

**Бажинов О.В.,
Заверуха Р.Р.**
Харківський національний
автомобільно-дорожній університет
E-mail: alexey.bazhinov@gmail.com

**ДІАГНОСТИКА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СИСТЕМ
СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ГІБРИДНОГО
АВТОМОБІЛЯ**

УДК 629.113

DOI 10.37700/ts.2020.21.195-200

Бажинов О.В., Заверуха Р.Р.. «Діагностика функціональних систем силової установки гібридного автомобіля»

Між технічним станом гібридної силової установки, енергетичними витратами і крутним моментом на колінчастому валу двигуна внутрішнього згоряння існує прямий зв'язок. Такий взаємозв'язок дає підставу висловити наступне: при експлуатації гібридних автомобілів в певних умовах технічний стан гібридної силової установки за даний період часу можна оцінювати за енергетичними витратами. Це дозволяє раціонально планувати режими роботи та визначення оптимального терміну експлуатації конкретного гібридного автомобіля, що знижує витрати на його обслуговування. Знання технічного стану гібридної силової установки необхідні для створення ремонтної бази та обґрунтування потреби в запасних частинах.

Розроблено теоретичні основи методу діагностики технічного стану та залишкового ресурсу гібридної силової установки транспортного засобу. Отримано метод діагностування технічного стану гібридної силової установки, який визначає залежність критерія показника ресурсу від енергетичних витрат автомобіля. Швидкість руху автомобіля, напруга і струм тягової акумуляторної батареї, час впорскування палива форсункою та швидкість обертання колінвалу двигуна внутрішнього згоряння є енергетичними показниками діагностування технічного стану та залишкового ресурсу гібридної силової установки транспортного засобу.

Витрати енергії (палива, електроенергії) визначаються вантажно-швидкісним режимом гібридного автомобіля. На цій підставі енергетичні витрати визначають при заданих умовах експлуатації ресурс силової установки гібридного автомобіля. Крім того, діагностична модель оцінки технічного стану силової установки гібридного автомобіля інваріантна різним силовим установкам.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що отримані наукові результати становлять єдиний комплекс досліджень (концепція, принципи, методи та математичні моделі), запропоновано методіку діагностування технічного стану та визначення залишкового ресурсу гібридної силової установки транспортного засобу. Наведені дослідження складають теоретичну базу для діагностики технічного стану агрегатів гібридної силової установки, наукового обґрунтування базових діагностичних параметрів гібридних автомобілів.

Ключові слова: діагностика, гібридний автомобіль, силова установка, тягова акумуляторна батарея, метод, витрата пального, двигун внутрішнього згоряння.

Бажинов А.В., Заверуха Р.Р.. «Диагностика функциональных систем силового двигателя гибридного автомобиля»

Между техническим состоянием гибридной силовой установки, энергетическими затратами и крутящим моментом на коленчатом валу двигателя внутреннего сгорания существует прямая связь. Такая взаимосвязь дает основание высказать следующее: при эксплуатации гибридных автомобилей в определенных условиях техническое состояние гибридной силовой установки за данный период времени можно оценивать по энергетическим затратам. Это позволяет рационально планировать режимы работы и определение оптимального срока эксплуатации конкретного гибридного автомобиля, снижает затраты на его обслуживание. Знание технического состояния гибридной силовой установки необходимы для создания ремонтной базы и обоснование потребности в запасных частях.

Разработаны теоретические основы метода диагностики технического состояния и остаточного ресурса гибридной силовой установки транспортного средства. Получено метод диагностирования технического состояния гибридной силовой установки, который определяет зависимость критерия показателя ресурса от энергетических затрат автомобиля. Скорость движения автомобиля, напряжение и ток тяговой аккумуляторной батареи, время впрыска топлива форсункой и скорость вращения коленвала двигателя внутреннего сгорания являются энергетическими показателями диагностирования технического состояния и остаточного ресурса гибридной силовой установки транспортного средства.

Затраты энергии (топлива, электроэнергии) определяются погрузочно-скоростным режимом гибридного автомобиля. На этом основании энергетические затраты определяют при заданных условиях эксплуатации ресурс силовой установки гибридного автомобиля. Кроме того, диагностическая модель оценки технического состояния силовой установки гибридного автомобиля инвариантна различным силовым установкам.

Практическое значение полученных результатов заключается в том, что полученные научные результаты составляют единый комплекс исследований (концепция, принципы, методы и математические модели), предложена методика диагностирования технического состояния и определения остаточного ресурса гибридной силовой установки транспортного средства. Приведенные исследования составляют теоретическую

базу для діагностики технічного стану агрегатів гібридної силової установки, научного обґрунтування базових діагностичних параметрів гібридних автомобілів.

