



Міністерство надзвичайних ситуацій України

**Академія пожежної безпеки
імені Героїв Чорнобиля**

№12'2012

ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА: ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА

Збірник наукових праць

**П 46 Пожежна безпека: теорія і практика : збірник наукових праць. –
Черкаси : АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2012. – №12. – 135 с.**

Редакційна колегія:

к.психол.н., професор Кришталь М.А. – головний редактор
к.пед.н., доцент Капля А.М. – заступник головного редактора
д.ф.-м.н., професор Акіншин В.Д. – науковий редактор
д.т.н., професор Осипенко В.І. – заступник наукового редактора
к.т.н., доцент Поздєєв С.В. – заступник наукового редактора
к.т.н. Ковальов А.І. – відповідальний секретар
д.т.н., професор Ващенко В.А.
д.психол.н., професор Грибенюк Г.С.
д.т.н., професор Жартовський В.М.
д.т.н., професор Круковський П.Г.
д.військ.н., професор Мосов С.П.
д.психол.н., професор Охременко О.Р.
к.психол.н., доцент Бут В.П.
к.т.н., доцент Григор'ян Б.Б.
к.т.н., доцент Баракін О.Г.
к.психол.н., доцент Вареник В.В.
к.психол.н., доцент Теслюк П.В.
к.т.н., доцент Заїка П.І.
к.т.н., доцент Левченко А.Д.
к.т.н., доцент Стась С.В.
к.т.н., доцент Тищенко О.М.
к.т.н., доцент Цвіркун С.В.
к.т.н. Качкар Є.В.
к.т.н. Кириченко О.В.
к.ф.-м.н., доцент Виноградов А.Г.
к.т.н., доцент Маладика І.Г.

Рекомендовано до видання

**Вченою радою Академії пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
(Протокол № 3 від 21.12.2012 р.)**

**Свідectво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 17574-6424 ПР, видане Міністерством юстиції України 21.03.11 р.**

**Включено ВАК до переліку фахових видань в галузі технічних наук, в яких можуть
публікуватись результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора
і кандидата наук (Постанова ВАК від 27 травня 2009 року № 1-05/2)**

За точність наведених фактів, а також за використання відомостей, що не рекомендовані
до відкритої публікації, відповідальність несуть автори опублікованих матеріалів.
При передрукуванні посилання на збірник «Пожежна безпека: теорія і практика» обов'язкове.

