

ИЗСЛЕДВАНЕ НА РЕКУПЕРАТИВНИТЕ РЕЖИМИ НА ТРАМВАЙНИ МОТРИСИ PESA 120NaSf ЗА УЧАСТЪЦИ ЗАХРАНВАНИ ОТ ТИС “МОТОПИСТА” В СОФИЯ ЧАСТ II

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, трамвайни мотриси, трамваи, рекуперация, рекуперативно спиране, фидери, токоизправителни станции.

Резюме: Изследването е насочено към разходът на енергия за обособено трамвайно трасе по бул. “България”, София, захранвано от токоизправителна станция(ТИС) “Мотописта”. Електрическите транспортни средства(ЕТС), които се експлоатират в участъка са трамвайни мотриси(ТМ) модели PESA 120 NaSf с възможност за рекуперативно спиране. ТМ обслужват линии ТМ№7 и ТМ№27 от мрежата на общественя транспорт на град София и се експлоатират от “Столичен електротранспорт” ЕАД. Експерименталното изследване е направено при нормални експлоатационни условия за периода от 7 юли до 25 юли 2022 г. на територията на ТИС “Мотописта”. Измервани са токовете (прави и обратни) през 6 фидера(Манастирски ливади, Тодор Каблешков, Невестина скала, Метличина поляна, Емил Марков, Широка лъка“) захранващи три секции от трамвайното трасе по бул. България в София. Измервани са в реално време и целодневно токовете за всяка секция, както и напрежението на общата захранваща шина. Направени са записи на стойностите с период на семплиране 100 ms. Основната цел е да се определи разходът на електрическа енергия за участъците в зависимост от режима и графика на движение на ЕТС, както и усвоената рекуперативна енергия при различните режими на движение.

В част II от доклада са представени резултатите от експерименталните целодневни изследвания. Измерени са напреженията на общата захранваща шина в ТИС “Мотописта”- София. Направен е подробен анализ на получените резултати и са установени максималните, минималните и средните стойностите на напрежението.

УСЛОВИЯ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНОТО ИЗСЛЕДВАНЕ

Измерването се провежда с измервателна техника осцилоскоп от серия Picoscope 2000 с USB 2.0 комуникации към РС. Версията е с 4 входни измервателни канала и 32 МВ вътрешна памет. Моделът е лесен за използване и включва генератор на случайни сигнали и режим на спектрален анализатор за преглед на сигнали в честотната област до 100 MHz и възможност за семплиране 1 GSa. Софтуерът на Picoscope осигурява

разширени математически операции със сигналите, филтри, тестване на маски, тригерни режими, автоматизирани измервания и висока разделителната способност . Също така стандартен със софтуера са широка гама от серийни декодери на шината, включително RS232/422/485, CAN, I2C, SPI и много други [1].

Измервателните сонди за ток са трансдуктори с точност 1% и обхват до ± 900 А DC/AC и коефициент на преобразуване 1m V:1 А. Напреженовата сонда с коефициент на преобразуване 1:100 и обхват до ± 2000 V[1].

Съществена особеност на общественият градски транспорт и в частност на наземния електрически такъв е, че той се движи по установен диспечерски график. Това дава основание да се очаква систематично повтарящо се електропотребление през еднаквите дните от седмицата, съответно през еднаквите месеци. На практика обаче върху месечното потребление оказват влияние и множество организационни и външни фактори, някои от които със случаен характер, водещи до значителни разлики в консумираната енергия между идентични месеци през различни календарни години [2,5].

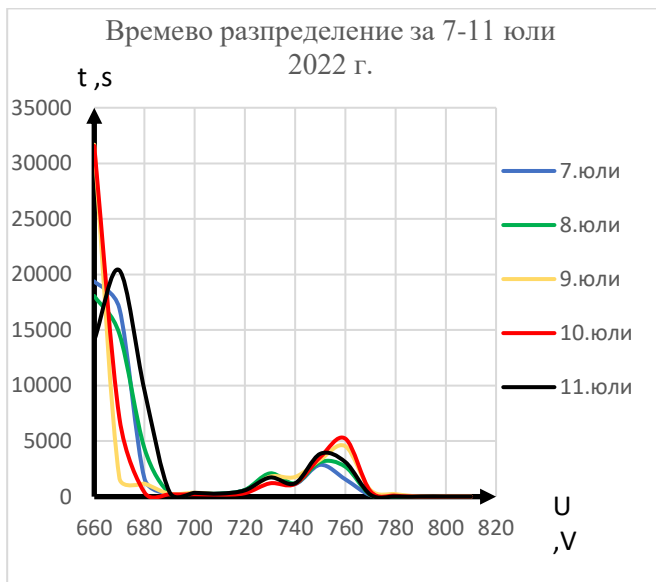
Изследването е проведено през периода от 7 до 25 юли 2022 г. включително. Всички изследвания са проведени при сухо време при следните дневни температури за София показани в Таблица 1, като празничните дни са отбелязани с червено.

