

Горбик Ю.В.

Харківський національний  
автомобільно-дорожній університет  
м. Харків, Україна.  
E-mail: yuragorbik@gmail.com

ПОРІВНЯЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ  
ДІАГНОСТУВАННЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ  
ПО ВИТРАТІ ПАЛИВА

УДК 629.113.004

У статті запропоновано порівняльні дослідження діагностування автомобіля по витраті палива з використанням аналітично-розрахункових методів та експериментальну модель.

**Ключові слова:** автомобіль, витрата палива, ККД, швидкість автомобіля.

**Вступ.** Розвиток автомобільної техніки в напрямку випуску автомобілів, підвищення їх якості, надійності і довговічності одночасно вимагає і застосування нових методів і алгоритмів діагностування.

Витрата палива є комплексним показником, який характеризує ефективність використання транспортного засобу, енергетичне вдосконалення конструкції автомобіля, рівня технічного стану машини, різноманітність умов експлуатації. При діагностуванні автомобіля на паливну економічність необхідно виміряти значення витрати палива з нормативними показниками. Однак у довідковій літературі відсутні нормативні значення витрати палива в літрах на 100 км по марках автомобілів. Заводи – виробники технічних даних на автомобіль не приводять норми експлуатаційної витрати палива або призводять завищені значення паливної економічності автомобіля.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Зміна технічного стану вузлів і систем автомобіля призводить до підвищених втрат енергії, що в підсумку збільшує витрату палива і знижує потужність автомобіля. Якщо проводити контроль втрат енергії в кожному агрегаті автомобіля, то по витраті можна діагностувати не тільки загальний стан автомобіля, але і локалізувати несправності по агрегатам. Загальна оцінка технічного стану автомобіля може виконуватися за експериментально-розрахунковими даними витрати палива. Індивідуальна оцінка технічного стану агрегатів також може оцінюватися за приватним ККД і індикаторному витраті палива [1].

У процесі роботи автомобіля з 100 % енергії палива приблизно 33 % витрачається на випуск і 35 % - на охолодження. З 32 % решти палива близько 10% витрачається на насосні і механічні втрати в двигуні, стільки ж на втрати в трансмісії. Частина енергії палива втрачається в колесах і підвіски автомобіля. Загальний ККД автомобіля (ВАЗ 21101) при середніх умовах експлуатації дорівнює приблизно 0,062...0,065 [2].

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Зміна технічного стану вузлів і систем автомобіля призводить до підвищених втрат енергії, що в підсумку збільшує витрату палива і знижує потужність автомобіля. Якщо виконувати контроль втрати енергії в кожному агрегаті автомобіля, то по витраті палива можна діагностувати не тільки загальний стан автомобіля, але і локалізувати несправність по агрегатам.

**Результати дослідження**

*1 Визначення витрати палива розрахунковим методом*

Знаючи масу автомобіля, дорожньо-транспортні умови роботи і витрата палива, можна визначити загальний ККД автомобіля [3] за формулою:

$$\eta_a = \frac{100 \cdot M_a \cdot K_d}{H_u \cdot \rho_m \cdot Q}, \quad (1)$$

де  $M_a$  – маса автомобіля, кг;  $K_d$  – коефіцієнт дорожніх умов експлуатації;  $H_u$  – нижча теплота згорання палива, кДж/кг;  $\rho_m$  – щільність палива, г/см<sup>3</sup>;  $Q$  – витрата палива, л/100км.

При загальному діагностуванні автомобіля рекомендується визначати два ККД: ККД ефективний двигуна ( $\eta_i \cdot \eta_m$ ) і ККД ходової частини автомобіля ( $\eta_T \cdot \eta_P$ ). Для розрахунку використовувались наступні данні (табл. 1) [3].

