

## **АНАЛИЗ НА ТЯГОВИТЕ И СПИРАЧНИ РЕЖИМИ НА ТРОЛЕЙБУС SKODA SOLARIS**

**Мартина Томчева**  
[mtomcheva@vtu.bg](mailto:mtomcheva@vtu.bg)

**ВТУ „Тодор Каблешков” – София**  
**ул. „Гео Милев” 158, София 1574**  
**БЪЛГАРИЯ**

***Ключови думи:** електрическо спиране, електрически транспортни средства, рекуперация, рекуперативно спиране, тролейбус.*

***Резюме:** Електрическият транспорт е жизнено необходим за европейските градове, поради което съвременните електрически транспортни средства (ЕТС) трябва да отговарят на редица специфични изисквания, свързани с тяхната енергийна ефективност, комфорт и екологичност. Тези изисквания зависят от редица фактори, които трябва да се използват комплексно.*

*В градският електрически транспорт се експлоатират различни возила с променливотоково и постояннотоково електрозадвижване. Това голямо разнообразие създава определени затруднения за реалното определяне и оценка на енергийната им ефективност. Една от най-важните задачи на електрическия транспорт е значителното намаляване разхода на енергия, като в тази посока електрическата тяга има огромни неизползвани възможности. Най-ефективните мероприятия в тази посока са оптималното използване на рекуперацията и регулирането на режимите на работа на тяговите двигатели и спомагателните електрически машини на ЕТС.*

*В тази връзка е необходимо да бъдат изследвани и анализирани всички възможни режими на работа на експлоатираните електрически транспортни средства, на базата на което да бъде оценена тяхната енергийна ефективност. Това може да бъде направено чрез експериментално и аналитично изследване на основните параметри за всеки тип ЕТС, като на база анализа на получените резултати да се разработят и създадат методи и средства, ориентирани към решаване на комплексните проблеми за икономия и повишаване на ефективността при използване на рекуперативната енергия.*

### **1. Въведение**

Град София притежава най-голямата и най-сложна градска транспортна система в България. Транспортната система на града включва следните видове транспорт – трамваен, тролейбусен, автобусен и метрополитен. Експлоатират се различни поколения неавтономни ЕТС – тролейбуси, трамвайни и метро-мотриси с променливотоково и постояннотоково електрозадвижване. Голям процент от ЕТС реализират електрическо рекуперативно спиране. Рекуперативното спиране по същество представлява генериране на електрическа енергия и връщането ѝ в

контактната мрежа (КМ). С това се постигат значителни икономии на електрическа енергия. [1]

Най-важната задача на електрическия транспорт е значително намаляване на разхода на енергия, като в тази посока електрическата тяга има огромни неизползвани възможности. Най-ефективни мероприятия в тази област са оптимално използване на рекуперацията и регулиране на режимите на работа на тяговия електрически двигател (ТЕД) и спомагателните машини на ЕТС. Когато голям брой ЕТС са свързани към една тягова контактна мрежа (ТКМ), както е случаят с ЕТ, то определен брой транспортни средства, намиращи се в режим на рекуперативно електрическо спиране, може да съвпадне с такива в режим на тяга. Това дава възможност отдадената електрическа енергия от спиращ режим да се използва от ЕТС, когато са в режим на тяга. [4]

Въпросът, свързан с усвояването на рекупериранията електроенергия, е особено актуален, като за целта са необходими технически решения, както и анализ на процеса на рекуперация в самото ЕТС и в ТЕС. Затова изследванията трябва да се правят за реални процеси с отчитане на постоянни и случайни фактори.

В доклада са показани и анализирани част от резултатите от проведено експериментално изследване на основни показатели на тролейбус с асинхронно тягово електрозадвижване в нормални експлоатационни условия. За целите на изследването са избрани конкретни обекти, тролейбуси SKODA SOLARIS 26Tr и 27Tr, експлоатирани от тролейбусно депо „Искър” в град София.

