

МЕТОДИКА ЗА ОЦЕНКА НА ТЕХНИЧЕСКОТО СЪСТОЯНИЕ НА ХИБРИДНИ И ЕЛЕКТРИЧЕСКИ АВТОМОБИЛИ ПО КРИТЕРИЯ УСКОРЕНИЕ

Славчо Божков¹, Иван Миленов¹

stbozhkov@vtu.bg, milenov55@abv.bg

Роман Петров², Виктор Киселев²

roman.petrov@novsu.ru, r.krik@list.ru

¹ *Висше транспортно училище “Тодор Каблешков” – София
ул. “Гео Милев” №158, 1574 София
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

² *Institute of Electronic and Information Systems, Yaroslav-the-Wise Novgorod State
University, 173003 Veliky Novgorod
RUSSIA*

Ключови думи: методика, оценка, ускорение, хибриден автомобил, електромобил

Резюме: Съвременните хибридни автомобили и електромобили се отличават с високи изисквания към мощността, икономичността, екологичната ефективност и дължината на пробега с едно зареждане на енергийния източник – горивен резервоар или тягова батерия. Постигането на тези изисквания е основна цел на автомобилните производители, както и критерий при избор на потребителите. От своя страна мощностните, икономичните и екологичните параметри на хибридният автомобил и електрическият автомобил имат тясна взаимовръзка и могат да се изменят, както при производството, така и при техническата им експлоатация. Тяхното определяне често е свързано с различни методи, които дават информация за общото техническо състояние на хибридните и електрическите автомобили. Един от тези методи е измерването на ускорението, което е пряк индикатор за мощността и въртящия момент на хибридната силова установка на хибридният автомобил, съставена от двигател с вътрешно горене и електродвигател и на електрическата силова установка на електромобила, състояща се от електродвигател, контролер и тягова батерия. Получените данни служат за обща оценка на двата типа превозни средства, която може да служи като основа за сравняване на различни модели хибридни и електрически автомобили, както и за моментни и прогнозни анализи.

В статията се разглежда методика за оценка на техническото състояние на хибридни и електрически автомобили по критерия ускорение.

ВЪВЕДЕНИЕ

Ускорението на хибридният и на електрическият автомобил е показател, зависещ от правилното функциониране на комплекса двигател-трансмисия-ходова част и дава обща оценка за техническото му състояние. Съществуват множество методи за определянето

на техническото състояние, като например, стендови методи, полигонни методи, методи чрез сравняване с други автомобили, чрез измерване на диагностични параметри, вредни емисии и др. [1,2,3,4,5]. От друга страна измерването на ускорението на хибридни/електрически автомобил, като време за ускорение от 0 до 100 km/h се извършва с достъпни технически средства, при реални условия на движение и може да се провежда с необходимата честота за ежегодна, сезонна, или текуща оценка при сравняване с каталожните данни на производителя.

МЕТОДИКА

1) Условия за провеждане

При провеждането на изпитанието за ускорение на хибриден/електрически автомобил се спазват правилата, определени от производителя или съответния стандарт, например SAE J1491_200607 [6], който регламентира условията за провеждане на измерването на ускорението на превозното средство. За практическото провеждане на изпитването е задължително спазването на условията посочени в [7,10].

2) Измервателно оборудване

При измерването на времето за ускорение на хибриден/електрически автомобил могат да се използват различни измервателни прибори: хронометри, акселерометри, навигационно оборудване, бордово оборудване и др. В последно време определени предимства имат GPS приборите за измерване на пътните показатели на превозното средство. Минималните изисквания [8] към измервателното оборудване са представени в табл.1. Освен посочените в табл.1 стойности, важно значение имат и следните показатели:

- Измерване на пробег.
- Измерване на време.
- Измерване на хоризонтална и вертикална скорост.
- Измерване на надлъжно, напречно и вертикално ускорение.
- Съвместимост с измерване при пътни изпитвания на хибриден/електрически автомобил.
- Съвместимост с различни видове модели и марки хибридни/електрически автомобили.
- Автономно хранване.
- Запис на измерваните резултати
- Компактно и мобилно оборудване
- Безопасност при работа при всички етапи и прибори от оборудването
- Възможност за надграждане и развитие

Таблица 1. Минимални изисквания към измервателното оборудване

Величина	Точност	Деление
Време	$\pm 0,1$ s	0,1 s
Скорост	± 0.1 km/h	0,1 km/h
Температура	± 1 °C	1 °C
Атмосферно налягане	± 1.0 mm Hg	1.0 mm Hg
Скорост на вятъра	$\pm 3\%$ при 10 m/s	1 m/s
Посока на вятъра	± 2 °	1 °
Влажност	± 2 %	1 %
Налягане на гумите	$\pm 0,034$ bar ($\pm 0,5$ psi)	0,034 bar (0,5 psi)
Ток (електромобили)	± 1 A	0,1 A
Напрежение (електромобили)	$\pm 1,0$ V	0,1 V
Честота на опресняване на данните		10 Hz

