

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ВИПРОБУВАЛЬНОГО ЇЗДОВОГО ЦИКЛУ АВТОМОБІЛЯ ПОВНОЮ МАСОЮ ДО 3,5 Т

*Доктор технічних наук Абрамчук Ф.І., Кандидат технічних наук Кабанов О.М.*

*В статті наведена методика розрахунку випробувального їздового циклу автомобіля повною масою до 3,5 т. Наведено результати розрахункових досліджень показників токсичності автомобіля з малолітражним газовим двигуном 4ГЧ7,5/7,35.*

*In the article method of calculation of test driving cycle for automobile with total mass less than 3,5 t. Results of calculated investigation of toxicity indices of automobile with light-duty gas engine 4ГЧ7,5/7,35 has been given.*

**Постановка проблеми.** Збільшення долі автомобілів у світі призводить до погіршення екологічної обстановки, особливо у великих містах. Для вирішення цієї проблеми використовуються обмеження на викиди токсичних речовин з відпрацьованими газами. Для автомобілів повною масою до 3,5 т випробування двигуна на токсичність відпрацьованих газів виконуються тільки в комплексі з автомобілем.

Для фізичного моделювання їздового циклу, який використовується при вимірюванні вмісту токсичних речовин у відпрацьованих газах, використовується випробування автомобіля на стенді з біговими барабанами. Однак не завжди є можливість використання обладнання, необхідного для випробувань автомобіля на бігових барабанах. Окрім того, при вирішенні задач двигунобудування часто проводяться випробування двигуна на тормозних стендах, і виконати оптимізацію конструктивних і регульовальних параметрів двигуна з метою забезпечення необхідних показників токсичності часто бажано виконати ще на етапі стендових випробувань, до встановлення двигуна на автомобіль.

Тобто, виникає необхідність математичного моделювання випробувального їздового циклу.

**Аналіз літератури.** У наш час моделювання їздового циклу можливо здійснювати за допомогою програмних комплексів типу AVL Cruise [1]. Однак програмні комплекси такого типу досить дорогі, тобто не завжди є можливість їх застосування. Окрім того, у науковій літературі часто зустрічаються окремі елементи, що пов'язують показники роботи двигуна і автомобіля, однак їх систематизація з метою одержання простої і доступної методики розрахунку випробувального їздового циклу відсутня.

**Мета дослідження.** Метою дослідження є створення методики розрахунку випробувального їздового циклу.

**Методика розрахунку їздового циклу.** Для виконання поставленого завдання на кафедрі ДВЗ ХНАДУ була розроблена методика розрахункового моделювання їздового циклу.

Вихідні дані для математичної моделі їздового циклу умовно можна поділити на такі групи.

1. Незмінні параметри автомобіля: передавальні числа коробки передач (для прямих передач)  $u_{k1}, u_{k2}, u_{k3}, u_{k4}, u_{k5}$ ; повна маса автомобіля  $m_a$ , кг; передавальне число роздавальної коробки  $u_{pb}$  (якщо роздавальна коробка відсутня, то  $u_{pb} = 1$ ); передавальне число головної передачі  $u_0$ ; статичний радіус коліс  $r_{st}$ , м; коефіцієнти для побудови зовнішньої швидкісної характеристики двигуна  $A_1, A_2$  [2]; коефіцієнт сумарного дорожнього опору  $\psi_d$ ; ККД трансмісії автомобіля  $\eta_t$ ; коефіцієнт опору повітря  $K, (H \cdot c^2)/m^4$ ; висота автомобіля  $B_r$ , м, ширина автомобіля  $H_r$ , м; коефіцієнт заповнення лобової площі автомобіля  $\alpha_A$ .

2. Незмінні параметри двигуна: густина палива  $\rho_t$ , кг/м<sup>3</sup>; номінальна потужність двигуна  $N_{e\_ном}$ , кВт; номінальна частота обертання двигуна  $n_{ном}$ , хв<sup>-1</sup>.

3. Параметри випробувального режиму: номер включеної передачі  $i_u$ ; швидкість автомобіля  $v$ , км/год.

4. Вихідні параметри двигуна: питома ефективна витрата палива на режимі  $g_e$ , г/(кВт·год); питомі викиди токсичних компонентів на режимі  $g_{CO}, g_{CH}, g_{NOx}$ , г/(кВт·год).