През периодите от 7 до 11 юли е изследван първия участък захранван с фидери “Манастирски ливади”, “Тодор Каблешков” от 14 юли до 18 юли е изследван втория участък захранван от фидери “Невестина скала” и от 21 до 25 юли третият участък захранван от фидери “Емил Марков” и “Широка лъка”, това предполага по-малки амплитудни стойности на средните дневни температури при извършените измервания за конкретните участъци, т.е. по малко влияние на температурата на околната среда върху резултатите. Месец юли също се характеризира с постоянни температури и попада в началото на третото тримесечие на графика на движение на СЕТ. [3, 4]

Таблица 1 Дневни температури за София за периода за изследване					
Дневни температури за София					
	7.юли	8.юли	9.юли	10.юли	11.юли
	°C	°C	°C	°C	°C
Максимални	27,66	26,45	20,71	24,22	22,30
Минимални	15,93	15,16	15,42	12,84	12,23
Средни	22,05	21,25	18,32	18,92	17,69
	14.юли	15.юли	16.юли	17.юли	18.юли
	°C	°C	°C	°C	°C
Максимални	30,94	32,33	30,14	27,11	28,82
Минимални	14,70	17,84	17,24	13,20	13,41
Средни	23,79	25,87	23,88	20,54	22,03
	21.юли	22.юли	23.юли	24.юли	25.юли
	°C	°C	°C	°C	°C
Максимални	33,33	33,60	35,66	35,76	31,33
Минимални	17,40	18,74	17,65	18,04	19,20
Средни	25,86	27,13	27,70	27,80	26,25

РЕЗУЛТАТИ ОТ ЕКСПИРИМЕНТАЛНОТО ИЗМЕРВАНЕ

На Фигура 1 и в Таблица 2 е показано в графичен и табличен вид времевото разпределение на изследваните диапазони на напреженията на шината в ТИС в рамките за денонощие от 5 часа до 24 часа на периода на измерване от 7 до 11 юли 2022 година. Изследваните диапазони на напрежението са в интервал от 10 V за границите от 660V до 800V.

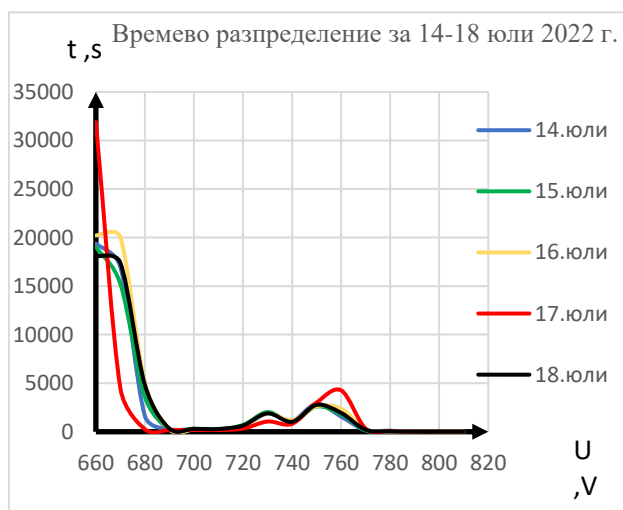


Фигура 1

Таблица 2

Времево разпределение на напрежението на шината					
	7.юли	8.юли	9.юли	10.юли	11.юли
V	s	s	s	s	s
650-660	19375,1	18060,8	31675,7	31573,5	14076,6
660-670	16946,7	14652,7	1682,6	7101,5	20370,5
670-680	1621,1	4333	1165,4	373	9552,2
680-690	265,6	304,6	251,1	199,1	402,8
690-700	277,7	313	352,3	217	342
700-710	253,3	277,8	226,2	189,1	276,5
710-720	595,4	608,4	409,1	310,8	570,1
720-730	1868,8	2096,2	1800,9	1198,9	1722
730-740	1144,5	1200,4	1774,7	1143,5	1202,4
740-750	2863,8	3119,4	3328,8	3559,5	3857,9
750-760	1555,1	2689,1	4539,4	5216,7	3108,3
760-770	134,4	147	595,2	473,8	169,2
770-780	104,9	14,7	225	88,9	17,1
780-790	0	0	0	0	0
790-800	0	0	0	0	0
800-810	0	0	0	0	0

На Фигура 2 и в Таблица 3 е показано в графичен и табличен вид времевото разпределение на изследваните диапазони на напреженията на шината в ТИС в рамките за денонощие от 5 часа до 24 часа на периода на измерване от 14 до 18 юли 2022 година. Изследваните диапазони на напрежението са в интервал от 10 V за границите от 660V до 800V.