3) Измервани резултати

При изпитването на ускорението на автомобила от 0 до 100 km/h се измерват и записват следните резултати:

- дата и час на изпитването;
- текуща скорост на хибридният/електрическият автомобил, km/h;
- изминат път от хибридният/електрическият автомобил, km;
- време за ускорение, s;
- ускорение (надлъжно, напречно и вертикално), m/s²;
- пътен наклон, m или %.

Също така се измерва температурата на тяговата батерия (°C), напрежението под товар на батерията (V), товарният ток (A). Допълнително, когато измерването се прави на полигон или със специализирани изпитвателни центрове се измерват параметрите на околната среда, като температура на въздуха, температура на пътя, скорост на вятъра, посока на вятъра, атмосферно налягане. Тези параметри се отчитат в началото и края на изпитването.

4) Критерии за оценка

Критериите за оценка на техническото състояние на хибриден/електрически автомобил, определяно по неговото ускорение се подразделят на сравнителни, графични, диапазонни и теглителни.

4.1. Сравнителен критерий $C_{H/EV}$

При него се извършва сравняване на измереното време за ускорение на изпитвания хибриден/електрически автомобил със зададеното време за ускорение от заводските данни или технически спецификации, което се представя като процентна разлика [9]:

$$(1) C_{H/EV} = \frac{t_{изм} - t_{зад}}{t_{зад}} \cdot 100, \%$$

където: $t_{зад}$ е зададеното време за ускорение на хибридният/електрическият автомобил, s;

$t_{изм}$ – измереното време за ускорение на хибридният/електрическият автомобил, s.

Съгласно научната литература [8,9] приемливата стойност на процентната разлика е $\pm 10\%$, т.е.:

$$(2) C_{H/EV} \leq 10\%.$$

С отчитане на практическите особености може да се установи допустимата стойност на процентната разлика за сравнителния критерий на ускорението на хибридният/електрическият автомобил:

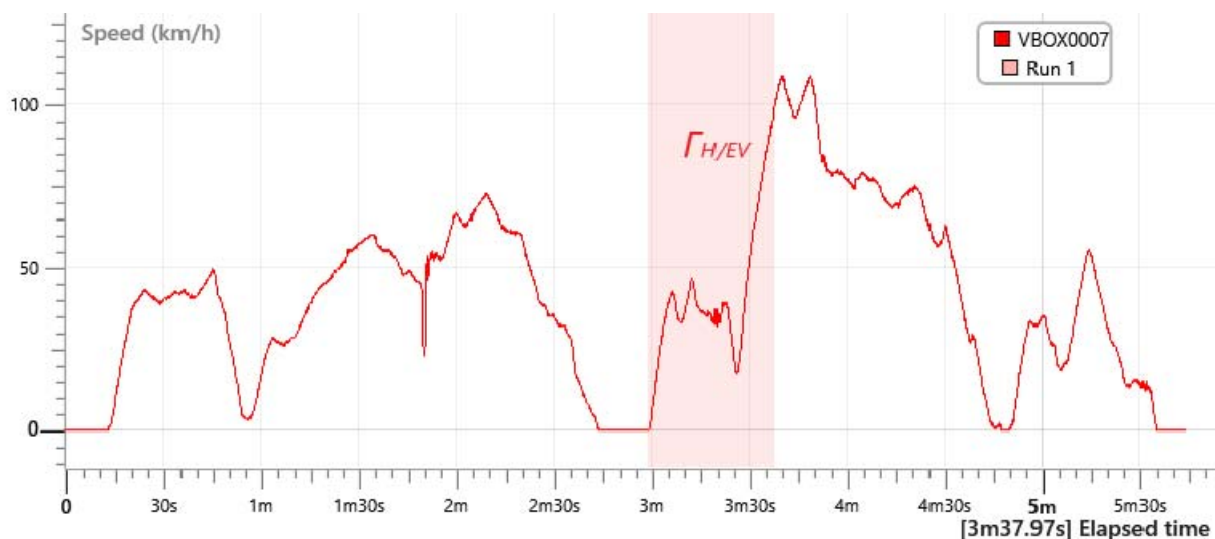
$$(3) C_{H/EV} \leq 20\%.$$

Увеличаването на стойността на критерия $C_{H/EV}$ над посочените в израз (3) означава настъпило общо износване на хибридният/електрическият автомобил.

