

УДК 629.33.02:517

М. В. ПІДГОРНИЙ, канд. техн. наук, доц., Черкаський державний технологічний університет;

О. В. ОГІЙ, аспірант, Черкаський державний технологічний університет

ПОБУДОВА ЗОВНІШНЬОЇ ШВИДКІСНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА DONG FENG CY4102BZLQ

У статті визначено коефіцієнти залежностей різними методами, побудовано графіки залежностей $N_e=f(n)$ і $M_e=f(n)$. Розглянуто чотири методи розрахунків постійних коефіцієнтів апроксимуючих рівнянь формули Лейдермана, пропонується свій метод та проводиться порівняння отриманих результатів з паспортними даними двигуна DONG FENG CY4102BZLQ.

Ключові слова: зовнішня швидкісна характеристика, потужність, крутний момент.

Постановка проблеми. Основні параметри, що характеризують двигун, – потужність N_e і крутний момент M_e . Для визначення показників тягово-швидкісних властивостей важливо знати швидкісні характеристики двигуна автомобіля. Зовнішня швидкісна характеристика (ЗШХ) двигуна може бути виражена графічною залежністю зовнішніх параметрів роботи двигуна від частоти обертання його колінчастого вала при максимальній подачі палива [1, ст. 131]. За допомогою ЗШХ проводиться оцінка відповідності типу двигуна умовам його застосування, визначаються переваги і недоліки типу двигуна.

Постановка задачі дослідження. Планується визначити коефіцієнти залежностей різними методами, побудувати графіки залежностей $N_e=f(n)$ і $M_e=f(n)$ і перевірити збіг отриманих результатів з паспортними даними двигуна. Структурну схему дослідження зображено на рис. 1.

Результати досліджень. Сутність пропонованого авторами дослідження бачиться в заміні двигуна (об'єкту управління) його моделлю. Стан об'єкту задається M_e і N_e (фазовими координатами об'єкта) та керуючим параметром n – поточним значенням частоти обертання колінчастого вала двигуна.

Статичну характеристику системи ЗШХ із одним збурюючим впливом задамо у вигляді кривої 2-го порядку

$$M_e = c_M + b_M n + a_M n^2. \quad (1)$$

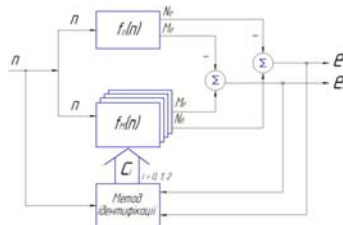


Рисунок 1 – Структурна схема дослідження

Програма «IDENT» [2, ст. 8], знаходить найкраще середньоквадратичне наближення функцій декількох змінних поліномами виду (1). Визначенням коефіцієнтів рівняння є задачею параметричної оптимізації. Якщо сума квадратів відхилень експериментальних значень від розрахованих буде більша зазначеного

значення M_e , то порядок рівняння буде підвищено. Оскільки необхідно також визначити вигляд ЗШХ рівняння (його структуру), то використаємо структурну ідентифікацію.

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i^{насл} - e_i^{докл})^2 \quad (2)$$

Отримані поліноми за допомогою структурної оптимізації мають вигляд:

$$M_e = 207,90 + 0,1458n - 4,05 \cdot 10^{-5} n^2, \quad (3)$$

$$N_e = -27 + 0,067n - 9,5 \cdot 10^{-6} n^2, \quad (4)$$

Графіки дослідженої авторами ЗШХ мають вигляд.

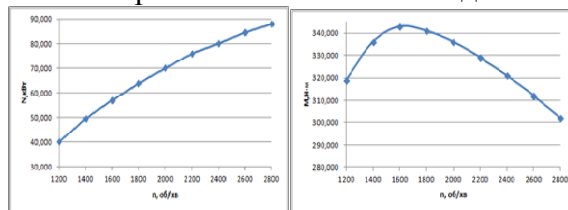


Рисунок 2 – Графіки ЗШХ, отримані методом структурної ідентифікації

Оскільки в розрахунках використовуються паспортні дані похибка визначення форми поліному складає $1 \cdot 10^{-3}$.

