

УДК 629.113

В.П. Сахно, професор, д-р техн. наук,**О.А. Корпач, аспірант***Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, м. Київ, Україна, 01103**sakhno@ntu.edu.ua***УТОЧНЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ АВТОМОБІЛЯ З ДВИГУНАМИ РІЗНОЇ ПОТУЖНОСТІ ПРИ ВИКОНАННІ МІСЬКОГО ЇЗДОВОГО ЦИКЛУ**

У статті запропонована уточнена математична модель для визначення показників паливної економічності автомобіля з двигунами різної потужності при виконанні міського їздового циклу

Ключові слова: *автомобіль, двигун, потужність, паливна економічність, передаточні числа трансмісії*

Постановка проблеми. 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 і питома витрата палива g_e , г/(кВт·год)

Основним вимірником паливної економічності автомобіля прийнята витрата палива в літрах на 100 км пройденого шляху. Для оцінки ефективності використання палива при виконанні транспортної роботи використовують витрату палива на одиницю транспортної роботи (100 т·км).

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.

В роботі [3] наведено методику визначення паливної економічності автомобіля з двигунами різної потужності при виконанні міського їздового циклу на дорозі. Уточнення математичної моделі виконано на основі комплексного аналізу та з урахуванням результатів експериментальних досліджень.

Математична модель для визначення паливної економічності автомобіля з двигунами різної потужності при виконанні міського їздового циклу на дорозі базуються на основі положень ГОСТ 20306-90. Швидкісні режими руху визначаються 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 (рисунок 1).

Для розрахункового визначення витрати палива автомобілем у різних фазах руху була використана методика, запропонована Я.С.Фаробіним [4].

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

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

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].

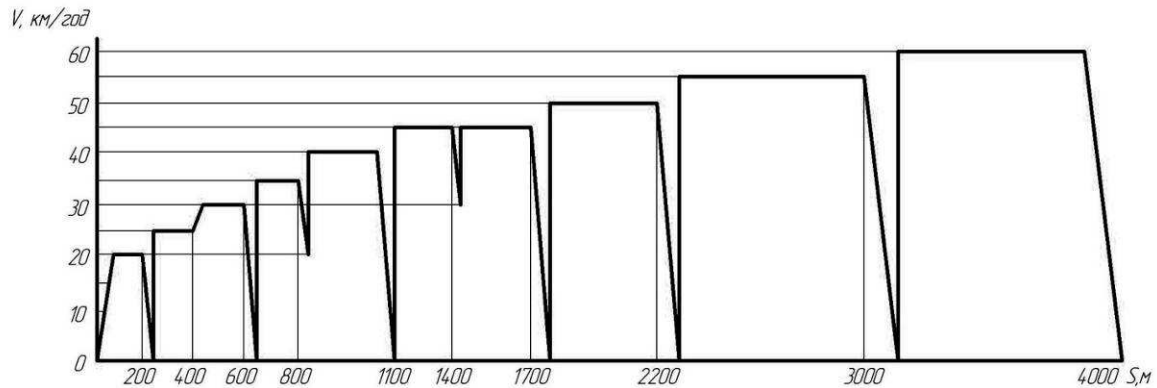


Рисунок 1 - Схема міського їздового циклу для АТЗ повною масою менше 3,5 т [2]

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:

$$Q_{oc} = a_{Qc} \cdot v^2 + b_{Qc} \cdot v + c_{Qc}, \tag{2}$$

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 :

$$Q_o = a_Q \cdot \omega_e^2 + b_Q \cdot \omega_e + c_Q \tag{3}$$

За наявності швидкісної зовнішньої характеристики двигуна, 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 [5]), за умови, що:

$$Q_o = \frac{g_e \cdot N_e}{1000} \tag{4}$$

Визначення витрати палива при неусталеному русі за використання потужності двигуна за даною методикою показало високу схожимість результатів з експериментальними даними, тому уточнення не потребує.

В роботі [3] витрата палива при усталеному русі автомобіля з постійною швидкістю визначалася з рівняння секундної витрати палива (2) та при визначеному часі руху на заданій ділянці, кг:

$$Q_i = (a_{Qc} \cdot v_i^2 + b_{Qc} \cdot v_i + c_{Qc}) \cdot \tau_i, \tag{5}$$

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

Проте, рівняння секундної витрати палива у даному вигляді описує не часткове, а повне використання потужності двигуна автомобіля і визначається з швидкісної зовнішньої характеристики двигуна.

Найбільша достовірність розрахунку витрати палива при частковому використанні потужності двигуна досягається при двох вихідних графіках залежності крутного моменту і годинної витрати палива від кутової швидкості вала двигуна і положення органу керування подачею палива. Зазначені

характеристики дозволяють встановити зв'язок між годинною витратою палива при частковій і повній подачах палива для досліджуваного діапазону кутових швидкостей колінчастого валу двигуна. Проте отримати їх можливо тільки експериментальним шляхом, визначивши навантажувальні характеристики конкретного двигуна при різних кутових швидкостях колінчастого валу.

