МЛАД ФОРУМ
Механика Транспорт Комуникации
Научно списание http://www.mtc-aj.com
ISSN 2367-6558 (print)
ISSN 2367-6612 (online)
том 14, брой 1, 2025г.
статия № 2690

ОПРЕДЕЛЯНЕ СПЕЦИФИЧНИЯ РАЗХОД НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ ЗА ЕЛЕКТРОБУСНА ЛИНИЯ Е60 В СОФИЯ

Петър Бодуров
bodurov.ptid@abv.bg

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков"
гр. София, ул. „Гео Милев" 158
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *електрически транспорт, електробус, енергийна ефективност, градски обществен транспорт, рекуперативно спиране, рекуперация, наземен транспорт, автономен транспорт, градски транспорт.*

Резюме**:** *Един от най-спешните и неотложни проблеми в автобусния транспорт е екологичността. Този проблем за решаване е особено важен за градския наземен транспорт и е една от основните причини за въвеждането и експлоатацията на хибридни и електрически автобуси за обществен транспорт.*

В настоящите условията на нарастваща нужда от устойчив и екологичен обществен транспорт, електрическите автобуси заемат все по-важно място в транспортните системи на големите градове. София не прави изключение от Европейските градове и „Столичният автотранспорт" ЕАД и „Столичния електротранспорт" ЕАД активно внедряват електробуси в своя автопарк с цел намаляване на вредните емисии, шума и разходите за гориво. В София се експлоатират два вида електробуси според източниците на електрическа енергия, такива със супер кондензатори(СК) и с батерии.

Настоящият доклад е посветен на анализа на специфичния разход на електрическа енергия за една от електробусните линии в града – линия Е60, като този доклад е първа част и ще бъде продължен от други доклади за другите електробусни линии в София.

Електробусната линия Е60 в София свързва Централна гара-София с ж.к. Овча купел 2, преминавайки през 35 спирки по маршрута си в двете посоки. Пътуването по график е 49±2 минути и се обслужва ежедневно във времевия интервал от 04:22 часа до 23:56 часа без почивни дни. Линията се обслужва от електробус със СК модел Higer KLQ6125GEV3 с инв. №(5001-5015, 5031-5064).

УВОД

Автобусът (съкратено от „автомобилен онибус") е безрелсово механично превозно средство, предназначено за превоз на осем или повече пътници, задвижвано от енергия, съхранявана или генерирана от гориво, съхранявано на самото превозно средство, или от друг вид автономна тяга - батерии или СК.

Интересът към електрическия обществен транспорт нараства пропорционално на нарастващите цени на горивата. Но има още един стимулиращ фактор, който кара

правителствата в много страни да се замислят за електробусите тяхната екологичност. За разлика от тролейбуса, електробусът не се нуждае от контактна мрежа и е напълно мобилен, но се движи с електричество, съхранявано в тягови батерии или кондензатори. Според изискванията на ЕС до 2020 75% от градския транспорт трябваше да бъде електрически, което определя именно заместването на автобуси с електробуси [2][4].

Електробусите могат да изминат 250-300 км в градски режим без презареждане. Времето им за зареждане е 3 часа на специални зарядни станции, но електробусите с бързо зареждане със **суперкондензатори (или ултракондензатори)** е иновативен тип електрически автобус, който **не използва стандартни батерии**, а разчита на **кондензатори** за съхранение на електрическа енергия. Те се отличават с **изключително бързо зареждане и разреждане**, но с **по-ниска енергийна плътност** спрямо литиево-йонните батерии.

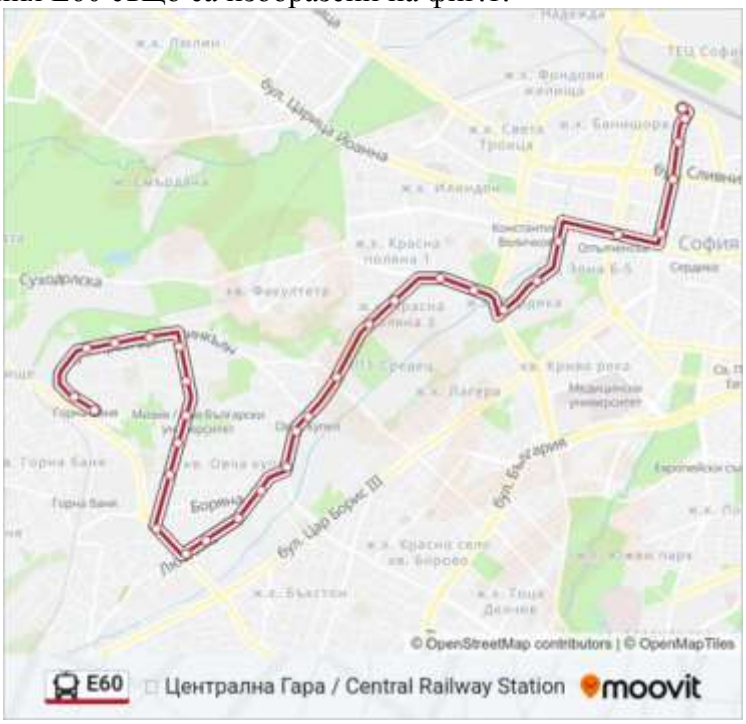
Предимства:

