

Бажинов О.В.¹, професор кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів імені М.Я. Говорущенко, д.т.н., професор

Бажинова Т.О.², інженер-програміст, к.т.н.

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет;

²Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

ВИЗНАЧЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ГІБРИДНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Сьогодні на ринок виходять гібридні транспортні засоби, що водночас з витратою палива витрачають електричну енергію, яку вони можуть запасати від електричної мережі. Автомобілі з електроприводом у режимі «тільки електрика» споживають лише електричну енергію, яку вони отримують від спеціальних зарядних станцій. Тому витрату енергоносіїв автотранспортних засобів треба перераховувати з урахуванням як витрати палива, так і витрати електричної енергії. Крім того, для визначення дійсної витрати та вартості енергоносіїв необхідно еквівалентно перерахувати вартість розходу електричної енергії у еквівалентну витрату палива.

Правилами ЄЕК ООН № 83-05:2005 «Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження колісних транспортних засобів стосовно викидів забруднювальних речовин залежно від палива, необхідного для двигунів», IDT рекомендовано для гібридних транспортних засобів, які заряджаються за допомогою зовнішнього зарядного пристрою, з перемикачем робочих режимів для визначення паливної економічності (табл.).

Таблиця 1 – Приклад вибору робочих режимів

Гібридні режими Заряд батареї	Тільки електрика Гібридний режим	Тільки паливо Гібридний режим	Тільки електрика Тільки паливо Гібридний режим	Гібридний режим (спортивний, економічний, міський, позаміський)
Умова А. Повна зарядка	Гібридний режим	Гібридний режим	Гібридний режим	Гібридний режим з переважним споживанням електроенергії
Умова В. Мінімальна зарядка	Гібридний режим	Споживання палива	Споживання палива	Режим з переважним використанням палива

Проводиться два випробування з дотриманням наступних умов:

– умова А: Випробування проводиться з повністю зарядженим пристроєм акумулювання електричної енергії / потужності;

– умова В: Випробування проводиться при мінімальній зарядці (максимальній розрядці) пристрою акумулювання електричної енергії / потужності. Перемикач робочих режимів встановлюється як показано в табл..

Розрахунок потужності проводиться за такою формулою:

$$P = \frac{M \cdot V \cdot \Delta V}{t}, \quad (1)$$

де V – швидкість під час випробування, м/с;

ΔV – відхилення швидкості від швидкості V , м/с;

M – контрольна маса, кг;

t – час, с.

Потужність P , яка була визначена на випробувальному треку, коригується з урахуванням вихідних умов навколишнього середовища наступним чином

$$P_{\text{корегована}} = K \cdot P_{\text{вимірювальна}}; \quad (2)$$

$$K = \frac{R_R}{R_T} \cdot [1 + K_R(t - t_0)] + \frac{R_{AERO}}{R_T} \cdot \frac{(\rho_0)}{\rho}, \quad (3)$$

де R_R – опір коченню при швидкості V ;

R_{AERO} – аеродинамічний опір при швидкості V ;
 $R_T = R_R + R_{AERO}$ – загальний опір руху;
 K_R – поправочний коефіцієнт на температуру, обумовлену опором коченню, який вважається рівним $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$, або поправочний коефіцієнт, зазначений заводом-виробником і схвалений адміністративним органом;
 t – температура повітря, $^\circ\text{C}$;
 t_0 – вихідна температура навколишнього середовища, $t_0 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$;
 ρ – густина повітря в умовах випробування;
 ρ_0 – густина повітря у вихідних умовах ($20 \text{ } ^\circ\text{C}$, 100 кПа).

Співвідношення $\frac{R_R}{R_T}$ і $\frac{R_{AERO}}{R_T}$ вказуються заводом-виробником транспортного засобу. Якщо ці величини відсутні, то за згодою заводу-виробника та відповідної технічної служби можна використовувати значення, отримані за допомогою наведеної нижче формули для співвідношення «опір коченню / загальний опір»:

$$\frac{R_R}{R_T} = a \cdot M + b, \quad (4)$$

де M – маса транспортного засобу, кг;
 a і b – коефіцієнти, причому для кожної швидкості коефіцієнти a і b будуть різні (табл.)

Для вимірювання обертового моменту необхідно розігнати транспортний засіб до обраної постійної швидкості V . Виміряти обертовий момент C_t і швидкість протягом не менше 20 с. Точність системи реєстрації даних повинна становити не менше $\pm 1 \text{ Нм}$ для обертового моменту $\pm 0,2 \text{ км/год}$ для швидкості.

Таблиця 2 – Співвідношення швидкості та коефіцієнтів a і b

V (км/год)	a	b
20	$7,24 \dots 10^{-5}$	0,82
40	$1,59 \dots 10^{-4}$	0,54
60	$1,96 \dots 10^{-4}$	0,33
80	$1,85 \dots 10^{-4}$	0,23
100	$1,63 \dots 10^{-4}$	0,18
120	$1,57 \dots 10^{-4}$	0,14

Зміни обертового моменту C_t і швидкості не повинні перевищувати 5 % протягом кожної секунди періоду вимірювання. Обертальний момент C_{t1} являє собою середній обертальний момент, отриманий за формулою:

$$C_{t1} = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} C(t) dt. \quad (5)$$

Випробування проводиться три рази в кожному напрямку. Визначається середній обертовий момент за цими шістьма вимірами для вихідної швидкості. Якщо середня швидкість відрізняється більше, ніж на 1 км/год від вихідної швидкості, то для розрахунку середнього обертового моменту використовується лінійна регресія. Визначається середнє значення цих двох моментів, C_{t1} і C_{t2} .

