

## Модернизация на осветителните уредби в трамвайните мотриси чрез използване на светодиодни светлинни източници

Георги Димитров

*Modernization of the lighting systems in trams by using LED light sources: The report presents results of a research on lighting systems in trams operated in Sofia. Analyzed the technical solutions for their modernization, as well as quantitative and qualitative parameters of lighting and compliance with specialized standard BDS EN 13272:2012. Is presented and a brief assessment of the expected economic effect of the applied technical solutions and appropriateness to the modernization of the lighting systems with LED light sources.*

**Key words:** Urban tramway transport, Lighting systems, Modernization by LED light sources.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Трамвайният транспорт в гр. София има почти 115 годишна история. През всичките тези години на експлоатация той играе съществена роля за градската мобилност на населението в столицата. Ефективността на трамвайния транспортен процес е пряко свързана с извършената нетна превозна работа (пътник/km), която в значителна степен зависи от комфорта на пътуване, в това число и осигуряване на необходимия светлинен комфорт през тъмната част на денонощието.

В доклада са представени резултати от проведено изследване върху енергийните и светлотехнически параметри на вътрешните осветителни уредби /ОУ/ в трамвайните мотриси, експлоатирани в гр. София. Анализирани са техническите решения при тяхната модернизация, както и количествените и качествените параметри на осветлението и тяхното съответствие със специализирания стандарт БДС EN 13272:2012 [2]. Представена е и кратка оценка за очаквания икономически ефект от приложените технически решения и целесъобразността на модернизацията на осветителните уредби със LED светлинни източници.

### 1. СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА

В град София са в редовна експлоатация 15 различни модификации трамвайни мотриси. В общия случай при всяка от тях осветителните уредби са изградени по различен начин, както по отношение на използваните осветителни тела, така и според разположението им в салоните за пътници. От септември 2013 г. по инициатива на експлоатационното предприятие „Столичен електротранспорт“ ЕАД започна поетапна модернизация на осветителните уредби в трамвайните мотриси чрез използване на светодиодни (LED) светлинни източници. По данни на дружеството основната цел е снижаване на електропотреблението за осветление.

Прилаганите технически решения при модернизацията на осветителните уредби в трамвайните мотриси са:

- **Адаптиране в съществуващите осветителни тела на LED светлинни източници.**
- **Пълна подмяна на осветителните тела с вградени в тях LED светлинни източници.**

Първото техническо решение е удачно, сравнително евтино, което може да се използва при съществуващи и със запазени оптични системи осветителни тела. Проблемът при него е, че светлотехническите характеристики на осветителните тела не са съобразени с параметрите на новите LED светлинни източници, монтирани в тях, и това води до неефективно използване на светлинния поток.

Като цяло второто техническо решение е до три пъти по-скъпо струващо, но с него могат да се постигнат най-добри резултати по отношение подобряване на параметрите на осветлението в трамвайните мотриси.

## 2. ИЗИСКВАНИЯ КЪМ КОЛИЧЕСТВЕНИТЕ И КАЧЕСТВЕНИ ПОКАЗАТЕЛИ НА ОСВЕТЛЕНИЕТО В ТРАМВАЙНИ МОТРИСИ СЪГЛАСНО БДС EN 13272:2012

Осигуряването на зрителен комфорт на пътуване в обществения релсов транспорт е регламентирано със стандарт БДС EN 13272:2012 [2]. Съгласно него се предявяват минимални изисквания към основните количествени и качествени показатели на осветлението и в трамвайните мотриси.

- **Изисквания за осветеност в обособени зони на вагоните:**
  - Седалки /на 0,80 m от пода и 0,60 m от стените/ –  $E_{ave} \geq 150 \text{ lx}$ .
  - Места за правостоящи, включително отворени проходи –  $E_{ave} \geq 50 \text{ lx}$ .
  - Около вратите за качване и слизане –  $E_{ave} \geq 75 \text{ lx}$ .
- **Изисквания към цветната температура на светлинните източници:**
  - За осигуряване на зрителен комфорт на пътниците, цветната температура на светлинните източници трябва да бъде в границите от **2800 K** до **5000 K**.
- **Изисквания към индекса на цвето предаване  $R_a$ :**
  - Светлинните източници и осветителите като цяло трябва да имат индекс на цвето предаване –  $R_a \geq 80$ .

