

**АНАЛІЗ ЗОВНІШНІХ  
ШВИДКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
АВТОМОБІЛЬНИХ БЕНЗИНОВИХ  
ДВИГУНІВ**

Шифр: «АВТОМОБІЛЬНИЙ ДВИГУН»

## ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ПИТАННЯ	4
2 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ	8
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
3.1 Технічні характеристики обраних двигунів	8
3.2 Апроксимація експериментальних даних	9
3.3 Дослідження коефіцієнтів пристосовуваності двигунів	14
4 ВИСНОВКИ	16
5 СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	17

## ВСТУП

Для аналізу експлуатаційних властивостей автомобільної техніки широко застосовуються швидкісні характеристики двигунів, в першу чергу залежності потужності двигуна та його крутного моменту від частоти обертання колінчастого валу при незмінному положенні органу регулювання подачею пального. Швидкісна характеристика, визначена при повністю відкритій дросельній заслінці (максимальній подачі палива) називається зовнішньою.

Даних про максимальне значення потужності та крутного моменту, які наводяться в технічних описах зразків автомобільної техніки, зазвичай недостатньо для проведення тягових розрахунків автомобілів та оцінки їх споживчих якостей. В той-же час повноцінні швидкісні характеристики двигунів в технічній документації приводяться не завжди. Тому питання розрахунку та аналізу потрібних характеристик автомобільних двигунів є актуальним для використання як в освітньому процесі, так і в практиці експлуатації транспортних засобів для оцінки їх експлуатаційних властивостей, порівняння різних марок машин, організації їх раціонального використання за призначенням з повним використанням закладеного в конструкцію потенціалу.

**Виявлене протиріччя.** Швидкісні характеристики двигунів визначаються експериментально або розрахунковим методом. Для отримання залежності крутного моменту та потужності двигуна від частоти обертання колінчастого валу експериментальним шляхом необхідні відповідні ресурси – стенди, двигуни, витратні матеріали, тощо. У випадку відсутності таких ресурсів, а також при виконанні проектувальних розрахунків доцільно використовувати розрахункові методи. У той же час існуючі способи обрахунку не завжди забезпечують потрібну точність результатів. З метою забезпечення більшої достовірності розрахункових даних доцільно проаналізувати наявні в доступних інформаційних джерелах експериментальні дані та уточнити процедури розрахунку швидкісних характеристик сучасних автомобільних двигунів. В даній роботі дослідження обмежується бензиновими поршневыми

двигунами із системами розподіленого впорскування пального, якими оснащені органи охорони кордону Державної прикордонної служби України.

## 1 АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ПИТАННЯ

Розрахунок зовнішніх швидкісних характеристик здійснюють за методом, запропонованим С.Р. Лейдерманом. В його основі лежить застосування поліноміальних залежностей третього ступеню [1]. Для розрахунку проміжних значень потужності двигуна при різних значеннях частоти обертання його колінчастого валу може використовуватись наступна залежність:

$$P_x = P_N \left( a + b \frac{n_x}{n_N} + c \left( \frac{n_x}{n_N} \right)^2 \right) \quad (1)$$

де  $P_N$  – номінальна потужність двигуна, кВт;  $n_x$  - проміжне значення частоти обертання колінчастого валу,  $\text{хв}^{-1}$ ;  $n_N$  – номінальна частота обертання колінчастого валу,  $\text{хв}^{-1}$ ;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – емпіричні коефіцієнти (таблиця 1) [1].

Значення коефіцієнтів для сучасних автомобільних бензинових двигунів із системами розподіленого впорскування пального в посібнику [1] не наводиться.

Таблиця 1 – Значення емпіричних коефіцієнтів  $a$ ,  $b$ ,  $c$  для розрахунку зовнішніх швидкісних характеристик автомобільних двигунів

Коефіцієнт	Тип двигуна			
	Карбюраторний		Дизельний	
	легкових автомобілів та автобусів	вантажних автомобілів	легкових автомобілів	вантажних автомобілів та автобусів
$a$	0,9	1,0	0,8	0,7
$b$	1,1	1,0	1,2	1,3
$c$	1,0	1,0	1,0	1,0

Крутний момент  $M_{ex}$  може бути обчислений за наступною формулою:

$$M_{ex} = \frac{3 \cdot 10^4 N_{ex}}{\pi n_x}, \quad (2)$$

Приклад зовнішньої швидкісної характеристики двигуна, отриманої із використанням формул (1) і (2) наведено на рис. 1. Для розрахунку взято карбюраторний двигун потужністю  $N_{ex} = 70$  кВт, яка розвивається при частоті обертання колінчастого валу  $n_N = 5000$  хв<sup>-1</sup>. За результатами розрахунків по формулам (1) і (2) визначено закономірність зміни потужності і крутного моменту при зміні частоти обертання колінчастого валу в діапазоні від 800 до 5500 хв<sup>-1</sup>. Потужність  $N_{ex}$  досягає максимального значення при частоті 5000 хв<sup>-1</sup> і далі починає знижуватись. Крутний момент досягає максимуму  $M_{e\ max} = 161$  Н·м при частоті обертання колінчастого валу  $n_M = 2750$  хв<sup>-1</sup>, а при частоті  $n_N = 5000$  хв<sup>-1</sup> його значення зменшується до  $M_{e\ N} = 134$  Н·м.