Таблиця 1

**Вихідні данні для розрахунку**

Параметр	Умовне позначення	Значення
Маса автомобіля ВАЗ 21101	$M_a$	1495 кг
Об'єм циліндрів двигуна	$V_h$	1,596 л
Хід поршня	$S_n$	0,0756 м
Передавальне число головної передачі	$i_0$	3,937
Радіус колеса	$r_k$	0,310
Фактор обтічності	$kF$	$0,026V_a^2 \cdot H \cdot c^2 \cdot m^2$
Потужність двигуна	$N_a$	59,58 кВт при 5200 мин <sup>-1</sup>

Розрахункові формули.

Значення зусиль  $P_k$ , підведених до коліс:

$$P_k = \left( \frac{0,8 \cdot G_a}{V_a} + 0,026 \cdot V_a^2 \right), \text{ Н} \quad (2)$$

де  $G_a$  – вага автомобіля, Н .

Середній ефективний тиск:

$$P_e = 12,56 \frac{r_k}{V_h \cdot i_0 \cdot i_k \cdot \eta_m} \cdot P_k, \quad (3)$$

де  $V_h$  – робочий об'єм двигуна, л;  $i_0$  – передаточне число головної передачі;  $\eta_m$  – ККД трансмісії;  $i_k$  – середньозважене передаточне число коробки передач.

Якщо прийняти для ВАЗ 21101 [1,2]  $a_n = 43$  кПа,  $b_n = 13$  кПа·с·м<sup>-1</sup>, хід поршня  $S = 0,0756$  м і  $n = 2700$  хв<sup>-1</sup>, тоді механічні витрати в двигуні будуть визначатися за формулою:

$$P_m = (a_n + b_n \cdot 2S_n \cdot \frac{n}{60}) = (a_n + 0,033 \cdot b_n \cdot S_n \cdot n) \text{ кПа}, \quad (4)$$

де  $a_n$  і  $b_n$  – постійні для даного двигуна коефіцієнти;  $n$  – частота обертання колінчастого вала двигуна, хв<sup>-1</sup>;  $S_n$  – хід поршня, м.

При більш високих частотах обертання колінчастого вала і  $i_k = 0,941$

$$P_m = (43 + 0,033 \cdot 13 \cdot 0,0756 \cdot \frac{2,65 \cdot V_a \cdot 3,937 \cdot 0,0756}{0,31}) = 43 + 1,03 \cdot V_a. \quad (5)$$

Середній індикаторний тиск  $P_i$  кПа

$$P_i = P_e + P_m. \quad (6)$$

Коефіцієнт коригування

$$K_p = \frac{7,95 \cdot V_h \cdot i_0 \cdot i_k}{H_H \cdot \rho_T \cdot r_k} = 0,00497 \cdot i_k, \text{ л}^2/\text{Н} \cdot \text{м}^2. \quad (7)$$

ККД трансмісії автомобіля:

$$\eta_T = \frac{P_k}{(1,3 \cdot V_a + 1,025 \cdot P_k)}. \quad (8)$$

Середньозважене число КПП

$$i_k = \frac{107}{V_a}. \quad (9)$$

ККД індикаторний

$$\eta_i = 0,35\alpha . \quad (10)$$

$$\alpha = a_1 + b_1 \cdot N_1 . \quad (11)$$

де  $N_1$  – відсоток використання потужності, %.

Для бензинових інжекторних ДВЗ

$$\eta_i = 0,35 \cdot (0,85 + 0,00337 \cdot N_1) = 0,298 + 0,00118 \cdot N_1 . \quad (12)$$

Відсоток використання потужності визначаємо по формулі

$$N_1 = \frac{100 \cdot (G_a \cdot \psi \cdot V_a + 0,077 \cdot kF \cdot V_a^3)}{3,6 \cdot 10^3 \cdot N_{e_{max}} \cdot \eta_T} , \quad (13)$$

де  $N_{e_{max}}$  – максимальна потужність двигуна, кВт.