ЗМІСТ

<i>Абрамов Ю.А., Гвоздь В.М.</i> Математическое описание процесса тушения пожара класса В распыленной водой	4
<i>Биченко С.М., Качкар Є.В., Лук'яненко О.Ю., Шльончак І.А.</i> Обґрунтування впливу витрат повітря на номінальні параметри двигунів пожежних та аварійно-рятувальних автомобілів в умовах задимленого середовища	9
<i>Гвоздь В.М., Рыбка Е.А.</i> Динамические характеристики термического комплекса по определению теплофизических свойств строительных материалов	14
<i>Григорьян Б.Б., Цвиркун С.В., Григорьян Н.Б.</i> Определение характеристики огнезащитной способности покрытий «НАТРЕСК» и «ЭНДОТЕРМ 210104» для защиты металлических конструкций	18
<i>Дробінка І. Г., Тимошенко Д.О.</i> Дослідження розвитку властивостей уваги у майбутніх фахівців МНС України в процесі навчання (на прикладі групи студентів АПБ ім. Героїв Чорнобиля)	24
<i>Жартовський С.В., Кришталь В.М., Маладика І.Г., Биченко А.О., Лавренко А.А.</i> Дослідження вогнегасних властивостей водного розчину ФСГ-2 при гасінні модельних осередків пожеж класу В	31
<i>Жартовський В. М., Магльована Т.В., Жартовський С.В.</i> Застосування полімерної поверхнево-активної речовини гуанідинового ряду з метою підвищення вогнегасних властивостей води	35
<i>Ковалев А.И.</i> Влияние погрешностей в измерении температур на точность определения теплофизических характеристик покрытий монолитных железобетонных перекрытий	41
<i>Крутолевич А.Н.</i> Оценка уровня психического и физического здоровья работников экстремальных служб	46
<i>Кузик А. Д., Ємельяненко С.О.</i> Оцінювання пожежного ризику у житлових будинках м. Львова через необережне поводження з вогнем	52
<i>Кузмицкий В.В., Пармон В.В., Асилбейли Р.Р., Сидоров Р.И.</i> Повышение эффективности систем тушения пожаров в резервуарах нефти и нефтепродуктов при подаче воздушно-механической пены низкой кратности в слой горючего	60
<i>Кукуєва В.В., Романюк Р.В.</i> Квантово-хімічне дослідження інгібувальних властивостей дихлортрифлуоретану	71
<i>Мосов С.П., Щербина В.С.</i> Стан питання щодо оцінювання рівня пожежної небезпеки адміністративно-громадських закладів з урахуванням зміни пожежонебезпечних навантажень	76
<i>Підгорний М.В., Огій О.В., Мельник В.П.</i> Розрахунок зовнішньої швидкісної характеристики дизельного двигуна для автомобілів, що перевозять особливо небезпечні вантажі	84
<i>Поздеев А.В., Некора О.В., Поздеев С.В., Семенчук А.Н.</i> Влияние модификаторов на механические характеристики бетона в условиях высокотемпературного нагрева	91
<i>Тесленко О.О., Бугай А.Ю., Моргун О.М.</i> Надійність алгоритму визначення параметрів аварійного зливу небезпечної речовини	99
<i>Тищенко О.М., Дендаренко Ю.Ю., Блащук О.Д.</i> Визначення показників небезпечних факторів під час виникнення аварійних ситуацій на об'єктах зберігання зріджених вуглеводневих газів	103
<i>Цвиркун С.В., Заика П.И., Куценко С.В., Тутицкий В.М.</i> Обзор программных комплексов для расчета времени эвакуации людей из зданий и сооружений	110
Анотації / abstracts	115
Автори (алфавітний показник)	123
Вимоги до оформлення статей	124

УДК 629.33.02:517

М.В. Підгорний, к.т.н., О.В. Огій, ЧДТУ,
В.П. Мельник, АПБ ім. Героїв Чорнобиля

РОЗРАХУНОК ЗОВНІШНЬОЇ ШВИДКІСНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ДЛЯ АВТОМОБІЛІВ, ЩО ПЕРЕВОЗЯТЬ ОСОБЛИВО НЕБЕЗПЕЧНІ ВАНТАЖІ

Представлено чотири методи розрахунків постійних коефіцієнтів апроксимуючих рівнянь формули Лейдермана для отримання зовнішньої швидкісної характеристики двигуна автотранспортного засобу, що перевозить особливо небезпечні вантажі. Розрахунки порівнюються з паспортними даними двигуна DONG FENG CY4102BZLQ.

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

Постановка проблеми. В розрахунок основних складових автомобіля, що перевозить особливо небезпечні вантажі входить розрахунок параметрів двигуна. 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. Графічну залежність зовнішніх параметрів роботи двигуна від частоти обертання його колінчастого вала при максимальній подачі палива називають *зовнішньою швидкісною характеристикою (ЗШХ)* двигуна [1, ст. 131]. За допомогою ЗШХ можна оцінити відповідність типу двигуна умовам його застосування, переваги і недоліки того або іншого типу двигуна.

Постановка завдання. Необхідно визначити коефіцієнти залежностей ЗШХ різними методами, побудувати графіки $N_e=f(n)$ і $M_e=f(n)$. Отримані результати перевірити з паспортними даними двигуна DONG FENG CY4102BZLQ, який досліджується.

Основний матеріал. Залежність $N_e=f(n)$ апроксимується кубічним тричленом за формулою Лейдермана [2, ст. 27]:

$$N_e = N_{e\max} \left(a \left(\frac{n}{n_N} \right) + b \left(\frac{n}{n_N} \right)^2 - c \left(\frac{n}{n_N} \right)^3 \right), \quad (1)$$

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.

$$M_e = \frac{9550 N_e}{n}$$

Користуючись рівнянням (1) і враховуючи, що M_e визначимо аналітичний вираз залежності $M_e=f(n)$:

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

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

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

$$M_e = a_M n^2 + b_M n + c_M \quad (3)$$

де $a_M = -c \cdot \frac{M_{eN}}{n_N^2}$, $b_M = b \cdot \frac{M_{eN}}{n_N}$, $c_M = a \cdot M_{eN}$ – постійні коефіцієнти.

