

## **АНАЛИЗ НА ОСНОВНИТЕ ЕФЕКТИ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИЯ НА ОСВЕТИТЕЛНИТЕ УРЕДБИ В ОБЩЕСТВЕНИЯ РЕЛСОВ ГРАДСКИ ТРАНСПОРТ**

**Георги Димитров**  
[dimitrov\\_gd@mail.bg](mailto:dimitrov_gd@mail.bg)

**Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”, 1574 София, ул. Гео Милев № 158  
БЪЛГАРИЯ**

***Ключови думи:** Обществен релсов градски транспорт, осветителни уредби, модернизация с LED светлинни източници, ефекти.*

***Резюме:** Общественият градски транспорт и в частност релсовият такъв (трамваен и метрополитен), играе съществена роля за мобилността на населението в големите градове. Осигуряването на качествено осветление в тези транспортни средства е от съществено значение за създаване на необходимия зрителен комфорт на пътниците. Развитието на светодиодните технологии през последните десет години създаде предпоставки за по-широкото им приложение при изграждането на осветителните уредби в подвижния състав на обществения транспорт.*

*В доклада са представени резултати от проведено изследване върху състоянието на осветителните уредби в трамвайните мотриси и метроваковете, експлоатирани в гр. София. Анализирани са технически решения за тяхната модернизация с използване на светодиодни светлинни източници. С помощта на разработени изчислителни светлотехнически модели на различните типове трамвайни мотриси и вагони на метрото, аналитично са изследвани очакваните количествени показатели на осветлението. Чрез измервания, проведени в реални експлоатационни условия, са установени реализираните показатели след извършената модернизация на осветлението в част от трамвайните мотриси. Резултатите от светлотехническите изчисления и експерименталните измервания са представени в графичен и табличен вид. Направен е и кратък анализ на по-значимите ефекти от модернизацията на осветителните уредби в трамвайните мотриси и очакваният такъв при бъдещата модернизация на метроваковете на Софийския метрополитен.*

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Общественият градски транспорт и в частност релсовият такъв (трамваен и метрополитен), играе съществена роля за мобилността на населението в големите градове. Осигуряването на качествено осветление в тези транспортни средства е от съществено значение за създаване на необходимия зрителен комфорт на пътниците. Развитието на светодиодните /LED/ технологии през последното десетилетие създаде предпоставки за по-широкото им приложение при изграждането на осветителните уредби в подвижния състав на обществения транспорт. В доклада са представени резултати от проведено изследване върху състоянието и енергийното потребление на

осветителните уредби /ОУ/ в трамвайните мотриси и метровлаковете, експлоатирани в гр. София. Анализирани са количествените параметри на осветлението и тяхното съответствие със специализирания стандарт БДС EN 13272:2012 [1]. Представена е и кратка оценка за очакваните ефекти от модернизацията на осветителните уредби с LED светлинни източници.

## **НОРМАТИВНИ ИЗИСКВАНИЯ КЪМ КОЛИЧЕСТВЕНИТЕ И КАЧЕСТВЕНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА ОСВЕТЛЕНИЕТО В ОБЩЕСТВЕНИЯ РЕЛСОВ ГРАДСКИ ТРАНСПОРТ СЪГЛАСНО БДС EN 13272:2012**

Осигуряването на зрителен комфорт на пътуване в обществения транспорт е регламентирано със стандарт БДС EN 13272:2012 [1]. Съгласно него се предявяват минимални изисквания към основните количествени и качествени показатели на осветлението в обществения релсов градски транспорт.

- **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 –  $E_{ave} \geq 150 \text{ lx}$
  - Пътеки /ниво на пода/ –  $E_{ave} \geq 50 \text{ lx}$
  - Пътеки /на 0,80 m от пода/ –  $E_{ave} \geq 75 \text{ lx}$
  - 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.**
  - Осигуряването на зрителен комфорт на пътниците изисква цветната температура на светлинните източници да бъде в границите от **2800 К** до **5000 К**.
- **Изисквания към индекса на цвето предаване  $R_a$ .**
  - Светлинните източници и осветителите като цяло трябва да имат индекс на цвето предаване –  $R_a \geq 80$ .
- **Специфични изисквания към качествените и количествени показатели във вагоните на метрото.**
  - Предвид, че транспортната дейност на метрото се извършва предимно в подземни тунели, за намаляване на психологическото натоварване на пътниците се препоръчва осветеността във вагоните да бъде не по-ниска от **300 lx** (според изследвания в Русия **400 lx**), а цветната температура на светлинните източници да е **4000 К**.