ККД механічний

$$\eta_M = \frac{\eta_e}{\eta_i} . \quad (14)$$

ККД ефективний

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M . \quad (15)$$

ККД підвіски

$$\eta_n = \frac{100 \cdot M_a \cdot K_d}{H_u \cdot \rho_m \cdot \eta_i \cdot \eta_M \cdot \eta_m \cdot Q} . \quad (16)$$

Загальний ККД автомобіля [4]

$$\eta_a = \eta_i \cdot \eta_M \cdot \eta_m \cdot \eta_n . \quad (17)$$

Для розрахунку витрати палива автомобіля ВАЗ – 21101 ми скористаємося формулою М. Я. Говорущенко:

$$Q = \frac{7,95 \cdot V_h \cdot i_0 \cdot i_k \cdot P_e}{H_u \cdot \rho_m \cdot r_k \cdot \eta_e} , \text{ л/100 км.} \quad (18)$$

де  $V_h$  – робочий об'єм циліндрів двигуна, л;  $i_0$  – передаточне число головної передачі;  $i_k$  – середньозважене передаточне число коробки передач;  $H_u$  – нижча теплота згоряння палива, кДж/кг;  $\rho_m$  – щільність палива, кг/м<sup>3</sup>;  $r_k$  – радіус кочення колеса, м;  $P_e$  – середній ефективний тиск, кПа;  $\eta_e$  – ефективний ККД.

В табл. 2 приведені розрахункові значення втрат, витрати палива і ККД автомобіля і агрегатів.

Таблиця 2

Розрахункові данні зміни приватних і загального ККД автомобіля при збільшенні швидкостей в діапазоні 25-150 км/год

$V_a$ , км/год	$P_k$ , Н	$P_e$ , кПа	$P_m$ , кПа	$P_i$ , кПа	$Q$ , л/100км	$\eta_i$	$\eta_M$	$\eta_e$	$\eta_T$	$\eta_n$	$\eta_a$
<b>20</b>	598,24	73,66	63,60	137,26	<b>11,65</b>	0,313	0,536	0,168	0,936	0,331	0,052
<b>40</b>	339,72	92,24	84,20	176,44	<b>7,43</b>	0,315	0,523	0,165	0,849	0,582	0,081
<b>60</b>	299,95	133,25	104,80	238,05	<b>6,58</b>	0,320	0,560	0,179	0,778	0,660	0,092
<b>90</b>	365,26	254,83	135,70	390,53	<b>6,94</b>	0,332	0,652	0,216	0,743	0,542	0,087
<b>120</b>	515,37	473,12	166,60	639,72	<b>8,03</b>	0,352	0,739	0,260	0,753	0,384	0,075
<b>150</b>	730,72	815,88	197,50	1013,38	<b>9,33</b>	0,384	0,805	0,309	0,774	0,271	0,065

На рис. 1 приведені графіки зміни місцевих і загального ККД автомобіля і агрегатів в залежності від швидкості руху.

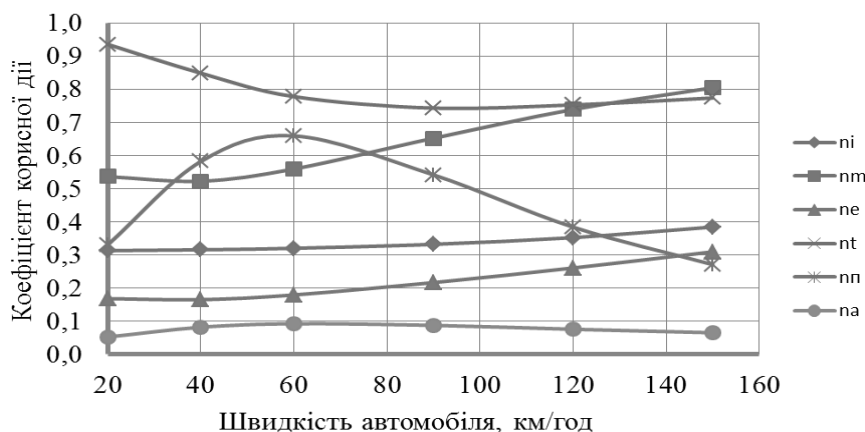


Рис. 1 – Залежність ККД агрегатів і загального ККД автомобіля від швидкості

Графічна залежність витрати палива від швидкості автомобіля ВАЗ -21101 приведена на рис. 2.