Розглянемо методи, які раніше використовувались для визначення ЗШХ та порівняємо їх з отриманими авторами результатами та паспортними даними.

Залежність $N_e=f(n)$ апроксимується кубічним тричленом за формулою Лейдермана [3, ст. 27]

$$N_e = N_{e\max} \left(a \left(\frac{n}{n_N} \right) + b \left(\frac{n}{n_N} \right)^2 - c \left(\frac{n}{n_N} \right)^3 \right), \quad (5)$$

де $N_{e\max}$ – максимальна потужність двигуна, кВт;
 a, b, c – постійні коефіцієнти для конкретного двигуна;
 n_N – частота обертання при максимальній потужності двигуна, об/хв;
 n – поточне значення частоти обертання колінчастого вала, об/хв.

Використавши залежність (5), та враховуючи, що $M_e = \frac{9550 N_e}{n}$, визначимо аналітичний вираз залежності $M_e=f(n)$

$$M_e = M_{eN} \left(a + b \left(\frac{n}{n_N} \right) - c \left(\frac{n}{n_N} \right)^2 \right), \quad (6)$$

де M_{eN} – крутний момент при максимальній потужності, Н·м.

Для аналітичного методу розрахунку тягово-швидкісних властивостей залежність крутного моменту від частоти обертання представимо у вигляді

$$M_e = c_M + b_M n + a_M n^2, \quad (7)$$

де $c_M = a \cdot M_{eN}$,

$$b_M = b \cdot \frac{M_{eN}}{n_N},$$

$a_M = -c \cdot \frac{M_{eN}}{n_N^2}$ – постійні коефіцієнти.

Значення коефіцієнтів a_M , b_M , c_M можна визначити наступними методами.

Якщо залежність $M_e=f(n)$ відома, то для розрахунку коефіцієнтів функції, скористаємося інтерполяційною формулою Лагранжа.

Коефіцієнти залежності (7) можна також визначити, вирішуючи систему з 3-х рівнянь:

$$\begin{cases} M_{e\min} = c_M + b_M n_{\min} + a_M n_{\min}^2 \\ M_{eN} = c_M + b_M n_N + a_M n_N^2 \\ M_{e\max} = c_M + b_M n_M + a_M n_M^2 \end{cases} .$$

В разі коли залежність $M_e=f(n)$ не відома, але відомо два значення цієї характеристики: $M_{e\max}$, n_M і M_{eN} , n_N , які зазвичай приводяться в технічній характеристиці двигуна, то коефіцієнти a , b і c можна визначити наступним чином.

Формула (5) має загальний характер, тому її значення повинні бути вірними в точці $n=n_N$

$$N_{e\max} = N_{e\max} (a + b - c).$$

Звідки

$$a + b - c = 1 \quad (8)$$

Функція $M_e=f(n)$ має екстремум в точці $n=n_M$, тобто в цій точці похідна функції $M_e=f(n)$ дорівнює нулю, тобто $dM_e/dn=0$. Продиференціювавши рівняння (6) по n , знаходимо

$$b - 2c\left(\frac{n}{n_N}\right) = 0, \text{ але } n=n_M \quad n_M = \frac{b \cdot n_N}{2c}. \quad (9)$$

Підставивши значення n_M в (6) отримаємо

$$M_{e\max} = M_{eN} \left(a + \frac{b^2}{4c}\right). \quad (10)$$

Для двигунів, що не мають обмежувача частоти обертання, при $n=n_N$ повинна виконуватися рівність $dN_e/dn=0$, звідки

$$a + 2b - 3c = 0. \quad (11)$$

Відношення $\frac{M_{e\max}}{M_{eN}} = K_M$ називається коефіцієнтом пристосування за крутним

моментом, а $\frac{n_N}{n_M} = K_\omega$ – коефіцієнтом пристосування за частотою обертання

