

УДК 629.114:621.086

М.Г. Грубель

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

## БАГАТОФАКТОРНЕ НОРМУВАННЯ ВИТРАТ ПАЛИВА ПОВНОПРИВІДНИХ АВТОМОБІЛІВ

*У статті розглядається кількісна оцінка витрати палива  $Q_S$  в залежності від типу і стану дороги, швидкості руху  $V_a$ , завантаження автомобіля, методом дорожніх випробувань двох типових військових автомобілів на різних типах доріг та комп'ютерного моделювання руху автомобіля для даних типів доріг.*

**витрата палива, швидкість руху, завантаження автомобіля, тип і стан дороги**

### Вступ

Для повнопривідних автомобілів характерна значна питома частка сумарного пробігу, що припадає на дороги без твердого покриття і досягає до 40-60% сумарного пробігу [1].

Одночасно сучасна практика нормування експлуатаційних витрат палива базується на найменших, з цієї точки зору, умовах руху на асфальтобетонних дорогах I категорії, а при русі на ґрунтових дорогах та кар'єрах рекомендує збільшувати відповідні лінійні норми до 20%, а для умов сезонного бездоріжжя – до 35% [2].

Реальна практика експлуатації та проведені нами дорожні випробування повнопривідних автомобілів КамАЗ – 4310 та Hummer M998 A2 на 4 типах доріг (включно трав'яне поле) свідчать про значно більший розсів фактичних лінійних витрат палива  $Q_S$  (л/100км) і зростання в 1,2÷2,4 раза витрат у порівнянні з асфальтобетонними дорогами I категорії.

### Основна частина

Основними зовнішніми факторами, що формують витрату палива  $Q_S$  конкретної моделі автомобіля в експлуатації, як показав квантифікаційний аналіз, є:

- тип і стан дороги (формує сумарний опір рухові в межах коефіцієнта  $\Psi = 0,01 - 0,1$ );
- швидкість руху  $V_a$ ;
- завантаження, вага автомобіля  $G_a$  (нормативна база передбачає коректування витрати дизельних автомашин на 1,3 л/100 ткм, бензинових на 2,0 л/100 ткм незалежно від моделі, двигуна і т.п., що теж є дуже приблизною оцінкою і не може бути точним для конкретних автомобілів).

Кількісна оцінка взаємозв'язку  $Q_S$  з вищезазначеними факторами на основі класичних методів є надзвичайно трудомісткою і фактично вкрай складною для практичного використання.

Тому в основу досліджень були покладені ме-

тоди багатофакторного планування експерименту [3], що крім мінімізації кількості дослідів (натурних чи методом моделювання на ЕОМ) дозволяє також отримати і рівняння регресії  $Q_S = f(\Psi, V_a, G_a)$ , яке дає кількісну оцінку взаємозв'язку зміни вихідного параметра  $Q_S$  від факторів  $\Psi, V_a, G_a$ .

Проведені дослідження класичних вантажних автомобілів ГАЗ і ЗІЛ на різних типах доріг з твердим покриттям при спорядженій і повній масі засвідчили, що домінуючим нелінійним фактором у формуванні  $Q_S$  є швидкість руху  $V_a$ . Нелінійний вплив зміни  $\Psi$  і  $G_a$  є на порядок менший і знаходиться в межах 2-5% від абсолютного значення  $Q_S$ . Однак, враховуючи складний характер формування опору рухові повнопривідних автомобілів на дорогах з деформованими поверхнями (ґрунтові, піщані, бездоріжжя) з явно нелінійно зростаючими складовими через деформацію ґрунту і пробуксовування коліс [4], очевидна доцільність оцінки і нелінійного впливу  $\Psi$  та формування  $Q_S$  власне для даних умов руху.

