

ЕЛЕКТРИЧЕСКИ АВТОБУСИ - ТЕНДЕНЦИИ ПРИ ИЗПОЛЗВАНЕТО ИМ В МАСОВИЯ ГРАДСКИ ПЪТНИЧЕСКИ ТРАНСПОРТ

Теодор Беров, Андрей Борисов
tberov@vtu.bg, androbor@abv.bg

**ВТУ "Тодор Каблешков",
ул. "Гео Милев" № 158, София
БЪЛГАРИЯ**

***Ключови думи:** градски пътнически транспорт, автомобилен, батериен електробус*

***Резюме:** Климатичните проблеми и повишените нива на замърсяване в големите градове изискват промени в използването на енергийните източници, т.е. въвеждане на „чисти технологии“. Градският пътнически транспорт допринася значително за шума и замърсяването на въздуха в градската зона. Въвеждането в експлоатация на електрически превозни средства е един от начините за решаване на тези проблеми. Общественият пътнически транспорт е особено обещаващ сектор за електрически превозни средства, поради големия брой обороти и предвидимото натоварване. В този материал се разглеждат тенденциите и възможностите за въвеждане в експлоатация на градски електрически автобуси при организация на движението на масовия градски пътнически транспорт в България. Направен е преглед на предварителната експлоатация в страната на електробуси – модели, маршрутни линии и получени резултати. Основно е разгледан вариант с едно зареждане в депо, практически използван у нас. Чрез SWOT анализ е направен преглед на основни предимства и недостатъци на приложение на електробуси в градския транспорт, като е отбелязано, че е изключително перспективно за въвеждане поради високата енергийна ефективност и ниски експлоатационни разходи. Засегнати са насоки за моделиране потреблението на енергия и решавани чрез него основни технологични и експлоатационни проблеми. На базата на това са формулирани конкретни изводи.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Климатичните проблеми и повишените нива на замърсяване в големите градове изискват промени в използването на енергийните източници, т.е. въвеждане на „чисти технологии“ (намаляването на емисиите на CO₂ с 40% през 2030 г. и 60% през 2040 г. в Европейския съюз [1]). Транспортният сектор в агломерациите допринася значително за градския шум и замърсителите на въздуха. Електрическите превозни средства играят важна роля за решаването на тези проблеми, след като се характеризират с нулеви емисии.

По отношение на транспорта, в Бялата книга [2] съществуват две важни цели: до 2030 г. да се намали наполовина използването на автомобили с конвенционално гориво в градовете и да се постигне по същество логистика без CO₂ в големите градски центрове до 2030 г..

Въвеждането на тези ЕПС в схемите на масовия градски пътнически транспорт (МГПТ) е повлияно от националните енергийни политики и движено по-скоро от екологични съображения, отколкото от търговски съображения.

Маршрутите, които автобусите ще изпълняват в определен ден, се определят от превозвачите от голям град, с помощта на система за подпомагане на вземането на решения [3], като се вземат предвид различни фактори. Автобусът може да изпълнява един маршрут непрекъснато през целия ден или само в пиковите часове с престой в депо.





В края на 2018г. в София тръгнаха 20 електробуса, които отговарят на екологичен стандарт Евро 6 и не произвеждат вредни емисии. За целта има 10 единични и пет двойни зарядни станции в трите поделения "Земляне", "Малашевци" и "Дружба".

В този материал се разглеждат тенденциите и възможностите за въвеждане в експлоатация на градски електробуси при организация на движението на масовия градски пътнически транспорт.

2. ТЕСТОВЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ЕЛЕКТРОБУСИ В БЪЛГАРИЯ

Използвайки етапите на развитие, може да класифицираме електрическите автобуси като: Тролейбус; Дизелов хибриден автобус; Електрически автобус. Последните са: Хибридни електрически автобуси (серийна, паралелна и серийно-паралелна схеми); Електрически автобуси с горивни клетки; Батерийни електрически автобуси (суперкондензатор).

В Европа, в края на 90-те години на миналия век, и по специално в Италия се използват малки електрически превозни средства, предназначени за обществен транспорт по вътрешно-градски маршрути. Основен старт на технологията е използването на 12-метрови електробуси изцяло на батерии по време на Олимпийските игри в Пекин през 2008 година. Въз основа на този първоначален успех, през 2010 година в Китай беше пуснат в експлоатация 12-метров електрически автобус изцяло на батерии с обещаващ пробег от 250-300 км. След 2013 година започват масови тестове на електробуси с производители от цял свят с тенденции за прехвърляне на цели автобусни линии от двигателите с вътрешно горене към електрическа енергия.