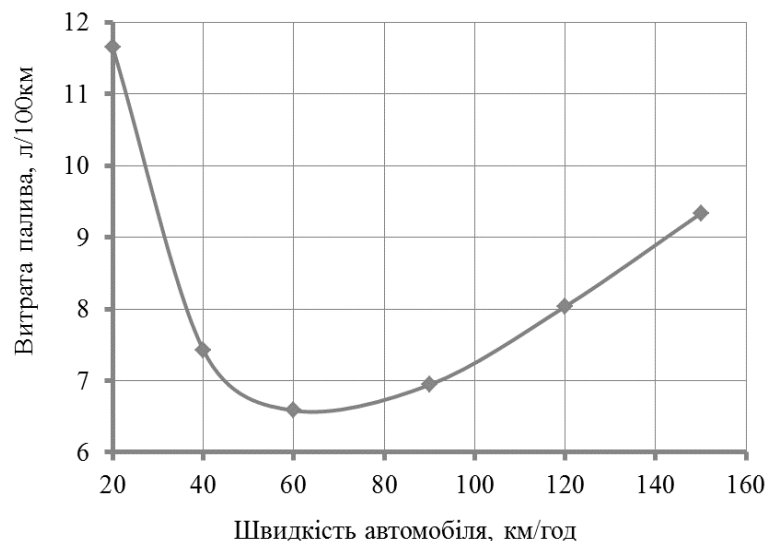


Рис. 2 – Залежність витрати палива автомобіля ВАЗ – 21101 від швидкості руху

Для порівняння розрахуємо витрату палива іншим методом – через ККД автомобіля за формулою (1).

Після підстановки постійних значень отримуємо більш просту формулу:

$$\eta_a = \frac{0,596}{Q} \quad (19)$$

Звідси:

$$Q = \frac{0,596}{\eta_a} \quad (20)$$

Результати розрахунку представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Результати розрахунку витрати палива через ККД автомобіля

Швидкість	20	40	60	90	120	150
Витрата палива через ККД	11,64	7,31	6,48	6,83	7,91	9,19

На рис. 3 представлено графіки витрати палива порахованого через формулу (18) та через загальний ККД автомобіля (1).