колінчастого валу [3, ст. 27]. Значення коефіцієнтів K_M, K_ω визначають здатність двигуна автоматично пристосовуватися до зміни навантаження і діапазону стійкої роботи двигуна. Крива $M_e=f(n)$ має максимум при частоті $n_M < n_N$. Якщо $n > n_M$, то збільшення навантаження на двигун викликає зниження n , що призводить до зростання M_e , тобто двигун автоматично пристосовується до зміни навантаження. Зазвичай цю здатність оцінюють, крім коефіцієнтів K_M, K_ω , величиною запасу крутного моменту M_3 (%) [4, ст. 18]

$$M_3 = (M_{e\max}/M_{eN} - 1) \cdot 100 = (K_M - 1) \cdot 100 \quad (12)$$

Розрахунки за 1-м методом. Якщо залежність $M_e=f(n)$ невідома і немає жодної з двох точок характерних точок ($M_{e\max}, n_M$ і M_{eN}, n_N), які зазвичай приводяться в технічній характеристиці, то коефіцієнти a, b і c визначаються: для дизельного двигуна $a=0,5, b=1,5, c=1,0$, для карбюраторного двигуна $a=b=c=1,0$.

Поліном ЗШХ за першим методом має вигляд: $M_e = 150 + 0,16n - 3,8 \cdot 10^{-5} n^2$

Таблиця 1 – Результати розрахунків за 1 методом

n_e , об/хв	1-й метод		Паспортні дані		Похибка	
	N_e , кВт	M_e , Н·м	N_e , кВт	M_e , Н·м	e_{N_e} , кВт	e_{M_e} , Н·м
1200	36,175	287,892	40,1	319,0	3,925	31,108
1400	44,000	300,143	49,5	336,0	5,500	35,857
1600	51,825	309,331	57,0	343,0	5,175	33,669
1800	59,458	315,456	64,0	341,0	4,542	25,544
2000	66,706	318,519	70,0	336,0	3,294	17,481
2200	73,376	318,519	76,0	329,0	2,624	10,481
2400	79,277	315,456	80,1	321,0	0,823	5,544
2600	84,216	309,331	84,5	312,0	0,284	2,669
2800	88,000	300,143	88,0	302,0	0,000	1,857

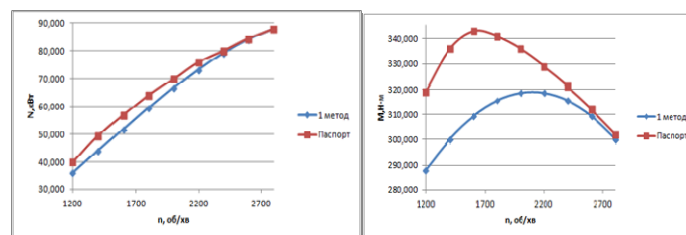


Рисунок 3 – Графіки ЗШХ за першим методом

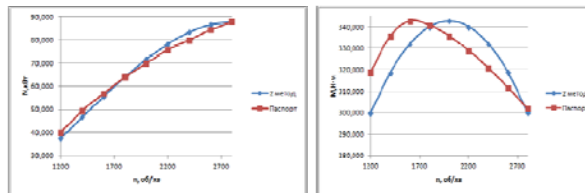
Розрахунки за 2-м методом. Для двигунів що не мають обмежувача, знаходимо [3, ст. 19]

$$\begin{cases} a = 2 - \frac{25}{M_3} = 0,249, \\ b = \frac{50}{M_3} - 1 = 2,502, \\ c = \frac{25}{M_3} = 1,751. \end{cases} \quad (13)$$

Поліном ЗШХ за другим методом має вигляд: $M_e = 76 + 0,27n - 6,7 \cdot 10^{-5} n^2$

Таблиця 2 – Результати розрахунків за 2 методом

n _e , об/хв	2 ^й метод		Паспортні дані		Похибка	
	N _e , кВт	M _e , Н·м	N _e , кВт	M _e , Н·м	ε _{N_e} , кВт	ε _{M_e} , Н·м
200	37,704	300,061	40,1	319,0	2,396	18,939
1400	46,741	318,839	49,5	336,0	2,759	17,161
1600	55,666	332,255	57,0	343,0	1,334	10,745
1800	64,142	340,309	64,0	341,0	-0,142	0,691
2000	71,832	343,000	70,0	336,0	-1,832	-7,000
2200	78,400	340,329	76,0	329,0	-2,400	-11,329
2400	83,509	332,296	80,1	321,0	-3,409	-11,296
2600	86,821	318,901	84,5	312,0	-2,321	-6,901
2800	88,000	300,143	88,0	302,0	0,000	1,857



