

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ АВТОМОБІЛЯ З ДВИГУНАМИ РІЗНОЇ ПОТУЖНОСТІ ПРИ ВИКОНАННІ МІСЬКОГО ЇЗДОВОГО ЦИКЛУ

*Доктор технічних наук Сахно В.П.,
Корпач О.А.*

У статті запропонована уточнена математична модель для визначення показників паливної економічності автомобіля з двигунами різної потужності при виконанні міського їздового циклу. На прикладі автомобіля VW Golf V з бензиновими двигунами різної потужності показано, що збільшення потужності двигуна призводить до зростання витрати палива. Так, при збільшенні потужності на 12,0 % (з 66 до 75 кВт), витрата палива автомобілем збільшується на 8,7% (з 0,608 кг до 0,666 кг).

The article proposed the improved mathematical model for determination of fuel economy cars with engines of different capacities in the performance of urban driving cycle. On the example of car VW Golf V with gasoline engines of various capacities shown to increase engine power leads to increased fuel consumption. Thus, with increasing capacity by 12.0% (from 66 to 75 kW), fuel the car is increased by 8.7% (from 0.608 kg to 0.666 kg).

Вступ. Вартість палива складає до 14—20 % від усіх витрат на автомобільні перевезення, тому необхідно його використовувати з максимальною ефективністю для виконання транспортної роботи. Із зниженням витрати палива автомобілями також зменшуватимуться викиди шкідливих речовин в атмосферу і це покращить екологію довкілля. Паливна економічність автотранспортного засобу визначає ступінь раціонального використання палива при перевезеннях у різних експлуатаційних умовах[1].

Метою роботи є уточнення математичної моделі для визначення паливної економічності автомобіля при використанні двигунів різної потужності.

Основна частина. Паливна економічність автомобіля в значній мірі визначається такими показниками двигуна, як годинна витрата палива $G_{год}$, кг/год - маса палива, що витрачається за одну годину, і питома витрата палива g_e , г/(кВт·год) - маса палива, що витрачається за одну годину на одиницю потужності двигуна.

Основним вимірником паливної економічності автомобіля в нашій країні і більшості європейських країн є витрата палива в літрах на 100 км пройденого шляху (шляхова витрата) Q_s , л.

Для оцінки ефективності використання палива при виконанні транспортної роботи використовують витрату палива на одиницю транспортної роботи (100 т·км) Q_w , л - відношення фактичної витрати палива до виконаної транспортної роботи.

Паливну економічність транспортних засобів, згідно з ГОСТ 20306-90, прийнято оцінювати наступними показниками [2]:

1. Контрольна витрата палива.
2. Витрата палива в магістральному циклі на дорозі.
3. Витрата палива в міському циклі на дорозі.
4. Витрата палива в міському циклі на стенді.
5. Паливна характеристика усталеного руху.
6. Паливно-швидкісна характеристика на магістрально-горбкуватій дорозі.

Із наведених вище оціночних показників можливо визначити, із певним наближенням, показники 1-3 та 5 розрахунковим методом

Зважаючи на порівняльний аналіз впливу використання двигунів з різною потужністю, на показники паливної економічності, у якості оціночних показників у подальшому прийнята витрата палива у міському їздовому циклі на дорозі.

У відповідності із нормативними документами витрату палива автомобіля в міському циклі на дорозі визначають шляхом дорожніх випробувань автомобіля. Для порівняльної оцінки паливної економічності автомобілів можна провести розрахункове дослідження. Методику як розрахунків, так і випробувань зручно розглянути далі на основі положень за ГОСТ 20306-90.

Дорожні ділянки для вимірювань витрати палива в міському циклі мають бути прямолінійними, горизонтальними, із цементно- або асфальтобетонним гладким, сухим і чистим покриттям.

Швидкісні режими руху нормуються операційною картою та графічною схемою усього циклу для кожного типу автомобіля. У світовій практиці розроблено багато схем магістрального і міського

циклів, проте вони наділені чималою кількістю спільних рис, що дозволяє порівнювати одержані результати випробувань автомобіля. Характерним є включення до циклу типових фаз руху: розгін; усталена швидкість; сповільнення за допомогою двигуна або гальмівної системи; повна зупинка. Послідовне виконання названих фаз (операцій) встановлено через певні відстані шляху (рис. 1).