5. Схема випробувального циклу, тобто задана послідовність зміни параметрів випробувального режиму в часі.

Для розрахунку їздового циклу він розбивається на ділянки, на яких параметри випробувального режиму не змінюються. Перехідний режим, протягом якого автомобіль рухається з прискоренням або уповільненням, розбивається на елементарні квазістаціонарні режими тривалістю

$\Delta \tau = 1$  с, протягом яких параметри випробувального режиму також не змінюються, швидкість умовно вважається постійною (рис. 1). В квазістаціонарних режимах враховуються зміни регулювальних параметрів двигуна на перехідних режимах (наприклад, збагачення суміші при різкому збільшенні навантаження), і такі елементарні режими умовно вважаються стаціонарними.

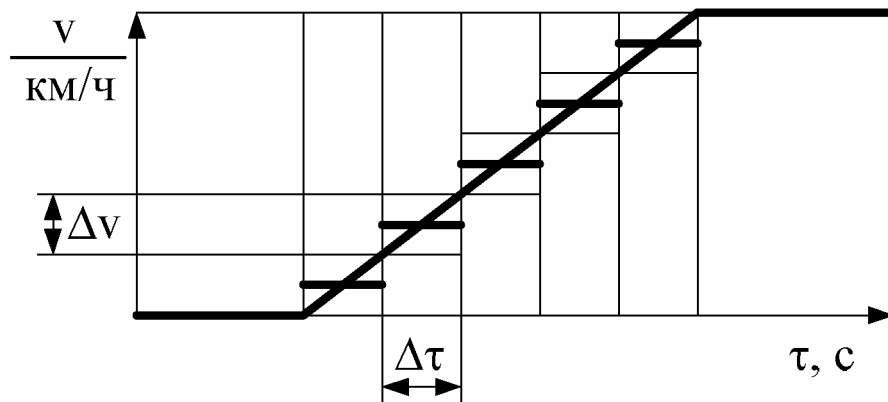


Рис. 1 Перетворення перехідного процесу в послідовність елементарних квазістаціонарних режимів

Розрахунок окремого стаціонарного режиму їздового циклу виконується наступним чином. Потрібна частота обертання колінчастого вала двигуна,  $\text{хв}^{-1}$  [2]

$$n = \frac{v \cdot u_{kiu} \cdot u_{pb} \cdot u_0}{0,377 \cdot r_{st}} \quad (1)$$

Лобова площа автомобіля,  $\text{м}^2$  [2]

$$F = \alpha \cdot B_r \cdot H_r \quad (2)$$

Потрібна потужність двигуна, кВт [2]

$$N_e = \frac{m_a \cdot 9,81 \cdot \psi_d \cdot v}{3600 \cdot \eta_T} + \frac{K \cdot F \cdot v^3}{46656 \cdot \eta_T} \quad (3)$$

Потужність за зовнішньою швидкісною характеристикою при заданих обертах, кВт [2]

$$N_{e\_BCXD} = N_{e\_НОМ} \cdot \left[ A_1 \cdot \frac{n}{n_{НОМ}} + A_2 \cdot \left( \frac{n}{n_{НОМ}} \right)^2 - \left( \frac{n}{n_{НОМ}} \right)^3 \right] \quad (4)$$

Потрібне питоме навантаження на двигун при заданій потужності, %

$$\bar{P} = \frac{N_e}{N_{e\_BCXD}} \cdot 100 \quad (5)$$

Потрібний крутильний момент, Н·м [2]

$$M_e = 9550 \cdot \frac{N_e}{n}. \quad (6)$$

Величини  $n$  і  $\bar{P}$ , що розраховані за рівняннями (1) і (5), визначають режим роботи двигуна. На підставі даних режиму визначаються експериментально на гальмівному стенді або розраховуються за уточненою методикою Вібе вихідні параметри двигуна  $g_e$ ,  $g_{CO}$ ,  $g_{CH}$ ,  $g_{NOx}$ . При розрахунковому визначенні перерахованих показників регульовальні параметри двигуна встановлюються фахівцем або беруться з характеристичних карт.