- **Свръхбързо зареждане** – подходящо за маршрутни линии с чести спирки.
- **Издръжливост и дълъг живот** – не се износват лесно.
- **Работа при ниски температури** – за разлика от батериите, суперкондензаторите работят ефективно и при студено време.
- **Екологично чисти и безопасни** – не съдържат токсични метали.

РАЗДЕЛ I ЕЛЕКТРОБУСНА ЛИНИЯ Е60

Линията се обслужва от електробуси, оборудвани с суперкондензатори, които се зареждат за около 8 минути на крайните спирки. С едно зареждане автобусите могат да изминат до 20–23 км, в зависимост от натоварването и терена. Тази технология позволява непрекъснатата 24-часова експлоатация без необходимост от дълги периоди на зареждане.

Електробусната линия Е60 преминава през жк. Банишора, ж.к. Сердика, ж.к. Красна поляна, кв. Овча купел и кв. Горна баня. Маршрутът на линията е показан на фиг. 1 и линията се определя като аксиална за града. Кривите на трасето на електробусна линия Е60 също са изобразени на фиг.1.



Фиг. 1. Маршрут на линия Е60 -София

Наклонът на трасето е определящ за разхода на енергия и за ефективността на рекуперативното спиране. Максималната абсолютна денивелация е разликата от 565 м.н.в. на Централна гара и на сп. НБУ 654 м.н.в. , като най-голям наклон има в участъка от сп. Мизия до сп. НБУ.

Като се има предвид дължината на маршрута (около 13.84 км в едната посока) и преминаването през горепосочените булеварди и улици, може да се предположи, че Е60 преминава през приблизително **20 до 25 светофарни уредби** в едната посока. Това включва както големи кръстовища, така и по-малки пресичания с регулирано движение.

Спирките в двупосочно направление са следните:

1. БУЛ. КНЯГИНЯ МАРИА ЛУИЗА;
2. НАДЛЕЗ НАДЕЖДА - 1114
3. УЛ. ОПЪЛЧЕНСКА - 2079
4. ЦЕНТРАЛНА ГАРА - 1328
5. УЛ. КЛОКОТНИЦА - 1326
6. БУЛ. СЛИВНИЦА - 0377
7. УЛ. ПИРОТСКА - 2112
8. МЕТРОСТАНЦИЯ ОПЪЛЧЕНСКА - 6407
9. БУЛ. АЛ. СТАМБОЛИЙСКИ - 0280
10. УЛ. КАМЕН АНДРЕЕВ - 1976
11. ДАНОН Сердика АД - 1075
12. УЛ. ГЮШЕВО - 1157
13. Бул. ВЪЗКРЕСЕНИЕ - 0304
14. Бул. ВАРДАР - 0292
15. УЛ. ДОБРОТИЧ - 1934
16. Ж.К. КРАСНА ПОЛЯНА - 0635
17. БАЛКАНКАР АД - 0565
18. МЕТРОСТАНЦИЯ ОВЧА КУПЕЛ - 6038
19. УЛ. НАРОДНО ХОРО - 2054
20. НЦ ПО РЕХАБИЛИТАЦИЯ - 0095
21. УЛ. ЛЮБЛЯНА - 0900
22. 66-ТО СОУ - 0041
23. УЛ. КАЛОЯНОВО - 0773
24. БУЛ. НИКОЛА ПЕТКОВ - 0347
25. УЛ. БОРЯНА - 1845
26. НБУ - 0069
27. ПГСС - 1566
28. МЕТРОСТАНЦИЯ МИЗИЯ - 0813
29. БЛ. 505 Ж.К. ОВЧА КУПЕЛ-1 - 0227
30. БЛ. 527 Ж.К. ОВЧА КУПЕЛ-1 - 0231
31. УЛ. ПРОМИШЛЕНА - 2141
32. БЛ. 32 Ж.К. ОВЧА КУПЕЛ-2 - 0192
33. БЛ. 25 Ж.К. ОВЧА КУПЕЛ-2 - 0175
34. ПАЗАРА ОВЧА КУПЕЛ - 1708
35. Ж.К. ОВЧА КУПЕЛ-2 - 0682

Дължина на маршрута:

- Еднопосочна дължина: 13.84 км;
- Двупосочна дължина: 27.68 км.