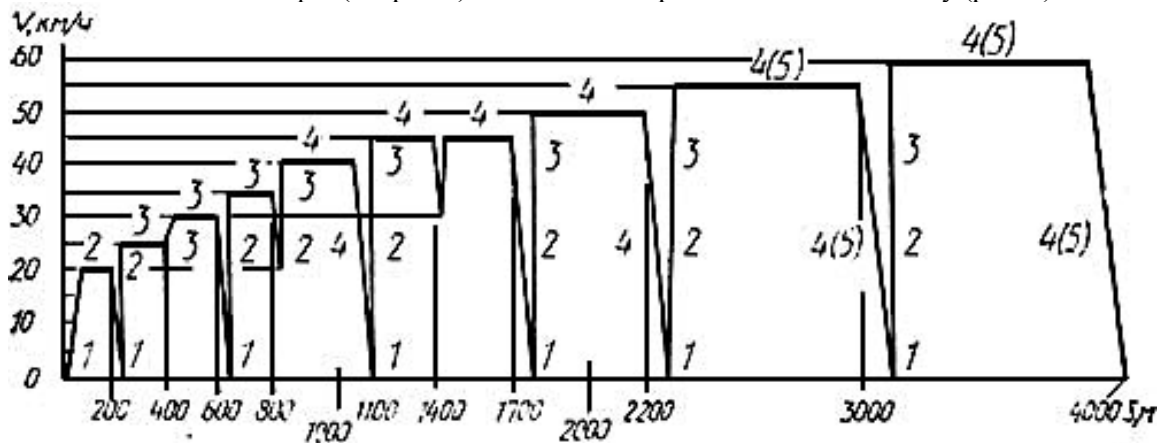


Рис. 1. Схема міського їздового циклу для АТЗ повною масою менше 3,5 т[2]

Для розрахункового визначення витрати палива автомобілем у різних фазах руху використана методика, запропонована Я.С.Фаробінім [3].

Визначимо витрату палива автомобілем у неусталеному та усталеному рухах, а також за повного і часткового використання потужності двигуна.

Витрата палива при неусталеному русі за повного використання потужності двигуна, що відповідає режимам розгону автомобіля визначається, кг:

$$Q_i = M_a \cdot \delta_{ep} \cdot \int_{v_n}^{v_k} \frac{a_{Qc} \cdot v^2 + b_{Qc} \cdot v + c_{Qc}}{a_i \cdot v^2 + b_i \cdot v + c_i} dv \quad (1)$$

де M_a – повна маса автомобіля, кг;

δ_{ep} – коефіцієнт, який враховує обертові маси автомобіля;

v_n, v_k – початкова і кінцева швидкості руху автомобіля, м/с;

a_{Qc}, b_{Qc}, c_{Qc} – коефіцієнти рівняння, яким апроксимується залежність секундної витрати палива двигуном від частоти обертання колінчастого вала;

a_i, b_i, c_i – коефіцієнти правої частини диференційного рівняння руху автомобіля [3].

Для розрахунку витрати палива при розгоні секундну витрату палива Q_{oc} , вважаючи, що миттєві витрати палива при неусталених і усталених режимах роботи двигуна рівні, можна виразити, кг/с:

$$Q_{oc} = a_{Qc} \cdot v^2 + b_{Qc} \cdot v + c_{Qc} \quad (2)$$

$$\text{де } a_{Qc} = \frac{a_Q \cdot U_i^2}{3600 \cdot r_k^2}, b_{Qc} = \frac{b_Q \cdot U_i}{3600 \cdot r_k}, c_{Qc} = \frac{c_Q}{3600};$$

U_i – загальне передаточне число трансмісії автомобіля на i -ій передачі;

r_k – радіус кочення колеса, м.

a_Q, b_Q, c_Q – коефіцієнти апроксимуючої функції годинної витрати палива двигуна :

$$Q_o = a_Q \cdot \omega_e^2 + b_Q \cdot \omega_e + c_Q \quad (3)$$

За наявності швидкісної зовнішньої характеристики двигуна, на якій нанесена залежність питомої витрати палива від частоти обертання, коефіцієнти a_Q, b_Q, c_Q визначаються за допомогою інтерполяційної формули Лагранжа (методика визначення цих коефіцієнтів аналогічна методиці визначення коефіцієнтів апроксимуючого полінома для крутного моменту двигуна [4]).

Витрата палива при усталеному русі автомобіля з постійною швидкістю визначається з рівняння секундної витрати палива (2) та при визначеному часі руху на заданій ділянці, кг:

$$Q_{oc} = (a_{Qc} \cdot v_i^2 + b_{Qc} \cdot v_i + c_{Qc}) \cdot \tau_i \quad (4)$$

де τ_i – час руху автомобіля на заданій ділянці маршруту міського їздового циклу з сталою швидкістю.

Час руху автомобіля з сталою швидкістю τ_i є нічим іншим як відношення різниці загальної довжини ділянки маршруту S_i та шляху розгону S_{pi} і гальмування S_{zi} на даній ділянці до швидкості усталеного руху v_i , с:

$$\tau_i = \frac{S_i - S_{pi} - S_{zi}}{v_i} \quad (5)$$

Шлях розгону S_{pi} , м:

$$S_{pi} = M_a \delta_{BP} \int_{V_n}^{V_k} \frac{V dV}{a_1 V^2 + b_1 V + c_1} \quad (6)$$

Шлях розгону в діапазоні зміни швидкостей $V_n \div V_k$ визначиться:

$$S_{pi} = M_a \delta_{BP} \left\{ \frac{1}{2a_1} \ln |a_1 V^2 + b_1 V + c_1| \Big|_{V_n}^{V_k} - \frac{b_1}{2a_1} \int_{V_n}^{V_k} \frac{dV}{a_1 V^2 + b_1 V + c_1} \right\}.$$

Якщо урахувати, що інтеграл в цій формулі, помножений на $M_a \delta_{BP}$, визначає час розгону τ , одержимо формулу для визначення S :

$$S_{pi} = \frac{1}{2a_1} \left\{ M_a \delta_{BP} \ln |a_1 V^2 + b_1 V + c_1| \Big|_{V_n}^{V_k} - b_1 \tau_{pi} \right\} \quad (7)$$

де τ_{pi} – час розгону автомобіля і-й ділянці маршруту, с:

$$\tau_{pi} = M_a \delta_{BP} \int \frac{dV}{a_1 V^2 + b_1 V + c_1} \quad (8)$$

Шлях гальмування автомобіля S_{zi} наперед визначений і наводиться в ГОСТ 20306-90.

