

ВЛИЯНИЕ НА РЕЖИМА НА ПОТЕГЛЯНЕ И СПИРАНЕ ВЪРХУ РАЗХОДА И РЕКУПЕРАЦИЯТА НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ НА ХИБРИДЕН АВТОМОБИЛ С ПАРАЛЕЛНА КОМПАНОВКА

Slavcho Bozhkov¹, Ivan Milenov²

stbozhkov@vtu.bg, milenov55@abv.bg

Roman V. Petrov³

roman.petrov@novsu.ru

¹*Катедра “Транспортна техника”*

²*Катедра “Електроснабдяване и електрообзавеждане”*

Висше транспортно училище “Тодор Каблешков” – София

ул. “Гео Милев” №158, 1574 София

БЪЛГАРИЯ

³*Institute of Electronic and Information Systems, Yaroslav-the-Wise Novgorod State
University, 173003 Veliky Novgorod
RUSSIA*

Ключови думи: *хибриден автомобил, режим, разход, електроенергия*

Резюме: *Интензивното движение в големите градски агломерации се характеризира с чести потегляне и спирания на превозните средства, изчакване на задръжки пред светофарно регулираните кръстовища, честа промяна на скоростта на движение, свързано с ускоряване, намаляване на скоростта, спиране, последващо потегляне и ускоряване и т.н. При този режим на движение с чести потегляния и спирания се получава увеличаване на разхода на гориво на класическия автомобил поради работа на двигателя с вътрешно гориво на частични режими с висок специфичен разход на гориво, което от своя страна увеличава и вредните емисии. Хибридният автомобил използва два източника на енергия, единият от които е двигател с вътрешно горене (ДВГ), а другият – електродвигател (ЕД), задвижван от акумулаторна батерия. Компановката на два източника на енергия дава определени предимства на хибридният автомобил пред класическия, които се изразяват във възможност за намаляване на разхода на гориво при чести потегляния и спирания на автомобила, което се извършва за сметка на разхода на електроенергия. Потеглянето може да се осъществи с електродвигател, а спирането да се използва за рекуперативно зареждане на акумулаторната батерия. Изследването на горепосочения режим е от съществено значение за комплексна оценка на ефективността на хибридните автомобили в градски условия на движение.*

В статията се разглежда влиянието на режима на потегляне и спиране върху разхода и рекуперацията на електроенергия на хибриден автомобил с паралелна компановка при градско движение на територията на град София.