Именно изброените, криви, денивелационни стойности, светофари и спирки влияят на енергийната ефективност посредством рекуперативното спиране

РАЗДЕЛ II ТЕХНИЧЕСКИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕЛЕКТРОБУСИ HIGER KLQ6125GEV3

Експлоатираните електробуси по линията са само модел *Higer KLQ6125GEV3* със следните технически характеристики показани таблично в Таблица.1 [1],[3]:

Таблица 1 Технически характеристики на електробус модел Higer KLQ6125GEV3

Модел електробус	Higer KLQ6125GEV3
Размери (дължина, широчина, височина)	12 000 × 2 463 × 3 248 mm
Пътнически капацитет седящи/общо	84 броя
Собствена/обща маса	18,5t
Брой оси - общо/двигателни	2/1
Брой двигателни оси	1
Тип и капацитет на тяговата батерия	Суперкодензатори
Отопление/охлаждане	Конв./климатик
Максимална скорост	70 km/h
Електрически данни за двигателя	Тип двигател 1DB2016 - 2NB06
Номинално напрежение	561 V
Номинална големина на тока	176 A
Номинални обороти	1500 rpm
Номинална честота	150 Hz
Синхронно генерирано напрежение при 20°C (студен двигател) и 1000 rpm	380 V
Въртящ момент	1019 Nm
Номинално напрежение на изолацията	690 V
Максимално напрежение	585 V
Максимална скорост	3500 rpm
Тегло на двигателя	300 kg ± 5%

На фиг. 2 е показан визуално изглед на електробус модел Higer KLQ6125GEV3.

Фиг. 2. Изглед на електробус Higer *KLQ6125GEV3*

РАЗДЕЛ III ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СПЕЦИФИЧНИЯ РАЗХОД НА ЕНЕРГИЯ СПРЯМО ВОДАЧИТЕ НА ЕЛЕКТРОБУСИ

Направени са изследвания на 20 различни водача на електробусите, които се движат по трасето на линия Е60 и спрямо водачите е изчислен средния разход на специфична енергия, като резултатите са показани графично на фиг. 3.

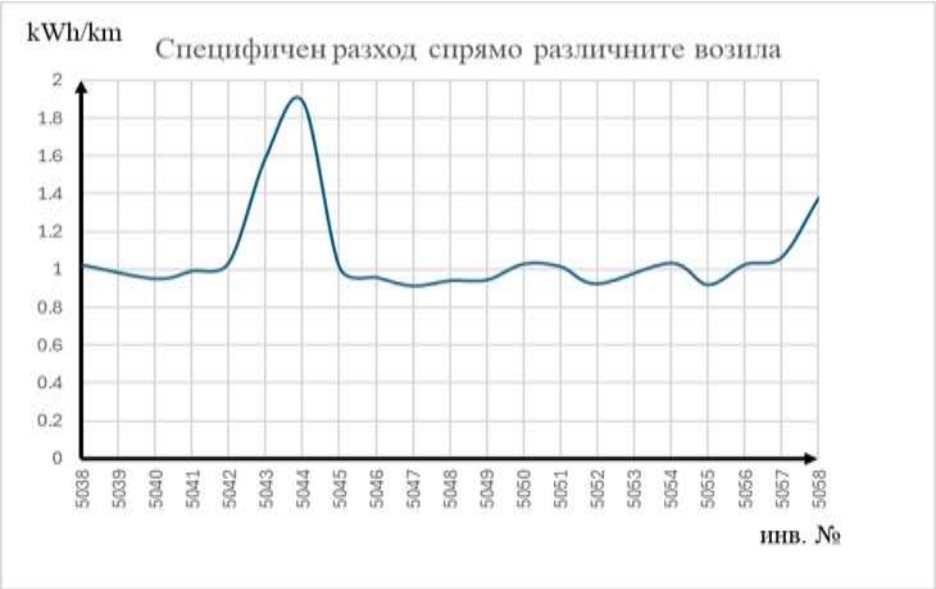
Измерванията са направени за 6 месечен период и обхващат всички реализирани курсово по линия, като тук не са включени служебните курсове.

