

**АНАЛИТИЧНО И ЕКСПИРЕМАНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА
РЕКУПЕРАТИВНИТЕ РЕЖИМИ НА ТРОЛЕЙБУСИ SOLARIS 27TR
ЗА УЧАСТЪЦИ ЗАХРАНВАНИ ОТ ФИДЕРИ “БОЯНА” И “МУР”
КЪМ ТИС “ПАВЛОВО” В ГРАД СОФИЯ - ЧАСТ I**

Любомир Секулов, Мартина Томчева

res_start@abv.bg, mtomcheva@vtu.bg

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

Ключови думи: наземен електрически транспорт, електрически транспортни средства, тролейбуси, рекуперативно спиране, фидери, токоизправителни станции.

Резюме: Обектът на изследване в доклада са участъци от тролейбусно трасе по бул. Братя Бъкстон, София, захранван от токоизправителна станция (ТИС) “Павлово” през фидери “Бояна” и “Мур”. Електрическите транспортни средства (ЕТС), които се експлоатират в участъка са тролейбуси (ТБ) модели Solaris 27Tr с възможност за рекуперативно спиране. ТБ обслужват линия ТБ9 от мрежата на обществения транспорт на град София и се експлоатират от “Столичен електротранспорт” ЕАД. Експерименталното изследване е направено при нормални експлоатационни условия за периода от 1 юли до 7 юли 2022 г. на територията на ТИС “Павлово”. Измервани са токовете (прави и обратни) през фидери “Бояна” и “Мур”, както е и измерено напрежението на общата захранваща шина. Измерванията са правени едновременно в реално време, целодневно и са направени записи на стойностите с период на семплиране 100 ms. Основната цел е да се определи разходът на електрическа енергия за участъка в зависимост от режима и графика на движение на ЕТС, както и усвоената рекуперативна енергия при различните режими.

Паради големия брой данни получени от изследванията и разнопосочните анализи материалът е разделен в две части. В настоящия доклад (част I), са показани основните характеристики и параметри на изследвания участък и резултатите от измерените напрежения на общата шина в ТИС “Павлово”. Направен е анализ на получените резултати.

ВЪВЕДЕНИЕ В ПРОБЛЕМА

Всички съвременни производители проектират и изработват електрически транспортни средства (ЕТС), за градски обществен транспорт с възможност за рекуперативно спиране, което по същество представлява генериране на електрическа енергия в спиращ режим и връщането и в контактна мрежа (КМ). С това се постигат значителни икономии на електрическа енергия. Рекуперацията се осъществява в зависимост от изискванията на ТЕС и техническите възможности, които е осигурил производителят на ЕТС. От експериментални изследвания е доказано, че рекупериранията

електрическа енергия (РЕЕ) може да достигне до 30÷50 % от общата консумирана енергия от ЕТС [2].

Изследваните участъци се захранват от ТИС “Павлово”. Двата фидера (Бояна и Мур) осигуряват енергията на две съседни секции по бул. “Братя Бъкстон” в София. Този участък е избран не случайно поради факта, че движението се извършва основно от тролейбуси Scoda Solaris 27Tr в много разнообразни режими на движение при значителен среден наклон на пътя. Изследванията в този участък дават възможност да се направят конкретни анализи за тези возила, които да се адаптират и приложат и за други участъци в София с такъв режим на движение и с такъв модел возила. За двата захранващи фидера са снети в реално време правите и обратни токове и напрежението на общата шина в ТИС. Изследването е непрекъснато, денонощно, с период на семплиране 100ms, като от получените резултати са обработени само тези, при които има реално движение на електрическия подвижен състав (ЕТС) за периода от денонощието от 5:00 часа до 24:00 часа.