Коефіцієнт пристосовуваності за крутним моментом, який характеризує здатність двигуна збільшувати крутний момент при зростанні навантаження (і, як наслідок, зменшенні частоти обертання колінчастого валу), визначається за наступною формулою [1], [2]:

$$k_M = \frac{M_{e\ max}}{M_{e\ N}}, \quad (3)$$

і для даного прикладу становить  $k_M = 1,204$ :

У роботі [1] зазначено, що для карбюраторних двигунів значення коефіцієнту  $k_M$  знаходиться в межах 1,20...1,30, для дизельних двигунів – в межах 1,10...1,20, для бензинових двигунів із впорскуванням пального – 1,30...1,50.

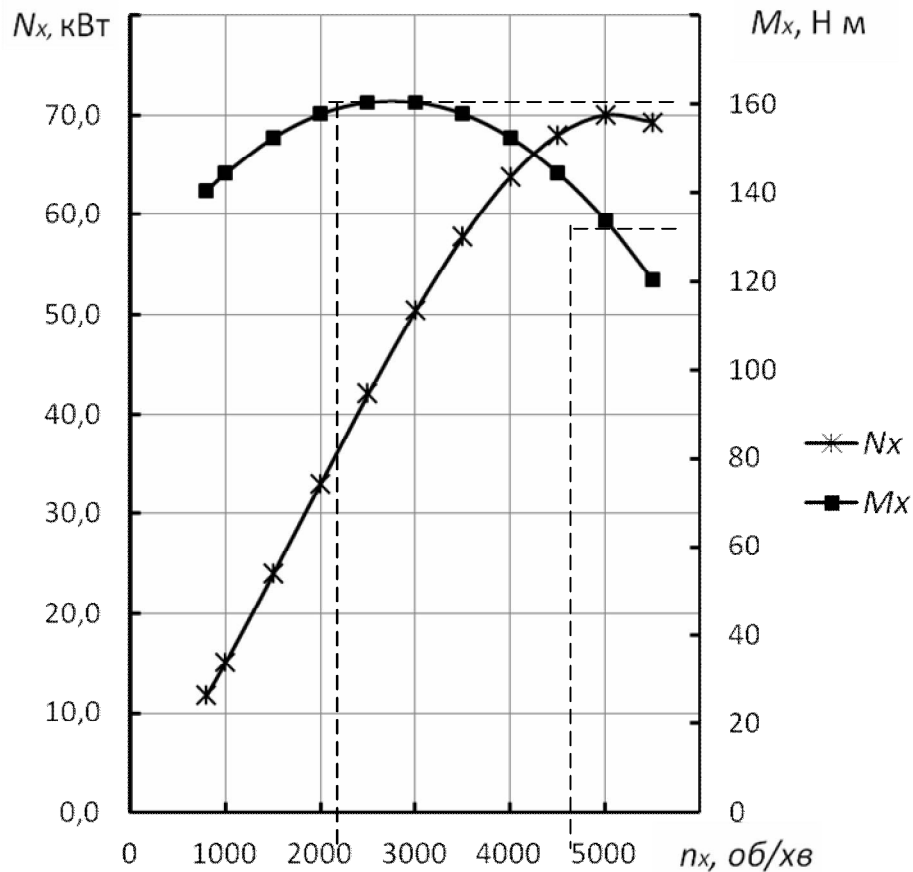


Рис. 1 – Зовнішня швидкісна характеристика карбюраторного двигуна

Діапазон частот обертання колінчастого валу двигуна від  $n_M$  до  $n_N$  вважається робочим, оскільки в процесі використання автомобілів саме в цьому діапазоні варіюється швидкісний режим двигуна. Відносну величину цього діапазону, а також ступінь зменшення частоти обертання колінчастого валу (втрату швидкості автомобіля) при зростанні крутного моменту від  $M_{eN}$  до  $M_{e\max}$  можна оцінити з допомогою коефіцієнту пристосовуваності двигуна за частотою обертання [2]:

$$k_n = \frac{n_N}{n_M} \quad (4)$$

Для даного прикладу значення коефіцієнту пристосовуваності за частотою обертання становить  $k_n = 1,818$ . Значення цього коефіцієнту для бензинових двигунів знаходиться в межах 1,5...2,5, для дизельних двигунів – 1,2...1,6.

Фактичне значення коефіцієнту  $k_n$  доцільно враховувати при оцінці експлуатаційних властивостей автомобілів, зокрема – для визначення частоти перемикання передач змінних дорожніх умовах. При більших значеннях цього коефіцієнту потреба в перемиканні передач зменшується.

В роботі [2] запропоновано спосіб обчислення коефіцієнтів рівняння (1) в залежності від коефіцієнтів **приспосовуваності двигунів**  $k_M$  та  $k_n$ . Альтернативним способом визначення коефіцієнтів  $a$ ,  $b$ ,  $c$  може бути апроксимація експериментальних даних поліноміальною функцією третього ступеню.

Таким чином, із аналізу публікацій встановлено, що для розрахунку швидкісних характеристик використовуються формули, запропоновані С. Р. Лейдерманом. Значення коефіцієнтів в зазначених формулах носять емпіричний характер. З урахуванням постійного вдосконалення конструкції автомобільних двигунів доцільно переконатись у валідності цих коефіцієнтів і, за потреби, відкоригувати їх значення, в тому числі із урахуванням результатів роботи [2]. Також доцільно проаналізувати значення коефіцієнтів приспосовуваності сучасних двигунів для майбутнього їх врахування при дослідженнях експлуатаційних властивостей автомобільної техніки, якою комплектується або може комплектуватись у майбутньому Державна прикордонна служба України.

**Мета роботи.** Проаналізувати зовнішні швидкісні характеристики сучасних автомобілів, які використовуються для охорони державного кордону, здійснити апроксимацію наведених в технічній літературі експериментальних даних, уточнити значення коефіцієнтів для розрахункових формул Лейдермана, оцінити похибку розрахунків при застосуванні табличних та уточнених коефіцієнтів.