Независимо от обстоятелството, че посочените в стандарта изисквания към осветлението в обществения релсов 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.

## **АНАЛИЗ НА СЪЩЕСТВУВАЩИТЕ ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ В РЕЛСОВИЯ ГРАДСКИ ТРАНСПОРТ**

Съгласно заводските схеми на най-масово експлоатираните трамвайни мотриси, за осветление на пътническите салони се използват осветителни тела с луминисцентни лампи от тип Т8 и мощност 36 W, като при една от модификациите се използват и единични осветителни тела с луминисцентни лампи 18 W [2]. Лампите се хранят през електронни преобразуватели /ЕП/ с първично постоянно напрежение 24 VDC.

При всички модели вагони на метрото се използват осветителни тела с луминисцентни лампи от тип Т8 и мощност 36 W, захранвани през електронни ЕП с първично постоянно напрежение 80 VDC [3]. Само при вагони модел 81-717/714 се използва допълнително и конвенционален (електромагнитен) баласт.

Годишното потребление на електрическа енергия за осветление в трамвайните мотриси и вагоните на метрото е определено въз основа на средногодишния период от време за работа на вътрешните осветителни уредби, с отчитане на реалния график за движение.

Таблица 1

*Данни за осветяваните повърхнини и осветителите с луминисцентни лампи в трамвайните мотриси с най-голям дял в транспортната схема*

Тип вагон	Размери на зоната за пътници			Данни за осветителите			Раб.мощност
	Д, m	Ш, m	В, m	Брой	Тип	ПРА	W
<b>Трамвайни мотриси за междурелсие 1009 mm</b>							
T6M-700	19,20	2,15	2,05	11	1x36 W	ЕП-24V	440
T8M-900	24,80	2,15	2,05 (2,65)	14	1x36 W	ЕП-24V	560
T6A2	12,80	2,10	2,12	9	1x36 W	ЕП-24V	360
T4D-C	12,60	2,10	2,05	11	1x36 W	ЕП-24V	460
				1	1x18 W		
B4D-C	13,80	2,10	2,05	12	1x36 W	ЕП-24V	500
					2		
<b>Трамвайни мотриси за междурелсие 1435 mm</b>							
T6A5	12,70	2,40	2,15	10	1x36 W	ЕП-24V	400
T6B5	13,30	2,40	2,15	10	1x36 W	ЕП-24V	400
T4D-M	12,60	2,10	2,05	11	1x36 W	ЕП-24V	440
B4D-M	13,80	2,10	2,05	13	1x36 W	ЕП-24V	520

Таблица 2

*Данни за осветяваните повърхнини и осветителите с луминисцентни лампи във вагоните на метрото*

Тип вагон	Размери на зоната за пътници			Данни за осветителите			Раб.мощност
	Д, m	Ш, m	В, m	Брой	Тип	ПРА	W
81-717.4	16,95	2,50	2,38	12	2x36 W	ЕП-80V+EM	1080
81-714.4	18,50	2,50	2,38	13	2x36 W	ЕП-80V+EM	1170
81-740.2	24,56	2,50	2,20	2x15	1x36 W	ЕП-80V	1110
81-741.2	26,45	2,50	2,20	2x16	1x36 W	ЕП-80V	1184
81-740.2Б	24,56	2,50	2,15	2x15	1x36 W	ЕП-80V	1110
81-741.2Б	26,45	2,50	2,15	2x16	1x36 W	ЕП-80V	1184

Таблица 3

*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	Средно работни часове за 1г.	Потребление за 1 година
	бр.	тип	W	W	h	kWh
T6M-700	11	1x36 W	40	440	1800	792
T8M-900	14	1x36 W	40	560	1800	1008
T6A2	9	1x36 W	40	360	1800	648
T4D-C	10+1	1x36+1x18	40 (22)	422	1800	760
B4D-C	11+2	1x36+1x18	40 (22)	484	1800	871
T6A5	10	1x36 W	40	400	1800	720
T6B5	10	1x36 W	40	400	1800	720
T4D-M	11	1x36 W	40	440	1800	792
B4D-M	13	1x36 W	40	520	1800	936

Таблица 4

Данни за потреблението на електрическа енергия от ОУ във вагоните на метрото

Тип вагон	Брой и тип на осветителите		Единична мощност	Обща мощност	Средно работни часове за 1г.	Потребление за 1 година
	бр.	тип	W	W	h	kWh
81-717.4	12	2x36	90	1080	4800	5184
81-714.4	13	2x36	90	1170	4800	5616
81-740.2	30	1x36	37	1110	4800	5328
81-741.2	32	1x36	37	1184	4800	5683
81-740.2Б	30	1x36	37	1110	4800	5328
81-741.2Б	32	1x36	37	1184	4800	5683

В таблици 1 и 2 са посочени данни за геометричните размери на зоните за пътници и технически данни за осветителите съответно в трамвайните мотриси с най-голям дял в транспортната схема и всички типове вагони на метрото, а в таблици 3 и 4 – данни за годишното потребление на електрическа енергия от осветителните уредби.