Дослідження проводились як методом дорожніх випробувань двох типових повнопривідних автомобілів – вантажного КамАЗ – 4310 (6×6) та багатоцільового Hummer M998 A2 на полігоні Львівського інституту Сухопутних військ на попередньо підібраних відповідно до [5] характерних типів доріг, так і методом комп'ютерного моделювання руху для даних типів доріг з умов підтвердження адекватності результатів та розширення умов руху [4]. Визначальним фактором при цьому була складність підбору реальних доріг з чітко визначеними діапазонами зміни  $\Psi$ , що визначається умовами матриці багатофакторного експерименту, відповідно й отримання аналітичного рівняння обробки результатів дорожнього експерименту і кількісного зв'язку  $Q_S$  з  $\Psi$ .

З цих умов значно простішим є зворотна оцінка адекватності отриманої на базі комп'ютерного мо-

делювання математичної моделі  $Q_s = f(\Psi, V_a, G_a)$  шляхом задання значень  $\Psi$  конкретного типу дороги полігону, де проводились дорожні випробування, і зіставлення розрахункових та експериментальних значень.

Спільною платформою для натурних і комп'ютерних досліджень обрано визначену дорогу з асфальтобетонним покриттям середньостатистичного стану з коефіцієнтом  $\Psi = 0,015$  (для повнопривідних автомобілів).

У табл. 1 подано досліджувані діапазони зміни руху для формування матриці планування трифакторного експерименту як лінійного (на 1 етапі), так і нелінійного (для відповідної оцінки впливу насамперед  $V_a$  і  $\Psi$ ).

Реальні дороги полігону дозволяють провести випробування на нижньому і базовому рівнях початкового сумарного опору рухові:

– асфальтована дорога середнього рівня з  $\Psi_0 = 0,015$  і коефіцієнтом нерівності орієнтовно  $S_H = 100$ -мірна дільниця протяжністю 2000 метрів;

– вкатана піщана дорога (супісок) в сухому стані з  $\Psi_0 = 0,035$  і  $S_H = 400 - 600$ , загальною протяжністю 570 м з ухилом 20% (підйом/спуск у прямому і зворотному заїздах).

У принципі піщана дорога в мокрому стані забезпечує початкове значення  $\Psi_0 = 0,045 \div 0,06$  (у залежності від ступеня вологості ґрунту), однак реальна ймовірність попадання в необхідне значення

$\Psi_0 = 0,055$  (табл. 1) залежить від інтенсивності дощу і є невисокою.

Поряд з тим підібрані мірні дільниці на полігоні дозволяють провести експериментальні заміри ще на двох типах доріг.

– гравійна в доброму стані з  $\Psi_0 = 0,020$  і  $S_H = 200$  протяжністю 3000 метрів;

– трав'яне покриття мало пересіченої місцевості протяжністю 300 метрів з 4 локальними ухилами 5 – 10% з орієнтовним  $\Psi_0 = 0,075$  (у сухому стані) і  $S_H = 800 - 1000$ .

Початкові значення  $\Psi_0$  визначались опосередковано фіксацією шляху вибігу технічно справного автомобіля КамАЗ – 4310 з початкової швидкості  $V_b = 30 \div 40$  км/год при відомих характеристиках шин. Як база порівняльного відліку прийнято асфальтобетонне покриття. Зазначимо, однак, що для деформованих поверхонь доріг значення  $\Psi$  достатньо суттєво зростає в залежності від швидкості руху  $V_a$  (втрати на деформацію ґрунту, проковзування шин і т. п. [4]) та навантаження на вісь  $G_a$  (глибина колії і інше [4]), тому представлені в табл. 1 значення є так званими базовими для  $V_a = 20$  км/год і характерні для веденого режиму роботи шин.

У табл. 2 представлено матрицю нелінійного планування і результати дорожніх та комп'ютерних досліджень на прикладі КамАЗ – 4310.

