

УДК 629.113:662.766.31/38

М.В. Мельник

к.т.н.

Б.В. Ємець

к.т.н.

О.С. Поліщук

Житомирський національний агроекологічний університет

Рецензент – член редколегії «Вісник ЖНАЕУ» д.т.н. Лось Л.В.

ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОДУКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОВОГО ПАЛИВА ДЛЯ БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ

Встановлено, що доцільно обґрунтовувати продуктивну експлуатацію автомобілів на різних видах палива за допомогою комплексного показника – загальної енергоємності (ЗЕ). При роботі на генераторному газу автомобіль ГАЗ-53-12 має найменшу ЗЕ, при роботі цього ж автомобіля на стиснутому природному газу ЗЕ більша на 10 %. Проведеним математичним моделюванням отримано, що для прийнятих даних (тривалість експлуатації 185 год.) слід вважати оптимальним, коли експлуатація автомобіля ГАЗ-53-12 на генераторному газу на 10 год. (12 %) триваліша, ніж це було попередньо прийнято у вигляді максимального обмеження до експлуатації (45 год.), порівняно з роботою цього ж автомобіля на стиснутому природному газу.

Постановка проблеми

Проблема забруднення навколишнього середовища актуальна для багатьох країн і на сьогоднішній день набула глобального характеру. Найбільшими забруднювачами повітря в Україні, Житомирській області зокрема, є автомобільні транспортні засоби [2, 4, 5]. Бензиновий двигун внутрішнього згоряння на 1 км шляху викидає в навколишнє середовище близько 70 г оксиду вуглецю, 25 г оксиду азоту, свинець, оцтовий альдегід, бензол, ацетилен, бенз-х-пірен, бенз-х-атрофен і ще близько 220 шкідливих для живих організмів речовин. Поряд з цим, основним завданням транспорту є своєчасне, якісне і повне задоволення потреб народного господарства і населення в перевезеннях. Його ефективне функціонування є передумовою стабілізації, підйому і структурної перебудови економіки, забезпечення цілісності, національної безпеки й обороноздатності країни [3]. Для усунення цього протиріччя необхідно постійно здійснювати пошук альтернативних шляхів екологічної та продуктивної експлуатації автомобілів. Використання газового палива для двигунів автомобілів вважається, на даний час, однією з головних та ефективних альтернатив бензину. Робота виконана відповідно до Державної науково-технічної програми за номером 5.5 “Ресурсозберігаючі та енергоєфективні технології машинобудування” за напрямом “Розробка технологій конвертації двигунів на альтернативні види палива”, визначеної Міністерством освіти і науки України.

Аналіз останніх досліджень та постановка завдання

В автомобільних двигунах застосовують стиснутий природний газ (СПГ), що складається, в основному, з метану CH_4 , і зріджений нафтовий газ, до якого входять пропан C_3H_8 і бутан C_4H_{10} . У невеликих кількостях застосовуються й інші види газів: промисловий, світильний, коксовий, каналізаційний, генераторний (ГГ), що виробляється з твердого палива, та інші [1]. Будь-яке з цих газових палив є сумішшю горючих C_nH_m , CO , H_2 і негорючих N_2 , O_2 , CO_2 , H_2O газів.

Обґрунтувати продуктивну експлуатацію автомобілів на різних видах газового палива, використавши комплексні показники (продуктивність, загальну енергоємність тощо), за допомогою методу математичного моделювання з наступною перевіркою адекватності проведених теоретичних досліджень – основне завдання даного дослідження.

Об’єкт і методика дослідження

Вказані дослідження проведено на вітчизняних матеріалах та даних окремих зарубіжних країн. Об’єктом дослідження слугували комплексні техніко-експлуатаційні показники (продуктивність, загальна енергоємність) окремих автомобілів при перевезеннях. Використано комплекс сучасних методів

наукового дослідження: математичне моделювання, формальна та аналітична оптимізація прийняття рішень.

Результати досліджень

В працях [3, 4 та ін.] пропонується оцінювати ефективність використання автомобіля за таким узагальнюючими критеріями: продуктивність; економічність; непошкоджуваність (надійність, зручність перевезень, тощо) та ін. Але в останні роки для оцінки експлуатації різноманітної мобільної техніки використовують й інший комплексний показник – загальну енергоємність [4–6]. Якщо звести рекомендації щодо енергетичної оцінки експлуатації техніки, то у загальному випадку енергоємність $E_{e.z.}$ силової машини (енергетичного засобу) можна розрахувати за формулою [6]:

$$E_{e.z.} = m_{e.z.} \cdot e_{e.z.}, \quad (1)$$

де $m_{e.z.}$ – маса енергетичного засобу, т; $e_{e.z.}$ – енергетичний еквівалент, МДж/т.