Ключевые слова: діагностика, гібридний автомобіль, силова установка, тягова акумуляторна батарея, метод, расход горючего, двигатель внутреннего сгорания.

O. Bazhinov, R. Zaverukha "Diagnostics of functional systems of the hybrid vehicle power plant"

There is a direct relationship between the technical condition of a hybrid power plant, energy costs and torque on the crankshaft of an internal combustion engine. This relationship gives reason to state the following: when operating hybrid vehicles under certain conditions, the technical condition of the hybrid power plant for a given period of time can be assessed in terms of energy costs. This makes it possible to rationally plan the operating modes and determine the optimal service life of a particular hybrid vehicle, and reduce the cost of its maintenance. Knowledge of the technical condition of the hybrid power plant is necessary to create a repair base and justify the need for spare parts.

The theoretical foundations of the method for diagnosing the technical condition and residual life of a hybrid power plant of a vehicle have been developed. A method for diagnosing the technical state of a hybrid power plant is obtained, which determines the dependence of the criterion of the resource indicator on the energy consumption of the vehicle. Vehicle speed, voltage and current of the traction battery, fuel injection time by an injector and crankshaft rotation speed of an internal combustion engine are energy indicators for diagnosing the technical condition and residual life of a hybrid power plant of a vehicle.

Energy (fuel, electricity) costs are determined by the loading speed of the hybrid vehicle. On this basis, the energy costs are determined under the given operating conditions the resource of the power plant of the hybrid vehicle. In addition, the diagnostic model for assessing the technical state of the power plant of a hybrid vehicle is invariant to various power plants.

The practical significance of the obtained results lies in the fact that the obtained scientific results constitute a single complex of studies (concept, principles, methods and mathematical models), a method for diagnosing the technical condition and determining the residual life of a hybrid power plant of a vehicle is proposed. The above studies form a theoretical basis for diagnosing the technical state of hybrid power plant units, scientific substantiation of the basic diagnostic parameters of hybrid vehicles..

Keywords: diagnostics, hybrid vehicle, power plant, traction battery, method, fuel consumption, internal combustion engine.

Вступ

Сучасний стан розвитку ринку і оновлення структури гібридних автомобілів, які експлуатуються в умовах України, зумовлюють необхідність комплексного підходу до оцінки їх технічного стану з метою вибору найкращої технології діагностування гібридної силової установки.

Найбільший вплив на технічний стан гібридної силової установки (ГСУ) автомобіля мають дорожні, транспортні та атмосферно-кліматичні умови, які визначають режим роботи ГСУ автомобіля (діапазон навантаження та швидкості руху, передаваний крутний момент, сила струму і напруги тягової акумуляторної батареї (ТАБ) та електродвигуна) від яких залежить знос та роботоздатність окремих агрегатів ГСУ автомобіля.

Актуальність проблеми

Принципи і метод діагностики технічного стану гібридної силової установки забезпечують єдиний підхід дослідження технічного стану агрегатів незалежно від схеми будови та конструктивних особливостей гібридного автомобіля. Більшість викладених технологій діагностування гібридних силових установок не дозволяють об'єктивно проводити комплексну оцінку їх технічного стану за діагностичними параметрами, оскільки не відпрацьовано механізм їх спільного нормування і приведення до єдиної шкали вимірювання.

Аналіз останніх досліджень

Однією із головних задач, виникаючих під час експлуатації гібридного автомобіля є підтримка ефективності та надійності всіх його систем та попередження відмов. Ця задача може бути вирішена на підставі оцінки технічного стану силової установки гібридного автомобіля.

Діагностика технічного стану гібридної силової установки дозволяє реалізовувати ресурсні можливості гібридних автомобілів виключно випадках їх передчасного відправлення в ремонт, зменшити кількість простоїв при технічному обслуговуванні, більш раціонально планувати режими роботи та визначення оптимального терміну експлуатації конкретного автомобіля, що знижує витрати на його обслуговування. Знання технічного стану силової установки необхідні для створення ремонтної бази та обґрунтування потреби в запасних частинах.

В теперішній час трудоміскість діагностування складає 40 % загальних трудовитрат технічного обслуговування. Використання стаціонарних та переносних діагностичних засобів пов'язано з операціями підключення, відладки та зняття датчиків та комунікаційної апаратури, що веде до значних витрат на допоміжні роботи, які складають майже 80...85 % часу повного циклу діагностування [1.5].