Значення коефіцієнтів a_M , b_M , c_M можна визначити декількома способами.

Якщо є реальна залежність $M_e=f(n)$, то для розрахунку коефіцієнтів можна скористатися інтерполяційною формулою Лагранжа.

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

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

Якщо реальна залежність відсутня, але є дві точки цієї характеристики: $M_{e\max}$, n_M і M_{eN} , n_N , які зазвичай приводяться в технічній характеристиці, то коефіцієнти a , b і c можна визначити таким чином.

Формула (1) має загальний характер, тому вона повинна бути вірною в точці $n=n_N$:

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

Звідси:

$$a + b - c = 1. \quad (4)$$

Функція $M_e=f(n)$ має екстремум в точці $n=n_M$, тобто в цій точці похідна функції $M_e=f(n)$ дорівнює нулю, $dM_e/dn=0$. Продиференціювавши рівняння (2) по n , знаходимо:

$$b - 2c\left(\frac{n}{n_N}\right) = 0, \text{ але } n=n_M, \quad n_M = \frac{b \cdot n_N}{2c}. \quad (5)$$

Підставивши значення n_M в (2) отримаємо:

$$M_{e\max} = M_{eN} \left(a + \frac{b^2}{4c}\right). \quad (6)$$

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

$$a + 2b - 3c = 0. \quad (7)$$

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

моментом, а $\frac{n_N}{n_M} = K_n$ – коефіцієнтом пристосування за частотою обертання колінчастого валу [2, ст. 27]. Значення коефіцієнтів K_M , K_n 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 (%) [3, ст. 18]:

$$M_3 = (M_{e\max}/M_{eN} - 1) \cdot 100 = (K_M - 1) \cdot 100. \quad (8)$$

1-й метод

Якщо реальна залежність відсутня 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 можна визначити таким чином: для дизельного двигуна $a=0,5$, $b=1,5$, $c=1$, для карбюраторного двигуна $a=b=c=1$.

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

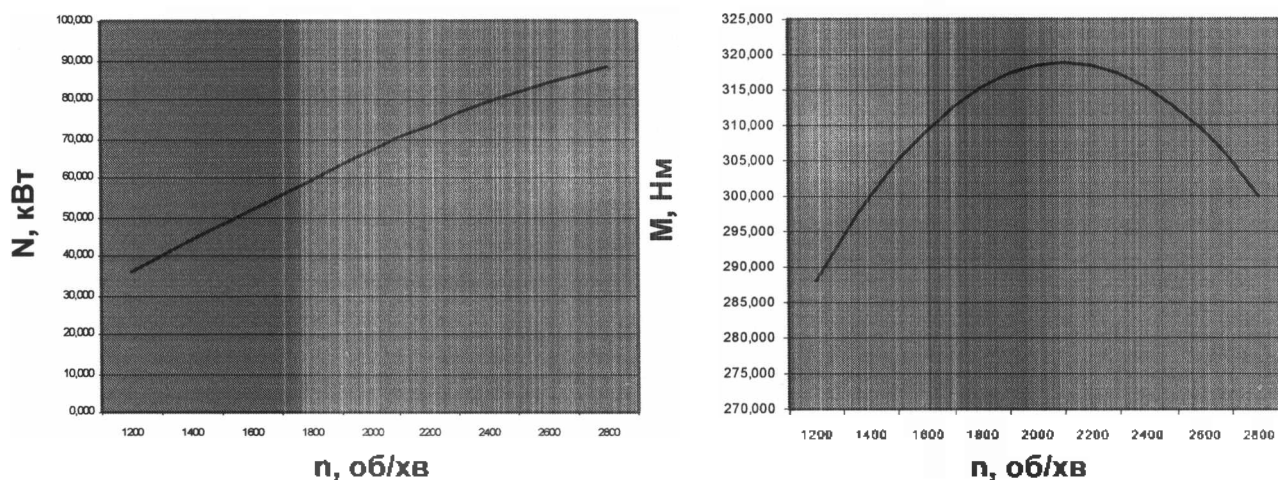


Рисунок 1 – Графік ЗШХ, визначений за першим методом.