## 2 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Дослідження здійснювалось шляхом збору інформації щодо швидкісних характеристик автомобілів з двигунами, оснащеними розподіленими системами впорскування бензину, та їх аналізу. При виборі конкретних зразків техніки акцент робився на автомобілі, які використовуються в Державній прикордонній службі України: Skoda Octavia, Renault Duster, Volkswagen Transporter та Ford з різними варіантами двигунів. Апроксимація зібраних з технічної літератури експериментальних даних виконувалась із допомогою програми Microsoft Excel. Апроксимація здійснювалась поліноміальною функцією третього ступеня. В ході аналізу зовнішніх швидкісних характеристик, отриманих експериментально (за даними, наведеними в технічній літературі), і отриманих розрахунковим методом, досліджувались характер зміни потужності і крутного моменту, коефіцієнти пристосовуваності двигунів, ступінь відповідності розрахункових і експериментальних даних.

## 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1 Технічні характеристики обраних двигунів

Для проведення дослідження обрано наступні двигуни:

1,6 MPI 102 к.с. BSE автомобіля Skoda Octavia A5 – 4-цилінровий, має два клапани на циліндр, ступінь стиску 10,5, регульовані фази газорозподілу (на впуску);

K4M 1.6 16V 102 ch автомобіля Renault Duster – 4-цилінровий, має чотири клапани на циліндр, ступінь стиску 10,0;

M4R2.0 16V 140ch автомобіля Renault Duster – 4-цилінровий, має чотири клапани на циліндр, ступінь стиску 10,0;

2.0 1 /85 kW AXA автомобіля Volkswagen Transporter – 4-цилінровий, має два клапани на циліндр, ступінь стиску 10,3;

3.2l /170kW, BDL автомобіля Volkswagen Transporter – 6-цилінровий, V-подібний, має чотири клапани на циліндр, ступінь стиску 11,25;



2.0-litre Duratec HE 145 PS/107 kW автомобіля Ford– 4-цилінровий, має чотири клапани на циліндр, ступінь стиску 10,8, регульовані фази газорозподілу (впуск і випуск).

Для прикладу на рис. 2 наведено зовнішню швидкісну характеристику двигуна 2.0-litre Duratec HE 145 PS/107 kW.

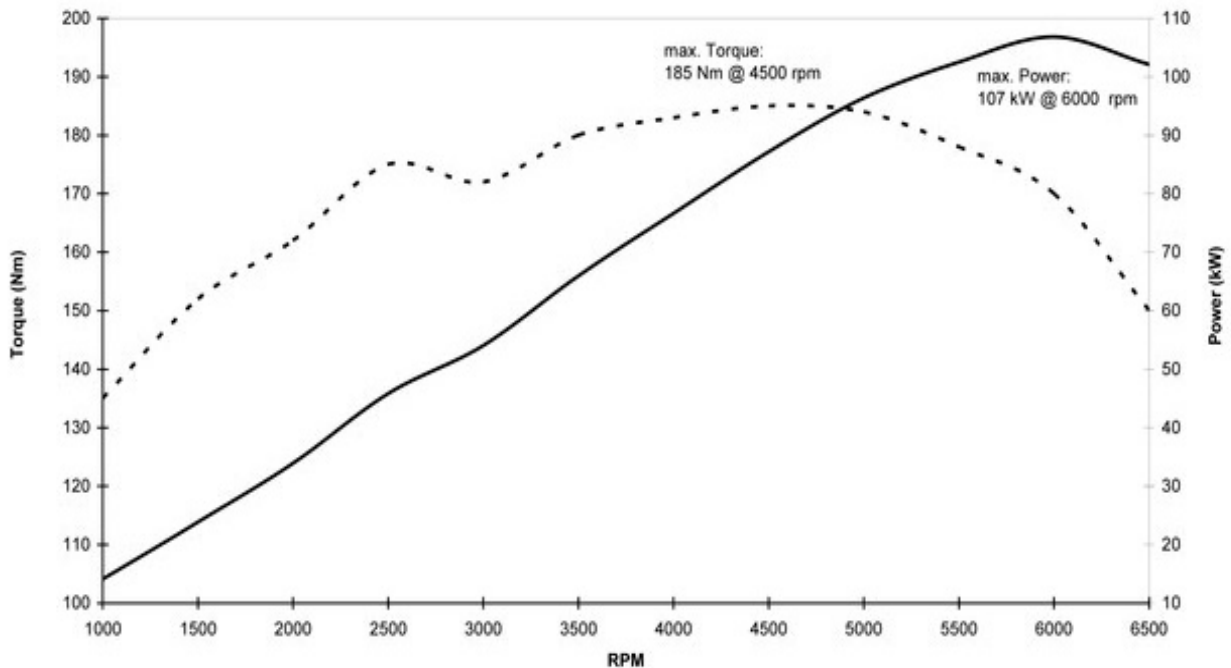


Рис. 2 – Зовнішня швидкісна характеристика двигуна 2.0-litre Duratec HE 145 PS/107 kW автомобіля Ford

### 3.2. Апроксимація експериментальних даних

Для апроксимації отриманих із джерел [3Ш] [4РД] [5ФТ] [6ФР] даних здійснювалась з допомогою програми Microsoft Excel поліноміальною функцією третього ступеня. Експериментальні дані визначались із графіків потужності і крутного моменту, наведених технічній документації, і заносились в рядки відповідно  $N_{ex(експ)}$  та  $M_{ex(експ)}$  табл. 2.