## 2. Изследване и анализ на рекуперативните режими на избраните обекти

За целта на изследването са избрани тролейбуси 26 и 27 Tr SOLARIS. Това са тролейбуси в единичен и съчленен вариант, експлоатирани в градския транспорт в голям брой наши градове, имащи тролейбусно движение. В момента се експлоатират повече от 200 броя тролейбуси от този модел. Тези тролейбуси са с асинхронно тягово електрозадвижване, осигуряващо и режим на изборително рекуперативно-реостатно електрическо спиране (ИРРЕС). [2]

Поради факта, че тези тролейбуси представляват значителен процент от експлоатираните в Столичния градски транспорт е направено експериментално изследване на рекуперативните им режими. Експерименталното изследване на разхода на енергия на тролейбусите е направено в нормални експлоатационни условия при движение на линия за период от шест месеца, като са обхванати зимен и летен сезон. В таблиците е отразен периода, за който са отчетени показанията на електромерите в изследваните тролейбуси.

В таблица 1 са дадени показанията на разхода на електроенергия и върнатата (рекупериранията) енергия за тролейбуси 26 Tr SOLARIS, а на фигура 1 е изобразена в графичен вид зависимостта на относителния разход на електроенергия.

Таблица 1. Общ разход на електроенергия и върнатата електроенергия на тролейбус Skoda 26 TR Solaris

№ на тролей	Отчетен период		Пробег км	Върната енергия kWh	Относителен разход, kWh/km	Обща електроенергия kWh	Относителен разход, kWh/km
1603	27.01.2017 г.	26.06.2017 г.	14822	2967	0,200	25602	1,727
1604	17.01.2017 г.	27.06.2017 г.	19064	4390	0,230	37462	1,965
1605	20.01.2017 г.	19.06.2017 г.	21719	5334	0,246	44114	2,031
1606	30.01.2017 г.	28.06.2017 г.	16245	3925	0,242	32263	1,986
1607	23.01.2017 г.	17.07.2017 г.	24252	5593	0,231	47979	1,978

№ на тролей	Отчетен период		Пробег км	Върната енергия kWh	Относителен разход, kWh/km	Обща електроенергия kWh	Относителен разход, kWh/km
1608	24.01.2017 г.	07.06.2017 г.	19547	4597	0,235	37297	1,908
1609	11.01.2017 г.	19.06.2017 г.	29251	7050	0,241	57052	1,950
1610	31.01.2017 г.	14.06.2017 г.	19362	4106	0,212	34741	1,794
1611	26.01.2017 г.	08.06.2017 г.	21471	5135	0,239	43329	2,018
1612	17.01.2017 г.	26.06.2017 г.	27501	6979	0,254	55142	2,005
1613	30.01.2017 г.	13.06.2017 г.	19032	4463	0,234	37443	1,967
1614	02.02.2017 г.	12.06.2017 г.	17081	4196	0,246	30026	1,758
1615	12.01.2017 г.	23.06.2017 г.	22906	4937	0,216	45400	1,982
1616	20.01.2017 г.	29.06.2017 г.	23410	4021	0,172	43412	1,854
1617	11.01.2017 г.	09.06.2017 г.	24197	5026	0,208	46118	1,906
1618	18.01.2017 г.	22.06.2017 г.	17739	4305	0,243	35462	1,999
1619	16.01.2017 г.	20.06.2017 г.	22288	4624	0,207	45881	2,059
1620	13.01.2017 г.	29.06.2017 г.	24208	4388	0,181	47447	1,960
1622	04.01.2017 г.	27.06.2017 г.	28399	5725	0,202	53405	1,881
1623	16.01.2017 г.	16.06.2017 г.	21736	5093	0,234	41961	1,930
1624	03.01.2017 г.	05.06.2017 г.	22246	4711	0,212	48428	2,177
1625	10.01.2017 г.	15.06.2017 г.	29001	6099	0,210	56621	1,952
1626	18.01.2017 г.	05.06.2017 г.	19931	4970	0,249	42025	2,109
1627	19.01.2017 г.	05.06.2017 г.	21160	5444	0,257	46017	2,175
1628	05.01.2017 г.	08.06.2017 г.	26807	5892	0,220	52262	1,950
1629	27.01.2017 г.	20.06.2017 г.	19105	4056	0,212	37671	1,972
1630	16.01.2017 г.	06.06.2017 г.	22962	5247	0,229	47617	2,074
1631	13.01.2017 г.	07.06.2017 г.	25476	7180	0,282	57203	2,245
1632	09.01.2017 г.	13.06.2017 г.	23650	5234	0,221	47303	2,000