Ефективността при тяговото електроснабдяване зависи от коефициента на натовареност на системата за електроснабдяване и се определя от напреженията във формулата [4]:

$$(1) k_U = \frac{U_{xx} - U_{min}^t}{U_{xx} - U_d^t}$$

Където: U_{xx} е средното напрежение на празен ход на ТИС, V; U_{min}^t е минималното напрежение на токоснемателя на ЕТС за определен времеви интервал, V; U_d^t минимално допустимото напрежение на токоснемателя на ЕТС, V

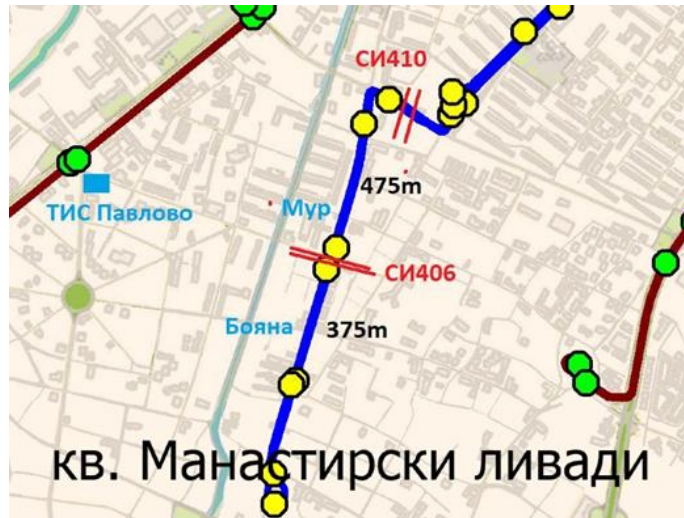
ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ИЗСЛЕДВАНИТЕ УЧАСТЪЦИ

Изследваните участъци се намират се на бул. “Братя Бъкстон” в град София отделени са със секционни изолатори (СИ) №406 и №410 от съседните участъци. Дължината на участъка захранван от фидер “Бояна” е 375 m и е захранен между СИ406 и обръщалото на ТБ, а участъкът захранен от фидер “Мур” между СИ406 и СИ410. Контактната мрежа(КМ) е изградена с меден проводник АС-100 по БДС EN 50149:2004. Фиксиращите обтежки на гъвките напречници в правата са бронзово въже 35 mm² /7x2,5/ по DIN 48201. Носещата мрежа в кривите е от бронзово въже 35 mm² /7x2,5/ по DIN 48201. Захранването на КМ е с фидери от алуминиев проводник 500mm², като дължините са съответно 1160 за ±“Бояна” и 1670 m ± “Мур”. Захранването на фидерите се осъществява през обща шина от неуправляеми изправители и три тягови трансформатора. Максималнотоковите защиты (МТЗ) на двата фидера са настроени за ток на изключване 1200 А [3].

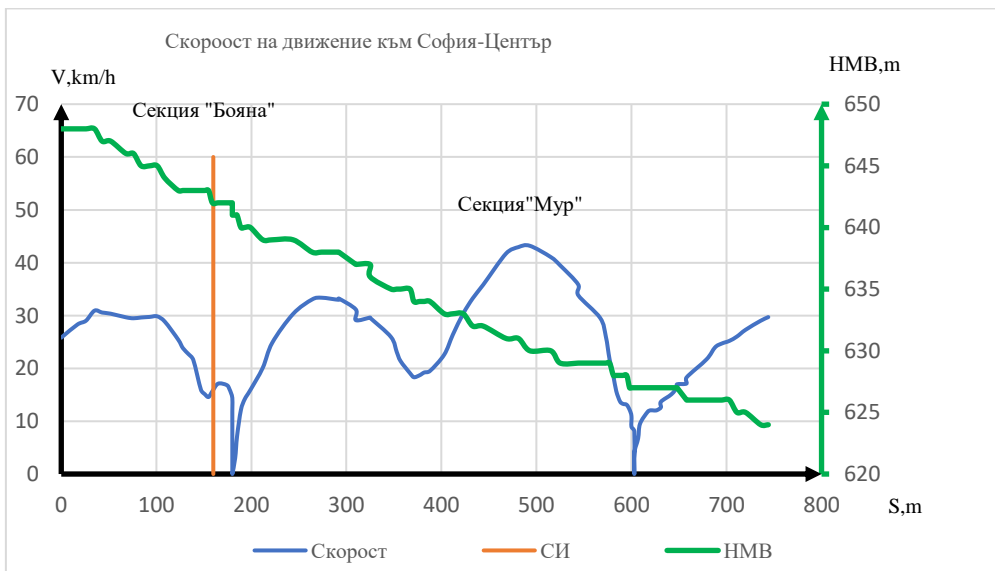
В изследваните участъци няма криви на пътя с малки радиуси. Към датата на изследването там има един светофар и три спирки на обществения транспорт по посока. Средният наклон на пътя е 34.66 %. Участъкът захранван от фидер Бояна е по- стръмен и там се намира и обръщалото на ТБ (крайна и начална спирка). Измерените средни скорости на движение на ЕТС участъка са съответно 13.84 km/h и 14.28km/h посока Бояна и посока София - Център.