Таблиця 2 - Результати розрахунків зовнішньої швидкісної характеристики двигуна 1,6 MPI 102 к.с. BSE автомобіля Skoda Octavia A5

$n_x, \text{ХВ}^{-1}$	1000	1500	2000	2500	3000	3500	3800	4500	5000	5500	5600	6000
$N_{ex(\text{експ})}$	12	19	27	34	44	52	57	67	72	75	75,1	74
$N_{ex(1)}$	14,3	22,6	31,2	39,9	48,4	56,2	60,4	68,7	72,7	74,9	75,1	74,9
$N_{ex(2)}$	11,1	18,7	27,2	36,2	45,1	53,6	58,4	67,7	72,3	74,9	75,1	74,8
$M_{ex(\text{експ})}$	108	122	129	137	144	146	148	145	138	130	129	118
$M_{ex(1)}$	136	144	149	153	154	153	152	146	139	130	128	119
$M_{ex(2)}$	106	119	130	138	144	146	147	144	138	130	128	119

В рядок  $N_{ex(1)}$  занесені розрахункові дані, отримані із використанням формули (1) при значеннях коефіцієнтів  $a, b, c$ , наведених в табл. 1, тобто  $a=0,9$ ;  $b=1,1$ ;  $c=1,0$ . В рядок  $N_{ex(2)}$  занесені розрахункові дані, отримані із використанням формули (1) при значеннях коефіцієнтів  $a=0,55$ ;  $b=1,78$ ;  $c=1,33$ , отриманих за результатами апроксимації експериментальних даних поліноміальною функцією третього ступеня і відкоригованих шляхом підбору з метою мінімізації суми квадратів відхилення розрахункової кривої від експериментальних даних в кількох точках. Процедуру визначення коефіцієнтів наведено нижче.

Значення крутного моменту визначено за формулою (2). Для розрахунку даних рядка  $M_{ex(1)}$  використовувались значення потужності  $N_{ex(1)}$ , а для даних рядка  $M_{ex(2)}$  – значення потужності  $N_{ex(2)}$ . Результати розрахунків зведено в табл. 2.

Для визначення коефіцієнтів  $a, b, c$  застосовано наступну процедуру. За експериментальними даними будувалась крива залежності потужності  $N_{ex(\text{експ})}$  від частоти обертання колінчастого валу у формі точкової діаграми Excel (рис. 3). При цьому в якості аргументу використовувалась не абсолютне значення частоти обертання, а співвідношення  $\frac{n_x}{n_N}$ . До отриманої кривої додавалась лінія тренду – поліноміальна функція третього ступеню. При цьому

ставились відмітки щодо необхідності перетину кривої з віссю  $uv$  в точці 0 та показу рівняння і величини достовірності  $R^2$  на діаграмі. Коефіцієнти поліноміальної функції (41,868; 125,08; 92,221) отриманого рівняння ділились на величину номінальної потужності  $=75,1$  кВт досліджуваного двигуна. Отримані значення коефіцієнтів  $a=0,56$ ;  $b=1,67$ ;  $c=1,23$  підставлялись в рівняння (1) для розрахунку зовнішньої швидкісної характеристики. Отримані дані  $N'_{ex(2)}$  наведено в табл. 3. Із застосуванням формули (2) обраховано відповідні значення крутного моменту  $M'_{ex(2)}$ , які також занесені до табл. 3.

Таблиця 3 – Проміжні результати розрахунків зовнішньої швидкісної характеристики двигуна 1,6 MPI 102 к.с. BSE автомобіля Skoda Octavia A5

$n_x, \text{хв}^{-1}$	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500
$N_{ex}(\text{експ})$	12	19	27	34	44	52	57	67	72	75	75,1	74
$N'_{ex(2)}$	11,0	18,5	26,8	35,5	44,3	52,7	57,4	66,8	71,8	74,7	75,1	75,4
$M_{ex}(\text{експ})$	108	122	129	137	144	146	148	145	138	130	129	118
$M'_{ex(2)}$	105	118	128	136	141	144	144	142	137	130	128	120

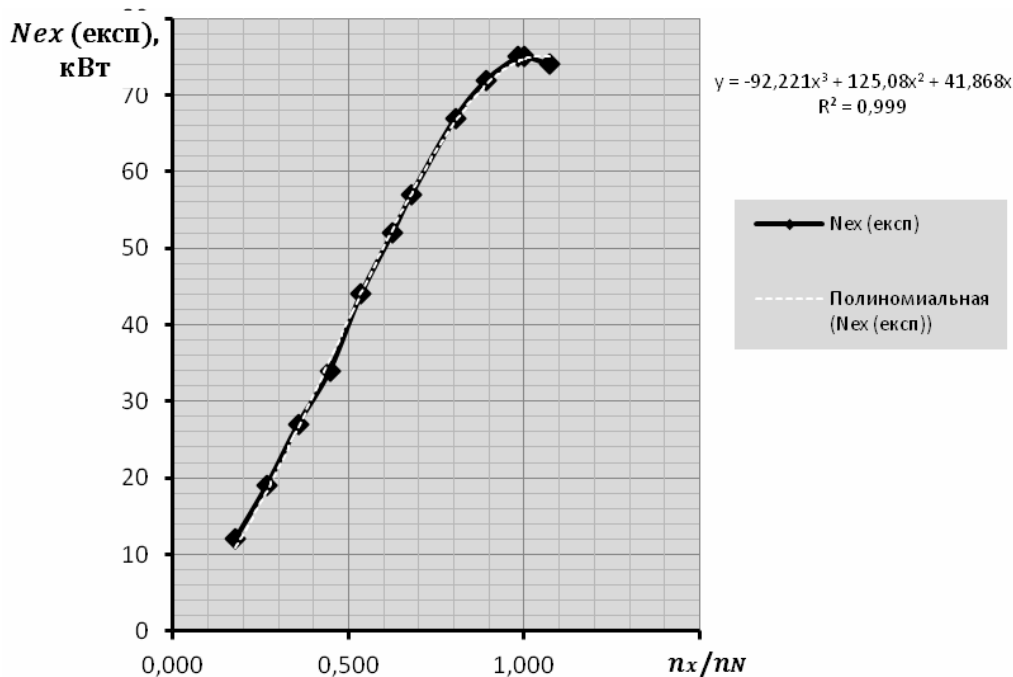


Рис. 3 – Залежність потужності двигуна 1,6 MPI 102 к.с. BSE автомобіля Skoda Octavia A5 від частоти обертання колінчастого валу