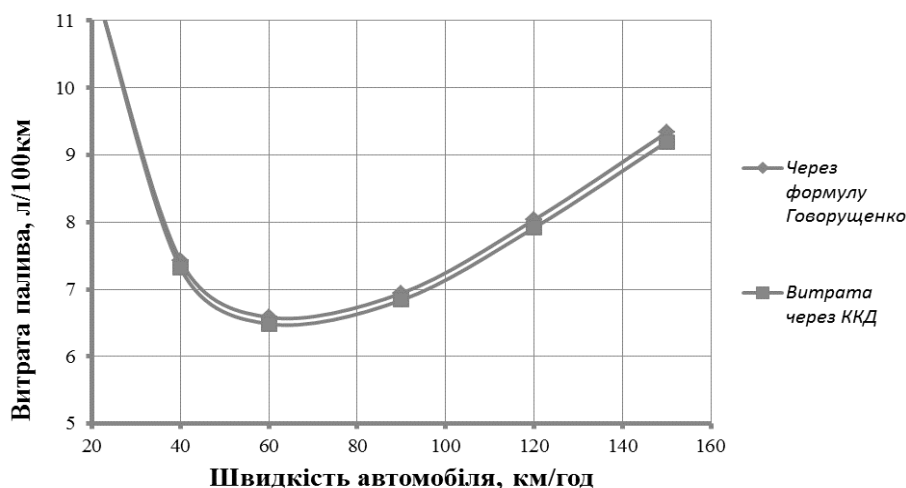


Рис. 3 – Графіки витрати палива порохованого через різні методики

## 2 Експерементальні дослідження показників витрати палива автомобіля ВАЗ-21101

Для енергетичної оцінки був використан легковий автомобіль ВАЗ 21101. Автомобіль 2007 року випуску, з пробігом 148 тис. км., який знаходиться у справному стані. Перед експериментом було проведено повне ТО й діагностика всіх основних параметрів.

Для визначення витрати палива при русі автомобіля використовувався показник тривалості впорскування палива фосунками.

В якості прилада для запису сигналів тривалості впорскування палива фосунками був обраний цифровий осцилограф вітчизняного виробництва USB-Score III.

В табл. 4 представлено дані для виконання налаштування осцилографа USB AutoScor III, та правильність підключення сигналів датчиків в потрібний канал.

Таблиця 4

Вихідні дані для настроювання каналів

№ каналу	Джерело сигналу	Ім'я каналу	Одиниця виміру	Масштабний множник
1	Датчик колінчатого валу	Коленвал	В	5
2	Датчик швидкості	Скорость	В	5
3	Струмові кліщі	Клеци	В	2
4	Датчик фази	Распредвал	В	5
5	Форсунка	Форсунка	В	5
6	Датчик масової витрати повітря	ДМРВ	кг/год	1

### Проведення експерименту

Виміри витрати палива автомобілем ВАЗ-21101 проводилися на 3 різних швидкостях 20, 40, 60 км/год. З записом сигналів з датчиків, таких як: датчик положення колінчатого валу, датчик масової витрати повітря, датчик фаз, струм з модуля запалювання, сигнал з форсунки, сигнал з датчика швидкості. Для експерименту ми використовували рівну ділянку траси Харків-Київ, без поздовжнього ухилу. Довжина ділянки становила близько 1 км. Для більшої достовірності експерименту і зменшення похибки від зустрічного вітру ми виміри робили на одній швидкості в 2 напрямках, та по три рази в кожному напрямку.

### Алгоритм обробки результатів експерементальних випробувань

З індивідуального файлу, записаного в процесі випробування, визначимо наступні параметри:

- номер включеної передачі й швидкість руху автомобіля по спідометру (ця інформація записана в імені файлу);

- тривалість керуючого імпульсу  $\tau_k$  на форсунці (мс) «Форсунка» канал 5;
- період обертання розподільного вала  $T_u$  (мс) – із графіка «датчик фази» канал 4;
- напругу з датчика швидкості  $U_d$  канал 2;
- виміряти напругу  $U_e$  за графіком «масова витрата повітря», канал 6;

За результатами вимірювань обчислюємо:

- швидкість автомобіля, км/год

$$V_a = \frac{3,6 \cdot \pi}{30} \cdot \frac{n_k}{U_K} \cdot U_d \cdot r_k \quad (21)$$

- тривалість керуючого імпульсу на форсунку

$$T_i = 1000 \cdot \frac{\tau_k - \tau_{II}}{F}, \text{ мс}, \quad (22)$$

де  $\tau_k$ ,  $\tau_{II}$  – момент закриття та відкриття голки форсунки відповідно;  $F$  – частота вибірки сигналу ( $F=500/6=83,8$  кГц).