Дослідження [2,6] вказують на те, що використання бортових діагностичних систем дозволяє знизити трудовитрати діагностування на 35 % за рахунок зменшення кількості підготовчо-заклучних операцій. Такі системи враховують дані датчиків на різних режимах роботи при експлуатації автомобіля, відстежують зміни параметрів за таблицями, які зберігаються в пам'яті пристрою та інформують водія про появлення несправностей за допомогою багатофункціональних індикаторів на приладній панелі. Після ідентифікації збережених в пам'яті кодів помилок та аналіз додаткових даних оператором приймається рішення про наступні дії [3,4,9].

Головними труднощами при використанні бортових систем є правильна інтерпретація коду та визначення правильної причини появи несправності, що потребує високої кваліфікації оператора, а також складності розробки, виробництва та збільшення кількості використовуваних датчиків та збільшення мережі проводів [7,8, 10].

Витрати енергії (палива, електроенергії) визначається вантажно-швидкісним режимом. На цій підставі енергетичні витрати визначають при заданих умовах експлуатації ресурс силової установки гібридного автомобіля. Ефективність витрати ресурсу силової установки гібридного автомобіля оцінюється за критерієм показника ресурсу. Крім того діагностична модель оцінки технічного стану силової установки гібридного автомобіля інваріантна різним силовим установкам.

Мета дослідження

Для досягнення поставленої мети було проведено дослідження ефективності використання методу оцінки технічного стану гібридної силової установки наукового обґрунтування діагностичних параметрів.

Результати дослідження

Технічний стан силової установки гібридного автомобіля залежить від вантажно-швидкісного режиму, а з іншого боку, витрата енергії (палива, електроенергії) також визначається вантажно-швидкісним режимом. При постійній швидкості руху взаємозв'язок між технічним станом силової установки та енергетичними витратами залежить від крутного моменту на колеса. Між технічним станом силової установки, енергетичними витратами та крутним моментом на колесах є пряма залежність.

Така залежність має підставу на наступне: при експлуатації гібридних автомобілів в конкретних умовах технічний стан силової установки за даний період часу можна оцінювати за енергетичними витратами. Сумарна витрата енергії відповідає пробігу гібридного автомобіля, при якому буде повна витрата ресурсу силової установки. Отже, множина пробігу гібридного автомобіля, при якому силова установка потребує ремонту, на витрату енергії в кВт-год на 100км пробігу є сумарна витрата енергії. Така величина для конкретної силової установки є постійна. При експлуатації гібридного автомобіля технічний стан силової установки зменшується на стільки, на скільки збільшується витрата

енергії. Таку закономірність покладено в основу оцінки технічного стану силової установки гібридного автомобіля за сумарними витратами енергії.

Технічний стан ГСУ залежить від вантажно-швидкісного режиму, з іншого боку, витрата енергії (палива і електроенергії) також визначається вантажно-швидкісним режимом. При постійному швидкісному режимі взаємозв'язок між технічним станом силової установки і енергетичними затратами в основному залежить від крутного моменту на коленвалу. Між технічним станом силової установки, енергетичними затратами і крутним моментом на коленвалу існує прямий зв'язок.

Такий взаємозв'язок дає підставу висловити наступне: при експлуатації гібридних автомобілів в певних умовах технічний стан силової установки за даний період часу можна оцінювати по енергетичним витратам. Сумарна витрата палива відповідає пробігу автомобіля, при якому настане повне вичерпання ресурсу гібридної силової установки. Отже пробіг автомобіля, при якому гібридному силовому агрегату буде потрібен ремонт, на витрату палива в л/100 км пробігу є сумарна витрата палива. Ця величина для конкретного гібридного силового агрегату буде постійною. При експлуатації автомобіля ресурс двигуна, трансмісії і тягової акумуляторної батареї зменшується на стільки, наскільки збільшується витрата палива. Ця закономірність і кладеться в основу оцінки ресурсу гібридного силового агрегату по сумарній витраті палива.

Оцінка ресурсу гібридних силових агрегатів транспортних машин по витраті палива і швидкості руху має величезне значення для цілей планування і управління технічної служби автомобільно-транспортних підприємств (АТП). Витрата палива і швидкості руху є енергетичними показниками використання гібридних транспортних машин в конкретних умовах експлуатації. З представлених вище висловлювань слід, що зі зменшенням ресурсу гібридної силової установки і підвищенням швидкості руху спостерігається збільшення витрати палива силових агрегатів транспортних машин.