### РЕЗУЛТАТИ ОТ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНОТО И СИМУЛАЦИОННОТО ИЗСЛЕДВАНЕ НА СВЕЛЛОТЕХНИЧЕСКИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА ОСВЕЛЛЕНИЕТО В РЕЛСОВИЯ ГРАДСКИ ТРАНСПОРТ

За установяване текущите стойности на осветеността в трамвайните мотриси и метровлаковете 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 5, а тези за вагоните на метрото – в таблица 6.

Таблица 5

Данни за средната осветеност в обособените зони на част от трамвайните мотриси

Тип трамв. мотриса	„Трамкар” Т6М-700	„Трамкар” Т8М-900	СКД Tatra Т6А2	СКД Tatra Т6В5	СКД Tatra Т4D-C	СКД Tatra В4D-C	Pesa Swing 122NaSF
ЗОНА	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx
Седалки	109 (120) <sup>(1)</sup>	108 (119) <sup>(1)</sup>	125 (127) <sup>(1)</sup>	127 (130) <sup>(1)</sup>	83	84	161 <sup>(2)</sup>
Пътеки	167 (218) <sup>(1)</sup>	166 (217) <sup>(1)</sup>	116 (124) <sup>(1)</sup>	120 (121) <sup>(1)</sup>	86	88	183 <sup>(2)</sup>
Врати/стъп.	92 (82) <sup>(1)</sup>	89 (81) <sup>(1)</sup>	77 (96) <sup>(1)</sup>	75 (84) <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 измерените стойности на осветеността след модернизацията с LED платки.

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

Таблица 6

Данни за средната осветеност в обособените зони на вагоните на метрото

Тип вагон	81-717.4	81-714.4	81-740.2	81-741.2	81-740.2Б	81-741.2Б
ЗОНА	lx	lx	lx	lx	lx	lx
Седалки	165 (198) <sup>(1)</sup>	166 (198) <sup>(1)</sup>	409 (379) <sup>(1)</sup>	409 (380) <sup>(1)</sup>	421 <sup>(2)</sup> (398) <sup>(1)</sup>	421 <sup>(2)</sup> (397) <sup>(1)</sup>
Пътеки	250 (303) <sup>(1)</sup>	250 (303) <sup>(1)</sup>	442 (405) <sup>(1)</sup>	442 (405) <sup>(1)</sup>	445 <sup>(2)</sup>	445 <sup>(2)</sup>
Врати	137-145 (155-177) <sup>(1)</sup>	136-145 (160-176) <sup>(1)</sup>	324 (307) <sup>(1)</sup>	324 (307) <sup>(1)</sup>	320-345 <sup>(2)</sup> (310-335) <sup>(1)</sup>	320-345 <sup>(2)</sup> (310-335) <sup>(1)</sup>
Проходи	-	-	140 (137) <sup>(1)</sup>	139 (135) <sup>(1)</sup>	112 <sup>(2)</sup> (108) <sup>(1)</sup>	110 <sup>(2)</sup> (106) <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> В скобите са посочени стойностите на осветеността след модернизацията с TLED лампи.

<sup>(2)</sup> Стойностите на осветеността са измерени при използване на оригиналните Philips TL-D лампи.

Посочените в таблица 5 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

стойности в стандарта БДС EN 13272:2012 [1]. За сравнение са показани осветеностите по зони в новите трамваи Pesa Swing 122NaSF, чиято ОУ е изпълнена с тръбни LED лампи, които покриват и надхвърлят минималните изисквания на стандарта [1].

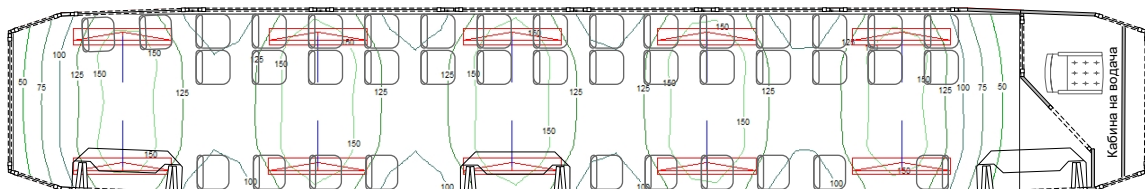
Анализът на резултатите за вагоните на метрото показват (табл. 6), че при тях са изпълнени минималните изискванията за осветеност съгласно [1]. При метровагоните от тип 81-717.4 и 81-714.4 нивата на осветеност в зоните за седящи пътници са близки до минимално изискуемата и може да падне под нормата, следствие намаляване на светлинния поток на лампите към края на експлоатационния им живот.