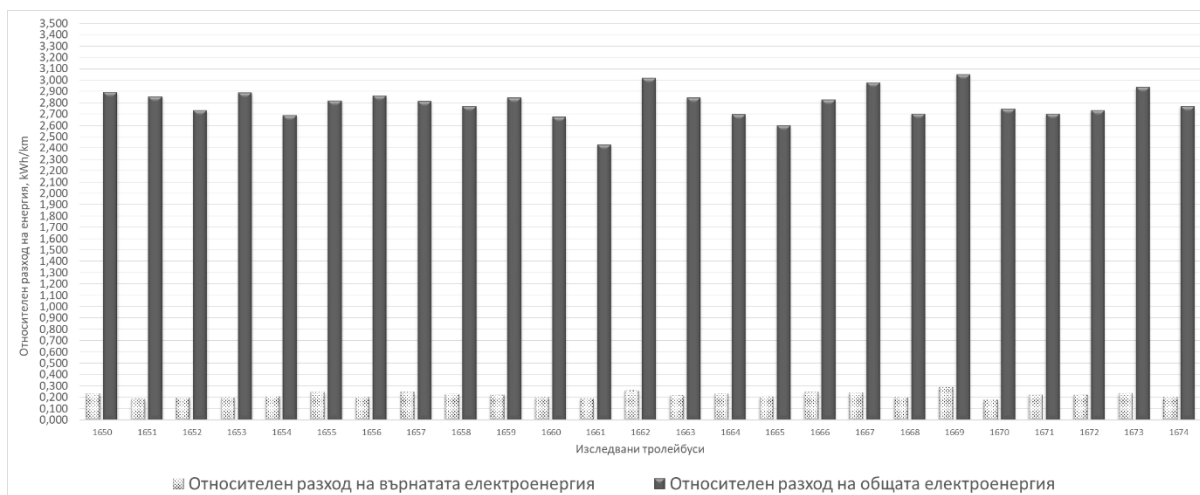
Фиг. 1. Графичен вид на общата и върната електроенергия на тролейбус Skoda 26 TR Solaris

Вижда се, че относителния разход на общата електроенергия се колебае в диапазона от 1,727 до 2,245 kWh/km, а средната стойност за изследваните возила е приблизително 1,976 kWh/km. Относителния разход на върнатата електроенергия е в диапазона от 0,172 до 0,282 kWh/km, а средната стойност за изследваните возила се колебае около 0,226 kWh/km.

В таблица 2 са дадени по аналогичен начин показанията на разхода на електроенергия и върнатата (рекуперираната) енергия за тролейбуси 27 Tr SOLARIS, а на фигура 2 е изобразена в графичен вид зависимостта на относителния разход на консумираната в тяга и върнатата в режим на рекулерация електроенергия.

**Таблица 2. Общ разход на електроенергия и върната електроенергия на тролейбус Skoda 27 TR Solaris**

№ на тролей	Отчетен период		Пробег км	Върната енергия kWh	Относителен разход, kWh/km	Обща електроенергия kWh	Относителен разход, kWh/km
1650	03.01.2017 г.	14.06.2017 г.	25047	5756	0,230	72560	2,897
1651	13.01.2017 г.	28.06.2017 г.	28277	5222	0,185	80734	2,855
1652	31.01.2017 г.	12.06.2017 г.	19807	3874	0,196	54180	2,735
1653	17.01.2017 г.	07.06.2017 г.	23982	4760	0,198	69359	2,892
1654	19.01.2017 г.	20.06.2017 г.	22734	4675	0,206	61181	2,691
1655	11.01.2017 г.	09.06.2017 г.	22955	5655	0,246	64673	2,817
1656	06.01.2017 г.	23.06.2017 г.	24202	4807	0,199	69280	2,863
1657	19.01.2017 г.	07.06.2017 г.	23946	5857	0,245	67362	2,813
1658	12.01.2017 г.	04.07.2017 г.	23871	5378	0,225	66165	2,772
1659	10.01.2017 г.	26.06.2017 г.	27573	6112	0,222	78422	2,844
1660	13.01.2017 г.	21.06.2017 г.	24829	4937	0,199	66436	2,676
1661	30.01.2017 г.	06.06.2017 г.	20203	3710	0,184	49108	2,431
1662	20.01.2017 г.	09.06.2017 г.	18831	4824	0,256	56851	3,019
1663	09.01.2017 г.	08.06.2017 г.	25914	5530	0,213	73785	2,847
1664	26.01.2017 г.	21.06.2017 г.	25851	5897	0,228	69794	2,700
1665	23.01.2017 г.	15.06.2017 г.	22376	4510	0,202	58173	2,600
1666	18.01.2017 г.	12.06.2017 г.	22534	5536	0,246	63746	2,829
1667	09.01.2017 г.	16.06.2017 г.	25580	6160	0,241	76201	2,979
1668	23.01.2017 г.	29.05.2017 г.	22162	4398	0,198	59944	2,705
1669	05.01.2017 г.	19.06.2017 г.	24418	6993	0,286	74548	3,053
1670	06.01.2017 г.	14.06.2017 г.	30986	5537	0,179	85200	2,750
1671	25.01.2017 г.	05.06.2017 г.	21817	4869	0,223	58957	2,702
1672	16.01.2017 г.	21.06.2017 г.	23183	5095	0,220	63381	2,734
1673	11.01.2017 г.	06.06.2017 г.	24450	5746	0,235	71925	2,942
1674	05.01.2017 г.	13.06.2017 г.	29132	5835	0,200	80724	2,771