Визначають загальну енергоємність експлуатації техніки $E_{e.z.m}$ за формулою [6]:

$$E_{e.z.m} = E_{нал.} + E_{пр.} + E_{екс.}, \quad (2)$$

де $E_{нал.}$ – загальна енергоємність спалювання палива, МДж; $E_{пр.}$ – загальна енергоємність затраченої праці, МДж; $E_{екс.}$ – загальна енергоємність затрат експлуатації (технічне обслуговування, ремонт тощо), МДж.

Загальну енергоємність спалювання палива $E_{нал.}$ розраховують за формулою:

$$E_{нал.} = m_{нал.} \cdot e_{нал.}, \quad (3)$$

де $m_{нал.}$ – маса палива, кг; $e_{нал.}$ – енергетичний еквівалент спалювання палива, МДж/кг [6].

Загальну енергоємність затраченої праці $E_{пр.}$ (або експлуатації автомобіля $E_{екс.}$) також визначають як добуток $p_{пр}$ або $p_{екс}$ (трудомісткість виконання операції або експлуатації автомобіля, люд.год.) і $e_{пр}$ або $e_{екс}$ (енергетичний еквівалент затраченої праці або експлуатації автомобіля, МДж/люд.год.) відповідно.

Час виконання операції τ розраховують через S (шлях, пройдений автомобілем за час експлуатації, км) і V (середню швидкість, яку розвиває автомобіль, км/год.).

Для обґрунтування ефективності експлуатації автомобілів на різних видах палива запропоновано таку модель:

$$\begin{cases} z = p_1 \cdot x_1 + K + p_n \cdot x_n \\ x_1 + K + x_n \leq F \\ a_{11} \cdot x_1 + K + a_{1n} \cdot x_n \leq R_{a1} , \\ a_{k1} \cdot x_1 + K + a_{kn} \cdot x_n \leq R_{ak} \\ 0 \leq x_1 \leq c_1 \cdot F \\ 0 \leq x_n \leq c_n \cdot F \end{cases} \quad (4)$$

де z – цільова функція, що визначає основний критерій оптимальності – максимізацію продуктивності автомобіля; p_1, \dots, p_n – продуктивність кожного

автомобіля, який розглядається в процесі експлуатації; F – фонд часу експлуатації визначеної множини автомобілів; x_1, \dots, x_n – частина фонду часу експлуатації F кожного автомобіля; c_1, \dots, c_n – граничні обмеження часу експлуатації кожного автомобіля; R_{a_1}, \dots, R_{a_k} – загальний енергетичний ресурс різних видів енергоджерел; $\begin{pmatrix} a_{11}, K & a_{1n} \\ a_{k1}, K & a_{kn} \end{pmatrix}$ – загальна енергоемність різних видів

палива, затрат праці та експлуатації.

У даній моделі допущено ряд спрощень протікання реальних процесів. Розглянемо їх. Продуктивність кожного автомобіля визначається на основі середньої швидкості V експлуатації автомобіля, але у відношенні не до загального пробігу, а до часу виконання експлуатаційного завдання. В даному випадку це зручніше, оскільки є можливість врахувати дійсний час роботи автомобіля. Крім того, під автомобілем (силовою машиною) не обов'язково розуміти автомобіль як такий, це може бути, наприклад, трактор.

Оцінимо комплексним показником (загальна енергоемність) ефективність експлуатації автомобіля ГАЗ-53-12, скориставшись наступним прикладом.

Автомобілем ГАЗ-53-12 транспортуємо мінеральні добрива на відстань 5 км, виробіток має скласти 15 т за 1 год. При цьому витратили 0,8 кг бензину, 0,07 люд./год. праці водія. Загальну енергоемність спалювання палива $E_{нал.}$ розраховуємо за формулою (3), у нашому випадку – це 43,2 МДж (врахувавши енергетичний еквівалент бензину 54,4 МДж/кг [6]). Загальна енергоемність затраченої праці $E_{пр.}$ дорівнює 4,2 МДж (врахувавши енергетичний еквівалент затраченої праці 60,3 МДж·год [6]). Загальна енергоемність затрат експлуатації $E_{екс.}$ з врахуванням часу виконання операції 0,163 год., склала 2,4 МДж. Розрахувавши формулу (2), визначили загальну енергоемність цієї транспортної операції – 49,6 МДж.