Въпреки, че посочените в стандарта изисквания към осветлението в релсовият пътнически градски транспорт имат препоръчителен характер, реализирането на посочените показатели осигурява необходимия светлинен комфорт на пътниците за изпълнение на различни зрителни задачи по време на пътуване.

## 3. АНАЛИЗ НА ЕНЕРГИЙНИТЕ И СВЕЛТОТЕХНИЧЕСКИ ПАРАМЕТРИ НА ОСВЕТИТЕЛНИТЕ УРЕДБИ В ТРАМВАЙНИТЕ МОТРИСИ

В таблица 1 са показани данни за размерите на пътническите салони, броя и типа на използваните осветители и инсталираните мощности за осветление в тях [3].

Таблица 1  
Данни за осветяваните пространства и осветителите с луминисцентни лампи в трамвайните мотриси

Тип мотриса	Размери на пътническите салони			Технически данни за осветителя			Раб. мощност W
	Дължина, m	Широчина, m	Височина, m	Брой	Тип	ПРА	
<b>Трамвайни мотриси за междурелсие 1009 mm</b>							
T6M-700	19,20	2,15	2,05	11	1x36 W	ЕПРА -24V	440
T8M-900	24,80	2,15	2,05 (2,65)	14	1x36 W	ЕПРА -24V	560
T6A2	12,80	2,10	2,12	9	1x36 W	ЕПРА -24V	360
T4D-C	12,60	2,10	2,05	11	1x36 W	ЕПРА -24V	460
				1	1x18 W		
B4D-C	13,80	2,10	2,05	12	1x36 W	ЕПРА -24V	500
				2	1x18 W		
<b>Трамвайни мотриси за междурелсие 1435 mm</b>							
T6B5	13,30	2,40	2,15	10	1x36 W	ЕПРА -24V	400
T4D-M	12,60	2,10	2,05	11	1x36 W	ЕПРА -24V	440
B4D-M	13,80	2,10	2,05	13	1x36 W	ЕПРА -24V	520

Посочените в таблица 1 резултати показват, че при заводските схеми на най-масово експлоатираните трамвайни мотриси, за осветление на пътническите салони се използват осветителни тела с луминисцентни лампи от тип T8 и мощност 36 W,

като при една от модификациите се използват и единични осветителни тела с луминисцентни лампи 18 W.

Осветителните уредби в новодоставените през 2014 г. трамвайни мотриси **PESA Swing 122NaSF** са изградени със светодиодни осветителни тела, в съответствие с изискванията в обществената поръчка за тяхната доставка. Светлинните източници използвани при тях са от тип светодиодни тръби (TLED), както и LED луни. Изискванията към количествените и качествени параметри на осветлението в тях е те да съответстват на нормите в стандарта БДС EN 13272:2012 [2].

За да се определи годишното потребление на електрическа енергия за осветление в трамвайните мотриси е необходимо да се определи времето за работа на вътрешната осветителна уредба. Въз основа на публикуваните в [1] астрономически данни за изгрева и залеза на слънцето в град София и времетраенето на т.н. „сумрак“ е определена продължителността на тъмната част на денонощието за всеки ден от годината. С отчитане на продължителността на периода без маршрутна експлоатационна дейност, който за гр. София е средно около 5 часа (от 0:00 до 5:00), е изчислена и годишната използваемост на осветителния товар в трамвайните мотриси, която според графика на движение е около 2000 часа на година. Резултатите за потреблението на електрическа енергия за осветление в старите модификации трамвайни мотриси са показани в таблица 3.

Таблица 2  
Данни за потреблението на електрическа енергия от ОУ с луминисцентни лампи в трамвайните мотриси с най-голям дял в транспортната схема

Тип вагон	Брой и тип на осветителите		Единична мощност	Обща мощност	Мах. работни часове за 1 г.	Потребление за 1 година
	бр.	тип	W	W	h	kWh
T6M-700	11	1x36	40	440	2000	880
T8M-900	14	1x36	40	560	2000	1120
T6A2	9	1x36	40	360	2000	720
T4D-C	10+1	1x36+1x18	40 (20)	420	2000	840
B4D-C	11+2	1x36	40 (20)	480	2000	960
T6B5	10	1x36	40	400	2000	800
T4D-M	11	1x36	40	440	2000	880
B4D-M	13	1x36	40	520	2000	1040

