
STUDY OF SOME EXPLOITATION PROPERTIES OF CONVERTED ELECTRIC VEHICLE ²

Assist. Prof. Evgeni Sokolov, PhD

Department of Combustion Engines, Automotive Engineering and Transport,
Technical University of Sofia, Bulgaria
Tel.: +359 2 965 2562
E-mail: evg_sok@tu-sofia.bg

Assoc. Prof. Nikolay Pavlov, PhD

Department of Combustion Engines, Automotive Engineering and Transport,
Technical University of Sofia, Bulgaria
Tel.: +359 2 965 2542
E-mail: npavlov@tu-sofia.bg

Abstract: *In the paper measurements of the weight of the front and rear axle of vehicles with different number of people and different payload are made. The mass and location of the mass center of a motor car converted to an electric car are determined. Their influence on the traction properties, the ability of climbing the inclines, speed and acceleration was investigated. The results obtained from the measurements of the converted and conventional vehicles are presented and analyzed.*

Keywords: *Electric vehicle, conversion, mass center, location, gradeability, acceleration.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Големите производители на автомобили в последно време инвестират огромни средства за разработването на изцяло нови концепции на шасита за техните електромобили. В конструкцията им се залага на големи пространства в пода на електромобила, където се разполагат акумулаторните батерии. Като се имат предвид размерите и масата на съвременните батерии това е единствения начин да се осигури голям пробег на електромобилите, като се запази височината и надлъжното разположение на масовия център в разумни граници. При това се постига и по-голямо вътрешно пространство в сравнение с автомобилите с двигател с вътрешно горене при една и съща колесна база (Erriquez, M., Morel T., Moulière P-Y., & Schäfer P., 2017). Наред с новите платформи за някои електромобили се използват вече разработените каросерии за конвенционалните варианти на автомобила с ДВГ. Това съкращава сроковете за разработка на електромобила, позволява използването на съществуващото оборудване на производствените линии с минимални промени на настройките и операциите. По този начин се постига по-ниска цена на електромобила. Недостатъците се изразяват в намаления пробег на тези електромобили, поради невъзможността да се разположат голямо количество акумулаторни клетки без да се засегне полезният обем на каросерията. При тях акумулаторната батерия се разполага обикновено под задната седалка, като се премахва резервоара за гориво и се променя минимално конструкцията на каросерията. Едновременно с производството на нови електромобили има тенденция за конвертиране на конвенционални автомобили в електромобили. Конвертирането

² Докладът е представен на 25 октомври 2019 с оригинално заглавие на български език:

ИЗСЛЕДВАНЕ НА НЯКОИ ЕКСПЛОАТАЦИОННИ СВОЙСТВА НА КОНВЕРТИРАН ЕЛЕКТРОМОБИЛ

най-често се прилага в случаите, когато автомобилът има добро състояние на каросерията и ходовата част, но значителни повреди по двигателя или трансмисията. Тогава някои собственици вместо подмяна на скъпоструващите агрегати с нови, предпочитат да извършат конвертиране на автомобила в електромобил. По този начин разходите за преоборудването са приблизително еднакви с тези за ремонта, но експлоатационните разходи на електромобила са значително по-ниски от тези на конвенционалния автомобил. При конвертирането се променя масата и разположението на масовия център, като това оказва влияние върху някои експлоатационни свойства. Разпределението на теглото влияе върху възможността за преодоляване на наклони и ускоряването, особено при ниски коефициенти на сцепление. Използваните електродвигатели обикновено са с по-малка мощност от тази на предвидения за съответната каросерия ДВГ и това води до намаляване на максималната скорост на конвертирания електромобил. Във връзка с това са провеждани изследвания върху някои експлоатационни свойства на конвертирани електромобили (Ivanov, R., Evtimov, I., & Sapundzhiev, M., 2016, Sapundzhiev, M., Evtimov, I., & Ivanov, R., 2017). Като се има предвид, че всеки конвертиран електромобил е окомплектован със специфично и уникално оборудване, въпросът за изследването на експлоатационните свойства на този вид електромобили винаги ще бъде актуален.