За даними табл. 3, а також даними щодо значень  $N_{ex(1)}$  та  $M_{ex(1)}$  побудовано зовнішню швидкісну характеристику двигуна (рис. 4).

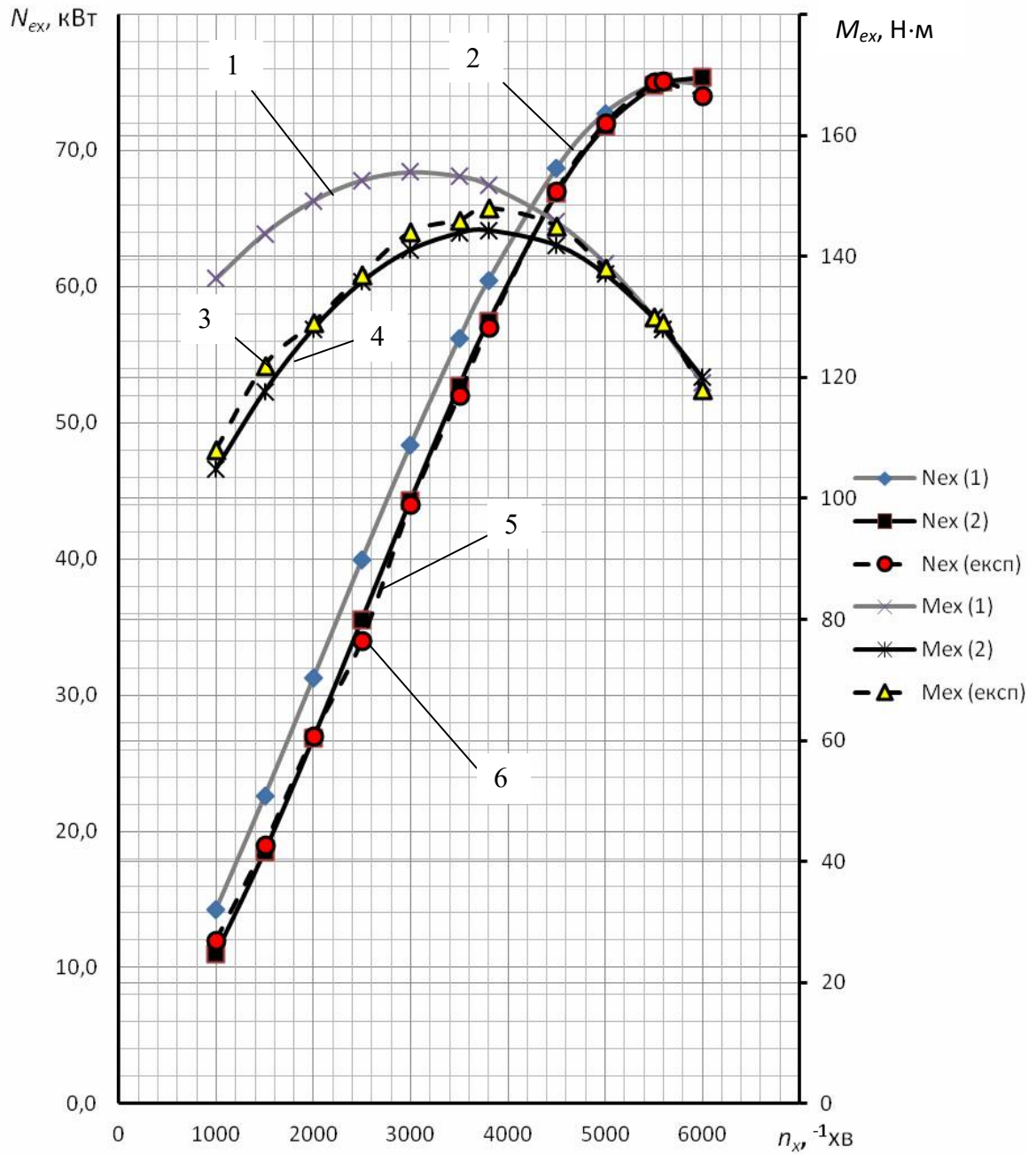


Рис. 4 – Зовнішня швидкісна характеристика двигуна 1,6 MPI 102 к.с., побудована за результатами проміжних розрахунків

Із отриманих характеристик зроблено висновок, що застосування у формулі Лейдермана табличних значень коефіцієнтів  $a=0,9$ ;  $b=1,1$ ;  $c=1,0$  (лінії 1 і 2) призводить до суттєвих відхилень розрахункових значень потужності і крутного моменту від експериментальних даних (пунктирні лінії 3 і 6). Застосування відкоригованих коефіцієнтів  $a=0,56$ ;  $b=1,67$ ;  $c=1,23$  дозволяє значно краще описати експериментальні дані (лінії 4 і 5). Однак при достатній збіжності розрахункових і експериментальних даних по потужності фіксується деяка розбіжність даних по крутному моменту. Методом підбору були відкориговані значення коефіцієнтів  $a, b, c$  таким чином, щоб при збереженні задовільної збіжності по потужності зменшити розбіжність розрахункових і експериментальних результатів по крутному моменту. При цьому доцільно дотримання умови:  $a + b - c = 1$ . В результаті отримано значення коефіцієнтів  $a=0,55$ ;  $b=1,78$ ;  $c=1,33$ . Результати розрахунків наведено в табл. 2, а зовнішні швидкісні характеристики в остаточному вигляді наведено на рис. 5.