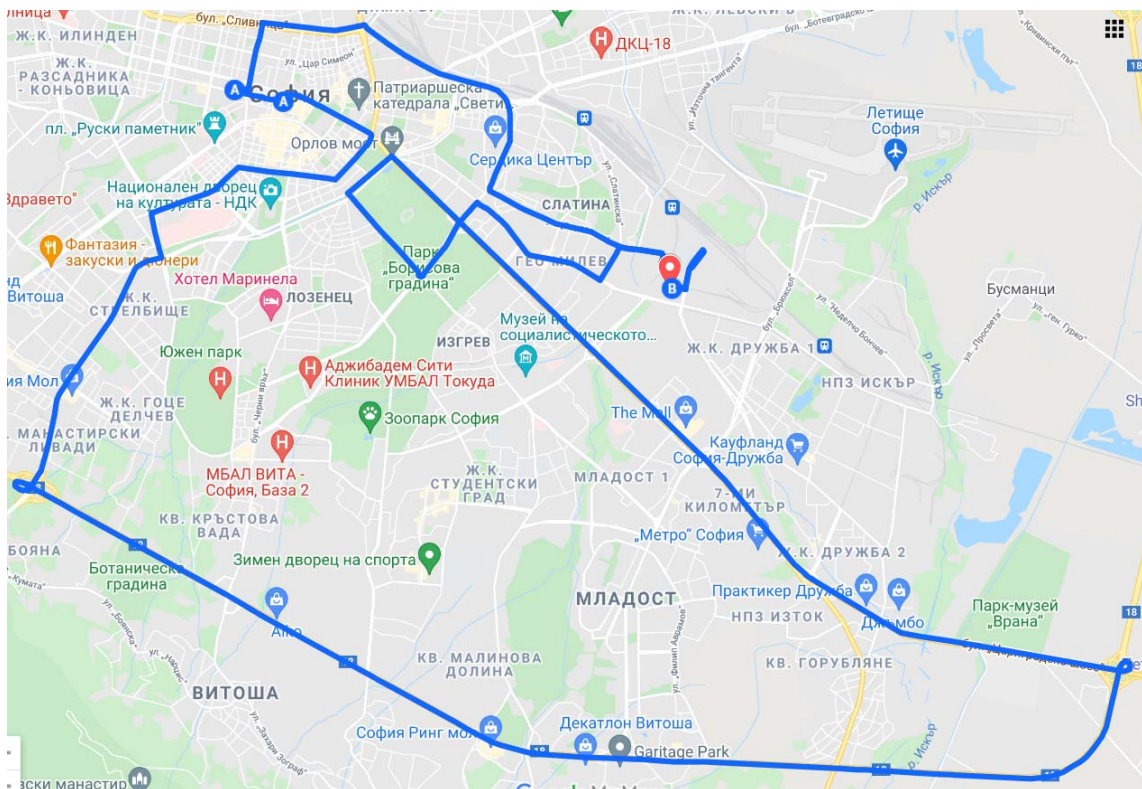
МЕТОДИКА

При провеждане на изследването на влиянието на режима на потегляне и спиране върху разхода на електроенергия на хибриден автомобил е използвана методиката за определяне на енергийната ефективност, изложена в [1]. Компановката на хибридният автомобил е избрана като част от серия изследвания в тази област, които са свързани и с други видове компановки на хибридни автомобили, които обаче не са предмет на настоящата работа. Като обект на изследване е избран хибриден автомобил с паралелна компановка с марка Honda CR-Z [3]. Този тип хибридни автомобили спадат към клас лек хибрид (mild hybrid) [2]. Техническите характеристики на изследвания хибриден автомобил са представени в табл.1 [3].

Таблица 1. Технически характеристики на хибриден автомобил Honda CR-Z [3]

Параметър	Означение	Мярка	Стойност
Максимална мощност (ДВГ)		kW/PS/min ⁻¹	84/114/6100
Максимален момент (ДВГ)		Nm/min ⁻¹	145/4800
Максимална мощност (ЕД)		kW/PS/min ⁻¹	10/14/1500
Максимален момент (ЕД)		Nm/min ⁻¹	78.4/1000
Максимална мощност (комбинирана)		kW/PS/min ⁻¹	91/124/6100
Максимален момент (комбиниран)		Nm/min ⁻¹	174/1000-1500
Тягова батерия	Тип	Никел-метал-хидридна (NMH)	
	Напрежение	V	100.8
	Капацитет	Ah	5.75
Максимална маса (gross vehicle weight)	m_{NEV}	kg	1520

Маршрута, по който е извършено изследването се намира на територията на град София и е представен на фиг. 1.



Фиг.1 Маршрут на движение на изследвания хибриден автомобил

Режима на движение е съобразно управляващата програма на хибридният автомобил и има три разновидности – Нормал, Спорт и Еко.

Измерването и записът на изразходената и рекуперирана електроенергия е осъществен с прибор марка Bosch KTS 560 [4]. Пътните параметри като скорост на движение, ускорение (закъснение), надморска височина, координати и време за движение е извършено чрез прибор, работещ по глобалната система за позициониране (GPS) марка Performance Box Touch [5]. Крайната скорост при потегляне се отчита по края на разхода на електроенергия, когато по-нататъшното ускоряване е за сметка на ДВГ, а началната скорост при спиране – в началото на рекуперация. Обработката на експерименталните резултати е извършена с програмен продукт Microsoft Excel.