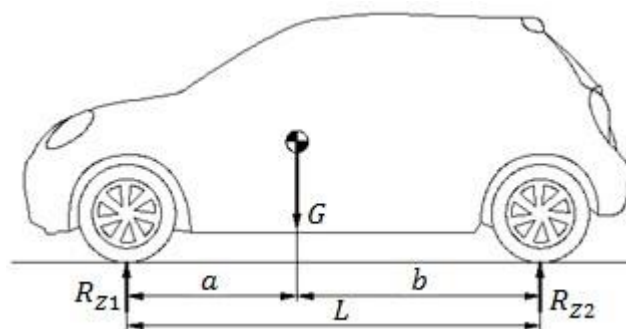
Целта на настоящата публикация е да се изследват някои експлоатационни свойства на конвертиран електромобил, свързани с промяната в масата, разположението на масовия център и мощността на двигателя и да се сравнят с тези на оригиналния конвенционален автомобил.

ИЗЛОЖЕНИЕ Разпределение на натоварването между предната и задната ос

Изследваният конвертиран електромобил е показан на фиг. 1, а. Конвертирането е извършено от фирма „А1 Лимитед“ ЕООД, гр. Исперих. Електромобилът е предоставен на Технически университет – София под формата на дарение от фирма „Бюро за икономия на енергия в строителството“ (БИЕС) ЕООД.



а)



б)

Фиг. 1. Изследван електромобил (а) и схема за определяне на разположението на масовия център (б)

За да се намери надлъжната координата на масовия център последователно се установяват колелата от предната и задната ос върху везни, като колелата на другата ос трябва да са разположени на едно ниво с тези от измерваната ос (фиг. 1, б). От сумата на теглата падащи се на предната и задната ос се определя общото тегло на автомобила:

$$G = G_1 + G_2 = R_{z1} + R_{z2} \quad (1) \text{ където } R_{z1} \text{ и } R_{z2} \text{ са нормалните реакции, действащи на колелата.}$$

Резултатите от измерванията на конвертирания електромобил и конвенционалния автомобил при различен брой пътници са представени в таблица 1. В таблица 2 са дадени получените резултати за масата на двата автомобила при различния брой пътници, процентното ѝ разпределение между двете оси и разстоянията от масовия център до предната и задната ос.

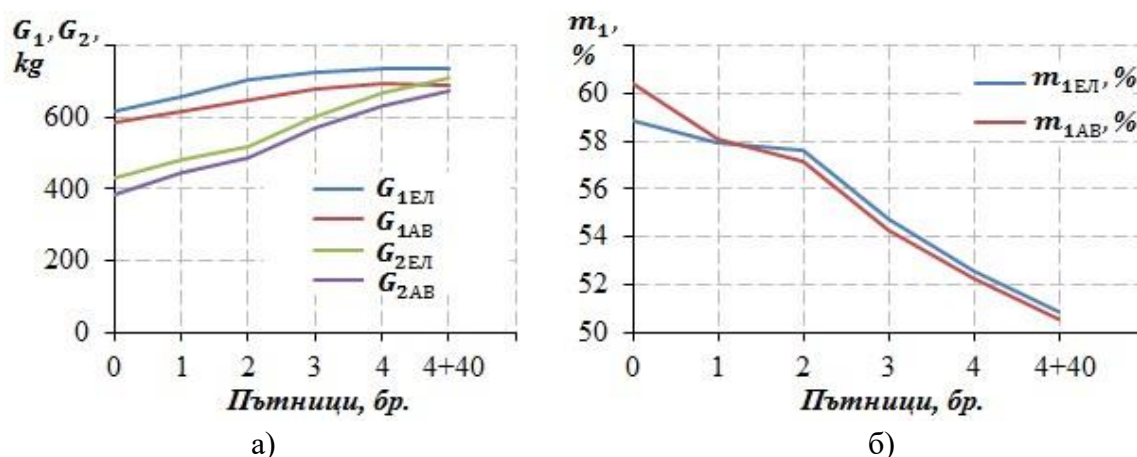
Таблица 1. Измерено натоварване на автомобилите