Аналогічним чином були визначені коефіцієнти для решти обраних для дослідження двигунів. Отримані дані зведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Основні технічні дані двигунів та запропоновані значення коефіцієнтів  $a, b, c$

Марка автомобіля та його двигуна	Максимальна потужність, кВт	Максимальний крутний момент, Н·м	Тип системи живлення бензином	Запропоновані значення коефіцієнтів		
				$a$	$b$	$c$
Skoda Octavia A5; 1,6 MPI 102 к.с. BSE	75,1 (при 5600 хв <sup>-1</sup> )	148 (при 3800 хв <sup>-1</sup> )	Розподілене впорскування	0,55	1,78	1,33
Renault Duster; K4M 1.6 16V 102 ch	75,1 (при 5750 хв <sup>-1</sup> )	146 (при 3750 хв <sup>-1</sup> )	Розподілене впорскування	0,59	1,78	1,37
Renault Duster; M4R 2.0 16V 140ch	103 (при 6000 хв <sup>-1</sup> )	195 (при 3750 хв <sup>-1</sup> )	Розподілене впорскування	0,60	1,79	1,39
Volkswagen Transporter; 2.0 1/85 kW, AXA	85 (при 5200 хв <sup>-1</sup> )	170 (при 2700...4700 хв <sup>-1</sup> )	Розподілене впорскування	0,54	1,78	1,33
Volkswagen Transporter; 3.2i/170kW, BDL	173 (при 6200 хв <sup>-1</sup> )	315 (при 2950 хв <sup>-1</sup> )	Розподілене впорскування	0,59	1,78	1,37
Ford;	107	185	Розподілене	0,50	1,78	1,28

2.0-litre Duratec HE 145 PS/107 kW	(при 6000 хв <sup>-1</sup> )	(при 4500 хв <sup>-1</sup> )	впорскування			
---------------------------------------	------------------------------	------------------------------	--------------	--	--	--