Резултатите за тъмните часове на денонощието могат лесно да се преизчислят с достатъчна точност за всеки от градовете в Република България, чрез прибавяне на корекции към времето за изгрев и залез на слънцето в гр. София. За тази цел е необходимо да се определи местното време с точност до една минута, което може да се извърши на база географската дължина на населеното място по известни в литературата методи. Тъй като между най-източната и най-западната абсолютната разлика в местното време е само 24 минути, за определяне стойността на корекцията **K** (в минути) може да се използва следната формула:

$$K = I^{София} - I^m = 33,2 - I^m, \quad (1)$$

където  $I^{София}$  и  $I^m$  са съответно географската дължина в минути на гр. София (33,2 минути) и тази конкретното населено място.

Изчислената поправка **K** (може да бъде със знак „плюс“ или „минус“) се прибавя аритметически към моментите на изгрева и залеза на слънцето в гр. София.

За установяване текущите стойности на осветеността в трамвайните мотриси са проведени измервания в реални експлоатационни условия. За целта е използван цифров луксметър тип ELVOS LM-1010, като измерените стойности са коригирани с

предписаните в [4] коефициенти. Резултатите от експериментални измервания на осветеността в част от трамвайните мотриси са показани в таблица 3.

Посочените в таблица 3 резултати показват, че при всички стари модификации трамвайни мотриси със заводски осветителни уредби, реализираните средни осветености в зоните за седящи пътници (седалките) са по-ниски от предписаните в стандарта [2]. Последното се дължи на недоброто използване на светлинния поток на луминисцентните лампи (нисък експлоатационен фактор *MF* на осветителите), както и на недотам оптималното им разположение в тези транспортни средства.

Таблица 3

Данни за средната осветеност в обособените зони на трамвайните мотриси

Тип трамв. мотриса	„Трамкар” Т6М-700	„Трамкар” Т8М-900	ČKD Tatra Т6А2	ČKD Tatra Т6В5	ČKD Tatra Т4D-С	ČKD Tatra В4D-С	ČKD Tatra Pesa Swing 122NaSF
ЗОНА	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx
Седалки	109 (124) <sup>(1)</sup>	108 (128) <sup>(1)</sup>	125 (127) <sup>(1)</sup>	122 (130) <sup>(1)</sup>	83	84	161 <sup>(2)</sup>
Пътеки	167 (211) <sup>(1)</sup>	166 (226) <sup>(1)</sup>	114 (124) <sup>(1)</sup>	111 (121) <sup>(1)</sup>	86	88	183 <sup>(2)</sup>
Врати	92 (82) <sup>(1)</sup>	89 (81) <sup>(1)</sup>	77 (96) <sup>(1)</sup>	77 (83) <sup>(1)</sup>	45	45	129 <sup>(2)</sup>
Проходи	37 (38) <sup>(1)</sup>	38 (39) <sup>(1)</sup>	-	-	-	-	133 <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> В скобите са посочени стойностите на осветеността след модернизацията с LED светлинни източници.

<sup>(2)</sup> Посочените стойности на осветеността са измерени при използване на оригиналните TLED лампи.

След модернизацията при трамвайните мотриси от тип Т6М-700 и Т8М-900 се наблюдава повишаване на осветеността в зоните за седящи и правостоящи пътници, което вероятно се дължи на по-ефективното използване на светлинния поток от LED лентите с ъгъл на излъчване 120°. При трамваите от тип Т6А2 и Т6В5 се наблюдава относително запазване на параметрите на осветеността във всички зони, вероятно следствие на по-големия процент светлинен поток разсейван през прозорците. При новите трамваи Pesa Swift 122NaSF количествените и качествени параметри на осветлението в тях напълно съответстват на нормите в стандарта [2] и осигуряват необходимия светлинен комфорт на пътниците.

Поради съществуващото разнообразие от модификации трамвайни мотриси, икономическият анализ е направен само за част от тях, предвид еднотипността на използваните при модернизацията светлинни източници и технически решения. Получените резултати могат да се мултиплицират и към останалия тип подвижен състав на трамвайния транспорт.