4.2. Графичен критерий $G_{H/EV}$

При него се извършва графична оценка на характеристиката на ускорението на изпитвания хибриден/електрически автомобил. Тази оценка е възможна при наличие на заводски или еталонни характеристики на ускорението, които да се сравнят с измерената. При отсъствие на еталонни характеристики може да се снее характеристика от нов хибриден/електрически автомобил от същата марка и модел и да се използва като еталон при изпитването. На фиг.1 е представена експериментално снета характеристика на ускоряването на конкретен хибриден автомобил Hyundai Ioniq 1.6

GDI. Защрихованата област съответства на изпитването за ускорение от 0 до 100 km/h. Изменението, респ. намаляването на скоростта е свързано с конкретните пътни условия. Времето за ускорение от 0 до 20 km/h е 2,51 s, а от 20 до 100 km/h – 11,49 s.



Фиг. 1. Характеристика на ускорението на конкретен хибриден автомобил

4.3. Диапазолен критерий $D_{H/EV}$

С помощта на този критерий се оценя ускорението на хибриден/електрическият автомобил в различни скоростни диапазони. Приети са следните диапазони и техните фактори, представени в табл.2. В ниският диапазон скоростта се изменя от 0 до 30 km/h и в този диапазон решаващ фактор е инерционното съпротивление на изпитвания хибриден/електрически, тъй като той трябва да се приведе в движение от състояние на покой. При средния диапазон към инерционното съпротивление се добавя и пътното съпротивление, изразено в загуби от търкаляне (еластична деформация) на пневматичните гуми, които се изразяват в тяхното загряване. Във високия диапазон се добавя и въздушното съпротивление. Във всеки от тези диапазони може да се извърши измерване на ускорението, респ. времето за ускорение до съответната скорост и да се извършва сравнителна оценка и анализ.

Таблица 2. Скоростни диапазони

Диапазон	Скорост	Фактор
Нисък	0-30 km/h	Инерционно съпротивление
Среден	30-60 km/h	Инерционно съпротивление Пътно съпротивление
Висок	60-100 km/h	Инерционно съпротивление Пътно съпротивление Въздушно съпротивление

4.4. Теглителен критерий $T_{H/EV}$

Теглителният критерий дава възможност за изчисляване на въртящият момент на двигателя на изпитвания хибриден/електрически автомобил, съобразно стойностите на измереното ускорение при различните диапазони или проведени опити по формулата:

$$(4) P_{H/EV} = F_{H/EV} v_{H/EV} = m_{H/EV} a_{H/EV} v_{H/EV} = M_{H/EV} \omega_{H/EV} i_{H/EV},$$

където: $P_{H/EV}$ е мощността на хибриден/електрическият автомобил, W;

$F_{H/EV}$ – теглителната сила на хибридният/електрическият автомобил, N;
 $v_{H/EV}$ – скоростта на хибридният/електрическият автомобил, m/s;
 $m_{H/EV}$ – масата на хибридният/електрическият автомобил, kg;
 $a_{H/EV}$ – ускорението на хибридният/електрическият автомобил, m/s²;
 M_e – въртящия момент на двигателя на хибридният/електрическият автомобил, Nm;
 ω_e – ъгловата скорост на двигателя на хибридният/електрическият автомобил, rad/s;
 i_m – предавателното число на трансмисията на хибридният/електрическият автомобил.

Израз (4) може да се преобразува във вида:

$$(5) M_{H/EV} = \frac{m_{H/EV} a_{H/EV} v_{H/EV}}{\omega_{H/EV} i_{H/EV}} = \frac{m_{H/EV} a_{H/EV} v_{H/EV}}{\omega_{H/EV} i_0 i_n}, \text{ Nm},$$

където i_0 е предавателното число на главното предаване;

i_n – предавателното число на предавката в предавателната кутия.

Скоростта $v_{H/EV}$ и ускорението $a_{H/EV}$ се отчитат от контролните прибори на хибридният/електрическият автомобил или от измервателното оборудване при достигане на ъгловата скорост $\omega_{H/EV}$ на двигателя, съответстваща на максималния въртящ момент, която е посочена в заводските данни на хибридният/електрическият автомобил. Изчислената стойност на максималния въртящ момент на двигателя (електродвигателя) на изпитвания хибриден/електрически автомобил се сравнява със заводската по израз (6):

$$(6) T_{H/EV} = \frac{M_{H/EV,зад} - M_{H/EV,изм}}{M_{H/EV,зад}} \cdot 100, \%$$

При изпитване на хибриден автомобил стойността на $M_{H/EV,зад}$ се приравнява на комбинирания въртящ момент от заводските данни.