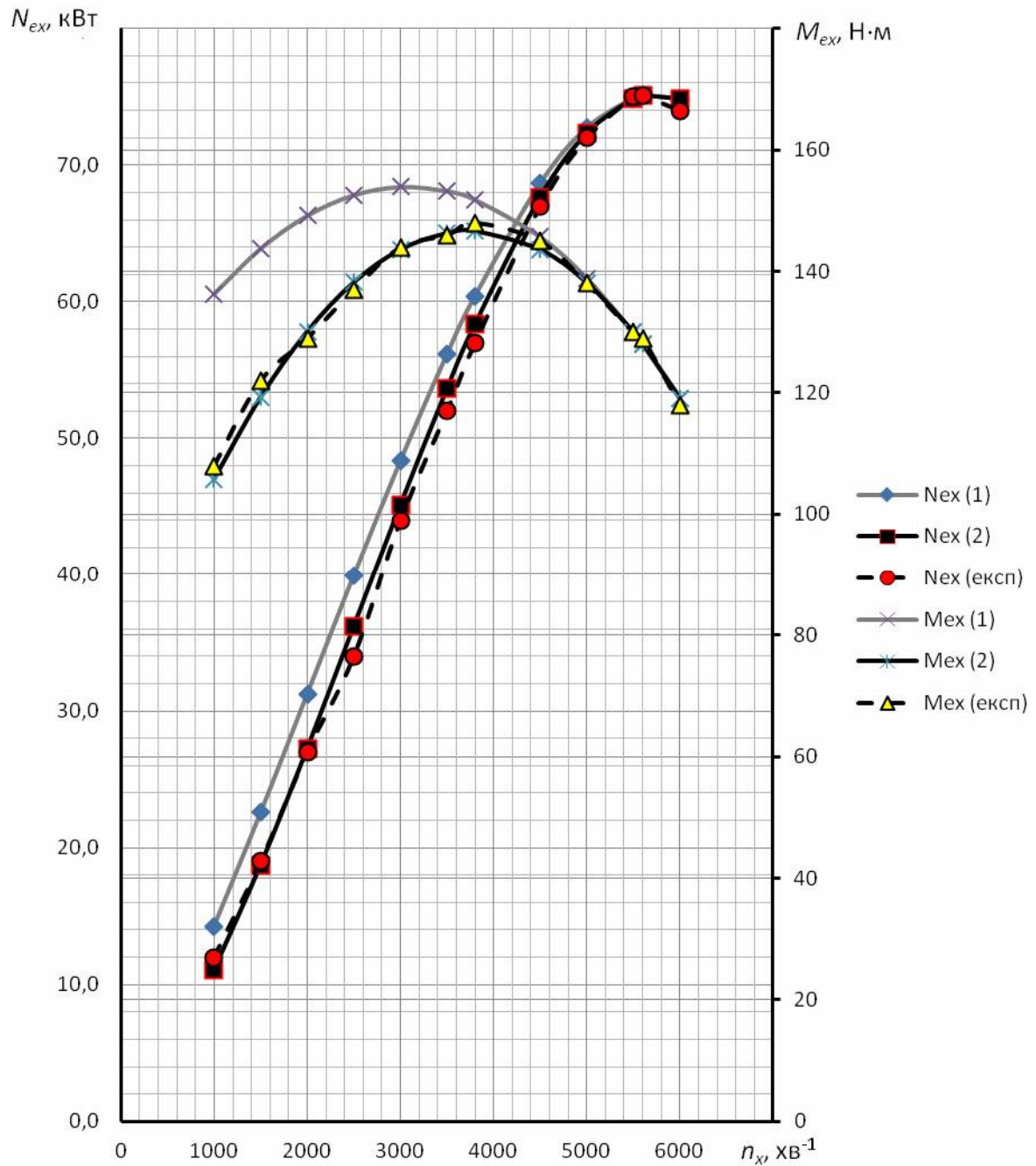


Рис. 5 – Зовнішня швидкісна характеристика двигуна 1,6 MPI 102 к.с., побудована за остаточними результатами розрахунків

### 3.3. Дослідження коефіцієнтів пристосовуваності двигунів

Для визначення коефіцієнтів пристосовуваності двигунів за крутним моментом використовувалась формула (3), а обчислення коефіцієнту пристосовуваності за частотою обертання застосовано формулу (4). Результати розрахунків зведено в табл. 5.

Таблиця 5 – Значення коефіцієнтів пристосовуваності двигунів

Марка автомобіля та його двигуна	Коефіцієнт пристосовуваності за крутним моментом $k_M$					Коефіцієнт пристосовуваності за частотою обертання $k_n$					Примітки
	$k_{Мексп}$	$k_{M(1)}$	$\varepsilon_{M(1)} \times 100\%$	$k_{M(2)}$	$\varepsilon_{M(2)} \times 100\%$	$k_{нексп}$	$k_{n(1)}$	$\varepsilon_{n(1)} \times 100\%$	$k_{n(2)}$	$\varepsilon_{n(2)} \times 100\%$	
SkodaOctavia A5; 1,6 MPI 102 к.с. BSE	1,147	1,202	4,58	1,145	0,16	1,474	1,867	21,05	1,514	2,63	Регульовані фази газорозподілу для впускних клапанів
RenaultDuster; K4M 1.6 16V 102 ch	1,142	1,202	4,99	1,168	2,26	1,533	1,917	20,00	1,513	1,33	
RenaultDuster; M4R 2.0 16V 140ch	1,189	1,200	0,91	1,176	1,13	1,600	2,000	20,00	1,558	2,67	
VolkswagenTransporter; 2.0 l/85 kW, AXA	1,097	1,202	8,73	1,147	4,38	1,926	1,733	11,11	1,486	29,63	Задекларовано постійність крутного моменту від 2700 до 4700 хв <sup>-1</sup> )
VolkswagenTransporter; 3.2l/170 kW, BDL	1,167	1,202	2,96	1,168	0,12	2,102	1,771	18,64	1,550	35,59	Регульовані фази газорозподілу для впускних і для впускних клапанів
Ford; 2.0-litreDuratec HE 145 PS/107 kW	1,088	1,201	9,42	1,118	2,64	1,333	1,714	22,22	1,429	6,67	

Для наступного аналізу обчислено коефіцієнти пристосовуваності двигунів за експериментальними даними ( $k_{Мексп}$ ,  $k_{нексп}$ ), коефіцієнти пристосовуваності двигунів за розрахунковими даними ( $k_{M(1)}$ ,  $k_{n(1)}$ ) при застосування табличних значень коефіцієнтів формули (1) та коефіцієнти пристосовуваності двигунів за розрахунковими даними ( $k_{M(2)}$ ,  $k_{n(2)}$ ) при застосування запропонованих значень коефіцієнтів формули (1). Визначено відносну похибку отриманих коефіцієнтів пристосовуваності. Встановлено, що при застосуванні запропонованих значень

коефіцієнтів  $a$ ,  $b$ ,  $c$  у переважній більшості випадків похибка розрахункових результатів суттєво зменшується. В той же час достатньо велика похибка для  $k_n$  як при застосуванні табличних, так і при застосуванні запропонованих значень коефіцієнтів, спостерігається для двигунів 2.0 //85 kW, AXA та 3.2//170 kW, BDL. Це може пояснюватись постійністю крутного моменту в широкому діапазоні частоти обертання колінчастого валу (2700 до 4700 хв<sup>-1</sup>) двигуна 2.0 //85 kW, AXA та наявністю регульованих фаз газорозподілу у двигуні 3.2//170 kW, BDL.

#### 4 ВИСНОВКИ

Наведені у фаховій літературі значення коефіцієнтів формул С. Р. Лейдермана для сучасних двигунів можуть бути уточнені шляхом апроксимації експериментальних даних поліноміальною функцією третього ступеню. Отримані в роботі значення коефіцієнтів для бензинових двигунів із системами розподіленого впорскування пального знаходяться у наступних межах:  $a=0,50\dots0,60$ ;  $b=1,78\dots1,79$ ;  $c=1,28\dots1,39$ . При застосуванні зазначених коефіцієнтів відносні похибки обчислень коефіцієнтів пристосовуваності двигуна по крутному моменту і по частоті обертання у більшості випадків зменшуються (див. табл. 5). Суттєві розбіжності (29...36 %) між розрахунковими і експериментальними даними по коефіцієнту пристосовуваності за частотою обертання спостерігаються для двигунів з регульованим фазами газорозподілу (на впуску і на випуску) та для двигунів, в яких досягнуто постійність крутного моменту в широкому діапазоні частот обертання колінчастого валу.