№	Натоварване	Електромобил		Конвенционален автомобил	
		на предна ос (G_1 , kg)	на задна ос (G_2 , kg)	на предна ос (G_1 , kg)	на задна ос (G_2 , kg)
1	Празен (без товар)	618	432	586	384
2	С един човек	660	480	616	444
3	С двама човека	702	516	650	488
4	С трима човека	726	600	676	570
5	С четирима човека	738	666	692	632
6	С четирима човека и 40 kg товар	734	710	690	674

Таблица 2. Маса и процентното ѝ разпределение

№	Електромобил				Конвенционален автомобил			
	маса (m , kg)	предна ос (%)	задна ос (%)	b (m)	маса (m , kg)	предна ос (%)	задна ос (%)	b (m)
1	1050	58,9	41,1	1,430	970	60,4	39,6	1,468
2	1140	57,9	42,1	1,407	1060	58,1	41,9	1,412
3	1218	57,6	42,4	1,401	1138	57,1	42,9	1,388
4	1326	54,8	45,2	1,330	1246	54,3	45,7	1,318
5	1404	52,6	47,4	1,277	1324	52,3	47,7	1,270
6	1444	50,8	49,2	1,235	1364	50,6	49,4	1,229

Графичното представяне на резултатите за натоварванията на предната и задната ос са представени на фиг. 2, а. Процентната част от масата, падаща се на предната ос (m_1) е показано графично на Фиг. 2, б.

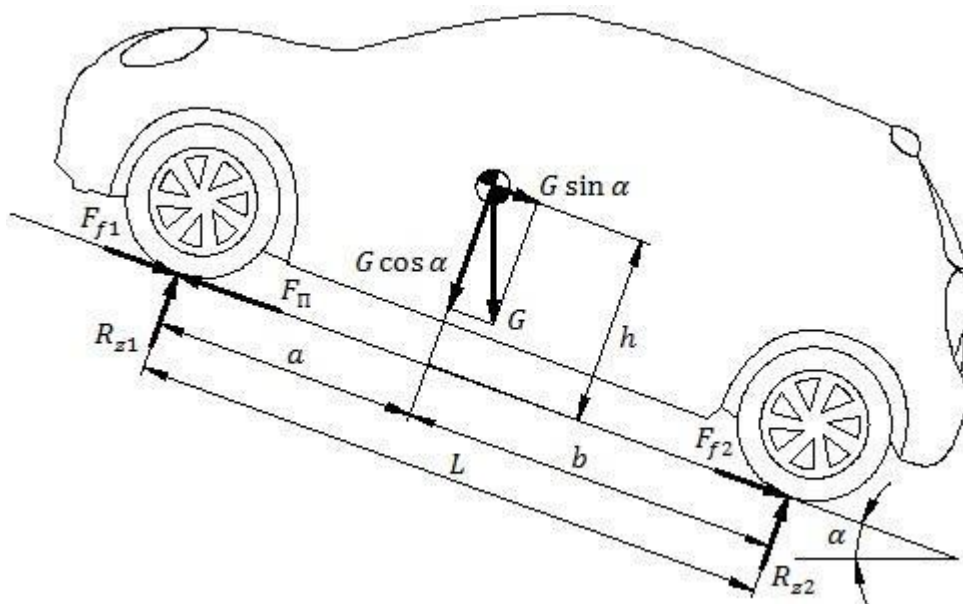


Фиг. 2. Натоварване на предната и задната ос (а) и процентната част от масата падаща се на предната ос

Забелязват се известни различия в натоварването на двете оси (фиг. 2, а) в целия диапазон на изменение на натоварването (от 0 до 4 пътници+40 kg товар). Процентното натоварване на предната ос е най-голямо при празен конвенционален автомобил. След качването на водача то почти се изравнява с това на електромобила и това се обяснява с по-ниското тегло както на целия автомобил, така и на това, падащо се на предната ос. По този начин теглото на водача оказва по-силно влияние върху промяната на разпределението на теглото между осите на автомобила, отколкото на електромобила. При качването на втория пътник на предната седалка до водача отново оказва малко по-силно влияние върху разпределението на теглата на автомобила. При качването на пътниците на задната седалка, както и при добавяне на 40 kg товар в багажника се забелязва промяна в процентното натоварване с еднакъв градиент и за двата автомобила.