При уточненні математичної моделі доцільно використовувати коефіцієнт корекції витрати палива k_Q , що визначається, як:

$$k_Q = a_{ki} \cdot k_i^2 + b_{ki} \cdot k_i + c_{ki}, \quad (7)$$

де k_i – коефіцієнт використання потужності двигуна;

a_{ki}, b_{ki}, c_{ki} – коефіцієнти апроксимуючої функції залежності $k_Q = f(k_i)$

Коефіцієнт використання потужності двигуна для визначення показників паливної економічності:

$$k_i = \frac{M_a \cdot g(f_0 + K_f \cdot v) + K_B \cdot F \cdot v^2}{A_i \cdot v^2 + B_i \cdot v + C_i}, \quad (8)$$

де f_0 – коефіцієнт опору кочення при малих швидкостях руху;

K_f – коефіцієнт, що враховує зміну коефіцієнту опору кочення при збільшенні швидкості руху;

K_B – коефіцієнт обтічності, Н·с²/м⁴;

F – лобова площа, м²;

A_i, B_i, C_i – коефіцієнти, що апроксимують рівняння колової сили.[5]

За відсутності часткових характеристик двигуна і для порівняльних розрахунків, можна застосовувати рівняння (8) при наступних значеннях коефіцієнтів a_{ki}, b_{ki}, c_{ki} . Обчислених за допомогою формул, рекомендованих А. С. Литвиновим [6]:

$$a_{ki} = 0,475; b_{ki} = 0,4275; c_{ki} = 0,17$$

Час руху автомобіля з сталою швидкістю τ_i є 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:

$$\tau_i = \frac{S_i - S_{pi} - S_{zi}}{v_i} \quad (9)$$

Шлях розгону S_{pi} , м:

$$S_{pi} = M_a \delta_{BP} \int_{v_n}^{v_k} \frac{v dv}{a_i v^2 + b_i v + c_i} \quad (10)$$

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

В результаті витрата палива при усталеному русі автомобіля з постійною швидкістю:

$$Q_i = k_Q \cdot Q_{oc} \cdot \tau_i \quad (11)$$

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

$$Q_{xx} = (a_Q \cdot \omega_{xx}^2 + b_Q \cdot \omega_{xx} + c_Q) \cdot \frac{\tau_{xx}}{3600} \quad (12)$$

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

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

Для більш точного визначення витрати палива двигуна при роботі в режимі холостого ходу, введемо коефіцієнт корекції k_{xx} , тоді рівняння (12) :

$$Q_{xx} = k_{xx} \cdot (a_Q \cdot \omega_{xx}^2 + b_Q \cdot \omega_{xx} + c_Q) \cdot \frac{\tau_{xx}}{3600} \quad (13)$$

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:

$$Q_i = k_{xx} \cdot (a_Q \cdot \omega_{xx}^2 + b_Q \cdot \omega_{xx} + c_Q) \cdot \frac{\tau_{zi}}{3600} \quad (14)$$

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

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

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

Висновки. Уточнено математичну модель для визначення показників паливної економічності автомобіля з двигунами різної потужності при виконанні міського їздового циклу з урахуванням роботи двигуна в режимах часткових навантажень і холостого ходу двигуна.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Сахно В.П. Автомобілі: Тягово-швидкісні властивості та паливна економічність: навч. Посібник / В.П. Сахно, Б. Г. Безбородова, М.М. Маяк, С.М. Шарай. – К: В-во «КВІЦ», 2004. – 174 с.
2. ГОСТ 20306-90 Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. – М.:Издательство стандартов,1991. – 31 с.
3. Сахно В.П. Математична модель для визначення показників паливної економічності автомобіля з двигунами різної потужності при виконанні міського їздового циклу. / В.П. Сахно, О.А. Корпач // Вісник Національного транспортного університету: – К.: НТУ, 2012. – Випуск 25. – С. 193 – 196.
4. Фаробин Я.Е. Оценка эксплуатационных свойств автопоездов для международных перевозок / Я.Е. Фаробин, В.С. Шупляков. – М.: Транспорт, 1983. – 200 с.
5. Сахно В.П. Математична модель для визначення тягово-швидкісних властивостей автомобіля при використанні двигунів різної потужності. / В.П. Сахно, О.А. Корпач. // Управління проектами, системний аналіз і логістика. – К.: НТУ, 2011. – Вип. 9. – С.165-171.
6. Литвинов А.С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств./ А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.

Надійшла до редакцій 31.04.2013 р.

Сахно В.П., Корпач А.А. Уточненная математическая модель для определения показателей топливной экономичности автомобиля с двигателями различной мощности при исполнении городского ездового цикла

В статье предложена уточненная математическая модель для определения показателей топливной экономичности автомобиля с двигателями различной мощности при выполнении городского ездового цикла.

Ключевые слова: автомобиль, двигатель, мощность, топливная экономичность, передаточные числа трансмиссии.

Sakhno V, Korpach A. Refined mathematical model to determine the fuel economy of cars with engines of various capacities in the performance of the urban driving cycle

The paper proposes refined mathematical model to determine the fuel economy of cars with engines of various capacities in the performance of urban driving cycle

Keywords: car, engine, power, fuel economy, transmission gear ratios.