2-й метод

Для двигунів з регулятором частоти обертання, враховуючи (8) і вирішуючи спільно рівняння (4), (5), (6), знаходимо [3, ст. 19]:

$$\left\{ \begin{aligned} a &= 1 - \frac{M_3 K_\omega (2 - K_\omega)}{100 (K_\omega - 1)^2} \\ b &= 2 \frac{M_3 K_\omega}{100 (K_\omega - 1)^2} \\ c &= \frac{M_3 K_\omega}{100 (K_\omega - 1)} \end{aligned} \right. \quad (9)$$

Для двигунів, що не мають обмежувача:

$$\begin{cases} a = 2 - \frac{25}{M_3} \\ b = \frac{50}{M_3} - 1 \\ c = \frac{25}{M_3} \end{cases} \quad (10)$$

Таблиця 2 – Результати розрахунків за 2 методом

n _с , об/хв	2 ^й метод		Паспортні дані		Похибка	
	N _с , кВт	M _с , Н·м	N _с , кВт	M _с , Н·м	e _{Nс} , кВт	e _{Mс} , Н·м
1200	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

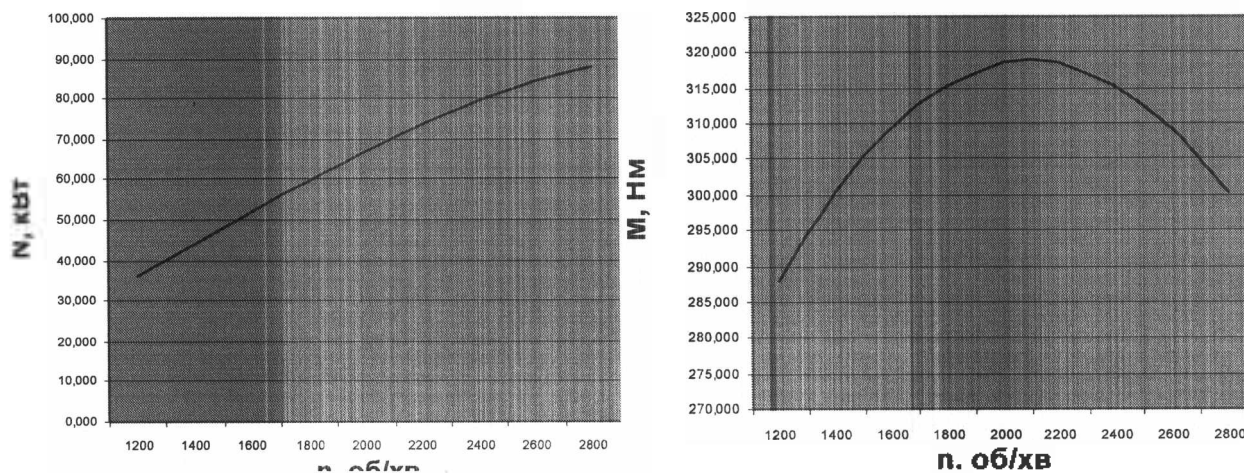


Рисунок 2 – Графік ЗШХ, визначений за другим методом.

3-й метод

За відсутності реальної ЗШХ двигуна коефіцієнти рівняння (3) можна визначити сумісним вирішенням рівнянь (2) і (3) або вирішенням наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} M_{eN} = a_M n_N^2 + b_M n_N + c_M \\ M_{e\max} = a_M n_M^2 + b_M n_M + c_M \\ 2a_M n_M + b_M = 0 \end{cases}$$

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

$$\left[\begin{aligned} a_M &= \frac{M_{\text{ем}} - M_{\text{ев}}}{(n_M - n_N)^2} \\ b_M &= \frac{2(M_{\text{е max}} - M_{\text{ев}})n_M}{(n_M - n_N)^2} \\ c_M &= M_{\text{ем}} - \frac{(M_{\text{ем}} - M_{\text{ев}})n_M^2}{(n_M - n_N)^3} \end{aligned} \right] \quad (11)$$