На Фиг. 1 е показано местоположението на изследваните участъци в град София и местоположението на спирките на градския транспорт.

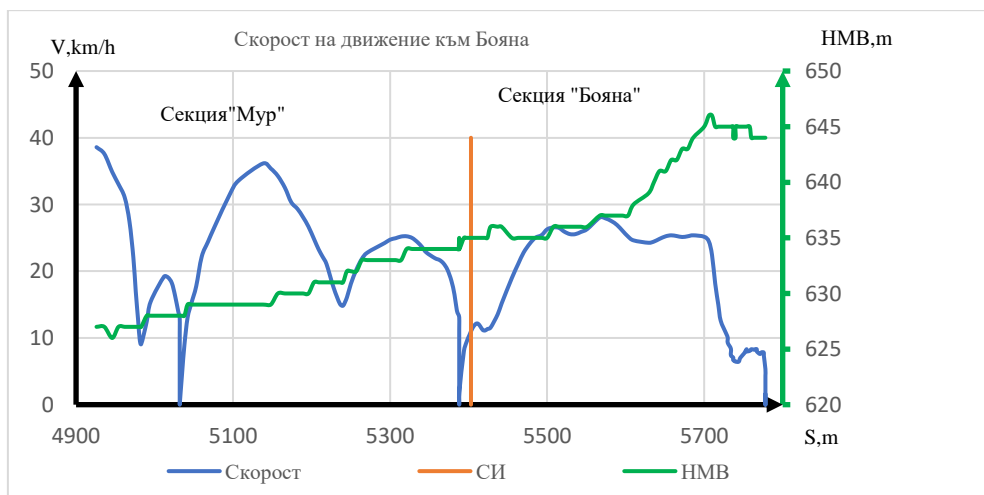
На Фиг. 2 и Фиг. 3 са показани профилът на пътя и моментните скорости на движение на ЕТС в изследвания участък, която съвпада със зададените средни скорости по графика на движение определен от Столичния електротранспорт (СЕТ) за трето тримесечие от 2022 година [3].



Фигура 1 Местоположение на изследваните участъци



Фигура 2 Скорост на движение към София-Център



Фигура 3 Скорост на движение към Бояна

Тази графики определят начина на движение на ЕТС в конкретния участък (тяга, инерция, спиране и престой).

РЕЗУЛТАТИ ОТ НАПРАВЕНОТО ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ

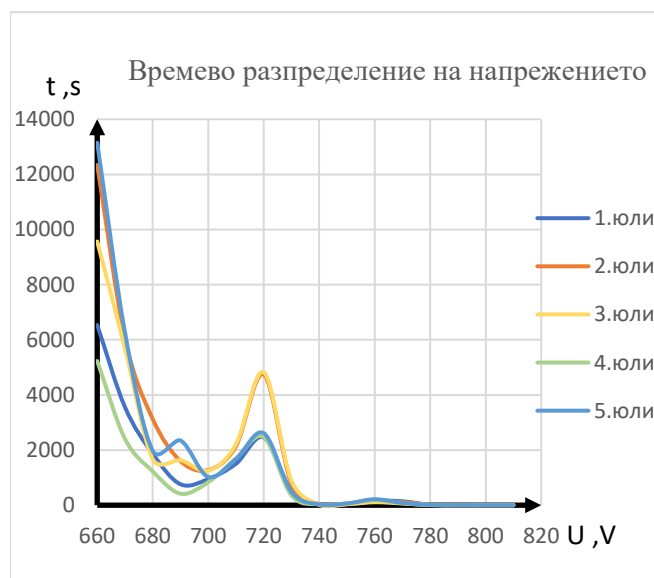
Измерването се провежда с измервателна техника осцилоскоп от серия Picoscope 2000. Измервателна техника позволява в реално време да се измерва 1 напреженов и 3 токови сигнала. Изходните данни могат да се записват както на облачен диск, така и на твърд носител [1].