От 2013 г. поетапно в част от трамвайните мотриси беше извършена замяна на луминисцентните лампи тип Т8-36 W с LED платки (18xLED, 2,5 W), монтирани в съществуващите и частично в нови осветителни тела, чиято обща мощност е 10 W. Постигнатите светлотехнически показатели са определени чрез измервания в реални експлоатационни условия и са сравнени с тези, получени чрез симулационни изследвания с използване на компютърни модели и специализиран за целта софтуер .

Ефектите от модернизацията на ОУ в различните модели вагони на метрото при използване на LED светлинни източници, са определени само въз основа на компютърно базирани светлотехнически изчисления.

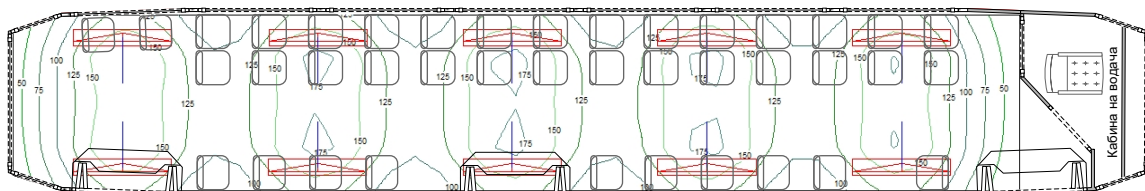
Поради липса на точни светлотехнически характеристики на осветителите, инсталирани в трамвайните мотриси и вагоните на метро, при симулационните изследвания са използвани такива със сходни светлоразпределителни криви. При избора на коефициенти на отражение на ограждащите повърхнини са отчетени цветовото оформление и остъкляването на страничните и челните стени на салоните за пътници в подвижния състав на релсовия градски транспорт.

**Изчислителен стойности за осветеността в трамваен вагон тип Т6В5 при използване на луминисцентни лампи тип Т8 – 1x36 W**



$$E_{ave} = 125 \text{ lx}$$

**Изчислителен стойности за осветеността в трамваен вагон тип Т6В5 при използване на LED платки тип 18xLED – 4x2,5 W**



$$E_{ave} = 128 \text{ lx}$$

**Фиг. 1. Светлотехнически модел на трамвайна мотриси ČKD Tatra T6B5**

Резултатите от проведените измервания в трамвайни мотриси с модернизиран ОУ и светлотехническите изчисления за вагоните на метрото са показани в таблици 5 и 6. На фигури 1 и 2 са показани два от използваните при изследванията

светлотехнически модели – на трамвайна мотриса ŠKD Tatra T6B5 и метровагон модел 81-714.4, както и изолуксните криви на разпределението на осветеността в тях.

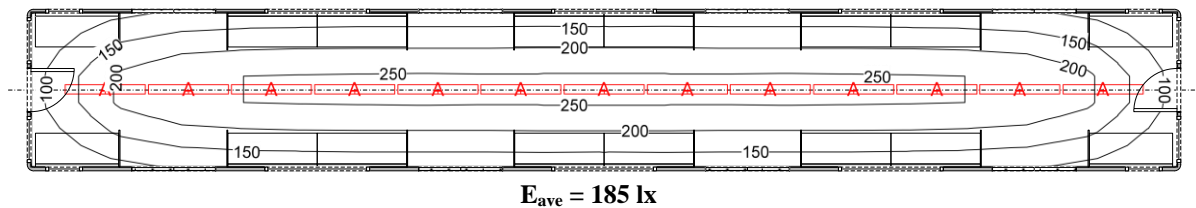
## ОСНОВНИ ИЗВОДИ

Модернизацията на осветителните уредби в обществения градски релсов транспорт с използване на LED светлинни източници е в унисон със съвременното развитие на осветителната техника и нейното приложение в транспортните средства.