РЕЗУЛТАТИ

При провеждане на експерименталните изследвания за установяване на влиянието на режима на потегляне и спиране върху разхода и рекуперацията на електроенергията за съответните режими на движение на хибридният автомобил са установени следните влияещи фактори:

- N_{start} – брой на потеглянията;
- N_{stop} – брой на спиранията;
- v_{start} – крайна скорост след потеглянето, km/h;
- v_{stop} – начална скорост при спирането, km/h;
- a_{start} (a_{stop}) – ускорение (закъснение), m/s^2 ;
- L – изминат пробег, km;
- i – пътен наклон, %.

Посочените фактори влияят пряко върху енергийните показатели:

- Q_{disch} – изразходена електроенергия, kWh;
- Q_{regen} – рекуперирана електроенергия, kWh.

Стойностите на измерените влияещи фактори и енергийни показатели са представени в табл.2 за режим Нормал, табл.3 – за режим Спорт и табл.4 – за режим Еко.

Таблица 2. Измерени стойности на влияещите фактори и енергийни показатели при режим Нормал

	v_{start} , km/h	v_{stop} , km/h	a_{start} (a_{stop}), m/s^2	i , %	Q_{disch} , kWh	Q_{regen} , kWh
Потегляне	22.0	-	2.367	12.447	0.002005277778	-
Спиране	-	22.0	-5.956	9.289	-	-0.004731666667
Потегляне	5.00	-	2.490	0.942	0.000990833333	-
Спиране	-	5.00	-2.904	0.942	-	-0.001207222222
Потегляне	19.00	-	2.216	1.429	0.000896666667	-
Спиране	-	19.00	-4.585	2.832	-	-0.006651666667
Потегляне	22.00	-	2.388	5.997	0.002990000000	-
Спиране	-	37.00	-5.774	6.091	-	-0.030443333333
Потегляне	49.00	-	2.533	0.452	0.069916666667	-
Спиране	-	51.00	-4.828	0.595	-	-0.013891666667
Потегляне	66.00	-	2.141	4.136	0.092382222222	-
Спиране	-	62.00	-4.245	3.128	-	-0.041445000000
Потегляне	20.00	-	1.794	6.895	0.004996666667	-
Спиране	-	20.00	-5.191	8.850	-	-0.001466666667
Потегляне	46.00	-	1.645	4.059	0.030116666667	-
Спиране	-	53.00	-4.957	-0.270	-	-0.038745000000

Потегляне	24.00	-	1.535	-6.177	0.007236666667	-
Спиране	-	45.00	-6.364	1.449	-	-0.002108333333
Потегляне	40.00	-	1.395	5.093	0.018375277778	-
Спиране	-	32.00	-6.203	-2.749	-	-0.006633333333
Потегляне	48.00	-	1.350	-4.951	0.028815000000	-
Спиране	-	40.00	-4.351	3.329	-	-0.010671666667
Потегляне	17.00	-	1.205	-1.506	0.000710555556	-
Спиране	-	36.00	-5.200	-1.416	-	-0.003806666667
Потегляне	17.00	-	1.128	-0.396	0.008246666667	-
Спиране	-	32.00	-2.613	3.342	-	-0.006491666667
Потегляне	21.00	-	1.062	2.884	0.004625000000	-
Спиране	-	43.00	-5.320	4.191	-	-0.005661666667
Потегляне	21.00	-	2.061	3.143	0.007637777778	-
Спиране	-	33.00	-3.658	1.022	-	-0.011256666667
Потегляне	40.00	-	1.718	0.057	0.008383333333	-
Спиране	-	40.00	-4.750	-2.944	-	-0.011703333333

Таблица 3. Измерени стойности на влияещите фактори и енергийни показатели при режим Спорт

	v_{start} , km/h	v_{stop} , km/h	a_{start} (a_{stop}), m/s	i , %	Q_{disch} , kWh	Q_{regen} , kWh
Потегляне	9.00	-	2.236	1.906	0.000306666667	-
Спиране	-	34.00	-4.690	0.000	-	-0.018965277778
Потегляне	26.00	-	2.508	0.000	0.005644444444	-
Спиране	-	68.00	-4.352	-1.985	-	-0.063695000000
Потегляне	27.00	-	2.663	-3.710	0.004648333333	-
Спиране	-	68.00	-4.818	3.102	-	-0.073248333333
Потегляне	18.00	-	2.269	1.790	0.003705000000	-
Спиране	-	42.00	-3.980	-0.194	-	-0.009679444444