- циклову подачу однієї форсунки:

$$Q_{ци} = q_{\phi} \cdot \frac{T_i}{60000} \cdot 1000 \cdot \rho_T, \text{ мг}, \quad (23)$$

де  $q_{\phi}$  – продуктивність форсунки;  $\rho_T$  – щільність палива;  $T_i$  – тривалість керуючого імпульсу на форсунку

- частоту обертання колінчатого валу по формулі:

$$n = \frac{1,2 \cdot 10^5}{T_{ци}}, \text{ хв}^{-1}. \quad (24)$$

- об'ємну годинну витрату палива по формулі, л/г.

$$Q_n = g_{\phi} \cdot (\tau_k - \tau_n) \cdot 1,2 \cdot n \cdot 10^{-4} = 0,0005 \cdot n \cdot (\tau_k - \tau_n). \quad (25)$$

- масову годинну витрату палива по формулі, кг/ч

$$G_i = 0,75 \cdot Q_i. \quad (26)$$

- крутний момент на валу двигуна

$$M_{кр} = \frac{1000 \cdot H_H}{120 \cdot \pi \cdot n} G_n \cdot \eta_e = 116713,625 \cdot \eta_e \cdot \frac{G_n}{n}, \quad (27)$$

де  $H_H = 44000$  кДж/кг – нижча теплота згоряння бензину;  $\eta_e = 0,25 \dots 0 \dots 0,32$  – ефективний ККД двигуна залежно від навантаження й частоти обертання валу.

- годинну витрату палива за формулою

$$Q_T = z \cdot q_{\phi} \cdot \frac{T_i}{60000} \cdot \frac{n}{2} \cdot \frac{60}{1000}, \quad (28)$$

де  $z$  – число циліндрів двигуна ( $z = 4$ );  $T_i$  – тривалість керуючого імпульсу на форсунку, мс.

- питому шляхову витрату палива, л/100 км.

$$Q_v = \frac{100 \cdot Q_T}{V_a}. \quad (29)$$

Результати експерименту наведені в табл. 5.

Результати експерименту

Швидкість, км/год	$Q_y$ , л/100 км	$Q_T$ , л/год	$T_i$ , мс
20	11,5	2,3	44,1
40	7,64	3,05	47,7
60	6,84	4,1	59,6

Після обробки результатів, були зроблені порівняння значень витрати палива розраховані через формулу М.Я. Говорущенко, через загальний ККД автомобіля, та отримані експериментальним шляхом. Графічне зображення цього порівняння зображено на рис. 4.

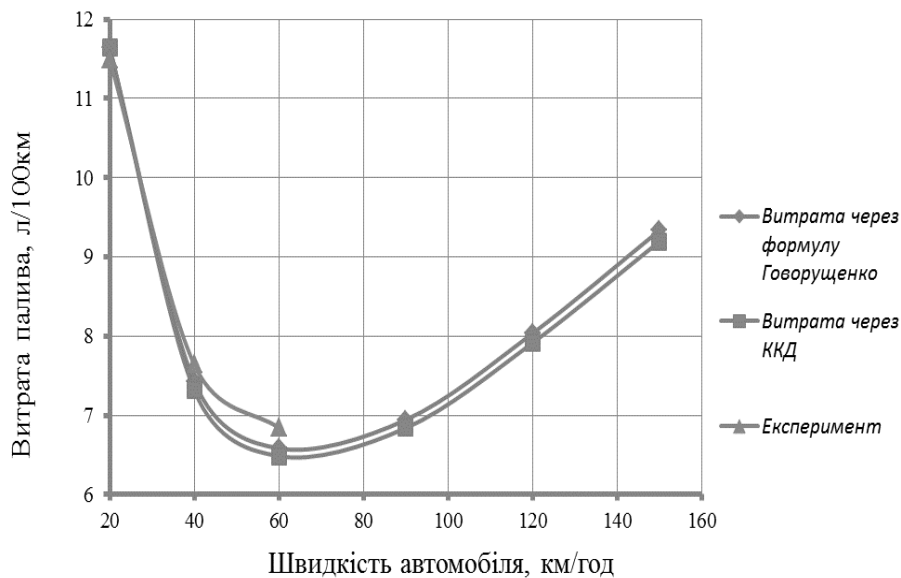


Рис. 4 – Витрата палива в залежності від швидкості, визначена трьома різними способами

Після співставлення результатів отриманих аналітично-розрахунковими методами та експериментально, можна зробити висновок що метод дійсно працює і похибка становить близько 5%.