Тому всі заходи спрямовані на зниження витрати палива і підвищення середніх швидкостей руху є одночасно дієвими і на підвищенні ресурсу гібридної силової установки транспортних машин. Ефективність витрачання ресурсу силової установки гібридних транспортних машин можна оцінити критерієм показника ресурсу, який визначається так

$$K_p = \left. \begin{aligned} & \frac{(Q_\phi + 0,091E_{\text{АКБ}})V_a}{0,35Q_{\text{min}}V_{\text{max}}} \text{ при } V_a \leq 0,3V_{\text{max}} \\ & \frac{0,35Q_\phi V_{\text{max}}}{(Q_\phi + 0,091E_{\text{АКБ}})V_a} \text{ при } V_a > 0,3V_{\text{max}} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де Q_ϕ , Q_{min} – відповідно фактичний і мінімальний витрата палива гібридного автомобіля в л / 100 км пробігу;

V_{max} , V_a – відповідно максимальна та середня швидкість руху автомобіля; км/год ;

$E_{\text{АКБ}}$ – ємність акумуляторної батареї, кВт·год.

Фактична витрата пального (Q_ϕ) визначається за формулою, л/100 км

$$Q_\phi = \frac{100 g_e N_e}{V_a \rho_\tau} \quad (2)$$

де g_e – питома витрата пального, кг/ кВт·год;

ρ_τ – питома вага палива, г/г;

N_e – ефективна потужність двигуна внутрішнього згорання, кВт.

Питома витрата палива має мінімум на вузькому діапазоні тягово-швидкісних режимів двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) гібридного автомобіля. В даному випадку питому витрату палива слід приймати величиною постійною, оскільки ДВЗ працює тільки в вузькому вантажно-швидкісному режимі.

Ефективна потужність ДВЗ (N_e) визначається так, кВт

$$N_e = \frac{M_{\text{кр}} n}{900} \quad (3)$$

де $M_{\text{кр}}$ – крутний момент ДВЗ, кН;

n – швидкість обертання колінчастого валу ДВЗ, хв.

Крутний момент ДВЗ ($M_{кр}$) можна визначити через продуктивність паливних форсунок наступним чином, Н·м

$$M_{кр} = C n T_B \quad (4)$$

де $C=6,9 \cdot 10^{-3} \text{ V } X_{ц}$;

V – продуктивність паливної форсунки, мл;

$X_{ц}$ – кількість циліндрів ДВЗ;

T_B – час впорскування палива форсункою, с.

Ємність тягової акумуляторної батареї визначається величинами напруги U і струму I , а також залежить від температури зовнішнього середовища, кВт·год

$$E_{АКБ} = UI(0,85 + 0,005 \cdot t_B) \cdot 10^{-3} \quad (5)$$

де t_B – температура зовнішнього середовища, °С.

На підставі визначених залежностей коефіцієнт оцінки технічного стану гібридної силової установки має таку залежність

$$K_p = A[BV_a n^2 T_B + 9,1 \cdot 10^{-4} UI(0,85 + 0,005 \cdot t_B)] \cdot V_a \quad (6)$$

де $A=0,35 Q_{min} V_{max}$;

$B=12,8 \cdot 10^{-6} \text{ ge } V X_{ц}$.

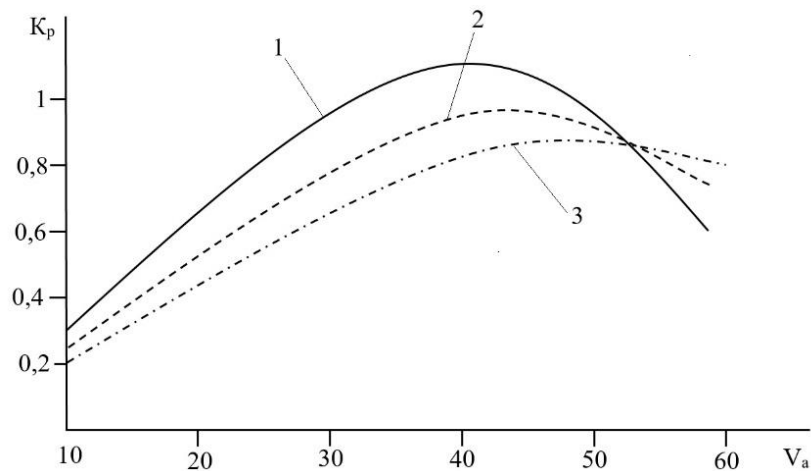


Рис. 1. Зміна коефіцієнту ресурсу в залежності від швидкості руху та технічного стану силової установки

1 – несправність ДВЗ; 2 – еталонна технічно-справна силова уставка; 3 – зменшення ємності ТАБ

Із рисунку видно, що при швидкості руху $0,3V_{max}$ маємо найбільш ефективну оцінку технічного стану гібридної силової установки. На рисунку наведено результати зміни коефіцієнта ресурсу на прикладі автомобіля Toyota Prius.