#### 4. ИКОНОМИЧЕСКИ ЕФЕКТИ ОТ МОДЕРНИЗАЦИЯТА НА ОСВЕТИТЕЛНИТЕ УРЕДБИ НА ТРАМВАЙНИТЕ МОТРИСИ

За оценка на икономическия ефект от извършената модернизация на ОУ в голямата част от трамвайните мотриси на „Столичен електротранспорт” ЕАД е разработен икономически разчет за различните реализирани технически решения поотделно. Разгледано и анализирано е още едно решение с използване на TLED лампи 20 W, които позволяват почти директно да се монтират в съществуващите осветителни тела. Разчетите са направени за бъдещ експлоатационен срок от 10 години, който съответства на около 20 000 часа работа на осветителните уредби и може да се приеме като среден период за безотказна работа на използваните при модернизацията LED светлинни източници. В изготвения икономически разчет са заложени минимални цени на използваните светодиодни светлинни източници и прогнозна средна цена на електроенергията от 0,2175 лв. (на база договаряне с обществен доставчик), с включен в нея годишен темп на нарастване от 1,4%. Всички приложени цени са актуални към месец септември 2015 г. и са без включен ДДС.

Стойностната икономическа оценка на ефекта от модернизацията на осветителните уредби в част от трамвайните мотриси е показана в таблица 4. Като

основен показател за оценка на крайния икономически ефект е използван срока за откупуване на инвестициите.

Въз основа на данните от таблица 4 са определени сроковете за откупуване на инвестициите, които за различните технически решения са както следва:

- При модернизация с твърди LED ленти, монтирани в съществуващите осветителни тела – **45 месеца (3 години и 9 месеца)**.

- При модернизация с нови осветителни тела с твърди LED ленти – **64 месеца (5 години и 4 месеца)**.

- При модернизация с TLED лампи – **69 месеца (5 години и 9 месеца)**.

Таблица 4

*Икономически резултати за 10 годишен период на експлоатация при използване на различни светлинни източници в трамвайните мотриса*

Тип трамвайна мотриса	Брой подмени	Общ брой лампи	Ед. цена на лампа и труд	Разходи за лампи	Разходи за ел. енергия	Общо разходи за 10 г.
<b>При използване на луминисцентни лампи с мощност 36 W и светлинен поток ~2750 lm</b>						
	бр.	бр. лампи	лв.	лв.	лв.	лв.
<b>T6M-700</b>	2	11	4,50	99,00	1914,00	2013,00
<b>T8M-900</b>	2	14	4,50	126,00	2436,00	2562,00
<b>T6A2</b>	2	9	4,50	81,00	1566,00	1647,00
<b>T6B5</b>	2	10	4,50	90,00	1740,00	1830,00
<b>При използване на твърди LED ленти тип 4x18 LED с мощност 12 W, 24 V и светлинен поток ~1100 lm в съществуващи осветителни тела</b>						
	бр.	бр. LED	лв.	лв.	лв.	лв.
<b>T6M-700</b>	-	11	16,00	176,00	574,20	750,20
<b>T8M-900</b>	-	14	16,00	224,00	730,80	954,80
<b>T6A2</b>	-	9	16,00	144,00	469,80	613,80
<b>T6B5</b>	-	10	16,00	160,00	522,00	682,00
<b>При използване на нови осветителни тела с твърди LED ленти тип 4x18 LED с мощност 12 W и светлинен поток ~1100 lm</b>						
	бр.	бр. тела	лв.	лв.	лв.	лв.
<b>T6M-700</b>	-	11	45,00	495,00	574,20	1069,20
<b>T8M-900</b>	-	14	45,00	630,00	730,80	1360,80
<b>T6A2</b>	-	9	45,00	405,00	469,80	873,80
<b>T6B5</b>	-	10	45,00	450,00	522,00	972,00
<b>При използване на ретрофит TLED лампи с мощност 20 W, 24 V и светлинен поток 1620 lm</b>						
	бр.	бр. TLED	лв.	лв.	лв.	лв.
<b>T6M-700</b>	-	11	18,50	193,50	957,00	1150,50
<b>T8M-900</b>	-	14	18,50	259,00	1218,00	1477,00
<b>T6A2</b>	-	9	18,50	166,50	783,00	949,50
<b>T6B5</b>	-	10	18,50	185,00	870,00	1055,00

От финансово-икономическа гледна точка най-удачна е модернизацията на осветителните уредби с използване на твърди LED ленти тип 4x18 LED в съществуващите осветителни тела. Срокът за откупуване на първоначалната инвестиция е средно около 3 години и 9 месеца, но този способ е удачен за прилагане само при осветителни тела със сравнително запазени и с малки светлинни загуби оптични системи.