Изследване на възможностите за преодоляване на наклон

На фиг. 3 е показана схема на силите, действащи на автомобила при равномерно движение (без ускорение) по наклон нагоре с ниска скорост, т.е. силата на въздушно съпротивление и инерционната сила не се отчитат.



Фиг. 3. Сили, действащи при равномерно движение с ниска скорост по наклон

Максималният ъгъл на наклон без загуба на сцепление при изкачване за автомобили с предни задвижващи колела, какъвто е изследваният, може да се определи по следната зависимост (Golomidov, A., 1972):

$$\tan \alpha_{max} = \frac{(\mu + f)b - f[L + (\mu + f)r_k]}{L + (\mu + f)h} \quad (2)$$

където μ е коефициент на сцепление на задвижващите колела с пътната повърхност;

f – коефициент на съпротивление при търкаляне (0,012);

L – колесна база (2,43 m);

h – височина на масовия център (приет 0,525 m)

r_k – радиус на колелата (0,29 m).

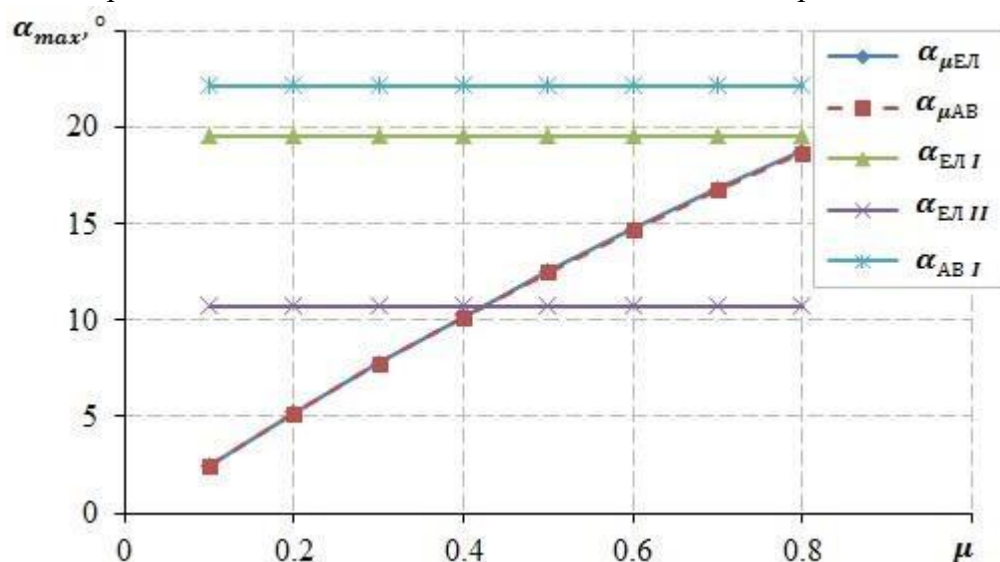
Максималния ъгъл на наклон, който се определя от въртящия момент на двигателя и предавателните числа на трансмисията е:

$$\tan \alpha_{max} = \frac{M_{e,max} i_{пк} i_0 \eta_T \eta_e}{Gr_k} - f \quad (3)$$

където $M_{e,max}$ е максималният въртящ момент на двигателя (110 Nm на автомобила и 120 Nm на електромобила);

$i_{пк}$ и i_0 са съответно предавателните числа на предавателната кутия и на главното предаване; η_T и η_e са съответно к.п.д. на механичната трансмисия и на електродвигателя и свързаната с него силова апаратура. Вторият се отчита само при електромобила (Evtimov, I., & Ivanov, R., 2016).