Таблица 4. Измерени стойности на влияещите фактори и енергийни показатели при режим Еко

	v_{start} , km/h	v_{stop} , km/h	a_{start} (a_{stop}), m/s	i , %	Q_{disch} , kWh	Q_{regen} , kWh
Потегляне	1.00	-	2.296	0.000	0.001894469081	-
Потегляне	1.00	-	2.137	0.000	0.004067271496	-
Потегляне	18.00	-	2.439	0.000	0.003715529226	-
Спиране	-	42.00	-4.261	0.000	-	-0.016856666667
Потегляне	3.00	-	2.460	0.000	0.003562221094	-
Спиране	-	3.00	-3.729	0.000	-	-0.000229166667
Потегляне	16.00	-	2.361	0.000	0.005705982848	-
Спиране	-	41.00	-5.332	-3.107	-	-0.034588888889
Потегляне	13.00	-	2.503	-3.328	0.004162347100	-
Спиране	-	13.00	-4.863	-0.015	-	-0.000568333333

При анализа на данните от табл.2 до табл.4 е направено обобщение на получените експериментални резултати с представяне на общи, средни и максимални стойности на факторите и показателите, синтезирани в табл.5.

Таблица 5. Обобщени стойности на влияещите фактори и енергийни показатели при отделните режими на движение

Фактори и показатели	Мярка	Режими		
		Нормал	Спорт	Еко
N_{start}	Брой	16	4	6
N_{stop}	Брой	16	4	4
Средна v_{start}	km/h	29.81	20.00	8.67
Максимална v_{start}	km/h	66.00	27.00	18.00
Средна v_{stop}	km/h	35.63	53.00	24.75
Максимална v_{stop}	km/h	62.00	68.00	42.00
Средно a_{start}	m/s ²	1.814	2.419	2.366
Максимално a_{start}	m/s ²	2.533	2.663	2.503
Средно a_{stop}	m/s ²	-4.806	-4.460	-4.546
Максимално a_{stop}	m/s ²	-6.364	-4.818	-5.332
Общ L при потегляне	km	1.229	0.140	0.109
Среден L при потегляне	km	0.077	0.035	0.018
Общ L при спиране	km	2.370	1.196	0.360
Среден L при спиране	km	0.148	0.299	0.090
Максимален i при потегляне	%	12.447	1.906	0.000
Среден i при потегляне	%	2.157	-0.004	-0.555
Максимален i при спиране	%	-2.944	-1.985	-3.107
Среден i при спиране	%	2.355	0.231	-0.781
Обща Q_{disch}	kWh	0.288325277780	0.006882777778	0.023107820845
Максимална Q_{disch}	kWh	0.092382222222	0.002990000000	0.005705982848
Минимална Q_{disch}	kWh	0.000710555556	0.000896666667	0.001894469081
Средна Q_{disch}	kWh	0.018020329861	0.001720694445	0.003851303474
Обща Q_{regen}	kWh	-0.196915555557	-0.043033888889	-0.052243055556
Максимална Q_{regen}	kWh	-0.001207222222	-0.001207222222	-0.000229166667
Минимална Q_{regen}	kWh	-0.041445000000	-0.030443333333	-0.034588888889
Средна Q_{regen}	kWh	-0.012307222222	-0.010758472222	-0.013060763889