Якщо автомобіль ГАЗ-53-12, при виконанні цієї ж транспортної операції, буде використовувати як пальне не бензин, а один з видів газового палива (див. вище), то загальна енергоемність його ефективності експлуатації значно зміниться. Так енергетичний еквівалент, наприклад, природного газу складає 49,4 МДж/кг за 1 м³, загальна енергоемність його спалювання при виконанні згаданої вище транспортної операції розраховується як 50,2 МДж. Крім того, слід враховувати, що при роботі на газовому паливі двигун автомобіля втрачає частину своєї ефективної потужності (на СПГ – до 20 %, на ГГ – до 38 % [4]), і, як наслідок, зменшується швидкість руху автомобіля та його продуктивність. В таблиці 1 представлено дані розрахунку загальної енергоемності виконання транспортної операції перевезення мінеральних добрив автомобілем ГАЗ-53-12 на різному пальному з врахуванням зазначеного вище.

Таблиця 1. Дані розрахунку енергоємності експлуатації автомобіля ГАЗ-53-12 на різному пальному

Вид палива	Продуктивність, т/год.	Витрата палива, кг/м ³	Затрати праці, люд./год.	Енергоємність, МДж			
				експлуатації	палива	праці	разом
Бензин	15,0	0,8	0,07	2,4	43,2	4,2	49,8
СПГ	13,5	1,0	0,08	2,5	49,4	4,8	56,7
Ген. газ (ГГ)	11,2	1,9	0,14	5,1	37,2	8,4	50,7

Аналізуючи дані таблиці 1, зауважимо, що при роботі двигуна автомобіля ГАЗ-53-12 на ГГ загальна енергоємність виконання транспортної операції перевезення мінеральних добрив найменша серед газових палив, але також найменша продуктивність виконання й розглянутої вище операції. Тому для обґрунтування ефективності експлуатації автомобіля ГАЗ-53-12 на різному пальному використаємо модель, що записана формулою (4) та визначає основний критерій оптимальності – максимізацію продуктивності автомобіля.

Порівняємо ефективність експлуатації автомобіля ГАЗ-53-12 на ГГ з роботою автомобіля цієї ж марки на СПГ. Фонд часу F обох автомобілів ГАЗ-53-12 на визначений період експлуатації прийнято рівним 185 год. Прийнято також максимально допустиме обмеження роботи автомобіля на ГГ: $c_1 = 0,25$, відповідно c_2 максимально дорівнює 0,75. Обмеження роботи автомобіля на ГГ приймаємо через більш складне та трудомістке технічне обслуговування, невизначеність в оплаті праці водія. Виходячи з того, що введення в експлуатацію автомобіля на ГГ має дати деяку економічну вигоду проведення операції транспортування добрив, матеріальні ресурси, відповідно до фонду часу F , виділено дещо менші, ніж для роботи на СПГ. Прийнято: $R_{a1} = 215500$ МДж (затрати на паливо, якого витрачається: СПГ – $39 \text{ м}^3/100 \text{ км}$ [8], ГГ – $158 \text{ м}^3/100 \text{ км}$ [4]) та $R_{a2} = 1150$ МДж (затрати експлуатаційні). Розрахувавши модель, що записана формулою (4), за допомогою програми "Math CAD Pro", отримано, що фонд часу роботи автомобіля з СПГ оптимальним може бути в межах 130–140 год., відповідно з ГГ – 45–55 год. Тобто для прийнятих даних слід вважати оптимальним, коли експлуатація автомобіля на ГГ на 10 год. (12 %) триваліша, ніж це було попередньо прийнято у вигляді максимального обмеження до експлуатації. За визначеним теоретичним часом роботи автомобіля ГАЗ-53-12 на різному пальному розраховується маса вантажу (m_s), який він може перевезти: при роботі на СПГ – 560 т, на ГГ – 135 т. Теоретичне обґрунтування було перевірено за методом прямого вимірювання маси вантажу (табл. 2), де Δ_n – довірча межа похибки вимірювання; ε – відносна похибка результатів вимірювання; ε_m – відносна похибка моделювання. Аналіз даних таблиці 2 показує, що представлені результати отриманих даних з вимірювання маси вантажу та визначення випадкової похибки цих вимірювань при ймовірності $P = 0,95$ відповідають загальним вимогам, які прийняті для досліджень в галузі техніки.

Таблиця 2. Результати визначення випадкової похибки вимірювання маси вантажу

Паливо	$\langle m_{в.с} \rangle$, т	$\sigma_{\langle m \rangle}$	Δ_n	ε	ε_n
СПГ	557,7	0,72	3,1	0,6	0,4
Ген. газ (ГГ)	130,6	1,27	5,7	4,9	3,3

Аналіз отриманих результатів моделювання показує, що продуктивність експлуатації автомобіля ГАЗ-53-12 на газовому паливі, порівняно з бензиновим, становить значно меншу величину, але тут вона визначена лише для сумарного фонду експлуатації у 185 год. При збільшенні парку автомобілів та їх фонду експлуатації значно зростає ефективність використання автомобіля ГАЗ-53-12 на газовому паливі (рис. 1).