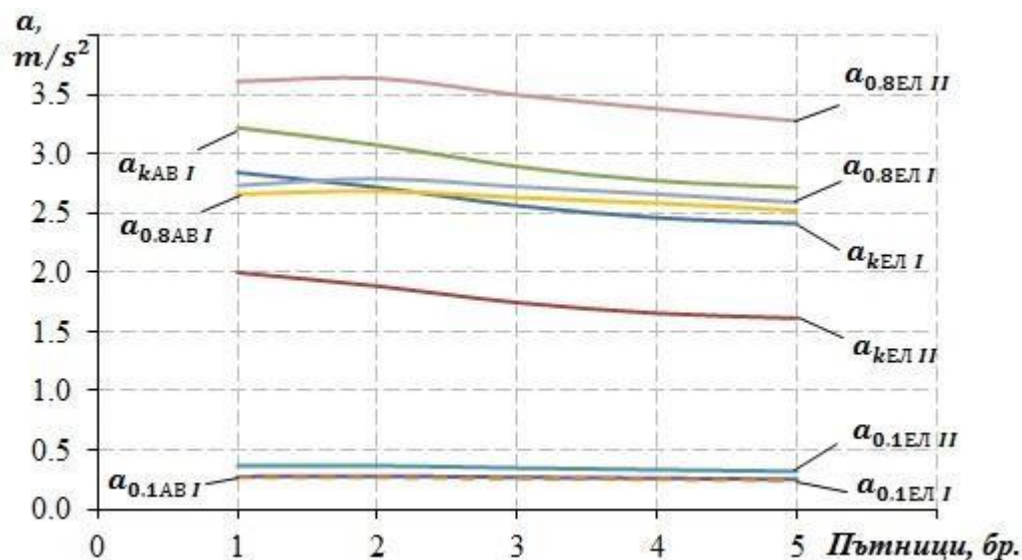
На фиг. 4 са показани резултатите за максималните ъгли на наклон α_{max} при натоварване с 4 човека и 40 kg багаж. Това е най-тежкият случай както по сцепление, така и по момент на двигателя с най-малки стойности на преодолявания наклон. $\alpha_{ЕЛ I}$ и $\alpha_{ЕЛ II}$, са ъгли, определени от момента на двигателя при електромобила, съответно на първа и втора предавка; $\alpha_{AB I}$ – ъгъл, определен от момента на двигателя на автомобила на първа предавка; $\alpha_{\mu ЕЛ}$ и $\alpha_{\mu АВ}$ са съответно ъгли, определени от възможностите по сцепление на електромобила и автомобила.



Фиг. 4. Ъгли на максимално преодоляван наклон в зависимост от коефициента на сцепление (4 човека + 40 kg)

Максимални стойности на ускоренията и скоростта

На фиг. 5 са показани максималните възможни стойности на ускоренията при движение по хоризонтален път. Показани са максималните стойности при два различни коефициента на сцепление $\mu=0,1$ и $0,8$, при две различни предавки на електромобила – I и II, както и ускоренията, определени от максималния предаван момент от двигателя към задвижващите колела - a_k .



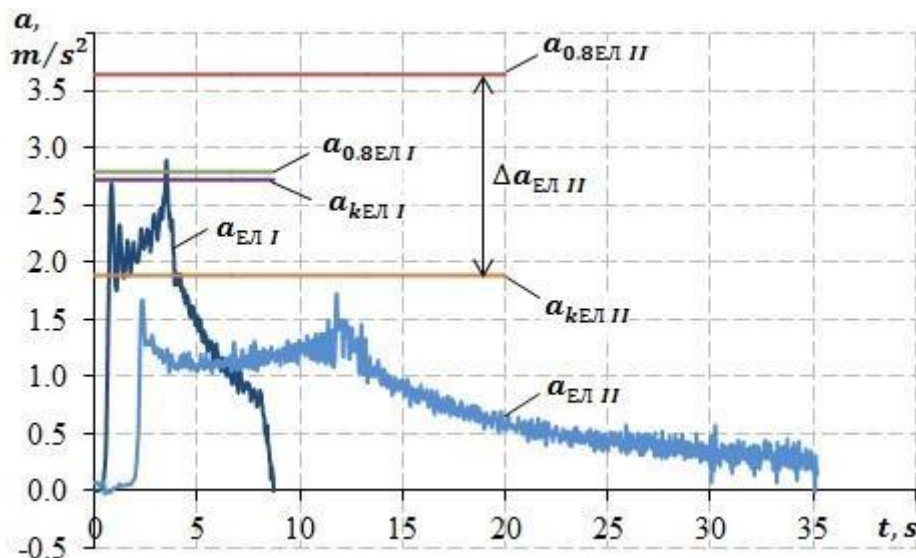
Фиг. 5. Максимални ускорения на автомобила (AB) и на електромобила (ЕЛ)
Ускоренията се определят по следната формула:

$$a = \frac{(D - \psi)g}{\delta} \quad (4)$$

където D е динамичният фактор; ψ – коефициент на пътно съпротивление; δ е коефициент, отчитащ ускоряването на въртящите се маси (Dimitrov, S., & Kunchev L., 2016):

$$\delta = 1 + \sigma_1 \frac{m}{m'} + \sigma_2 \frac{m}{m'} i_{\text{пк}}^2 \quad (5)$$

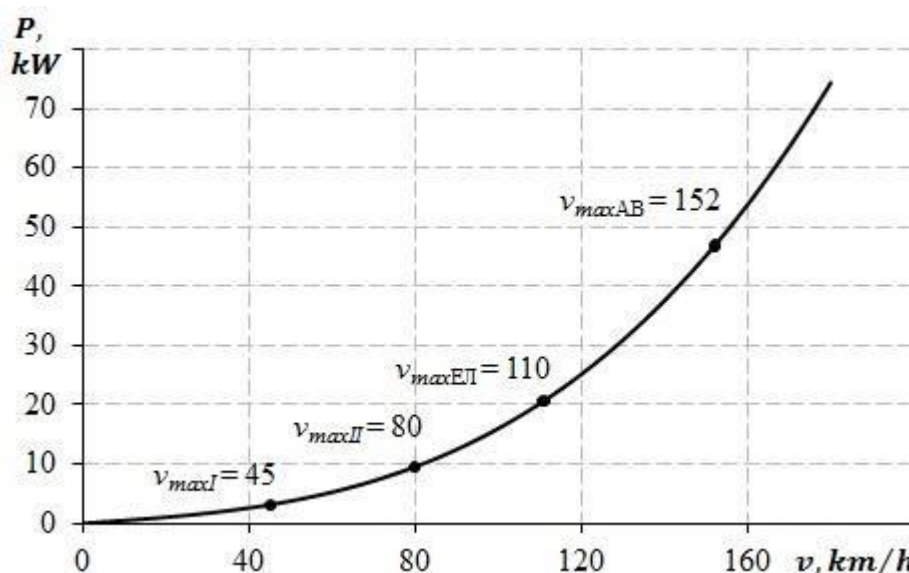
където m и m' са съответно пълната маса и масата с частично натоварване; σ_1 и σ_2 са постоянни коефициенти, приети в случая за 0,03.



Фиг. 6. Ускорения, получени при пътни експерименти, сравнени с изчислените максимални стойности На фиг. 6 са представени ускоренията на електромобила на първа $a_{\text{ЕЛ I}}$ и втора $a_{\text{ЕЛ II}}$ предавка, получени при пътни експерименти. Те са сравнени с изчислените максимални

стойности на ускоренията по сцепление при $\mu = 0,8$ на първа $a_{0.8 \text{ ЕЛ I}}$ и втора $a_{0.8 \text{ ЕЛ II}}$ предавка. Изчислените ускорения по момент на I и II предавка са $a_{k \text{ ЕЛ I}}$ и $a_{k \text{ ЕЛ II}}$.

Кривата на изчислената съпротивителна мощност на автомобила е дадена на фиг. 7.



Фиг. 7. Максимална скорост на автомобила и на конвертирания електромобил

Нанесени са изчислените максимални скорости на автомобила и електромобила. Максималната скорост на автомобила, заявена от производителя е 154 km/h и е близка до изчислената (152 km/h), което доказва верността на използваната методика от (Dimitrov, S., 2011). Изчислената максимална скорост на електромобила е 110 km/h и може да се постигне на трета предавка. Причината за по-ниската максимална скорост на електромобила е по-ниската мощност на използвания електродвигател 25 kW, срещу 48 kW на ДВГ на автомобила. Максималните скорости на първа и втора предавка на двата автомобила са приблизително еднакви на хоризонтален път, тъй като се ограничават кинематично, а не от пътните съпротивления.