Витрата палива автомобілем при роботі його двигуна на холостому ході (х.х.) Q_{xx} визначається з рівняння годинної витрати палива (3) за умови заданого часу роботи двигуна на х.х.:

$$Q_{xx} = (a_Q \cdot \omega_{xx}^2 + b_Q \cdot \omega_{xx} + c_Q) \cdot \frac{\tau_{xx}}{3600} \quad (9)$$

де ω_{xx} – частота обертів холостого ходу двигуна;

τ_{xx} – час роботи двигуна на холостому ході.

Згідно з ГОСТ 20306-90 гальмування автомобіля здійснюється за умови роз'єднання двигуна і ведучих коліс, а отже частота обертів колінчатого валу двигуна відповідає холостому ходу. Тоді, витрата палива при гальмуванні, кг:

$$Q_i = (a_Q \cdot \omega_{xx}^2 + b_Q \cdot \omega_{xx} + c_Q) \cdot \frac{\tau_{zi}}{3600} \quad (10)$$

де τ_{zi} – час гальмування автомобіля на і-й ділянці маршруту.

Остаточна сумарна витрата палива при виконанні автомобілем міського їздового циклу є сума витрат палива на і-х ділянках маршруту:

$$Q_{\Sigma} = \sum Q_i$$

У табл. 1 наведені результати розрахунку витрати палива автомобілем VW Golf V з різними силовими агрегатами при виконанні міського їздового палива .

Висновки. Встановлено, що при використанні для розрахунку уточненої математичної моделі для визначення паливної економічності автомобіля на прикладі автомобіля VW Golf V з бензиновими двигунами різної потужності при виконанні міського їздового циклу збільшення потужності двигуна призводить до зростання витрати палива. Так, при збільшенні потужності на 12,0 % (з 66 до 75 кВт), витрата палива автомобілем збільшується на 8,7% (з 0,608 кг до 0,666 кг).

Таблиця 1
Результати розрахунку витрати палива при виконанні автомобілем VW Golf V міського їздового циклу

Модифікація		1.4 MPI	1.4 FSI	1.6 MPI	1.6 FSI	2.0 FSI
Тип двигуна		Бензиновий (MPI)	Бензиновий (FSI)	Бензиновий (MPI)	Бензиновий (FSI)	Бензиновий (FSI)
Об'єм, см ³		1390	1390	1595	1598	1984
Потужність двигуна, к.с./кВт при хв ⁻¹		75/ 55/ 5000	90/ 66/ 5200	102/ 75/ 5600	115/ 85/ 6000	150/ 110/ 6000
Крутний момент, Н·м при хв ⁻¹		126/ 3800	130/ 3750	148/ 3800	155/ 4500	200/ 3500
Передаточні числа коробки передач						
Передаточне число	1-а	3.77	3.46	3.46	3.46	3.78
	2-а	2.1	1.96	1.96	1.96	2.27
	3-я	1.39	1.28	1.28	1.28	1.52
	4-а	1.03	0.98	0.98	0.98	1.19
	5-а	0.81	0.78	0.81	0.81	0.97
	6-а	-	-	-	0.71	0.82
	Задній хід	3.18	3.18	3.18	3.18	3.6
	Головна передача	4.53	4.53	4.53	4.53	3.65
Загальний час на виконання автомобілем міського їздового циклу, с						
τ, с		570.524	570,908	567,772	566,87	565,646
Витрата палива при виконанні автомобілем міського їздового циклу						
Q, кг		0,596	0,608	0,666	0,689	0,864
Q, л		0,795	0,81	0,888	0,919	1,152

Література

1. В.П. Сахно, Г.Б. Безбородова, М.М. Маяк, С.М. Шарай. Автомобілі: Тягово-швидкісні властивості та паливна економічність /Навч. Посібник/. – К: В-во «КВІЦ», 2004. - 174 с.
2. ГОСТ 20306-90 Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний.- М.:Издательство стандартов,1991.-31 с.
3. Фаробин Я.Е. Оценка эксплуатационных свойств автопоездов для международных перевозок /Я.Е.Фаробин, В.С. Шупляков. - М.: Транспорт, 1983. - 200 с.
4. Сахно В.П., Корпач О.А. Математична модель для визначення тягово-швидкісних властивостей автомобіля при використанні двигунів різної потужності. //Управління проектами, системний аналіз і логістика. – К.: НТУ – 2011. – Вип. 9.