Налице са отклонения само при двама водачи №5 където разходът достига максимална стойност 3.096, $\frac{kWh}{km}$ и при водач №12, където разходът на енергия е 1.756, $\frac{kWh}{km}$. При останалите водачи отклоненията от средната стойност са в малки граници.

Фиг. 3. Специфичен разход на енергия спрямо водачите

РАЗДЕЛ IV ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СПЕЦИФИЧНИЯ РАЗАХОД НА ЕНЕРГИЯ СПРЯМО ВОЗИЛАТА

За същия период от време са изследвани 20 броя возилата, които обслужват линията и това са електробуси с инв. № №5038-5058. Резултата е показан графично на фиг. 4.[2]



Фиг. 4. Специфичен разход на возилата

ИЗВОД И АНАЛИЗ

От направените изследвания в Раздел II се установява, че има отклонения само при двама водача №5 и №12. При изключване на тези изследвания се установява, че средният разход на електроенергия е 1.0003, $\frac{kWh}{km}$.

От направените изследвания в Раздел III се установяват отклонения при някои возила, като се наблюдава, че возило №№ 5044 и 5045 се управлява от много повече водачи отколкото другите возила, които се управляват само от титулярите. Като се изключат тези две возила средният разход спрямо останалите возила е 1.009, $\frac{kWh}{km}$.

Анализирайки получените резултати, се определя и специфичният разход на енергия за тази линия е около 1.0, $\frac{kWh}{km}$. Важно е да се отбележи, че изследванията са направени в неотоплителния сезон.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Павлов. Г., Секулов Л., Димитров Г., Томчева М. ,“ Изследване и анализ на енергийната ефективност на електробусния транспорт в град София“. Научно списание, МЕХАНИКА, ТРАНСПОРТ И КОМУНИКАЦИИ ISSN 1312-3823, 2367-6620 (online), том 17, брой 3, 2019 г. статия № 1869

[2] Търпов. И. ,“ Тенденции и прогнози в разработването на транспортни концепции за градовете на бъдещето“. Научно списание, МЕХАНИКА, ТРАНСПОРТ И КОМУНИКАЦИИ ISSN 1312-3823, 2367-6620 (online), том 21, брой 3/3, 2023 г. статия № 2423

[3] Божичкова И., М. Златков, М. Томчева, “Специфични особености, параметри и характеристики на литиевотитанатни акумулаторни батерии”, н.с. Механика Транспорт Комуникации, ISSN 2367-6620 (online), том 18, брой 3/2, 2020 г. статия № 2021

[4] Секулов Л., Т. Лалев, Г. Павлов, Я. Исаев, М. Томчева “ Експериментално изследване на енергийните показатели на експлоатирания в град София електробус “. Научно списание, Механика Транспорт Комуникации ISSN 1312-3823, 2367-6620 (online), том 13, брой 3/3, 2015 г. статия № 1252

DETERMINING THE SPECIFIC ELECTRICAL CONSUMPTION. ENERGY FOR ELECTRIC BUS LINE E60 IN SOFIA

Peter Bodurov
bodurov.ptid@abv.bg

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

Key words: *electric transport, electric bus, energy efficiency, urban public transport, regenerative braking, regeneration, ground transport, autonomous transport, urban transport.*

Abstract: *One of the most urgent and pressing issues in bus transport is environmental friendliness. This problem to be solved is particularly important for urban surface transport and is one of the main reasons for the introduction and operation of hybrid and electric buses for public transport.*

In the current context of increasing need for sustainable and environmentally friendly public transport, electric buses are increasingly important in the transport systems of large cities. Sofia is no exception among European cities and both Sofia Bus Transport EAD and Sofia Electric Bus Transport EAD are actively introducing electric buses into their fleets to reduce emissions, noise and fuel costs. Two types of electric buses are operated in Sofia according to the sources of electric power, those with super capacitors (SC) and those with batteries.

This report is devoted to the analysis of the specific electricity consumption for one of the electric bus lines in the city, line E60, this report is the first part and will be continued by other reports for the other electric bus lines in Sofia.

The E60 electric bus line in Sofia connects the Central Station-Sofia with the Sofia Railway Station. Ovcha Kupel 2, passing through 34 stops on its route in both directions. The scheduled journey time is 49±2 minutes and is served daily in the time slot from 04:22 to 23:56 excluding weekends. The line is served by an electric bus with SC model Higer KLQ6125GEV3 with Inventory No(5001-5015, 5031-5064).