Витрата палива автомобілем на елементарному режимі, г [2]

$$Q_{T\_реж} = \frac{g_e \cdot N_e}{3600} \cdot \tau_{реж}, \quad (7)$$

де  $\tau_{реж}$  – тривалість елементарного режиму, с

Викиди токсичних компонентів на режимі, г [2]

$$Q_{NOx\_реж} = \frac{g_{NOx} \cdot N_e}{3600} \cdot \tau_{реж}. \quad (8)$$

$$Q_{CO\_реж} = \frac{g_{CO} \cdot N_e}{3600} \cdot \tau_{реж}. \quad (9)$$

$$Q_{CH\_реж} = \frac{g_{CH} \cdot N_e}{3600} \cdot \tau_{реж}. \quad (10)$$

Якщо режим є перехідним, то це враховується з використанням формул [3]

$$Q_{i\_реж\_разгон} = k_{разгон}^i \cdot Q_{i\_реж}, \quad (11)$$

$$Q_{i\_реж\_замедл} = k_{замедл}^i \cdot Q_{i\_реж}, \quad (12)$$

де  $Q_{i\_реж}$  – викид  $i$ -го токсичного компонента на квазістаціонарному елементарному режимі, розраховується за формулами (8)...(10);  $Q_{i\_реж\_разгон}$ ,  $Q_{i\_реж\_замедл}$  – викид  $i$ -го токсичного компонента на перехідному режимі при розгоні і сповільненні автомобіля відповідно;  $k_{разгон}^i$ ,  $k_{замедл}^i$  – емпіричні коефіцієнти, що враховують зміну викидів  $i$ -го токсичного компонента при розгоні и сповільненні відповідно [3].

Похожим чином розраховується витрата палива на перехідному режимі, л

$$Q_{T\_реж\_разгон} = k_{разгон}^T \cdot Q_{T\_реж}, \quad (13)$$

$$Q_{T\_реж\_замедл} = k_{замедл}^T \cdot Q_{T\_реж}, \quad (14)$$

де  $k_{разгон}^T$ ,  $k_{замедл}^T$  – емпіричні коефіцієнти, що враховують зміну витрати палива автомобілем при розгоні и сповільненні відповідно [3].

Двигун MeM3-307, що являється базовим для двигуна 4ГЧ7,5/7,35, штатно встановлюється на автомобіль DAEWOO SENS. З цієї причини для розрахункового дослідження характеристик токсичності двигуна 4ГЧ7,5/7,35 пропонується використовувати вищезгаданий автомобіль зі встановленим на нього двигуном 4ГЧ7,5/7,35. Для дослідження цього автомобіля обрано європейський їздовий цикл *NEDC*.

У відповідності з класифікацією, прийнятою в [4], автомобіль *DAEWOO SENS* зі встановленим на нього двигуном 4ГЧ7,5/7,35 відноситься до категорії ВМ1.

Значення коефіцієнтів  $k_{\text{разгон}}$ ,  $k_{\text{замедл}}$  для транспортного засобу даної категорії наведені у таблиці 1 [4].

Підсумкові викиди токсичних компонентів за їздовим циклом *NEDC* розраховуються за формулою, г/км

$$\Sigma Q_{i\_NEDC} = \frac{\sum_k (Q_{i\_реж})_k}{\tau_{\Sigma\_NEDC}} = \frac{4 \cdot \sum_m (Q_{i\_реж})_m + \sum_n (Q_{i\_реж})_n}{\tau_{\Sigma\_NEDC}}, \quad (15)$$

де  $\sum_k (Q_{i\_реж})_k$  – сумарний викид  $i$ -го токсичного компонента протягом циклу *NEDC*, г;  $\sum_m (Q_{i\_реж})_m$  – сумарний викид  $i$ -го токсичного компонента протягом циклу *ECE 15*, г;  $\sum_n (Q_{i\_реж})_n$  – сумарний викид  $i$ -го токсичного компонента протягом циклу *EUDC*, г.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів  $k_{\text{разгон}}$ ,  $k_{\text{замедл}}$  для транспортних засобів групи ВМ1

Режим	$k^T$	$k^{CO}$	$k^{CH}$	$k^{NOx}$
Діапазон швидкості 0...20 км/год				
Розгін	6,05	13,05	5,15	13,23
Сповільнення	0,24	0,28	0,28	0,11
Діапазон швидкості 20...30 км/год				
Розгін	8,10	25,23	7,41	13,82
Сповільнення	0,14	0,17	0,17	0,06
Діапазон швидкості 30...40 км/год				
Розгін	7,88	30,37	6,88	11,75
Сповільнення	0,10	0,13	0,11	0,03
Діапазон швидкості 40...50 км/год				
Розгін	5,80	23,84	5,34	7,49
Сповільнення	0,06	0,09	0,07	0,02
Діапазон швидкості > 50 км/год				
Розгін	4,08	17,83	3,71	6,01
Сповільнення	0,06	0,06	0,05	0,01