ИЗВОДИ

Резултатите от изследванията показват, че възможностите за преодоляване на максимален наклон, определен от сцеплението на задвижващите колела с пътя са приблизително еднакви за конвенционалния автомобил и конвертирания електромобил. Автомобилът има по-големи възможности за преодоляване на наклон на I предавка, по момент на двигателя, поради по-малката маса и поради това, че при него не се отчитат загубите в електродвигателя и силовата електронна апаратура. Но това е без значение, тъй като и при двата автомобила, при включена първа предавка първо настъпва загуба на сцепление дори и при $\mu = 0,8$. Недостатък на електромобила е това, че при конвертирането е премахнат съединителя и фирмата производител препоръчва втора предавка за движение в градски условия. Затова са направени изследвания за електромобила при движение с ниски скорости и потегляне от втора предавка. Резултатите за максималния преодоляван наклон по задвижващ момент на втора предавка при електромобила показват, че въпреки запаса от сцепление не може да се преодолее по-голям наклон от 11° . Интерес представлява възможността на електромобила да постига по-големи стойности на ускорението по сцепление при включена II предавка (фиг. 5 и фиг. 6), където $\Delta a_{ЕЛ II}$ е запасът от ускорение по сцепление. Това е следствие на помалкото влияние на въртящите се маси поради по-ниското предавателно число на II предавка. Това означава, че ако вместо използваният електродвигател, който е с въздушно охлаждане, се монтира двигател с приблизително същите размери и течностно охлаждане, ще може да се постигне по-голям въртящ момент от двигателя и по-голяма мощност. Това е възможно благодарение на по-големите стойности на токовете на електродвигателя, които могат да протичат без да се получи прегряване. Всичко това ще доведе до възможности за по-голямо ускорение, дори от това на конвенционалния

автомобил, който трябва да потегля от I предавка. Благоприятен ефект ще има и върху максималната скорост, която в случая е доста по-ниска при конвертирания електромобил. Но като се има предвид, че и максималния пробег също не е голям (80 km по данни на производителя), то ниската максимална скорост в момента не представлява проблем, тъй като електромобилът е пригоден за експлоатация в градски условия на движение.

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани по договор № 191ПР0013-04 от Вътрешния конкурс на ТУ – София, 2019 г.

REFERENCES

Dimitrov, S. (2011). *Course work manual on theory of the automobile*. Sofia: Publishing House of Technical University of Sofia (**Оригинално заглавие:** Димитров, С. (2011).

Ръководство за курсова работа по теория на автомобила. София: Издателство на Технически университет – София.)

Dimitrov, S., & Kunchev L. (2016). *Theory of the automobile*. Sofia: Publishing House of Technical University of Sofia (**Оригинално заглавие:** Димитров, С. & Кунчев, Л. (2016).

Теория на автомобила. София: Издателство на Технически университет – София.) Erriquez, M., Morel T., Moulière P-Y., & Schäfer P. (2017). Trends in electric-vehicle design. McKinsey Center for Future Mobility. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/trends-in-electric-vehicle-design>. (Accessed on 07.10. 2019).

Evtimov, I., & Ivanov, R. (2016). *Electric vehicles*. Ruse: Print center of University of Ruse (**Оригинално заглавие:** Евтимов, И., & Иванов, Р. (2016). *Електромобили. Русе: Издателски комплекс при Русенски университет „А. Кънчев“.*)

Golomidov, A. (1972). *Vehicles with front wheel drives*. Moskow: Mashinostroenie. (**Оригинално заглавие:** Голомидов, А. (1972). *Автомобили с приводом на передние колеса. Москва: Машиностроение.*)

Ivanov, R., Evtimov, I., & Sapundzhiev, M. (2016). *Study of the acceleration performance of citroen berlingo converted into electric car*. ЕКО Варна (**Оригинално заглавие:** Иванов, Р., Евтимов, И., & Сапунджиев, М. (2016) *Изследване ускорителните характеристики на конвертиран лек автомобил Ситроен Берлинго в електромобил. ЕКО Варна, 2016.*)

Sapundzhiev, M., Evtimov, I., & Ivanov, R. (2017). Determination of the needed power of an electric motor on the basis of acceleration time of the electric car. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 252, 012063, CAR-2017.