Производител	Е бус	Тип	
	Китай	Chariot	суперкондензатор
	Китай	Yutong E12	акумулаторна батерия
	Полша	Solaris Urbino 12 electric	акумулаторна батерия
	Чехия	SOR EBN	акумулаторна батерия

Фиг.1 Електрически автобуси, тествани в България

В последните години в България са изпробвани електробуси (фиг.1) в градовете: София, Пловдив, Варна, Бургас, Стара Загора, Пазарджик, Велико Търново, Русе, Албена и др.

Електрическият автобус "Chariot" [4],[5] е оборудван със суперкондензатор. Новата технология е патентована и произведена от шанхайска фирма "Аоуей". Суперкондензаторите от трето поколение позволяват да измине с едно зареждане до 20-23 км в зависимост от натоварването и характера на терена.

Chariot e-bus: Дължина-12m; Обща пътниковместимост- 90 път; Климатизация и Отопление ; Зареждане - Пантограф на терминала (5-6min) и в депото (5-6min); Капацитет на системата за съхранение на енергия -21-32kWh.

Електрическият автобус "Chariot" [4] е изпробван по тролейбусна линия №11 в гр. София (4 месеца 2014-2015г.). (Еднопосочна дъл. на мар. 11.2km; Средна експ.скорост 16.1km/h; Общо дневно часове работа 8.5h; Общ дневен пробег 88km).

Линията се обслужваше от две станции за зареждане DC / DC с мощност 150 кВт, разположени на двете крайни станции, с време за зареждане от 8 мин. Изследван е от водещата европейска лаборатория за изпитване на електрически автобуси, университета Ландшут, Германия. Резултатите доказаха, че ултракапацитивната технология е най-ефективната технология за съхранение на енергия и най-подходяща за приложение в електрическите автобуси за бързо зареждане.

Електрическият автобус Yutong E12 [6], [7] е 12-метров, с нисък вход и две врати на салона - 27 седящи и 65 правостоящи места, както и едно място за инвалиден стол; ABS, EBS. Електродвигател - M280-CV4-H с максимална мощност **200 кВт** и максимален въртящ момент **2400 Нм**. Тяговите литиево-йонни батерии са с капацитет **295 кВтч**. Според производителят животът им е около **4000** цикъла - пълно-празно. Предварителни тестове на автобуса са показали, че след **3800** цикъла капацитетът на батериите спада с 20%. Заявеният от производителят пробег с едно зареждане, установен с тестове, е около **320** км при температура 20 °C на околната среда и без допълнителни консуматори - климатик и отопление. Пълното зареждане на батериите трае 5 до 6 часа.

В началото на 2017 г. [8] автобусът имаше 4-месечен тестов период и в столицата, по линия 84, свързваща Летище София и центъра на града ($l_{об}$ -12270м., $t_{об}$ - : делник - 33 -45 мин.; празник - 33 -38 мин.).

Линията се обслужва от 4 броя превозни средства: 2 електрически автобуса и 2 дизелови автобуса. Дизеловите превозни средства работят на целодневни разписания, а електрическите такива работят на така наречените разписания **до прибиране**, които работят в пиковите периоди на деня – сутрин и следобед. за до зареждане на батерията (остатък 30%). Реалните експлоатационни резултати са показали, че при общ пробег от 21 802 км средният разход на електро - енергия е бил 99 кВтч на 100 км, а функционалното време за зареждане на батериите - 4 часа.

В настоящия момент Yutong E12 се използва при обслужването на два напълно електрифицирани автобусни маршрута на гр. София (№9 и №309), и вътрешен превоз в к.к. Албена. За летния период по Автобусна линия №9 ($l_{об}$ -14500м., $t_{об}$ - : дел. – 60 мин.), за един работен ден (16 оборота), напълно зареден автобус се прибира с остатък 30-40% от капацитета на батерията.

3. ПРЕДИМСТВА, НЕДОСТАТЪЦИ И ОСНОВНИ ПРОБЛЕМИ

Основни предимства и недостатъци на електробусите

SWOT анализ

СИЛНИ СТРАНИ

- Екологични - Намалване на вредните емисии; По-малко шумово замърсяване.
- модерни технологии, насърчавани от политическите сили; - по-ниски експлоатационни разходи в сравнение с другите технологии; - най-нисък разход на

километър пробег; - повишаване на енергийната независимост на страната; - подобряване на имиджа на обществения градски пътнически транспорт

СЛАБИ СТРАНИ

- Висока първоначална покупна цена (наемане) на батерии; - Ограничен живот на батерията - необходимост от смяна на комплектите батерии приблизително в половината от жизнения цикъл на превозното средство; - Екологично неблагоприятно производство на батерии; - Непреки емисии в околната среда; - Ограничен дневен пробег; - Малък опит с оптимална настройка на свойствата на превозното средство за дадени характеристики на трафика - риск от недостатъчен капацитет (или над размери капацитет) на батерии, мощност на двигателя и др.