Таблиця 1

Рівні варіювання досліджуваних факторів

Рівні	Кодоване значення	$V_a$ (км/год) ( $x_1$ )	$\Psi$ ( $x_2$ )	$G_a$ , кг ( $x_3$ )	
				КамАЗ – 4310	Hummer M998 A2
Верхній	+1	40	0,055	15000	4600
Базовий	0	30	0,035	11500	3800
Нижній	-1	20	0,015	8000	3000

Таблиця 2

Матриця планування і результати оцінки витрат палива автомобіля КамАЗ – 4310 в різних умовах руху

№ з/п	$x_1(V_a)$	$x_2(\Psi)$	$x_3(G_a)$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$\left(\frac{x_1}{x_1}\right)^2$	$Q_e$	$Q_m$
1	-	-	-	+	+	+	1/3	35,2	35,6
2	+	-	-	-	-	+	1/3	29,5	29,8
3	-	+	-	-	+	-	1/3		64,1
4	+	+	-	+	-	-	1/3		37,8
5	-	-	+	+	-	-	1/3		41,0
6	+	-	+	-	+	-	1/3		37,3
7	-	+	+	-	-	+	1/3		79,0
8	+	+	+	+	+	+	1/3		74,0
9	0	-	-	0	0	+	-2/3	31,2	31,4

10	0	+	-	0	0	-	-2/3		60,1
----	---	---	---	---	---	---	------	--	------

Продовження табл. 2

№ з/п	$x_1(V_a)$	$x_2(\Psi)$	$x_3(G_a)$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$(x_1)^2$	$Q_e$	$Q_m$
11	0	-	+	0	0	-	-2/3		39,0
12	0	+	+	0	0	+	-2/3		78,4
13	0	0	+	0	0	0	-2/3		60,2
14	0	0	-	0	0	0	-2/3	58,8	58,4
15	+	0	+	0	+	0	1/3		56,2
16	-	0	-	0	+	0	1/3	60,4	60,9
17	+	0	-	0	-	0	1/3	53,4	53,1
18	-	0	+	0	-	0	1/3		66,2
19	0	+	0	0	0	0	-2/3		62,7
20	0	-	0	0	0	0	-2/3		35,4
21	+	0	0	0	0	0	1/3		52,0
22	-	0	0	0	0	0	1/3		63,0
23	+	+	0	+	0	0	1/3		67,0
24	-	-	0	+	0	0	1/3		38,0
25	+	-	0	-	0	0	1/3		32,2
26	-	+	0	-	0	0	1/3		67,1
27	0	0	0	0	0	0	-2/3		54,7

Перехід між натуральними та кодованими значеннями досліджуваних факторів здійснюється згідно з формулами переходу:

$$x_1 = \frac{V_a - 30}{10}; x_2 = \frac{\Psi - 0.035}{0.020}; x_3 = \frac{G_a - 11500}{3500}. \quad (1)$$

На першому етапі статистична обробка результатів реалізації матриці була обмежена (з умов мінімізації тривалості досліджень) лінійною моделлю взаємозв'язку витрати палива  $Q_S$  (л/100 км) і умов руху (перші 8 рядків табл. 2):

$$Q_S = 49,83 - 5,1x_1 + 13,9x_2 + 8,0x_3 - 2,73x_1x_2 + 2,93x_1x_3 + 4,78x_2x_3. \quad (2)$$

Однак дана модель не забезпечує достатньої точності відтворення отриманих значень  $Q_S$  згідно з табл. 2, що засвідчило явно нелінійний взаємозв'язок досліджуваних процесів. Повна реалізація матриці нелінійного дослідження (табл. 2) дозволила отримати регресійне рівняння нелінійного опису досліджуваних процесів у вигляді:

$$Q_S = 54,3 - 3,84x_1 + 15,04x_2 + 5,59x_3 - 1,34x_1x_2 + 1,73x_1x_3 + 4,08x_2x_3 - 0,49x_1^2 - 1,15x_2^2 + 1,47x_3^2. \quad (3)$$

Оцінка адекватності (відтворюваності) результатів згідно з табл. 2 і отриманого нелінійного опису в межах 0,2 – 13% у принципі дозволяє провести якісний і кількісний аналіз взаємозв'язку лінійної витрати палива  $Q_S$  з досліджуваними факторами: швидкістю руху  $V_a(x_1)$ , типом і станом дороги  $\Psi(x_2)$  і завантаженням автомобіля  $G_a(x_3)$ .

### Висновки

Парадоксальний, на перший погляд, лінійний

вплив збільшення швидкості руху  $V_a$  на зменшення  $Q_S$  є логічним для досліджуваного діапазону швидкостей руху 20 – 40 км/год (обмеженого з умов допустимого рівня комфортності на ґрунтових дорогах і пересіченій місцевості), де домінуючий вплив має послідовне використання 2, 3 і 4 передач у трансмісії.