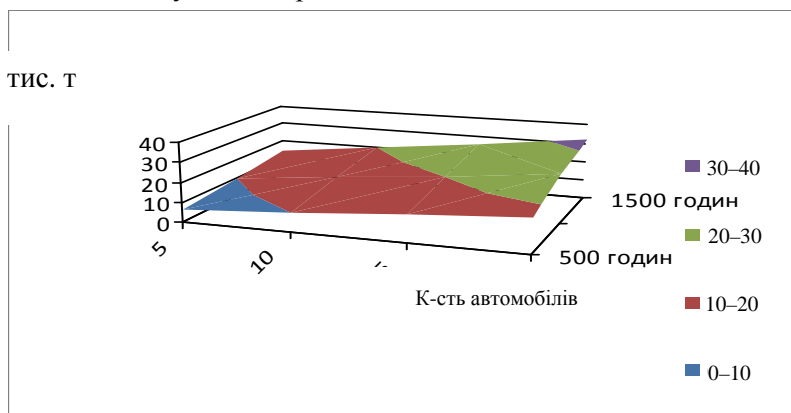


Рис. 1. Залежність річного об'єму перевезення вантажу автомобілем ГАЗ-53-12 на газовому паливі (тис. т) від фонду експлуатації (год.) та кількості автомобілів

Висновки

1. Виконувати оцінку ефективності експлуатації автомобіля в сучасних умовах тільки за традиційними узагальнюючими критеріями (продуктивність, економічність, надійність тощо) недостатньо. Доцільно обґрунтовувати продуктивну експлуатацію автомобілів на різних видах палива також за допомогою комплексного показника – загальної енергоємності. При роботі на генераторному газу (ГГ) автомобіль ГАЗ-53-12 має найменшу загальну енергоємність; якщо порівняти роботу цього ж автомобіля на стиснутому природному газу (СПГ), то загальна енергоємність більша на 10 %. При цьому слід враховувати, що продуктивність роботи автомобіля ГАЗ-53-12 на ГГ також найменша.

2. Математично встановлено, що для прийнятих даних (тривалість експлуатації 185 год.), слід вважати оптимальним, коли експлуатація автомобіля ГАЗ-53-12 на ГГ на 10 год. (12 %) триваліша, ніж це було попередньо прийнято у вигляді максимального обмеження до експлуатації (45 год.), порівняно з роботою цього ж автомобіля на СПГ.

3. Проведене математичне моделювання показує, що можлива локальна експлуатація автомобіля ГАЗ-53-12 на ГГ поряд з використанням іншого палива для такого автомобіля, але остаточний висновок може бути прийнятий в перспективі на основі багатofакторних експериментальних досліджень.

Література

1. Автомобільні двигуни : підручник / *Ф.І. Абрамчук, Ю.Ф. Гутаревич, К.С. Долганов* та ін. – К. : Арістей, 2007. – 476 с.
2. *Божко О.А.* Традиційному топливу єсть альтернатива / *О.А. Божко* // *Новости теплоснабження*. – 2003. – № 10. – С. 28–30.
3. *Бумага О.Д.* Покращення показників техніко-експлуатаційних властивостей міських газобалонних автобусів : автореф. дис. ... к-та техн. наук : 05.22.02 / *О.Д. Бумага* // *Нац. транспорт. ун-т*. – К., 2005. – 20 с.
4. *Ємець Б.В.* Визначення загальної енергоємності використання автомобілів з газогенераторною установкою в екологічних агротехнологіях / *Б.В. Ємець* // *Вісник ДАУ*. – 2005. – № 1. – С. 208–214.
5. *Лось Л.В.* Проблема енергоносіїв та її вирішення в сільському господарстві України біоенергетичними газогенераторами / *Л.В. Лось, Н.М. Цивенкова* // *Вісник ДАУ*. – 2004. – № 2. – С. 3–21.
6. *Медведський О.К.* Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в с.-г. виробництві. / *О.К. Медведський, П.І. Іваненко*. – К. : Урожай, 1988. – 186 с.
7. *Сирота В.І.* Автомобілі. Основи конструкції, теорія : навч. посібн. / *В.І. Сирота, В.П. Сахно*. – 2-ге вид., випр та доп. – К. : Арістей, 2008. – 288 с.
8. Трактори та автомобілі. Ч. 1. Автотракторні двигуни : навч. посіб. / за ред. проф. *А.Т. Лебедева*. – К. : Вища школа, 2000. – 357 с.
9. *Філіпова Г.А.* Експериментальні дослідження тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності газобалонних автомобілів / *Г.А. Філіпова* // *Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів*. – К., 1997. – Вип. 3. – С. 64–66.
10. *Mitschke M.* *Dynamik der Kraftfahrzeuge* / *M.Mitschke* – Berlin–Heidelberg–New-York : Springer–Verlag, 1972. – 529 p.