ВЪЗМОЖНОСТИ

- Намалване цената батерията; - Повишаване капацитета на батерията; - По висок темп на растеж на цената на традиционните горива, отколкото на еленергията; - Възможни финансови стимули от правителствата; - Налагане ограничения в за достъпа в градската зона от екологични съображения; - Потенциално бързо въвеждане на електрическия обществен транспорт в развиващите се градски райони, където маршрутите и пътничкопотоците все още не са стабилизиращи.

ЗАПЛАХИ

- Ограничен обхват и липса на станции за зареждане, специфични за електрическите автобуси на обществения транспорт; - Голям брой пътувания с леки автомобили; - Развитие на метрополитена; - Броят на пътниците постоянно намалява.

Основни изводи, на база на анализа са, че технологията е изключително перспективна за въвеждане поради високата енергийна ефективност (фиг.2), непрекъснатото намаляване цената на тяговата батерия и увеличаване на капацитета на същата, темпа на растеж цената на конвенционалните горива, по ниските експлоатационни разходи и др., водещи до увеличаване на икономическата и екологична ефективност.

	Необходима енергия, kWh/km	спестяване
Дизел	4.48	0%
Хибрид Дизел-електрик	3.55	22%
Електрически (тежки условия)	2.52	42%
Електрически (леки условия)	1.28	71%
Data for 12-metre standard bus, according to SORT 2 (without heating), own measurements Cost of 1 litre diesel 5.52 PLN, cost of 1 kWh electricity 0.56 PLN		
източник: Solaris Electric & Fuel Cell Buses, HyER Members' Seminar Brussels, 26 January 2016		

Фиг.2 Енергийна ефективност на различните технологии

Моделиране потреблението на енергия

Използването на математически модел и симулиране на потреблението на енергия за маршрута на ЕПС, дава възможност за решаване на няколко основни проблема:

- необходимия капацитет на батерията - различни концепции за превозни средства, вариращи от батерии с голям капацитет, предназначени за цял ден работа без зареждане, до системи за бързо зареждане и батерии с малък капацитет;
- подходяща система за зареждане за определена автобусна линия - зарядни станции само в депото, на крайна спирка и дозареждане по маршрута;
- разпределение на превозните средства при обслужване на маршрута;
- промени в схемите на маршрутите и др.

Параметрите на проектиране могат да се определят, като се вземат предвид автобусните разписания. Освен това, напълно електрическите автобуси имат специфично потребление, свързано с климатизацията и отоплението, свързани с климатичните условия. Следователно трябва да се вземе предвид значително по-високата консумация на енергия за екстремни метеорологични условия.

Сили, действащи върху превозното средство се използват в уравнението за тяга на превозното средство.

$$(1) \quad F_{\text{тегл}} = ma + F_a + F_{rt} + F_g, N$$

Където, $F_{\text{тегл}}$ – теглителната сила, m масата, и F_a, F_{rt}, F_g – аеродинамично, от търкаляне, и наклони съответно съпротивления (N).

При това изчисление, масата на превозното средство се формира от собственото тегло, батерия, система за зареждане и пътниците. Чрез теглителната сила, характеристиките на мотора (η_{drive} к.п.д. в зависимост от характеристиките) и допълнителната необходима мощност $P_{\text{доп}}$, е възможно да се определи общата необходима мощност P_{total} .

$$(2) \quad P_{\text{total}} = \frac{F_{\text{тегл}}v}{\eta_{\text{drive}}} + P_{\text{доп}}$$

Потреблението на допълнителна мощност се определя основно от отопление, вентилация и климатизация (ОВК) на ПС. Освен това, има и други помощни средства като охлаждане на батерията, въздушен компресор, серво за волана и светлини. Според [9] измервания на 12-метров електрически автобус: Въздушен компресор макс. 5 kW и серво макс. 2,75 kW. Установено е, че охлаждащото устройство на акумулатора (4 kWth) има максимална електрическа мощност от 2,75 kW и е в постоянна работа през горещите летни дни, а нагревател на акумулаторна батерия 500W работи в студени дни.

$$(3) \quad P_{\text{доп}} = P_{\text{ОВК}} + P_{\text{др}}$$

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Електрическите автобуси имат голям потенциал за бъдещето им внедряване, особено в градовете и градските райони. Предимствата са безспорни - няма изгорели газове, по-малко емисии на шум и ниски експлоатационни разходи. Все още има много фактори, които спъват интеграцията на електрическите автобуси в системите на обществения транспорт - висока първоначална покупна цена, жизнен цикъл на батерията и надеждност на информацията за определяне на оптимална настройка за конкретна експлоатационна обстановка.