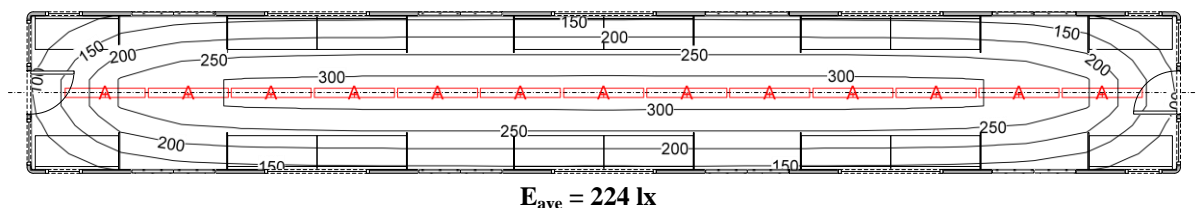
Реализираната модернизация на осветителните уредби в част от трамвайните мотриси, чрез адаптивно вграждане на LED светлинни източници в съществуващите осветителни тела, е извършена без предварително технико-икономически обосноваван избор на решение за всеки тип трамвайна мотриса, основаващ се на проведени симулационни изследвания с използване на компютърни светлотехнически модели.

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 два основни фактора: цена и експлоатационен живот на LED светлинните източници. Наред с това следва да се отбележи, че общият енергоспестяващ ефект (за трамваите - около 55 MWh/год. и за метроваковете около 80 MWh/год. ) е незначителен на фона на brutното потребление на електроенергия – около 0,22% при трамвайния транспорт и около 0,25% при метроваковете.

### Изчислителни стойности за осветеността във вагон тип 81-714.4 при използване на луминисцентни лампи T8 – 36 W



### Изчислителни стойности за осветеността във вагон тип 81-714.4 при използване на светодиодни лампи тип TLED – 20 W



Фиг. 2. Светлотехнически модел на вагон на метрото тип 81-714.4

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение може да се отбележи, че модернизацията на осветителните уредби при всички релсови транспортни средства на обществения градски транспорт (трамвайни мотриси и вагони на метрото) ще доведе до намаляване на текущите експлоатационни разходи. Реализираните към настоящия момент и очакваните бъдещи ефекти от използването на LED осветление в релсовия градски транспорт са следните:

- Намаляване консумацията на електрическа енергия за осветление в трамвайните мотриси с около 70%, а във вагоните на метрото с около 50%.

- Намаляване на разходите за труд по подмяна на светлинните източници в осветителните тела с до два и половина пъти.
- Частично подобряване на зрителния комфорт на пътниците в релсовия градски транспорт.

Представените в настоящата работа изследователски резултати и разработените компютърни светлотехнически модели могат да се използват за решаване на практически задачи с цел оптимален избор на осветители както за трамвайните мотриси и вагоните на метрото, така и при друг релсов пътнически подвижен състав.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] БДС EN 13272:2012, Железопътна техника. Системи за електрическо осветление за подвижен състав в обществения транспорт, Български институт за стандартизация, 2012.
- [2] Технически и енергетични данни за електрическите транспортните средства в експлоатация в гр. София, „Столичен електротранспорт” ЕАД, 2015 г.
- [3] Технически данни за осветителните уредби във вагоните на метрото, „Метрополитен” ЕАД.
- [4] Berge O., Lichtmessung, Unterricht Physik 9 (1998) Nr. 47, Seite 17-18.

## **ANALYSIS OF THE MAIN EFFECTS OF THE MODERNIZATION OF THE LIGHTING SYSTEMS IN THE PUBLIC URBAN RAIL TRANSPORT**

**Georgi Dimitrov**  
[dimitrov\\_gd@mail.bg](mailto:dimitrov_gd@mail.bg)

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

***Key words:** Public urban rail transport, Lighting systems, Modernization by LED light sources, Effects*

***Abstract:** Public urban transport, and in particular the rail transport (trams and metro), play a major role in the mobility of the population in major cities. Ensuring quality lighting in these rail vehicles is essential for the visual comfort for the passengers. The development of the LED technologies in the last 10 years has created prerequisites for their wider application in the construction of lighting systems in the vehicles of the public transport.*

*The report presents the results of a study on the condition of the lighting systems in the tramcars and metro trains exploited in Sofia. Technical solutions for their modernization were analyzed by the use of LED light sources. With the help of computer based models of the different types of trams and metro wagons, the expected quantitative indicators of the lighting were precisely analyzed. Measurements carried out under real operating conditions have revealed the realized quantitative indicators after modernization of the lighting in a part of the tramcars. The results of the lighting calculations and experimental measurements are presented in graphical and tabular form. A brief analysis of the more significant effects of the modernization of the lighting systems in the tramcars and the expected one for the future modernization in the metro trains of the Sofia metro was also made.*