Измерванията са направени при следните температури на околната среда за град София, отразени в Таблица 1. Изследванията са проведени за периода от 1 до 5 юли 2022 г., който включва три делнични и два празнични дни. Периодът на измерване е така избран, че да може да се изследва сходимостта на процесите през празничните и делничните дни.

Таблица 1 Дневни температури за София

Дневни температури за София					
	1.юли	2.юли	3.юли	4.юли	5.юли
	°C	°C	°C	°C	°C
Максимални	32.75	33.31	31.88	31.74	32.57
Минимални	15.71	17.90	16.66	16.60	16.51
Средни	26.10	26.61	25.80	25.59	26.22

В Таблица 2 и Фигура 4 е показано в графичен и табличен вид времевото разпределение на изследваните диапазони на напреженията на шината в ТИС в рамките на периода на измерване за денонощие. Изследваните диапазони са в границите на 10 V от 660V до 800V.



Фигура 4 Времево разпределение на напрежението на захранващата шина

Таблица 2 Времево разпределение

Времево разпределение					
	1.юли	2.юли	3.юли	4.юли	5.юли
V	s	s	s	s	s
650-660	6536.3	12341.2	9565.5	5229.9	13151.1
660-670	3558.4	6055.1	5697.4	2409.7	6272.2
670-680	1865.6	3125.3	1671.3	1227.2	1972.4
688-690	759.5	1601.3	1635.4	417.7	2347.6
690-700	946.2	1274.3	1251.2	832.7	1025.8
700-710	1501.4	2136.8	2209.7	1693.5	1676.8
710-720	2456.4	4744	4822.4	2471.2	2613.2
720-730	528.5	774.8	884.3	354.7	480.6
730-740	36.6	29.1	16.5	24.4	25.2
740-750	59.5	41.7	33	62.7	62.6
750-760	162.1	130.1	107.2	182.5	215.4
760-770	140	112.3	61.3	74	84
770-780	16.6	16.1	5.5	8.7	13.2
780-790	0.4	3.6	0.6	0.4	4.9
790-800	0.4	0.5	0.5	0.6	0.3
800-810	0.2	0.7	0.6	0.8	0

На фигура 4 се вижда че пикът на напрежение при 720V е явно изразен за празнични дни, като приблизително два пъти по-голям от този за делничен ден. Това показва по-доброто усвояване на рекуперативната енергия през работните дни и обратното през празничните дни, които са при разреден график на движение. Трябва да подчертаем, че на графиката са отразени работните напрежения в шината в ТИС, и към тях трябва да бъдат добавени падовете на напрежения в захранващите фидери, създадени

от тяговите и обратните токове протичащи през тях, за да се получи реалната стойност на напрежението в точката на присъединяване на фидера към КМ. Определянето на напреженията в тягов и рекуперативен режим на ЕТС при реалното движение се изчислява по друга методика. Според получените резултати има почти пълно съвпадение при измененията на напреженията отделно за празнични и отделно за делнични дни, което дава възможност за повишаване на точността на анализите направени по-нататък.

На Таблица 3 са показани моментите максимални и минимални стойности на напрежението за изследвания период и средното напрежение отчетено за всеки конкретен ден.

