигателе  $P_n$  и среднего эффективного дав-

Расчет общего расхода топлива выполняется по формуле

$$Q = K_p \cdot \frac{P_i}{\eta_i} = K_p \cdot \frac{P_e}{\eta_e} \text{ л/100 км.} \quad (13)$$

На рис. 2, используя данные табл. 1, построен график расчетно-аналитического диагностирования агрегатов автомобиля ГАЗ-31029.

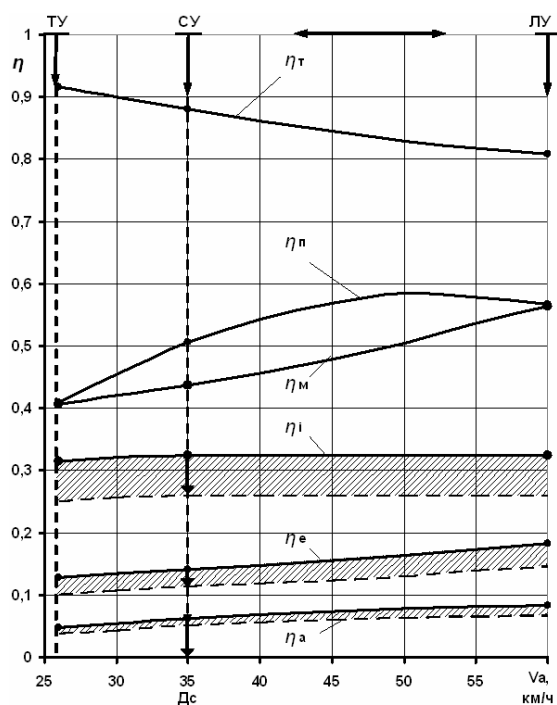


Рис. 2. График расчетно-аналитического диагностирования агрегатов автомобилей: η<sub>т</sub> – в трансмиссии; η<sub>п</sub> – в подвеске, η<sub>и</sub> и η<sub>е</sub> – в двигателе; η<sub>а</sub> – общий КПД; штрихпунктирные линии – снижение η<sub>е</sub> и η<sub>а</sub> при снижении η<sub>и</sub> до 0,26

Этот график позволяет достаточно объективно ставить диагноз по изменению КПД в отдельных агрегатах.

## Выводы

На базе предложенной методики расчетно-аналитического диагностирования агрегатов автомобилей можно создать принципиально новую и более совершенную методику диагностирования автомобилей.

## Литература

1. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
2. Говорущенко Н.Я., Туренко А.Н. Системотехника проектирования транспортных машин. – Х: ХНАДУ, 2004. – 205 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983 – 372 с.

Рецензент: В.Г. Кухтов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 31 августа 2009 г.