Підсумкова витрата палива за їздовим циклом *NEDC* розраховується за формулою, г/км

$$\Sigma Q_{T\_NEDC} = \frac{\sum_k (Q_{T\_реж})_k}{\tau_{\Sigma\_NEDC}} = \frac{4 \cdot \sum_m (Q_{T\_реж})_m + \sum_n (Q_{T\_реж})_n}{\tau_{\Sigma\_NEDC}}, \quad (16)$$

де  $\sum_k (Q_{T\_реж})_k$  – сумарна витрата палива протягом циклу *NEDC*, г;  $\sum_m (Q_{T\_реж})_m$  – сумарна витрата палива протягом циклу *ECE 15*, г;  $\sum_n (Q_{T\_реж})_n$  – сумарна витрата палива протягом циклу *EUDC*, г.

**Дослідження показників токсичності автомобіля з малолітражним газовим двигуном газовим двигуном.** Дослідження проводилося для газового двигуна 4ГЧ7,5/7,35, встановленого на автомобіль Daewoo Sens. Для виконання дослідження був обраний європейський їздовий цикл *NEDC*. Вибір цього циклу обумовлений тим, що країни СНД, у тому числі і Україна, у розробці стандартів визначення та нормування токсичності автомобільного транспорту орієнтуються на стандарти ЄС, де починаючи з 2000 р. *NEDC* – діючий їздовий цикл.

Цикл *NEDC* складається з чотирьох міських їздових циклів *ECE 15* і одного заміського їздового циклу *EUDC*. Схеми цих циклів представлені на рис. 2...4.