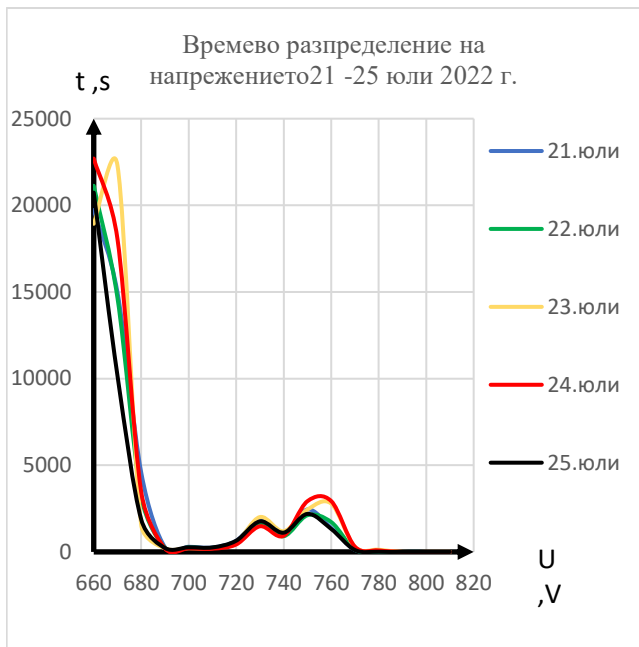
Фигура 2

Таблица 3

Времево разпределение					
	14.юли	15.юли	16.юли	17.юли	18.юли
V	s	s	s	s	s
650-660	19375,1	19044,9	20220,2	31915,6	18095,9
660-670	16946,7	15217,3	20006,1	4474,6	17388,5
670-680	1621,1	3583,5	5060,4	256,1	4808,1
680-690	265,6	276,2	222,8	170,3	316,7
690-700	277,7	302,1	221,8	191,8	302,9
700-710	253,3	261,6	213,9	181,2	282,6
710-720	595,4	697,3	565	317,1	640,7
720-730	1868,8	2027,6	1874,8	1052,5	1893,4
730-740	1144,5	1003,3	1192,9	813,9	1029,9
740-750	2863,8	2584,6	2621,4	3011,4	2760,1
750-760	1555,1	1804,4	2371,3	4258,7	1940,9
760-770	134,4	136,2	229,7	327,4	200,2
770-780	104,9	13,8	37,6	61,1	47,6
780-790	0	0	0	0	0
790-800	0	0	0	0	0
800-810	0	0	0	0	0

На Фигура 3 и в Таблица 4 е показано в графичен и табличен вид времевото разпределение на изследваните диапазони на напреженията на шината в ТИС в рамките за денонощие от 5 часа до 24 часа на периода на измерване от 21 до 28 юли 2022 година. Изследваните диапазони на напрежението са в интервал от 10 V за границите от 660V до 800V.

Таблица 4



Фигура 3

Времево разпределение					
	21.юли	22.юли	23.юли	24.юли	25.юли
V	s	s	s	s	s
650-660	19737,4	21128,2	18933,8	22698,6	20736,6
660-670	14975,3	14653,9	22295,4	18053,7	10167,7
670-680	4577,9	3179,1	1549,2	3457,6	1868,4
680-690	267,4	236,4	211,4	198,7	225,4
690-700	295,2	258	210,2	209	265,4
700-710	257,5	233,8	216	184	258,8
710-720	646,5	546,6	555,8	430,3	647,2
720-730	1827,2	1558,9	2011	1478,9	1761,3
730-740	1032,2	904,3	1194,9	932,2	1111
740-750	2448,5	2115,2	2443,8	2926,6	2192,4
750-760	1389,9	1721,8	2789,8	2933,1	1325,5
760-770	111,3	132,1	276,6	300,6	109,5
770-780	9,3	16,5	127,8	86,1	8,5
780-790	0	0	0	0	0
790-800	0	0	0	0	0
800-810	0	0	0	0	0

На таблица 5 са показани моментите максимални и минимални стойности на напрежението за изследвания период и средното напрежение отчетено за всеки конкретен ден. Средното напрежение е интегрална величина за целодневните измервания, а не средно аритметично между максималните и минималните моментни стойности.