Швидкість повітряного потоку (Q_S) в кожній точці випробування розраховується в стандартних одиницях ($\text{м}^3/\text{хв}$), за даними витратоміра із застосуванням методу, запропонованого заводом-виробником. Потім швидкість повітряного потоку перетворюється в струм, що подається насосом (V_0) в м^3 на один оберт при абсолютних значеннях тиску і температури на вхідному отворі насоса

$$V_0 = \frac{Q_S}{n} \cdot \frac{T_p}{273,2} \cdot \frac{101,33}{P_p}, \quad (6)$$

де V_0 – швидкість потоку, що подається насосом, при T_p та P_p , $\text{м}^3/\text{об.}$,

Q_S – повітряний потік при $101,33 \text{ кПа}$ і $273,2 \text{ К}$ в $\text{м}^3/\text{хв}$;

T_p – температура на вхідному отворі насоса, К ;

P_p – абсолютний тиск на вхідному отворі насоса, кПа ;

n – швидкість роботи насоса, об/хв .

Потім для компенсації взаємодії змін тиску в насосі, викликаних швидкістю його роботи, і швидкості прослизання насоса розраховується кореляційна функція (X_0), що визначає залежність між швидкістю роботи насоса (n), перепадом тиску на вхідному і вихідному отворах насоса й абсолютним тиском на вихідному отворі насоса за формулою:

$$X_0 = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{\Delta P_p}{P_e}}, \quad (7)$$

де X_0 – кореляційна функція;

ΔP_p – перепад тиску на вхідному і вихідному отворах насоса, кПа;

P_e – абсолютний тиск на вихідному отворі насоса, кПа.

Вирівнювання методом найменших квадратів проводиться для отримання калібрувальних рівнянь:

$$V_0 = D_0 - M(x_0), \quad (8)$$

$$n = A - B \cdot \Delta P_p, \quad (9)$$

де D_0 , M , A і B – постійні кутові коефіцієнти, що описують криві.

Навіть цей спосіб, як і розглянуті вище випробувальні цикли на паливну економічність та екологічну безпеку, не зовсім підходять для оцінювання витрати палива та електричної енергії гібридними транспортними засобами. Це пов'язано з тим, що ТЗ із електроприводом мають режим «тільки електрика» та можуть розганятися на електричній тязі до високих швидкостей. Це означає, що весь цей цикл або його частину гібридний транспортний засіб подолає за рахунок дешевої електричної енергії. При цьому в умовах експлуатації гібридний транспортний засіб може застосовувати як електричний двигун, так і двигун внутрішнього згоряння. ДВЗ у даному випадку споживає набагато більше пального, в порівнянні з системою електричного привода, що отримує живлення від акумуляторної батареї [1, 2].

Тому для відповідного оцінювання витрати енергоносіїв (палива та електричної енергії) у гібридних транспортних засобах можна, наприклад, застосовувати в їх системах керування спеціальні інформаційні системи, які будуть фіксувати витрату палива та електричної енергії за весь час експлуатації автомобіля. Ці дані вже є у системі керування ДВЗ та системі керування акумуляторними батареями BMS (Battery Management System), яка ставиться на кожному акумуляторний елемент в батареї для керування процесом «заряд-розряд». Тільки ці дані про загальну витрату енергоносіїв будуть оцінювати економічність гібридних транспортних засобів в експлуатаційних умовах. Слід зазначити, що вартість енергоносіїв буде відрізнятися не тільки в різних країнах, але й у одній і тій самій, але у різних умовах експлуатації, наприклад, улітку або взимку. Всі ці дані можуть бути подані на сайті виробника транспортного засобу та постійно оновлюватися. Тільки такі дані будуть передавати конкретні експлуатаційні витрати в кожному регіоні та давати покупцеві більш достовірну інформацію про паливну та електричну економічність гібридних транспортних засобів.

Слід зазначити, що на паливну економічність гібридних транспортних засобів більшою мірою впливає майстерність водія, стиль та характер водіння, умови експлуатації, маси. Це пов'язано з більш високим ККД гібридної силової установки в порівнянні з ККД автомобіля з ДВЗ. Саме тому в гібридних транспортних засобах застосовуються спеціальні системи, які навчають водіїв економному водінню.

Висновки. Вирішено важливе науково-прикладне завдання підвищення ефективності використання гібридних транспортних засобів за рахунок удосконалення методу визначення витрат енергоносіїв у різних експлуатаційних умовах.

Література

1. Бажинова Т.О., Борисенко А.О. Експлуатаційні властивості гібридних автомобілів: монографія, Х.: ФОП Бровін О.В., 2016. 104с.
2. Бажинов О.В. Метод визначення ефективної роботи силової установки гібридного автомобіля / Бажинов О.В., Бажинова Т.О., Заверуха Р.Р. // Журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2021, №21, с.180-187.