Таблиця 3 – Результати розрахунків за 3 методом

n _е , об/хв	3-й метод		Паспортні дані		Похибка	
	N _е , кВт	M _е , Н·м	N _е , кВт	M _е , Н·м	eN _е , кВт	eM _е , 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

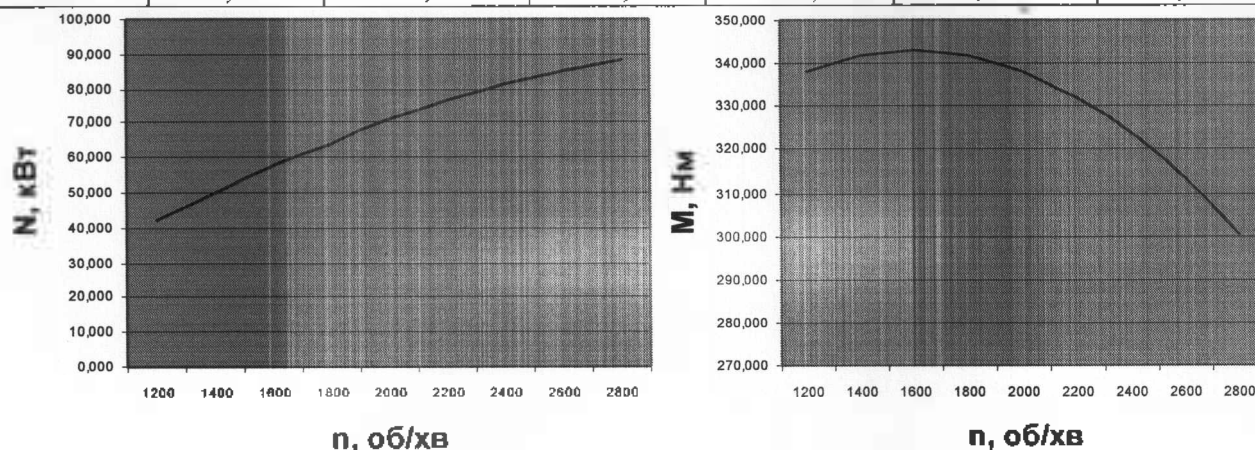


Рисунок 3 - Графік ЗШХ, визначений за третім методом.

4-й метод

Для всіх типів двигунів можна знайти послідовно коефіцієнти a , b і c і підставити в рівняння (1) і (2):

$$\left[\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{\left(\frac{M_{\text{ем}}}{M_{\text{ев}}} - 1\right)}{\left(\frac{n_M}{n_N}\right)^2 + 1 - \left(\frac{n_M}{n_N}\right)} \\ b &= 2\varepsilon \left(\frac{n_M}{n_N}\right) \\ a &= 1 - b + \varepsilon \end{aligned} \right] \quad (12)$$

Таблиця 4 – Результати розрахунків за 4 методом

n _с , об/хв	4 ^й метод		Паспортні дані		Похибка	
	N _с , кВт	M _с , Н·м	N _с , кВт	M _с , Н·м	e _{N_с} , кВт	e _{M_с} , 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