Таблица 5 Напрежения на шината

Напрежения на общата захранваща шина					
	V	V	V	V	V
	7.юли	8.юли	9.юли	10.юли	11.юли
Макс.	783,92	783,61	783,6	783,45	783,44
Мин.	592,02	589,2	603,17	595,32	579,67
Средно	675,4409	676,9213	678,8838	679,5201	682,4432
	14.юли	15.юли	16.юли	17.юли	18.юли
Мин. напрежения	584,82	577,69	605,19	595,16	584,66
Макс. напрежение	794,15	783,29	783,92	783,44	783,92
Средно напрежение	675,5201	673,6132	678,017	674,3783	675,5369
	21.юли	22.юли	23.юли	24.юли	25.юли
Мин. напрежения	106,97	587,01	90,81	607,6	579,18
Макс. напрежение	783,29	783,29	783,6	783,6	783,29
Средно напрежение	672,9057	671,9709	677,6107	677,7288	669,2931

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати при измерванията на напреженията на общата шина показват малка амплитуда между минималните и максималните моментни напрежения, както и малки амплитуди на измереното среднодневно напрежение на общата захранваща шина. Максималната среднодневна стойност на напрежение е 682,44 V и е измерена на 11 юли понеделник, когато температурата на София е имала минимална стойност за измервания период от 12,23 °C. Минималната стойност на среднодневното напрежение е 669,29 V измерено на 25 юли понеделник при най-високи минимални температури 19,20 °C. Налице е зависимост между среднодневните напрежения на захранващата шина и минималните температури за деня, което в случая се определя от периода на извършените измервания, топлия месец юли. Тази зависимост се обяснява с работещите системи за климатизация в ЕТС захранвани от ТИС Мотописта, които през този месец работят в режим на охлаждане.

Времената на напрежение над среднодневното напрежение на общата шина показват времето на неусвоената рекуперативна енергия, което е важен показател за рекуперативния потенциал както на изследваните участъци, така и като цяло за ТИС “Мотописта”. Налице са ясно изразени пикови стойности при 720-730V и при 750-760V поради неусвоената рекуперация от други ЕПС и преобладаващото реостатно спиране на ЕПС по същото време. Напреженията на КМ мрежа и на точката на токоснемане са различни от тези на общата шина, като зависят от електрическите загуби при преноса на енергията и режима на движение на ЕПС. Получените резултати ще се използват в част III 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] Димитров Г., А. Христова, Особенности на тяговото електропотребление в градския електрически транспорт и тенденции в неговото развитие, Научно списание "Механика, транспорт, комуникации", том 12, бр. 3/2, стр. X-56, статия № 1013, 2014, ISSN 1312-3823, <https://mtc-aj.com/library/1013.pdf>, 2014г.
- [3] Столичен електротранспорт ЕАД ;
- [4] Търпов И., Изследване на екологичния ефект от рекуперативното спиране, IV Научна конференция с международно участие „Комуникации, електрообзавеждане и информатика в транспорта – КЕИТ 2018”, 28.09. - 30.09.2018 г., гр. Банско, 2018 г., Научно списание „Механика, транспорт, комуникации“, ISSN 1312-3823 (print), ISSN 2367-6620 (online), том 16, брой 3/2, 2018г., стр. IX-7 – IX-11, статия № 1712
- [5] Лалев Т., Изследване на възможностите за ефективно използване на рекуперирания електрическа енергия в тягова мрежа за постоянен ток, XXIII Международна научна конференция „Транспорт 2017”, Научно списание „Механика Транспорт Комуникации”, ISSN 1312-3823 (print) ISSN 2367-6620 (online), том 15, брой 3, 2017 г., стр. X-84 – X-89, статия № 1527

TESTING OF THE RECUPERATIVE MODES OF TRAM MOTRICE PESA 120NaSf ALONG SEGMENTS OF THE TRACK POWERED BY THE 'MOTOPISTA' CURRENT-RECTIFIER STATION IN SOFIA, PART II

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, tram motrice, trams, recuperation, recuperative braking, feeders, current-rectifier stations.*

Summary: *This survey explores the consumption of power for the tram line running along the Bulgaria Blvd., Sofia, which is powered by the 'Motopista' current-rectifier station. The electric transport vehicles (ETV), which run along this segment of the track are tram motrices (TM) of the model PESA 120 NaSf, which have the option for recuperative braking. The TM provide transportation service coverage for lines Nos. 7 and 27, which pertain to the Sofia public transport network and are managed by Sofia Electric Transport LLC. The experimental testing was conducted under normal exploitational conditions over the period 7-25 July, 2022 in the territory of the 'Motopista' current-rectifier station. Current measurements were made (direct and reverse) in 6 feeders ('Manastirski Livadi', 'Todor Kableshkov', 'Nevestina Skala', 'Metlichina Polyana', 'Emil Markov', 'Shiroka Laka'), powering three sections of the tram line along the Bulgaria Blvd. in Sofia. The measurements of currents were taken in real time, over full days, for each section, and voltage measurements were taken at the common power bus. Records of the values were made within a sampling period of 100 ms. The main purpose was to determine the power consumption within these segments 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.*

Part II of the report deals with the results of the full-day experimental testing. Voltage measurements were taken at the common power bus in the 'Motopista' current-rectifier station in Sofia. The obtained results were analysed in detail and the maximum, the minimum and average voltage values were established.