Таблица 3 Напрежения на захранващата шината

Напрежения на захранваща шина					
	V	V	V	V	V
	1.юли	2.юли	3.юли	4.юли	5.юли
Макс.	910.62	946.88	967.42	933.19	912.76
Мин.	595.78	554.41	596.4	594.91	593.59
Средно за ден	690.4067	696.0067	679.86	685.97	661.3707

Средното напрежение в Таблица 3 не е средно аритметичното от максималните и минимални моментни стойности. Измерената стойност е средна аритметичната на всички стойности на напрежението измерени за времето от 5:00 h до 24:00 h.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И АНАЛИЗ

Получените резултати при измерванията на напреженията на общата шина показват много голяма амплитуда между минималните и максималните моментни напрежения, както и по- висока стойност на измереното средно напрежение. Това се дължи на липсата на товар поради ремонтът на трамвайното трасе на ТМ5. Времената на напрежение над 680V на общата шина зависят основно от рекуперативните режими на ТБ Solaris, който се движи по бул. Бр. Бъкстон поради незначителната рекуперация от ТМ, които се движат по трасето на бул. Цар Борис III. Разтоварния режим на работа на ТИС Павлово в момента на провеждане на изследването е причина за ясно изразени пикови стойности при 720-730V, поради неувоената рекуперация от други ЕТС и преобладаващото реостатно спиране на ТБ. При пускане на линия ТМ5 в експлоатация средното напрежение на захранващата шина ще се понижи и амплитудите между минималните и максимални моментни стойности ще се понижат. Получените резултати са използвани в част II от доклада.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Димитров В., Изследване на сензори, специфични за съвременните електрически транспортни средства, Международна научна конференция „КЕИТ–2014”, н. сп. “Механика, Транспорт, Комуникации”, ISSN 1312-3823, том 12, брой 3/2, 2014 г. статия № 1012
- [2] Българанов Л. Електрически транспорт. София, 2009 г.
- [3] Столичен електротранспорт ЕАД ;
- [4] Незевак В.Л. Оценка влияния системы накопления энергии на уровень напряжения на шинах активного поста секционирования постоянного тока, УДК 621.311, DOI: 10.30987/1999-8775-2021-8-46-60

ANALYTICAL AND EXPERIMENTAL TESTING OF THE RECUPERATIVE MODES FOR SOLARIS 27TR TROLLEYBUSES IN THE LINE SEGMENTS POWERED BY THE ‘BOYANA AND ‘MUR’ FEEDERS OF THE ‘PAVLOVO’ CURRENT-RECTIFIER STATION IN SOFIA, PART I

Lyubomir Sekulov, Martina Tomcheva

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

Key words: land electric transport, electric transport vehicles, trolleybuses, recuperative braking, feeders, current-rectifier stations.

Summary: The objects of the survey in the present report are the segments of the trolleybus line running along the Bratya Buxton Boulevard, Sofia, powered by the ‘Pavlovo’ current-rectifier station through the ‘Boyana’ and ‘Mur’ feeders. The electric transport vehicles (ETV), which run along this segment of the line, are trolleybus (TB) models Solaris 27Tr, which have the option for recuperative braking. The TB provide transportation service coverage for line No. 9, which pertains to the Sofia Public Transport network and is managed by Sofia Electric Transport LLC. The experimental testing was conducted under normal exploitative conditions over the period 1-7 July, 2022 in the territory of the ‘Pavlovo’ current-rectifier station. Current measurements were made (direct and reverse) through the ‘Boyana’ and ‘Mur’ feeders, and voltage measurements were taken at the common power bus. The measurements were taken simultaneously in real time, over full days, and records of the values were made within a sampling period of 100 ms. The main purpose was to determine the power consumption within this segment of the track in relation to the mode and the scheduling of ETV movements, as well as to determine the amount of the recuperative energy used in the different modes.

Due to the ample volume of data produced in the course of the testing and the diverting analyses, the material was separated in two parts. The present report (Part I) shows the main characteristics and parameters of the surveyed track segment and the results of the voltage measurements at the common bus in the ‘Pavlovo’ current-rectifier station. The obtained results have been analysed.