

## ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ АВТОМОБІЛЯ

Ефективність експлуатації гібридної силової установки автомобіля в значній мірі залежить від можливості отримання достовірної та оперативної інформації про її технічний стан та залишковий ресурс.

Найбільш важливими і підтвердженими зносу агрегати гібридної силової установки є двигун внутрішнього згоряння та комірки тягової акумуляторної батареї [1].

При визначенні ресурсу гібридної силової установки виникає потреба в аналітичному вираженні швидкості зношування пар залежно від вантажно-швидкісного режиму, зовнішніх умов та інших факторів [1-6].

Ресурс гібридної силової установки до моменту відправки в ремонт можна визначити за рівнянням

$$L_{\text{гсу}} = F_{\text{дон}} V_a / 60I + \epsilon_{\text{акб}} n_{\text{зар}} / K_e H_{\text{л}}, \text{ км}, \quad (1)$$

де  $F_{\text{дон}}$  – сумарний допустимий знос пар двигуна внутрішнього згоряння;

$V_a$  – середня швидкість руху автомобіля за період експлуатації, км/год;

$I$  – швидкість зношування пар, г/хв;

$\epsilon_{\text{акб}}$  – ємність тягової акумуляторної батареї, кВт/год;

$n_{\text{зар}}$  – кількість циклів заряду тягової акумуляторної батареї за весь період експлуатації;

$H_{\text{л}}$  – середня витрата палива за період експлуатації батареї, л/100 км;

$K_e$  – коефіцієнт співвідношення енергоефективності палива (бензину, дизельного палива) до електроенергії (1 літр палива = 11 кВт-год електроенергії).

Сумарний допустимий знос пар тертя двигуна внутрішнього згоряння можна визначити розрахунковим шляхом

$$F_{\text{дон}} = 0,63 S_n D_{\text{ц}} X_{\text{ц}} \cdot \delta_{\text{max}}, \quad (2)$$

де  $S_n$  – щільність металу, г/мм<sup>3</sup>;

$D_{\text{ц}}$  – діаметр циліндра, мм;

$S_n$  – хід поршня, мм;

$X_{\text{ц}}$  – кількість циліндрів;

$\delta_{\text{max}}$  – допустиме зношування циліндрів двигуна внутрішнього згоряння, мм.

Швидкість зношування пар двигуна внутрішнього згоряння можна визначити по накопиченню продуктів зносу в маслі між його заміни при технічному обслуговуванні. Періодичність заміни олії у двигуні внутрішнього згоряння призначається за наявності граничної концентрації продуктів зносу, яка становить  $K_m = 30-50$  г на 1000 л.

Отже, швидкість зношування пар двигуна внутрішнього згорання складе

$$I = (V_{onm} \cdot Q_m \cdot K_M / 6 L_{mo}) 10^{-4} \text{ г/хв}, \quad (3)$$

де  $V_{onm}$  – швидкість автомобіля, при якій отримано найбільшу періодичність технічного обслуговування або заміни масла в двигуні, км/год;

$Q_m$  – об'єм масла в картері двигуна внутрішнього згорання, л;

$L_{mo}$  – періодичність заміни олії у двигуні, км.

Швидкість автомобіля, при якій спостерігається найменше зношування гібридної силової установки складе

$$V_{onm} = 0,1 K_e g_{min} N_{max} \gamma / H_{лmin}, \text{ км/год}, \quad (4)$$

де  $N_{max}$  – максимальна потужність двигуна внутрішнього згорання, квт;

$\gamma$  – питома вага палива, г/г;

$H_{лmin}$  – мінімальна витрата палива, л/100км;

$g_{min}$  – мінімальна питома витрата палива, г/квт год;

$K_e$  – коефіцієнт використання потужності двигуна внутрішнього згорання в гібридній силіній установці (становить у межах  $K_e = 0,20-0,25$ ).

Між ресурсом двигуна внутрішнього згорання та витратою палива існує прямий зв'язок.

Це теоретично та експериментально доведено у роботі [2].

Такий взаємозв'язок дає підставу висловити таке. При експлуатації гібридного автомобіля ресурс силової установки можна оцінювати за сумарною витратою палива.

Отже, добуток пробігу автомобіля, при якому гібридна силова установка вимагатиме ремонт, на витрату палива в л/100км пробігу є сумарна витрата палива.

Ця величина для конкретної гібридної силової установки буде постійною.

При експлуатації автомобіля ресурс гібридної силової установки зменшується на стільки, скільки збільшується витрата палива.

Ця закономірність кладеться в основу оцінки ресурсу гібридної силової установки автомобіля за сумарною витратою палива.

Витрата палива та швидкість руху є енергетичними показниками використання гібридних автомобілів у конкретних умовах експлуатації.

З наведених вище рівнянь випливає, що зі зменшенням витрати палива та підвищенням швидкості руху автомобіля спостерігається збільшення ресурсу гібридної силової установки.

Заходи спрямовані на зниження витрати палива та підвищення середніх швидкостей руху є одночасно дієвими та на підвищення ресурсу гібридної силової установки автомобілів.

Ефективність витрати ресурсу гібридної силової установки автомобіля можна оцінити критерієм показника ресурсу таким чином:

$$K_p = H_{лmin} V_a / H_{ф} V_{onm}, \quad (5)$$

де  $H_f$  – фактична витрата палива, л/100км пробігу.

З рівняння (5) випливає, що управління витратою ресурсу гібридної силової установки можливе за рахунок зміни середньої швидкості руху автомобіля та фактичною витратою палива.

На фактичну витрату палива істотно впливають майстерність водія водіння автомобіля, а також зовнішні умови експлуатації (температура повітря, вологість, дорожні умови тощо).

### Література

1. Gröschel M., Roth-Dietrich G., Neundorf C. C. Anwendungspotenziale der Künstlichen Intelligenz im Autohandel // Künstliche Intelligenz in der Anwendung. – Springer Vieweg, Wiesbaden, 2021. – С. 51-73.

2. Webber, Thomas. *Methods for the Improvement of Power Resource Prediction and Residual Range Estimation for Offroad Unmanned Ground Vehicles*. Diss. University of Brighton, 2017. 249 p.

3. Бажинов О.В. Метод визначення ефективної роботи силової установки гібридного автомобіля» / Бажинов О.В., Заверуха Р.Р., Бажинова Т.О. // Журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів». 2021 №21 С. 180-187

4. Бажинов О.В., Заверуха Р.Р., Бажинова Т.О. Інформаційна комплексна система діагностики гібридних і електромобілів //Науковий журнал «Інженерія природокористування». 2020. №. 2 (16). С. 12-18.

5. ISO 12405-4:2018. Electrically propelled road vehicles — Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems. Part 4: Performance testing. Geneva: ISO, 2018.

6. State of Charge Estimation for Lithium-Ion Batteries Based on an Improved Extended Kalman Filter / Y. Xing, W. He, M. Pecht // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2022. Vol. 71, Issue 2. P. 1205–1216.

*Науковий консультант: Бажинов Олексій Васильович, д.т.н., проф. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.*

Чирков Дмитро, ст. гр. А-41-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Chirkov@gmail.com

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ VOLKSWAGEN В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Гальмівні властивості – це одні з експлуатаційних властивостей легкових автомобілів, які в тій чи іншій мірі, пов'язані, як з конструктивно-ваговими параметрами автомобіля, його гальмівної системи, типом і конструкцією застосовуваних гальмівних механізмів, гальмівного привода, так і характером