Для наближених розрахунків зовнішніх швидкісних характеристик бензинових двигунів із розподіленими системами впорскування пального з навчальною метою можуть застосовуватись усереднені значення коефіцієнтів:  $a=0,55$ ;  $b=1,78$ ;  $c=1,33$ . Запропоновані значення коефіцієнтів при підстановці у формулу (1) дозволяють достатньо точно побудувати зовнішні швидкісні



характеристики  $N_{ex} = f(\omega)$  та  $M_{ex} = f(\omega)$  при наявності лише легко доступної інформації про номінальну потужність і номінальну частоту обертання  $n_N$  колінчастого валу двигуна.

Перспективи подальших досліджень у даному напрямі полягають у визначенні коефіцієнтів для розрахунків залежності питомих ефективних витрат пального і годинних витрат пального від частоти обертання колінчастого валу двигуна, а також у вдосконаленні методики розрахунку зовнішніх швидкісних характеристик для сучасних дизельних двигунів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сирота В. І., Сахно В. П. Автомобілі. Основи конструкції, теорія : навчальний посібник. К. : Арістей, 2011. 356 с.
2. Хоменко І. М. Про побудову зовнішньої швидкісної характеристики автомобільного двигуна розрахунковим методом. URL: [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/opac/search.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/Vcndtn%5F2014%5F2%5F16%2Epdf](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/opac/search.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Vcndtn%5F2014%5F2%5F16%2Epdf) (дата звернення: 23.09.2019).
3. Шкода Октавия А5 1.6 MPI 102 л. с. URL: <https://www.skoda-club.org.ua/>(дата звернення: 20.09.2019).
4. Puissanceetcouple. Descourbes. URL: <https://blogautomobile.fr/puissance-couple-courbes-137910>.(дата звернення: 28.09.2019).
5. Пособие по програмне самообразования 310 Автомобиль Transporter модели 2004 года. Volkswagen Technical Site URL: <http://volkswagen.msk.ru> (дата звернення: 19.05.2019).
6. 2.0-litre Duratec HE 145 PS/107 kW. URL: [https://ffclub.ru/topic/159181/jump\\_6470/#&gid=15498058\\_3&pid=3](https://ffclub.ru/topic/159181/jump_6470/#&gid=15498058_3&pid=3)(дата звернення: 26.11.2019).

## АНОТАЦІЯ

Державна прикордонна служба України оснащується сучасними зразками автомобільної техніки. *Актуальність роботи* визначається необхідністю оцінки експлуатаційних властивостей машин на етапі їх вибору для оснащення органів охорони кордону, повного використання закладених в конструкцію автомобіля потенціалу під час його використання в охороні державного кордону, а також з навчальною метою при підготовці майбутніх офіцерів прикордонників - бакалаврів автомобільного транспорту. В основі оцінки тягово-швидкісних властивостей автомобіля лежить аналіз швидкісних характеристик двигунів.

Наявна на сьогодні методика розрахунку швидкісних характеристик розроблена в першій половині минулого століття і не в повній мірі враховує особливості конструкції і властивості сучасних автомобільних двигунів, зокрема оснащених системами розподіленого впорскування бензину.

*Мета наукової роботи* – на основі експериментальних даних, наведених у фаховій літературі уточнити коефіцієнти поліноміальної функції, яка використовується для розрахунку зовнішньої швидкісної характеристики двигунів із системами впорскування бензину та проаналізувати значення коефіцієнтів пристосовуваності автомобільних двигунів за обертовим моментом і за частотою обертання колінчастого валу.

*Основні результати.* В роботі проаналізовано зовнішні швидкісні характеристики бензинових двигунів внутрішнього згорання автомобілів Skoda, Renault, Volkswagen, Ford. Проведено розрахунки швидкісних характеристик традиційним методом із застосуванням поліноміальних рівнянь. Під час розрахунків використовувались табличні значення коефіцієнтів полінома, які наведені у фаховій літературі. Встановлено, що отримані розрахункові результати недостатньо точно описують наявні експериментальні дані.

Запропоновано уточнити значення коефіцієнтів розрахункових залежностей шляхом апроксимації наявних експериментальних даних щодо залежності ефективної потужності бензинового двигуна із системою

розподіленого впорскування від частоти обертання його колінчастого валу поліноміальною функцією третього ступеня. Апроксимація здійснювалась із застосуванням програми Microsoft Excel шляхом побудови лінії тренда. Для побудови кривої потужності в якості аргументу використано не абсолютне значення частоти обертання, а відношення її поточного значення до номінального.

За результатами проведених досліджень визначено коефіцієнти полінома, які доцільно застосовувати при розрахунках зовнішніх швидкісних характеристик автомобільних бензинових двигунів, обладнаних системою розподіленого впорскування пального. Для проведення наближених розрахунків тягово-швидкісних властивостей автомобілів, а також проведення розрахунків із навчальною метою запропоновано усереднені значення коефіцієнтів полінома.

Проведені розрахунки швидкісних характеристик та аналіз експериментальних і розрахункових значень коефіцієнтів пристосовуваності двигунів за крутним моментом і за частотою обертання показали зменшення похибки розрахунків у випадку застосування запропонованих у роботі коефіцієнтів полінома. У той же час суттєві похибки у визначенні коефіцієнтів пристосовуваності двигуна за частотою обертання мають місце при розрахунках зовнішніх швидкісних характеристик двигунів із регульованими фазами газорозподілу та двигунів, які мають близький до постійного крутний момент у широкому діапазоні частот обертання колінчастого валу, що свідчить про доцільність подальших досліджень у цьому напрямі.

Наукова робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел.

**Ключові слова:** бензиновий двигун; зовнішня швидкісна характеристика; розрахунковий метод; потужність двигуна; крутний момент двигуна; коефіцієнт пристосовуваності.