Въпреки високата цена на батерията, положителния икономическият ефект от използването на технологията е налице [10].

В настоящият момент, производителите се стремят да екипират превозните средства с тягови батерии така, че да могат да издържат един работен ден (>250км пробег), с едно зареждане в депото, което се вижда от практическото им използване у нас. Това не налага промени в съществуващите графици за движение на превозните средства.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] European Commission – Climate Action. European Commission, Roadmap for moving to a low-carbon economy in 2050, Online. <http://ec.europa.eu/clima/policies/roadmap>, 2012.
- [2] European Commission, “White Paper - Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and Resource Efficient Transport System”. COM(2011)-0144final. – online { http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/2011_white_paper_en.htm }
- [3] Тодорова М., В. Вельова, *Усъвършенстване на организацията на превозите на автобусна линия използвайки АСУ*, МТС. АЖ ISSN:1312-3823,бр.3/2014,статия ID 0965,

- (Todorova M., V. Velyova, Usavarshenstvane na organizatsiyata na prevozite na avtobusna linia izpolzvayki ASU, MTC. AJ ISSN:1312-3823,br.3/2014,statia ID 0965,) <http://www.mtc-aj.com/academic-journal.php?body=doc2&doc=965>
- [4] Секулов Л. Лалев Т, Павлов Г, Исаев Я, Томчева М . Експериментално изследване на енергийните показатели на експлоатирания в град София електробус, МТС. AJ, том 13,бр. 3/3 2015 г,ISSN 2367-6620 (Sekulov L. Lalev T, Pavlov G, Isaev Ya, Tomcheva M . Eksperimentalno izsledvane na energiynite pokazateli na eksploatirania v grad sofia elektrobus, MTC. AJ, tom 13,br. 3/3 2015 g,ISSN 2367-6620)
- [5] Chariot Motors, www.chariot-electricbus.com/
- [6] Yutong E12 full electric bus, www.yutong.com/
- [7] Zeeus-ebus-report-2, www.zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-ebus-report-2.pdf
- [8] Първа доставка на електрически автобус в България, <https://www.kamioni.bg/bg/menu/146/post/20549/Pyrya-dostavka-na-elektricheski-avtobus-v-Bylgariq> (Parva dostavka na elektricheski avtobus v Bulgaria)
- [9] Dietmar Göhlich, Tu-Anh Fay, Dominic Jeeries, Enrico Lauth, Alexander Kunith, Xudong Zhang, *Design of urban electric bus systems*, Des. Sci., vol. 4, e15 [journals.cambridge.org/dsj,DOI:10.1017/dsj.2018.10,](https://www.cambridge.org/core/journals/design-science/article/design-of-urban-electric-bus-systems/1C0E4AA05F6E1F6BF8A545E13F6A8D2DE) – online {<https://www.cambridge.org/core/journals/design-science/article/design-of-urban-electric-bus-systems/1C0E4AA05F6E1F6BF8A545E13F6A8D2DE>}
- [10] Банков Г., Миленов И., Възможности за подобряване на енергийната ефективност на автобусния транспорт, МТС. AJ, том 13, брой 3/2, 2015г. (Bankov G., Milenov I., Vazmozhnosti za podobryavane na energiynata efektivnost na avtobusnia transport, MTC. AJ, tom 13, broj 3/2, 2015 g)

ELECTRIC BUSES - TENDENCIES FOR USE IN URBAN PUBLIC TRANSPORT

Teodor Berov, Andrey Borisov
tberov@vtu.bg, androbor@abv.bg

*Teodor Kableshkov University of Transport,
Sofia, 158 Geo Milev Str.,
BULGARIA*

Key words: *battery electric bus, public transport, automotive*

Abstract: *Climate problems and increased levels of pollution in large cities require changes in the use of energy, ie. the introduction of "clean technologies". Urban passenger transport contributes significantly to noise and air pollution in the urban area. The commissioning of electric vehicles is one way of solving these problems. Public passenger transport is a particularly promising sector for electric vehicles due to the many turnover and foreseeable on load. This paper presents the trends and possibilities for putting into operation of urban electric buses in the organization of the urban passenger transport in Bulgaria. A review of the preliminary using in the country of electric buses - models, route lines and results obtained. By using SWOT analysis provides an overview of the main advantages and disadvantages of the technology and future prospects of its development. Affected are guidelines for modeling the energy consumption and basic technological and operational problems, can be solved. On this basis, conclusions are drawn.*