

УДК 629.114.5.001

М.Ф.Боднар, Ю.Л.Крайник*

Національний університет "Львівська політехніка"

*ДП ВЦ "Укравтотест" ВАТ "Укравтобуспром"

ОЦІНКА ВПЛИВУ І ОПТИМІЗАЦІЯ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА ТА ПЕРЕДАТНОГО ЧИСЛА ГОЛОВНОЇ ПЕРЕДАЧІ АВТОБУСІВ ДЛЯ ТИПОВИХ УМОВ РУХУ

В роботі проведено дослідження впливу зміни параметрів силового приводу автобусів на їх паливну економічність в типових умовах роботи. Отримані поліноміальні моделі, які дозволяють провести оптимізацію потужності двигуна та передатного числа головної передачі та можуть бути використані для наближеного нормування витрати палива.

Ключові слова: автобус, потужність двигуна, передатне число головної передачі, витрата палива, поліноміальна модель

Парки автобусів в більшості областей нашої держави в даний час комплектуються переважно автобусами сімейства «Богдан» та «Еталон». Дані розробки в основному базуються на шасі іноземного виробництва (ISUZU, TATA). Очевидно, що вони не можуть бути ідеально пристосованими до типових умов руху на дорогах України. Підбір силового приводу, серед доступних комплектуючих, нашими виробниками відбувається на базі попередньої оцінки ефективності роботи розроблених модифікацій в типових умовах руху, зокрема й з точки зору паливної економічності. Вибір перевізником тієї чи іншої моделі чи модифікації автобуса ґрунтується не на точному знанні характеристик, які б забезпечили оптимальну роботу автобуса на конкретному маршруті, а радше на попередньому досвіді та відгуках.

Проведений аналіз існуючих досліджень з цього питання дозволяє констатувати недостатню його вивченість [1-3], а отже постає необхідність оцінки впливу конструктивних параметрів різних модифікацій автобусів на ефективність їх роботи в типових умовах руху, одним з визначальних показників якої є лінійні витрати палива, оскільки цей показник є найбільш вагомою економічною характеристикою в процесі експлуатації.

Зрозуміло, що проведення великої кількості випробувань з різними варіантами та комбінаціями силового приводу є неможливими з точки зору як економічних затрат, так і часу. Однак, в науці достатньо добре опрацьовані методи багатофакторної оцінки впливу кількох факторів на конкретний вихідний параметр оптимізації. Зокрема, методи багатофакторного планування експерименту [4-8] дозволяють побудувати математичну модель, яка з достатньою точністю може кількісно і якісно відобразити вплив зміни комбінацій конструктивних параметрів силового приводу автобуса на його лінійну витрату палива.

Для побудови такої моделі необхідно записати аналітичний вираз взаємозв'язку вхідних факторів (x_1, x_2, \dots, x_n) та вихідного параметра U . В загальному вигляді така модель записується у вигляді поліноміального рівняння регресії:

$$U = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n + b_{12} x_1 x_2 + \dots + b_{(n-1),n} x_{(n-1)} x_n + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + \dots + b_{nn} x_n^2 \quad (7)$$

де b_0 – базове значення вихідного параметра U ; $b_1 \dots b_n$ – коефіцієнти, що визначають ступінь впливу кожного фактора на параметр оптимізації; $b_{12} \dots b_{n-1,n}$ – коефіцієнти, що визначають ступінь впливу взаємодії відповідних факторів на параметр оптимізації; $b_{11} \dots b_{nn}$ – коефіцієнти, що визначають ступінь нелінійного впливу кожного фактора на параметр оптимізації.

Очевидно, що в даному дослідженні вихідним параметром U виступає лінійна витрата палива Q_e . Задача планування експерименту передбачає, що кожен із вхідних факторів обов'язково повинен мати кількісну оцінку, а їх сукупність повинна задовольняти вимоги суміщення та незалежності один від одного [4]. За цією умовою можна виділити два основні параметри силового приводу автобуса – потужність двигуна та передатне число головної передачі. Відповідно оцінка впливу цих факторів на лінійну витрату палива автобусів в типових умовах руху дозволить провести оптимізацію силового приводу для роботи на відповідних маршрутах.