Висновки

Всякі заходи, спрямовані на зменшення витрат палива і підвищення швидкості руху транспортної машини, в результаті збільшують ресурс силової установки гібридного автомобіля. В умовах високої вартості експериментальних даних, їх обмеженої кількості, високої зашумленості, неповноти, а часто і суперечливості, у багатьох випадках найкращими виявляються моделі на основі штучних нейронних мереж. Вони вибірково чутливі в областях зосередження даних і дають гладку інтерполяцію в інших областях.

Список використаних джерел

1. Гібридні автомобілі / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков та ін. Х.: ХНАДУ, 2008. – 328 с.
2. Бажинов А.В., Серикова Е.А., Быков А.М. Долговечность легкового автомобиля // Харьков: Мачулин. – 2012. – 326 с.
3. Двадненко В.Я., Бажинов А.В., Пушкар А.Б. Оптимизация силовой установки гибридного автомобиля / Материалы Международной научно-практической конференции «Автомобиле- и тракторостроение»– 2019. – С. 60-63
4. Раков В.А. Средства диагностирования гибридных силовых установок автомобилей // Международная молодежная научно-практическая конференция «Прогрессивные технологии и процессы». – 2014. – С. 155-159.
5. Prajwowski K., Osipowicz T. Hybrid vehicle diagnostics //Journal of KONES. – 2017. – Т. 24. – №. 1. – С. 309-315.
6. Бороденко Ю.Н., Черевач А.В. Концепція діагностики електропривода гібридного автомобіля // Автомобильный транспорт. 2012. №30. С.59-64
7. Almeida D. M., de Mattos Neto P. S. G., Cunha D. C. Hybrid Time Series Forecasting Models Applied to Automotive On-Board Diagnostics Systems //2018 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). – IEEE, 2018. – С. 1-8.
8. Нечитайло Ю.А. Методика определения состояния аккумуляторной батареи гибридного автомобиля //Вісник СевНТУ. – 2012. – №. 134. – С. 139-142.
9. Раков В.А. Оценка технического состояния гибридных силовых установок автомобилей //Автотранспортное предприятие. – 2012. – №. 1. – С. 49-52.
10. Зарипова Н.А. Оценка технического состояния гибридных силовых установок автомобилей //Инновационные технологии в АПК, как фактор развития науки в современных условиях. – 2019. – С. 103-108.

References

1. Hybrid cars / OV. Bazhinov, OP. Smirnov, SA. Surikov. Kh.: KhNADU, 2008. – 328p.
2. Bazhinov A.V., Serikova E.A., Bykov A.M.The durability of passenger car // Kharkiv: Machulin. – 2012. – 326 с.
3. Dvadenko V.Ya., Bazhinov A.V., Pushkar A.B. Hybrid powertrain optimization мобіля / Materials of the International Scientific and Practical Conference "Automobile and Tractor Engineering"– 2019. – P. 60-63
4. Rakov V.A. Diagnostic tools for hybrid vehicle power plants // International Youth Scientific and Practical Conference "Progressive Technologies and Processes". -2014. – P. 155-159.
5. Prajwowski K., Osipowicz T. Hybrid vehicle diagnostics //Journal of KONES. – 2017. – Т. 24. – №. 1. – P. 309-315.
6. Borodenko YN, Cherevach AVThe concept of the electric hybrid vehicle diagnostics // Автомобильный транспорт. 2012. No. 30. P.59-64
7. Almeida D.M., de Mattos Neto P. S. G., Cunha D.C. Hybrid Time Series Forecasting Models Applied to Automotive On-Board Diagnostics Systems //2018 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). – IEEE, 2018. – P. 1-8.
8. Nechitaylo Yu.A. Methodology for determining the condition of a hybrid vehicle battery // Bulletin of SevNTU. – 2012. – №. 134. – P. 139-142.
9. Rakov VA. Assessment of the technical condition of hybrid power plants of cars // Road transport company. – 2012. – № 1. – P. 49-52.
10. Zaripova N.A. Yakovenko N.A., Nepomnyashchikh A.V., Narushevich A.L. Assessment of the technical condition of hybrid power plants of cars // Innovative technologies in the agro-industrial complex as a factor in the development of science in modern conditions. – 2019. – P. 103-108.