Рисунки 4 – Графіки ЗШХ за другим методом

Розрахунки за 3-м методом. Цим методом коефіцієнти залежності (7) можна визначити сумісним вирішенням рівнянь (6) і (7) або отримати рішення системи рівнянь:

$$\begin{cases} M_{eN} = c_M + b_M n_N + a_M n_N^2, \\ M_{eM} = c_M + b_M n_M + a_M n_M^2, \\ 2a_M n_M + b_M = 0. \end{cases} \quad (14)$$

Третє рівняння системи отримано диференціюванням 2-го рівняння по n в точці n=n_M. Вирішуючи спільно рівняння даної системи, отримуємо:

$$\begin{cases} a_M = -\frac{M_{eM} - M_{eN}}{(n_M - n_N)^2} = -3 \cdot 10^{-5}, \\ b_M = \frac{2(M_{eM} - M_{eN})n_M}{(n_M - n_N)^2} = 0,095, \\ c_M = M_{eM} - \frac{(M_{eM} - M_{eN})n_M^2}{(n_M - n_N)^2} = 266,81. \end{cases} \quad (15)$$

Поліном ЗШХ за третім методом має вигляд: $M_e = 266,81 + 0,095n - 3 \cdot 10^{-5} n^2$

Таблиця 3 – Результати розрахунків за 3 методом

n _e , об/хв	3 ^й метод		Паспортні дані		Похибка	
	N _e , кВт	M _e , Н·м	N _e , кВт	M _e , Н·м	ε _{N_e} , кВт	ε _{M_e} , Н·м
1200	42,501	338,238	40,1	319,0	-2,401	-19,238
1400	50,108	341,810	49,5	336,0	-0,608	-5,810
1600	57,466	343,000	57,0	343,0	-0,466	0,000
1800	64,425	341,810	64,0	341,0	-0,425	-0,810
2000	70,835	338,238	70,0	336,0	-0,835	-2,238
2200	76,547	332,286	76,0	329,0	-0,547	-3,286
2400	81,412	323,952	80,1	321,0	-1,312	-2,952
2600	85,279	313,238	84,5	312,0	-0,779	-1,238
2800	88,000	300,143	88,0	302,0	0,000	1,857

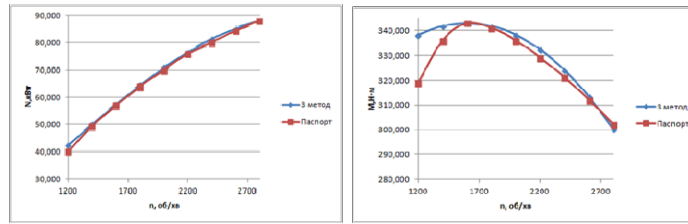


Рисунок 5 – Графіки ЗШХ за третім методом

Розрахунки за 4-м методом. Для всіх типів двигунів можна знайти послідовно коефіцієнти a, b і c і підставити в рівняння (5) і (6)

$$\left\{ \begin{aligned} c &= \frac{\left(\frac{M_{e\max}}{M_{eN}} - 1\right)}{\left(\frac{n_M}{n_N}\right)^2 + 1 - \left(\frac{n_M}{n_N}\right)} = 0,189, \\ b &= 2c\left(\frac{n_M}{n_N}\right) = 0,216, \\ a &= 1 - b + c = 0,973. \end{aligned} \right. \quad (16)$$

Поліном ЗШХ за четвертим методом має вигляд: $M_e = 290 + 0,024n - 7,5 \cdot 10^{-6} n^2$,