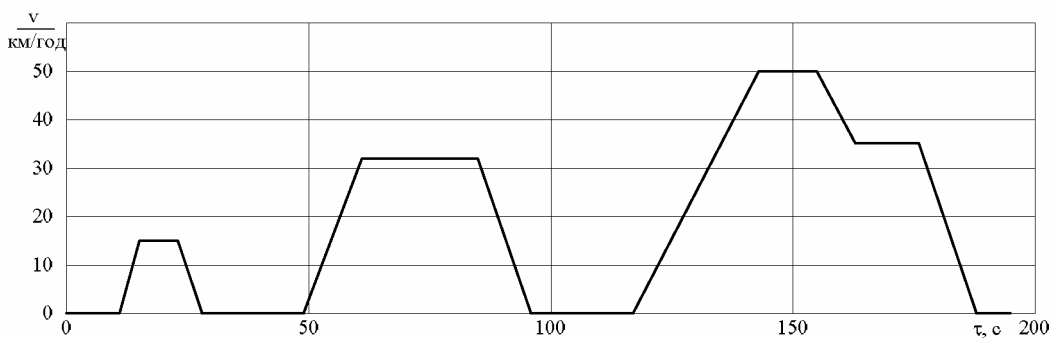


Рис. 2 Розрахункова схема міського їздового циклу *ECE 15*



Рис. 3 Розрахункова схема заміського їздового циклу *EUDC*

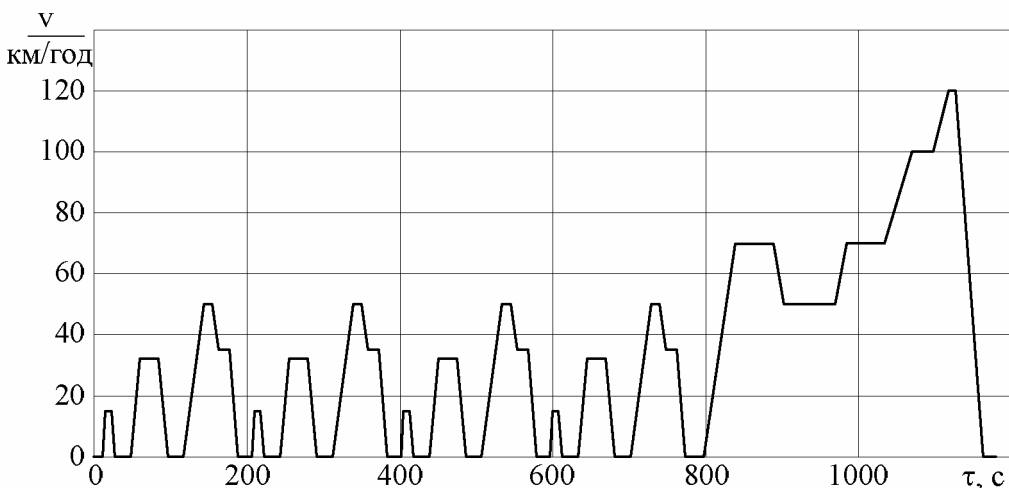


Рис. 4 Розрахункова схема комбінованого їздового циклу *NEDC*

Основні показники їздового циклу *NEDC* також наведені в табл. 2.

Результати розрахунково-експериментального дослідження двигунів MeM3-307 і 4ГЧ7,5/7,35 з визначення середньоексплуатаційних викидів  $\Sigma Q_{i\_NEDC}$  за випробувальним циклом *NEDC* наведені в табл. 3. Також в табл. 3 показано зниження середньоексплуатаційних викидів токсичних компонентів при переобладнанні двигуна MeM3-307 в 4ГЧ7,5/7,35, позначене як  $\Delta Q_i, \%$ .

Таблиця 2

## Основні показники їздового циклу NEDC

Величина	Одиниця вимірювання	Позначення	ECE 15	EUDC	NEDC
Шлях	км	sΣ	1,013	6,955	11,007
Час	с	τΣ	195	400	1180

Таблиця 3

## Результати розрахунку середньоексплуатаційних викидів за випробувальним циклом NEDC

	$\Sigma Q_{NOx\_NEDC}$	$\Sigma Q_{CH\_NEDC}$	$\Sigma Q_{CO\_NEDC}$
	г/км		
MeM3-307	0,55	0,15	0,088
4ГЧ7,5/7,35	0,075	0,085	0,065
$\Delta Q_i, \%$	86,4	43,3	26,1
Euro II	0,5		2,2
Euro III	0,15	0,20	2,3
Euro IV	0,08	0,10	1,0

Порівняння результатів дослідження показників токсичності газових двигунів MeM3-307 і 4ГЧ7,5/7,35 показало, що в результаті переобладнання двигуна MeM3-307 у 4ГЧ7,5/7,35 зниження середньоексплуатаційних викидів автомобіля *Daewoo Sens* за випробувальним циклом NEDC склало:  $\Sigma Q_{NOx\_NEDC} - 86,4 \%$ ,  $\Sigma Q_{CH\_NEDC} - 43,3 \%$ ,  $\Sigma Q_{CO\_NEDC} - 26,1 \%$ .

Проведене дослідження показало, що автомобіль *Daewoo Sens* з газовим двигуном 4ГЧ7,5/7,35 відповідає нормам токсичності Euro IV.

**Висновки.** 1. Розроблена методика розрахункового моделювання випробувального їздового циклу автомобіля. 2. Порівняння результатів дослідження показників токсичності газових двигунів MeM3-307 і 4ГЧ7,5/7,35 показало, що в результаті переобладнання двигуна MeM3-307 у 4ГЧ7,5/7,35 зниження середньоексплуатаційних викидів автомобіля *Daewoo Sens* за випробувальним циклом NEDC склало:  $\Sigma Q_{NOx\_NEDC} - 86,4 \%$ ,  $\Sigma Q_{CH\_NEDC} - 43,3 \%$ ,  $\Sigma Q_{CO\_NEDC} - 26,1 \%$ .

## Література

1. avl.com
2. Гаспарянц Г.А. Конструкция, основы теории и расчёта автомобиля / Г.А. Гаспарянц. М.: Машиностроение, 1978. – 351 с.
3. Луканин В.Н. Снижение экологических нагрузок на окружающую среду при работе автомобильного транспорта // Итоги науки и техники / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. – М.: ВИНТИ, 1996. Т. 19: Автомобильный и городской транспорт. – 1996. – С. 90-110.
4. Луканин В.Н. Автотранспортные потоки и окружающая среда: [учеб. пособие для ВУЗов] / В.Н. Луканин, А.П. Буслаев, Ю.В. Трофименко, М.В. Яшина. – М.: ИНФРА-М, 1998. – 408 с.