Максималната стойност на теглителния критерий $T_{H/EV}$ се отчита от израз (7):

$$(7) T_{H/EV} \leq 20\% .$$

Увеличаването на стойността на критерия $T_{H/EV}$ над 20% означава настъпило общо износване на хибридният/електрическият автомобил.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изградена е методика за оценка на техническото състояние на хибриден/електрически автомобил по неговото ускорение.

Предложени са сравнителни, графични, диапазонни и теглителни критерии за оценка за общо и специфично оценяване на изпитвания хибриден/електрически автомобил.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящото изследване е осъществено при реализирането на договор №69/09.04.2024 г. към ВТУ “Годор Каблешков” – София по проект на тема „Изграждане на стенд за изследване на процеси в хибридни задвижвания“.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Konrad R. Fundamentals of Automotive and Engine Technology. ISBN 978-3-658-03971-4, Springer Vieweg, 2014
- [2] Slavcho Bozhkov, Marian Mutafchiev, Ivan Milenov, Penko Bozhkov, M.I. Bichurin, R.V. Petrov. Method for determination of the hybrid electric vehicle energy efficiency in urban transportation // Вестн. Новг. гос. ун-та. Сер.: Технические науки. 2019. УДК 681.586.785, 2019, DOI: [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2019.4\(116\).4-8](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2019.4(116).4-8)
- [3] *Sensors* 2017, 17(6), 1271; <https://doi.org/10.3390/s17061271>
- [4] Dieter Schramm, Benjamin Hesse, Niko Maas, Michael Unterreiner. Vehicle Technology: Technical foundations of current and future motor vehicles, De Gruyter, 2020
- [5] David Crolla, Automotive Engineering: Powertrain, Chassis System and Vehicle Body, Butterworth-Heinemann, 2009
- [6] https://www.sae.org/standards/content/j1491_200607/
- [7] Test Specification – Acceleration and Deceleration Testing, ©2015 by Center for Evaluation of Clean Energy Technology, Phoenix, Arizona, <https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/reports/IntertekTestSpecAccelDecelTesting.pdf>
- [8] https://www.google.bg/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.tesd.net/cms/lib/PA01001259/Centricity/Domain/485/e-book%2520percents.pdf&ved=2ahUKEwjGof39n66GAxWmQvEDHWKhCaQQFnoECBEQAQ&usg=AOvVaw3HmEX_B-lgZhqyFJtL1w2C
- [9] <https://sciencenotes.org/error-in-science/>
- [10] Славчо Божков, Мариан Мутафчиев, Роман Петров, Методика за оценка на техническото състояние на автомобила по неговото ускорение, XXVI Международна научна конференция ТРАНСПОРТ ‘2023, 5-7 октомври 2023, к.к. Боровец, България, Научно списание “Механика, транспорт, комуникации” ISSN 1312-3823 (print) ISSN 2367-6620 (online), стр. VI-43-VI-48, ВТУ «Тодор Каблешков», София, 2023

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF HYBRID AND ELECTRIC VEHICLES ACCORDING TO THE ACCELERATION CRITERION

Slavcho Bozhkov¹, Ivan Milenov¹
stbozhkov@vtu.bg, milenov55@abv.bg
Roman Petrov², Viktor Kiselev²
roman.petrov@novsu.ru, r.krik@list.ru

*Todor Kableshkov University of Transport
Geo Milev str. 158, 1574 Sofia
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

*²Institute of Electronic and Information Systems, Yaroslav-the-Wise Novgorod State
University, 173003 Veliky Novgorod
RUSSIA*

Key words: methodology, evaluation, acceleration, hybrid-electric vehicle, electric vehicle

Abstract: Modern hybrid electric vehicles and electric vehicles have high demands on power, economy, environmental efficiency, and range length on a single charge – a fuel tank or traction battery. Achieving these requirements is a major goal of car manufacturers, as well as a criterion of consumer choice. In turn, the performance, economic and environmental performance of a hybrid vehicle and an electric vehicle have a close interconnection and can change both in production and in their technical operation. Their determination is often related to various methods that provide information about the general technical condition of hybrid and electric vehicles. One of these methods is the measurement of acceleration, which is a direct indicator of the power and torque of the hybrid powerplant of the hybrid car, composed of an internal combustion engine and an electric motor and the electric powerplant of the electric vehicle, consisting of an electric motor, a controller, and a traction battery. The data obtained serve as a common assessment of the two types of vehicles, which can serve as a basis for comparing different models of hybrid and electric vehicles, as well as for momentary and predictive analysis.

The article examines a methodology for assessing the technical condition of hybrid and electric vehicles by the acceleration criterion.