Таблиця 4 – Результати розрахунків за 4 методом

n _e , об/хв	4 ^й метод		Паспортні дані		Похибка	
	N _e , кВт	M _e , Н·м	N _e , кВт	M _e , Н·м	ε _{N_e} , кВт	ε _{M_e} , Н·м
1200	38,879	309,409	40,1	319,0	1,221	9,591
1400	45,486	310,278	49,5	336,0	4,014	25,722
1600	52,032	310,568	57,0	343,0	4,968	32,432
1800	58,482	310,278	64,0	341,0	5,518	30,722
2000	64,798	309,409	70,0	336,0	5,202	26,591
2200	70,944	307,961	76,0	329,0	5,056	21,039
2400	76,884	305,934	80,1	321,0	3,216	15,066
2600	82,581	303,328	84,5	312,0	1,919	8,672
2800	88,000	300,143	88,0	302,0	0,000	1,857

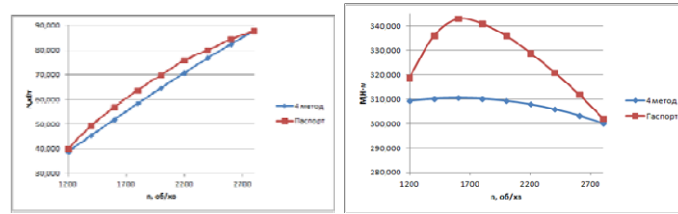


Рисунок 6 – Графіки ЗШХ за четвертим методом

Результати розрахунків за всіма чотирма методами формуємо у вигляді таблиць 1 – 4, будуємо ЗШХ двигуна (на рис. 3 – 6) та порівнюємо їх із паспортними даними.

Для оцінки точності методів розраховуємо найменші квадратичні відхилення по кожному з них:

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (17)$$

Таблиця 5 – Найменші квадратичні відхилення

	ε_{N_e}	ε_{M_e}
1 метод	12,396	499,586
2 метод	4,587	125,013
3 метод	1,095	48,224
4 метод	15,487	467,18

Висновки. Проаналізувавши отримані результати, можна відзначити, що для марки двигуна DONG FENG CY4102BZLQ розрахунки, які проведені запропонованим авторами методом найбільш наближені до паспортних даних двигуна. З раніше використовуваних методів найбільш наближений є 3-й метод. Це обумовлено тим, що швидкісні характеристики отримують при стендових випробуваннях по стандартних методиках. Регламентовані також атмосферні умови (атмосферний тиск та температура повітря). Тому запропоновані авторами поліноми M_e і N_e можуть бути використаними для побудови ЗШХ двигуна DONG FENG CY4102BZLQ.

Список літератури: 1. Сирота В.І. Основи конструкції автомобілів: Навчальний посібник. – К.: Арістей, 2005. – 280 с. 2. Стоун Р., Ивахненко А.Г., Высоцкий В.Н., Семіна Л.П. Структурная идентификация // Автоматика. – 1979. – № 1. – С.25. 3. Солтус А.П. та ін. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: Навчальний посібник. – К.: Арістей, 2006. – 176 с. 4. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. – М: Машиностроение, 1984. – 272 с.

Надійшла до редколегії 05.03.2014

УДК 629.33.02:517

Побудова зовнішньої швидкісної характеристики дизельного двигуна DONG FENG CY4102BZLQ / М. В. Підгорний, О. В. Огій // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 8 (1051). – С.136-142. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2078-6840.

В статье рассматриваются четыре метода расчетов постоянных коэффициентов аппроксимирующих уравнений формулы Лейдермана и проводятся сравнения полученных результатов с паспортными данными двигателя DONG FENG CY4102BZLQ.

Ключевые слова: внешняя скоростная характеристика, мощность, крутящий момент.

Building of the external speed description of the diesel engine DONG FENG CY4102BZLQ / N. V. Pidgornyy, A. V. Ogiy // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Car- and tractorbuilding. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2014. – № 8 (1051). – P. 136-142. – Bibliogr.: 4. – ISSN 2078-6840.

The article examines the various modes of constant coefficient equations approximating formula Leiderman and results are compared with the passport data engine DONG FENG CY4102BZLQ.

Keywords: external speed description, power, twisting moment.