При постановці задачі оцінки вхідних факторів на досліджуваний параметр визначальним етапом є вибір діапазонів зміни цих факторів. В даному випадку діапазон зміни факторів x_1 (N_e – потужність двигуна) та x_2 (u_0 – передатне число головної передачі) потрібно вибирати як з огляду

на відповідність потужності двигуна класу автобуса (можливості долати силу опору рухові та забезпечити необхідну максимальну швидкість при заданій номінальній пасажиромісткості), так і з коректності суміщення цих факторів, насамперед, – можливості поєднання передатного числа головної передачі з граничними значеннями потужності двигуна.

Проаналізувавши основні конструктивні параметри та відмінності різних моделей автобусів вітчизняного (Богдан, Еталон, ЛАЗ) та іноземного (Mercedes, MAN, Iveco) виробництва можна зробити висновок про необхідність врахування ще одного вхідного фактору – оборотності двигуна. Однак для нього є проблемною умова суміщення (що пояснюється взаємозв'язком потужності і обертового моменту через частоту обертання колінчастого валу двигуна). Таким чином, виділивши три основні категорії двигунів за їхніми максимальними обертами можна виділити діапазони зміни потужності двигунів, які встановлюються на малих, середніх та великих автобусах. Вибір же діапазону зміни передатного числа головної передачі – вхідного фактора X_2 , повинен ґрунтуватися на особливостях швидкісних режимів, в залежності від типу маршруту, на якому працює автобус (міський, приміських чи міжміський).

Для проведення оцінки впливу зміни факторів x_1 (потужності двигуна) та x_2 (передатного числа головної передачі) у вибраних діапазонах на параметр U (лінійну норму витрати палива) необхідно побудувати матрицю планування повного факторного експерименту (табл. 1) [5]. Очевидним є нелінійний вплив досліджуваних факторів на Q_s , тому матриця двофакторного експерименту повинна бути побудованою на трьох рівнях (мінімальне, проміжне та максимальне значення факторів) і буде складатися з $N=3^2=9$ рядків.

Таблиця 1

Вигляд матриці двофакторного експерименту, побудованої на трьох рівнях

№	x_1	x_2	x_{12}	$(x_1)^2$	$(x_2)^2$	Q_{mod}^*
1	-	-	-	1/3	1/3	32,76
2	+	-	-	1/3	1/3	31,89
3	-	+	-	1/3	1/3	32,77
4	+	+	+	1/3	1/3	32,42
5	0	-	0	-2/3	1/3	29,14
6	0	+	0	-2/3	1/3	29,41
7	-	0	0	1/3	-2/3	32,09
8	+	0	0	1/3	-2/3	32,38
9	0	0	0	-2/3	-2/3	29,29

*приклад реалізації розрахунку Q_s для великого приміського автобуса

Для реалізації такої матриці планування прийнято здійснити перехід від натуральних значень факторів N_e та u_0 до їх кодованих значень x_1 та x_2 . Для цього скористаємось формулою переходу:

$$x_1 = \frac{A_i - A_c}{DA_i} \quad (2)$$

де A_i – дійсне значення вхідного фактору x_i ;

$A_c = \frac{A_{\max} + A_{\min}}{2}$ – середнє арифметичне значення вхідного параметра x_i ;

$DA_i = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{2}$ – інтервал зміни вхідного параметра x_i .

Для того, щоб матриця планування відображала нелінійний вплив вхідних факторів на досліджуваний параметр, необхідно ввести стовпці з корегованим значеннями рівня x' , які обчислюються за формулою [9]:

$$(x'_n)^2 = x_n^2 - \frac{\sum_{j=1}^N x_n^2}{N} \quad (3)$$

В даному випадку, з урахуванням вибраних діапазонів зміни потужності та передатного числа головної передачі, для двигунів з різними частотами обертання колінчастого валу та автобусів різних класів кодовані значення факторів силового приводу представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 2