Осветителите, използвани в момента за пълна подмяна са стандартни с поликарбонатни разсейватели и адаптирани в тях LED ленти. Срокът за откупуване на инвестициите е средно около 5 години и 4 месеца, като ефектът е повишаване на осветеността в локални зони, за сметка на по-висок коефициент на неравномерност.

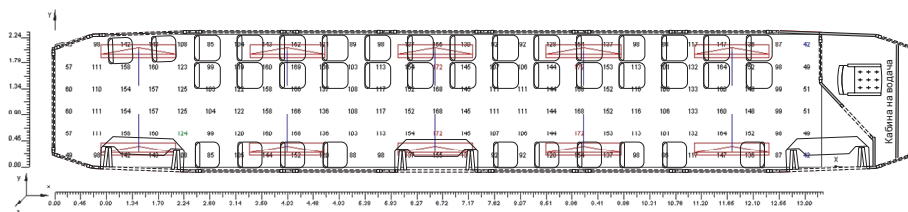
Предложената, като алтернатива, модернизация на осветителните уредби с използване на ретрофит TLED лампи 20 W в съществуващите осветителни тела има най-дълъг срок за откупуване – около 5 години и 9 месеца, като получените

резултати за осветеността, симулирани чрез компютърни модели, показват достигане на минимално изискуемите стойности съгласно стандарта [2].

## 5. ОСНОВНИ ИЗВОДИ

Модернизацията с LED светлинни източници на осветителните уредби в пътническите салони на трамвайните мотриси е съобразена със съвременното развитие на осветителната техника и приложението и в транспортните средства. По мнение на автора, базирано на продължителни наблюдения и измервания в реални експлоатационни условия, процеса на модернизация протича без предварително технико-икономически обоснован избор на решение, основаващо се на проведени изследвания с използване на компютърни светлотехнически модели (фиг. 1), чрез които да се определи най-оптималният вариант за реализация.

Към настоящия момент е трудно да се прогнозира реалният икономически ефект от модернизацията на осветителните уредби в трамвайните мотриси, тъй като в общия случай върху него оказват влияние редица субективни фактори. Наред с това следва да се отбележи, че общият енергоспестяващ ефект е незначителен на фона на brutното потребление на електроенергия от трамвайния транспорт – около 0,5% от brutния разход.



Фиг. 1. Светлотехнически модел на трамвайна мотриси ŠKD Tatra T6B5

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение може да се отбележи, че протичащата и в момента поэтапна модернизация на осветителните уредби при всички стари модификации трамвайни мотриси води до намаляване на текущите експлоатационни разходи. Използването на LED светлинни източници към настоящият момент дава следните ефекти:

- Намаляване консумацията на електрическа енергия за осветление на пътническите салони в трамвайните мотриси с около 60%.
- Намаляване на разходите за труд по подмяна на светлинните източници в осветителните тела.
- Частично подобряване на зрителния комфорт на пътниците в трамвайния транспорт.

Представените в настоящата работа изследователски резултати и разработените компютърни светлотехнически модели могат да се използват за решаване на практически задачи с цел оптимизиране на осветителните уредби както в трамвайни мотриси, така и при друг релсов пътнически подвижен състав.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Астрономически справочник 2015 (Данни за изгрева и залеза на слънцето в гр. София), Метеорологичен център на Военновъздушните сили, 2015.
- [2] БДС EN 13272:2012, Железопътна техника. Системи за електрическо осветление за подвижен състав в обществения транспорт, Български институт за стандартизация, 2012.

[3] Технически и енергетични данни за електрическите транспортните средства в експлоатация в гр. София, „Столичен електротранспорт” ЕАД, 2015 г.

[4] Berge O., Lichtmessung, Unterricht Physik 9 (1998) Nr. 47, Seite 17-18.

**За контакти:**

Ас. инж. Георги Димитров, катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта”, Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”, тел.: 02 9709 374, GSM: 087 8898788, e-mail: dimitrov\_gd@mail.bg

**Докладът е рецензиран.**