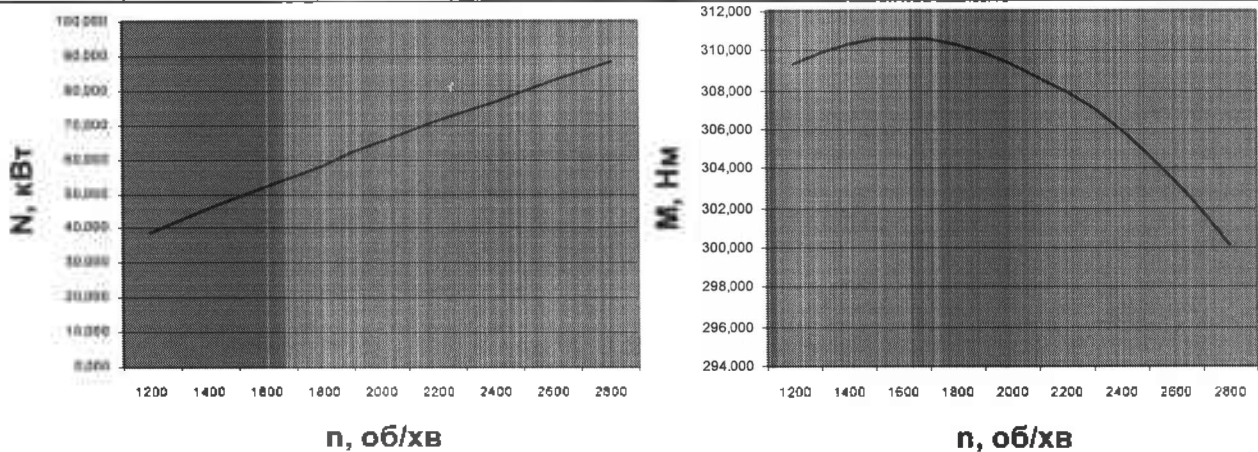


Рисунок 4 – Графік ЗШХ, визначений за четвертим методом.

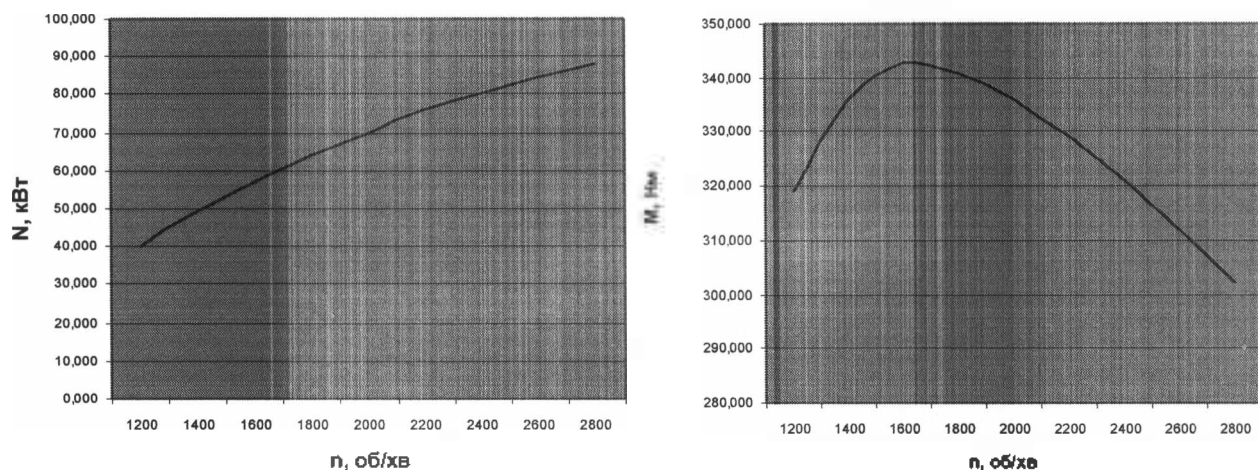


Рисунок 5 – Паспортні дані двигуна DONG FENG CY4102BZLQ.

Результати розрахунків за всіма чотирма методами, зводимо у вигляді табл. 1 – табл. 4, будемо ЗШХ двигуна (рис. 1 – рис. 4) та порівнюємо їх із паспортними даними (рис. 5) методом найменших квадратів, який є одним із базових методів регресійного аналізу для оцінки невідомих параметрів регресійних моделей за вибірковими даними. Метод заснований на мінімізації суми квадратів залишків регресії.

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (13)$$

Таблиця 5 – Найменші квадратичні відхилення

	ϵ_{Ne}	ϵ_{Me}
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 за допомогою методу найменших квадратів, відзначаємо, що для даного класу двигунів розрахунки, які проведені за третім методом найбільш наближені до паспортних даних. Це обумовлено тим, що швидкісні характеристики двигунів, які виготовляються для створення автотранспортних засобів, отримують при стендових випробуваннях по різних методиках. Запропонований в статті третій метод може бути використаний для вибору двигуна при створенні автотранспортних засобів для перевезення особливо небезпечних вантажів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сирота В.І. Основи конструкції автомобілів: Навчальний посібник. – К.: Арістей, 2005. – 280 с.
2. Солтус А.П. та ін. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: Навчальний посібник. – К.: Арістей, 2006. – 176 с.
3. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. – М: Машиностроение, 1984. – 272 с.