**Фиг. 2** Графичен вид на общата и върнатата електроенергия на тролейбус Skoda 27 TR Solaris

Вижда се, че относителния разход на общата електроенергия се колебае в диапазона от 2,431 до 3,053 kWh/km, а средната стойност за изследваните возила е около 2,797 kWh/km. Относителния разход на върнатата електроенергия е в диапазона от 0,179 до 0,286 kWh/km, а средната стойност за изследваните возила е приблизително 0,218 kWh/km.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати дават основа за анализ на рекуперативните режими на ЕТС, експлоатирани в Столичния градски транспорт. Вижда се, че в момента ефективността от рекуперацията в гр. София е незначителна. Тя се колебае в границите от 7 до 14% по отношение на консумираната тягова електроенергия. Причините за това са лошите условия за рекуперация в столицата, свързани с графика на движение на ЕТС, както и конфигурацията и начина на секциониране на тяговата захранваща мрежа. Начинът на управление на возилата от страна на водачите също влияе осезаемо върху енергийната ефективност на спирания процес.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Българанов Л. Електрически транспорт – гр. София, 2009г.
- [2] SKODA Solaris – Техническа документация, схеми, параметри и характеристики., 2014 г.
- [3] Димитров Г., Г. Павлов. Анализ на ефективността на рекуперативните спирачни системи на тролейбуси Škoda Solaris в реални експлоатационни условия. Сп. Механика, транспорт, комуникации, 2016 г.
- [4] Аль-Салех И.Г., Слепцов М.А. Электрический расчёт внутреннего электроснабжения при рекуперации на линии между городами Амман и Зарка. Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Седьмая междунар. научн.- техн. конф. Т.2,- М.: МЭИ (ТУ). 2001.

# ANALYSIS OF SKODA SOLARIS TROLLEYBUS ARRANGEMENTS AND BRAKES

**Martina Tomcheva**  
[mtomcheva@vtu.bg](mailto:mtomcheva@vtu.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport*  
*158 Geo Milev Str., Sofia 1574*  
**BULGARIA**

**Key words:** *electric braking, electric vehicles, recuperation, regenerative braking, trolleybus.*

**Abstract:** *Electric transport is vital for European cities, and modern electrical transport must meet a number of specific requirements related to their energy efficiency, comfort and environmental friendliness. These requirements depend on a number of factors that should be used in a complex way.*

*In urban electric transport, various AC and DC electric vehicles are operated. This great variety creates certain difficulties for the actual determination and assessment of their energy efficiency. One of the most important tasks of electric transport is the significant reduction in energy consumption, and in this direction the electric thrust has huge untapped possibilities. The most effective measures in this direction are the optimal use of the recuperation and the adjustment of the operating modes of traction motors and auxiliary electric machines of the ETC.*

*In this connection, it is necessary to study and analyze all possible modes of operation of the used electric transport vehicles, on the basis of which their energy efficiency is assessed. This can be done by experimentally and analytically examining the basic parameters for each type of ETC, based on the analysis of the results obtained, to develop and to create methods and means oriented to solving the complex problems of economy and increasing efficiency using the recovered energy.*