При цьому у верхньому діапазоні роздавальної коробки підбір передавальних чисел автомобіля КамАЗ – 4310 орієнтований на домінуючі швидкості діапазону 50 – 80 км/год з використанням 5-ї прямої передачі.

Практично з 60 км/год починається класичне зростання витрати палива  $Q_S$ , обумовлене як суттєвим ростом аеродинамічної складової опору рухові, так і ростом питомої витрати палива  $g_e$  у функції частоти обертання колінчатого вала двигуна. Отримана модель (3) дозволяє констатувати:

– домінуючий вплив на формування  $Q_S$  повнопривідного автомобіля має тип і стан дороги  $\Psi(x_2)$ ;

– вплив завантаження автомобіля  $G_a$  при експлуатації на дорогах з деформованими поверхнями практично втричі менший у порівнянні з типом дороги;

– найбільший вплив суміщення серед досліджуваних факторів має комбінація типу дороги і завантаження, що логічно пояснюється ростом опору рухові через відповідні зміни деформації ґрунту і пробуксовування коліс;

– останнє пояснює і найбільший нелінійний

$(x_3^2)$  взаємозв'язок завантаження автомобіля та лінійної витрати палива  $Q_S$ .

Графічна ілюстрація діапазону реальної зміни  $Q_S$  для досліджуваних умов руху автомобіля КамАЗ – 4310 та заданої для експлуатації лінійної норми  $Q_S$  представлена на рис. 1, що свідчить про явну необхідність введення диференційованого нормування  $Q_S$  у залежності від умов руху.

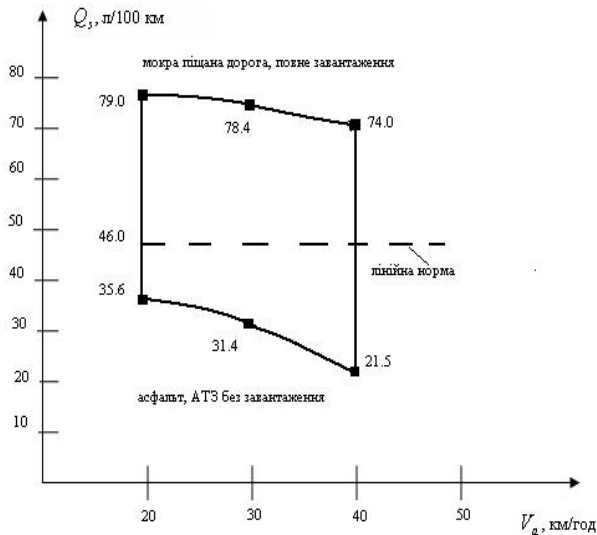


Рис. 1. Паливно-швидкісна характеристика автомобіля КамАЗ – 4310 при русі на різних типах доріг

## Список літератури

1. Гринченко И.В., Розов Р.А., Вольский С.Г. Колесные автомобили высокой проходимости. – М.: Машиностроение, 1967. – 240 с.
2. Нормы затрат топлива и смазочных материалов на автомобильном транспорте. 2 редакция / ДП „Державтотранс НДІ проект”, К., 2004. – 72 с. – (Затв. наказами Мінітрансу України № 893 від 17.12.2002 р. та № 99 від 16.02.2004 р.)
3. Налымов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М. Наука, 1965. – 340 с.
4. Грубель М.Г., Крайник Т.Л. Моделирование руху повнопривідного автомобіля на ґрунтових (піщаних) дорогах. – Львів: Науковий вісник НЛТУ, №17.5, 2007. – С. 109-116.
5. Крайник Л. В., Волошанський А. В., Грубель М. Г. Методологія багатфакторної експериментальної оцінки паливно-швидкісних характеристик багатоцільових автомобілів. – Львів: Машинознавство, 2006.

Надійшла до редколегії 13.09.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. П.М. Гашук, Національний університет «Львівська політехніка», Львів.