При анализиране на обобщените данни от табл.5 се вижда, че най-голям разход на електроенергия се наблюдава при режим Нормал, където са реализирани най-голям брой потегляния и съответно най-голям пробег при потегляне, а също и най-голяма достигната скорост при потегляне. Режим Спорт се характеризира с най-малък разход на електроенергия, макар че ускорението при потегляне при него е максимално. Причината е в по-голямата мощност, която се черпи от ДВГ в този режим. В режим Еко се наблюдава увеличаване на разхода на електроенергия спрямо режим Спорт, но спрямо режим Нормал тя е многократно по-малка. Рекуперираната електроенергия има

максимална стойност при максимално закъснение при спиране (режим Нормал и Спорт), но се наблюдава по-малък максимум Q_{regen} при режим Еко, в който пък се е реализирало по-голямо спиращо закъснение от режим Спорт. Общата големина на изразходената и рекупериранията електроренергия е най-голяма при режим Нормал, който се отличава с най-голям брой потегляния и спирания. Пътният наклон оказва допълнително влияние, което е изразено в режим Нормал, където са преодолени пътни участъци с по-голяма денивелация.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разгледани са основните фактори, които оказват влияние върху разхода и рекуперацията на електроенергия при режим на потегляне и спиране на хибриден автомобил с паралелна компоновка.

Установените количествени стойности на факторите и показателите дават възможност за анализ и оценка на енергийните параметри на хибридният автомобил, интензивността на пътното движение и особеностите на пътния участък.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящото изследване е осъществено при реализирането на договор №192/05.05.2022 към ВТУ “Тодор Каблешков” – София по проект на тема “Изграждане на съвместна научно-практическа лаборатория „Движение“”.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] 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)
- [2] Ehsani M., Y. Gao, S. E. Gay and A. Emadi. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. Fundamentals, Theory, and Design. CRC Press LLC, 2005
- [3] <https://automobiles.honda.com/images/2016/cr-z/downloads/2016-cr-z-specifications.pdf>
- [4] https://www.boschaftermarket.com/xrm/media/images/country_specific/bg/equipment_7/pdf_2/kts_560_590_7.pdf
- [5] https://www.vboxmotorsport.co.uk/downloads/datasheets/RLPBT_DATA.pdf

INFLUENCE OF THE START STOP DRIVING MODE ON THE PARALLEL HYBRID ELECTRIC VEHICLE ELECTRICITY CONSUMPTION AND REGENERATION

Slavcho Bozhkov¹, Ivan Milenov²
stbozhkov@vtu.bg, milenov55@abv.bg

Roman V. Petrov³
roman.petrov@novsu.ru

¹*Assoc.Proffesor, Eng., PhD, Department of Transport Equipment,*

²*Proffesor, Eng., PhD, Department of Electrical Equipment in Railway Transport,
Todor Kableshkov University of Transport
Geo Milev str. 158, 1574 Sofia
BULGARIA*

³*Institute of Electronic and Information Systems, Yaroslav-the-Wise Novgorod State
University, 173003 Veliky Novgorod
RUSSIA*

Key words: *hybrid electric vehicle, mode, electricity, consumption*

Abstract: *Intensive traffic in large urban agglomerations is characterized by frequent starts and stops of vehicles, waiting for delays in front of traffic lights, frequent changes in speed associated with acceleration, deceleration, stopping, subsequent departure and acceleration, etc. This mode of driving with frequent starts and stops increases the fuel consumption of the classic car due to the operation of the internal combustion engine in partial modes with high specific fuel consumption, which in turn increases harmful emissions. The hybrid electric vehicle uses two energy sources, one of which is an internal combustion engine and the other an electric motor powered by a rechargeable battery. The combination of two energy sources gives certain advantages of the hybrid electric vehicle over the classic one, which are expressed in the possibility of reducing fuel consumption during frequent starts and stops of the car, which is done at the expense of electricity consumption. Starting can be done with an electric motor and stopping can be used for recuperative charging of the battery. The study of the above driving mode is essential for a comprehensive assessment of the efficiency of hybrid electric vehicles in urban traffic conditions.*

The article examines the impact of the start stop driving mode on the electricity consumption and regeneration of a parallel hybrid electric vehicle in urban traffic in the city of Sofia.