Кодовані значення та відповідні їм діапазони зміни значень факторів

	Кодовані значення	Малі				Середні				Великі			
		$n_e=2600 \text{ хв}^{-1}$		$n_e=3500 \text{ хв}^{-1}$		$n_e=2200 \text{ хв}^{-1}$		$n_e=2600 \text{ хв}^{-1}$		$n_e=2200 \text{ хв}^{-1}$		$n_e=2600 \text{ хв}^{-1}$	
		$N_e, \text{кВт}$	u_0	$N_e, \text{кВт}$	u_0	$N_e, \text{кВт}$	u_0	$N_e, \text{кВт}$	u_0	$N_e, \text{кВт}$	u_0	$N_e, \text{кВт}$	u_0
Приміські (local)	+	80	6,4	80	6,4	120	6,4	120	6,4	170	6,4	170	6,4
	0	100	5,2	100	5,2	145	5,2	145	5,2	200	5,2	200	5,2
	-	120	4	120	4	170	4	170	4	230	4	230	4
Міжміські (intercity)	+	80	6,2	80	6,2	120	6,2	120	6,2	170	6,2	170	6,2
	0	100	4,9	100	4,9	145	4,9	145	4,9	200	4,9	200	4,9
	-	120	3,6	120	3,6	170	3,6	170	3,6	230	3,6	230	3,6
Далекого прямування (soach)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	200	6,2	-	-
	0	-	-	-	-	-	-	-	-	250	4,9	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	300	3,6	-	-

Усі можливі варіанти суміщення вхідних факторів N_e та u_0 , які впливають на кількісну зміну вихідного параметра Q_s (витрати палива автобуса в типовому їздовому циклі) визначаються 19-ма матрицям планування. Очевидно, що проведення такої кількості тестових заїздів потребує великих затрат часу, а переобладнання автобусів для відтворення заданих діапазонів зміни параметрів силового приводу взагалі є практично неможливим. Тому розрахунок параметра оптимізації $Y=f(x_1, x_2)$ доцільно проводити засобами імітаційного моделювання [10].

Для трьохрівневих матриць планування відповідні коефіцієнти регресії обчислюються за формулами:

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^9 Q_{modj}}{9} - \frac{2}{3}(b_{11}b_{22}) \tag{4}$$

$$b_n = \frac{\sum_{j=1}^9 Q_{modj} x_{nj}}{6} \tag{5}$$

$$b_{12} = \frac{\sum_{j=1}^9 Q_{modj} x_{1j} x_{2j}}{4} \tag{6}$$

$$b_{nn} = \frac{\sum_{j=1}^9 Q_{\text{mod}j}(x'_{nj})^2}{2} \quad (7)$$

Таким чином, врахувавши похибку комп'ютерного моделювання при розрахунку вихідного параметра для кожної з 19-ти матриць планування двофакторного експерименту, визначивши довірчі інтервали коефіцієнтів регресії та відсіявши незначущі коефіцієнти [5,9] можна записати 19 поліноміальних моделей, зведених до табл. 3.

Таблиця 3

Поліноміальні моделі впливу потужності двигуна та передатного числа головної передачі на лінійну норму витрати палива автобусів