### Література:

1. Говорущенко Н.Я., Методы диагностирования автомобилей по изменению общего и индикаторного расхода топлива и частных КПД в отдельных агрегатах / Н.Я. Говорущенко, Ю.В. Горбик // Транспорт экология – устойчивое развитие: материалы XVI научно-технической конференции с международным участием. – Варна: ТУ, 2010. – С. 442 – 450.
2. Кривошапов С.И. Разработка методики и алгоритма общего диагностирования автомобилей по изменению коэффициента полезного действия: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Кривошапов Сергей Иванович. – Х., 1999. – 164 с.
3. Васильев Б.С. Автомобильный справочник / Б.С. Васильев, М.С. Высоцкий, К.Л. Гаврилов и др.; [под общ. ред. В.М. Приходько]. – М.: ОАО "Издательство "Машиностроение", 2004 – 704 с.
4. Говорущенко Н.Я. Новая методика нормирования расхода топлива транспортных машин (метод четырех КПД) / Н.Я. Говорущенко. С.И. Кривошапов // Автомобильный транспорт: сб. науч. трудов – Х.: ХНАДУ. 2009. - №25. – С. 58-61.

## Summary

**Y. Gorbik** Comparative study of methods of diagnosing a car based on fuel consumption

*The article proposes comparative studies of methods for diagnosing a car based on fuel consumption using computational and analytical methods and an experimental model.*

*The fuel consumption is a complex indicator characterizing the efficiency of vehicle use, the energy perfection of the car's design, the level of the technical condition of the machine, the variety of operating conditions. When diagnosing the car for fuel efficiency, the measured fuel consumption should be compared with the standard values. The change in the technical condition of the vehicle's components and systems leads to increased energy losses, which ultimately increases fuel consumption and reduces the car's power. The overall assessment of the technical condition of the car can be performed on the basis of experimental-calculated fuel consumption data. Individual assessment of the technical condition of the aggregates can also be estimated by the private efficiency and the indicator fuel consumption.*

*At present, there are many methods for determining the fuel consumption of a car. In the article for comparison, two computational and analytical methods were proposed and analyzed, and the on-road experiment on the road, and conclusions were drawn on their use and the accuracy of the results obtained.*

**Keywords:** car, efficiency, fuel consumption, car speed.

## References

1. Govorushchenko N.YA., Gorbik YU.V. Metody diagnostirovaniya avtomobilej po izmeneniyu obshchego i indikatornogo raskhoda topliva i chastnyh KPD v otдел'nyh agregatah / Transport ehkologiya – ustojchivoe razvitiе: materialy XVI nauchno-tekhnicheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. – Varna: TU, 2010. – S. 442 – 450.
2. Krivoschapov S.I. Razrabotka metodiki i algoritma obshchego diagnostirovaniya avtomobilej po izmeneniyu koehfficienta poleznogo dejstviya: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.20 / Krivoschapov Sergej Ivanovich. – H., 1999. – 164 s.
3. Vasil'ev B.S. Avtomobil'nyj spravochnik / B S. Vasil'ev, M S Vysockij, K. L. Gavrilov i dr.; [pod obshch. red. V M. Prihod'ko]. – M.: OAO "Izdatel'stvo "Mashinostroenie", 2004 – 704 s.
4. Govorushchenko N.YA., Krivoschapov S.I. Novaya metodika normirovaniya raskhoda topliva transportnyh mashin (metod chetyrekh KPD) / Avtomobil'nyj transport: sb. nauch. trudov – H.: HNADU. 2009. - №25. – S. 58-61.