Тип	Клас	Оберти двигуна	Поліноміальна модель	Номер формули
Приміські (local)	Малі	$n_e=2600 \text{ хв}^{-1}$	$Q_s=17,35+0,47x_1$	(8)
		$n_e=3500 \text{ хв}^{-1}$	$Q_s=18,87+0,7x_1+0,28x_2+0,4x_1^2$	(9)
	Середні	$n_e=2200 \text{ хв}^{-1}$	$Q_s = 25,2 + 1,2x_1 + 0,32x_1^2$	(10)
		$n_e=2600 \text{ хв}^{-1}$	$Q_s=26+0,34x_2+0,67x_1^2$	(11)
	Великі	$n_e=2200 \text{ хв}^{-1}$	$Q_s=32,24+1,81x_1^2$	(12)
		$n_e=2600 \text{ хв}^{-1}$	$Q_s=31,05+3,1x_1^2$	(13)
Міжміські (intercity)	Малі	$n_e=2600 \text{ хв}^{-1}$	$Q_s=20,89+1,56x_1+0,6x_2-0,26x_1 x_2-0,39x_1^2$	(14)
		$n_e=3500 \text{ хв}^{-1}$	$Q_s=21,64+1,33x_1+0,57x_2$	(15)
	Середні	$n_e=2200 \text{ хв}^{-1}$	$Q_s=26,4+2,29x_1+0,32x_2+0,73x_1^2+0,33x_2^2$	(16)
		$n_e=2600 \text{ хв}^{-1}$	$Q_s=27,7+0,9x_1+0,46x_2+0,48x_2^2$	(17)
	Великі	$n_e=2200 \text{ хв}^{-1}$	$Q_s=36,94+0,85x_1+0,56x_2+1,57x_1^2+0,82x_2^2$	(18)
		$n_e=2600 \text{ хв}^{-1}$	$Q_s=35,94+1,42x_1+0,81x_2-0,49x_1 x_2+0,35x_1^2$	(19)
ДП (соас)		$n_e=2200 \text{ хв}^{-1}$	$Q_s=47,6+0,77x_2-0,63x_2^2$	(20)

Висновки

Розраховані, за допомогою поліноміальних моделей значення лінійної норми витрати палива для реальних моделей автобусів (БАЗ А079.14, БАЗ А148.1, InterLAZ-12LE) з відповідними характеристиками силового приводу, засвідчують точність цих моделей в межах 3-6%. Це свідчить про можливість використання даних поліноміальних моделей для проведення наближеного нормування витрати палива автобусами в типових умовах руху при неможливості проведення натурних випробувань.

Іншою, більш вагомою, сферою застосування отриманих моделей є оцінка паливної економічності при конструюванні нових моделей чи модифікацій автобусів. Тобто, отримані залежності можна розглядати як оптимізаційні рівняння. По суті вони дають кількісну оцінку впливу зміни потужності двигуна та передатного числа головної передачі на зростання чи зменшення витрати палива в типових умовах руху, а отже дозволяють провести якісний підбір параметрів силового приводу автобусів.

1. Токарев А.А. Методика комплексного експериментального дослідження тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автомобілів / А.А.Токарев. – Дмитров: (ЦНІАП НАМІ), 1976. – 110 с.
2. Генбом Б. Б. Методика дослідження впливу параметрів двигачеля і трансмісії на тягово-швидкісні якості і паливну економічність міських автобусів / Б. Б. Генбом. – Львів, 1970. - 78 с.
3. Гащук П. Н. Оптимізація паливно-швидкісних властивостей автомобіля / П. Н. Гащук. – Львів: Вища шк., 1987. - 168 с.
4. Нефедов А.Ф. Планування експеримента і моделювання при дослідженні експлуатаційних властивостей автомобілів / А.Ф. Нефедов, Л.Н. Высочин. – Львів: Вища школа, 1974. – 160 с.
5. Крайник Л.В. Багатофакторна оцінка та нормування паливної економічності вантажних автомобілів / Л.В. Крайник, М.Г. Грубель. – Львів, 2010. -117с.
6. Налімов В.В. Статистическі методи планування експериментальних експериментів / В.В. Налімов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 340 с.
7. Адлер Ю.П. Введення в планування експеримента / Ю.П. Адлер. – М.: Металургія, 1969. – 260 с.
8. Гайдадин А.Н. Применення засвідків ЕВМ при обробці даних активного експеримента. Методическі вказання / А.Н. Гайдадин С.А. Ефремова // ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – 16 с.
9. Планування експеримента і применення вичислительної техніки в процесі синтезу резин / під редакцією В.Ф.Евстратова, Л.Г. Шварца. – М.: Хімія,1970. - С.112-140.
10. Крайник Л.В. Алгоритм моделювання руху автобусів у типових їздових циклах та особливості розрахунку лінійної витрати палива / Л.В. Крайник, М.Ф. Боднар // Динаміка, міцність та проектування машин і приладів: вісник Національного університету «Львівська політехніка». – Львів : видавництво Львівської політехніки, 2011. – №701. – С. 38-42.