

МИНИМИЗИРАНЕ НА СВЕТЛИННИЯ ПОТОК НА УЛИЧНИ ОСВЕТИТЕЛИ ПРИ НОРМИРАНЕ ПО ЯРКОСТ

MINIMIZING THE LIGHTING FLUX OF LUMINARIES FOR STREET LIGHTING SYSTEMS ESTIMATED BY LUMINANCE

Станимир Стефанов

ТУ – София, филиал Пловдив

Abstract

The present survey presents the results of research about optimization of photometric curves, which purpose is to minimize the needed lighting flux to achieve the standard rates under luminance regarding BDS EN 13201. The geometry and traffic situation which were used to make optimizations are the most frequent occurring in the cities. The optimization is carried on using Matlab-function for nonlinear minimizing function - fmincon. The equations describing the photometric curves use an exponential function which power degree is formed by orthogonal polynomial of Legendre, and the constrain factors are formed on the basis of the methodology for calculation of luminance regarding BDS EN 13201.

Keywords: curve; flux; luminance; lighting; luminary; matlab; minimization; optimization; photometric; street.

ВЪВЕДЕНИЕ

Нарастването на цените на енергийните носители и на електрическата енергия води до търсене на решения за намаляване на потреблението на енергия във всички области на съвременния живот, като изключение не прави и уличното осветление. Липсата на добро улично осветление затрудняват ориентирането в пространството, предвиждането през тъмните части на денонощието, повишава риска за индивидуалната и груповата сигурност на хората. Осветлението е принципна необходимост без която не можем, но е и значителен консуматор на електрическа енергия. Един от начините да се намали потреблението на електроенергия от уличните осветителни уредби е използването на светлини източници с по-ниска консумация на електрическа енергия и осветители притежаващи подходящо разпределение на светлинния поток в пространство, позволяващо реализиране на регламентираните нормените нива за улично осветление с възможно най-малкия необходим за целта светлинен поток.

ИЗЛОЖЕНИЕ

В представеното изследване за оптимизиране на светлоразпределението е мини-

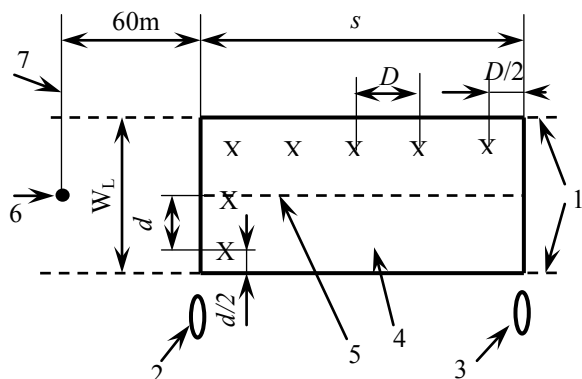
мизиран светлинния поток, необходим за удовлетворяват нормените нива при нормиране по яркост за основни типове улици [3] съгласно БДС EN 13201.

Оптимизационната задача е с целева функция $\Phi_{изх}$ =минимум, при ограничителни условия:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{av} \geq L_{norm} \\ U_0 \geq U_{0norm} \\ U_l \geq U_l \\ TI \leq TI_{norm} \\ SR \geq SR_{norm} \\ [I(\phi,)] \leq [I_{огр}] \\ K_y \leq 7 \end{array} \right. \quad (1)$$

Ограничителните условия са нормените стойности на качествените и количествените показатели за съответната светлинна ситуация според [1], стойността на коефициента на усилване за съответното фотометрично тяло и ограниченията за стойността на интезитета на светлината в различните зони за С и ъглите, свързани с възможността за техническата реализация на фотометричните тела.

Координатите на изчислителните точки в улично платно се определят съобразно геометрията на изчислителното поле в съответствие с фиг. 1.



Фиг. 1. Геометрия на изчислителното поле
1 - граници на еднопосочната лента;
2 - осветителят, определящ началото на изчислителното поле; 3 - осветителят, определящ края на изчислителното поле;
4 - изчислително поле; 5 - средна линия на изчислителното поле; 6 - посока на наблюдение; 7 - отстояние на наблюдателя от началото изчислителното поле.

$$D = \frac{S}{N}, \text{ m} \quad d = \frac{W_r}{n}, \text{ m} \quad (2)$$

- S е междустълбовото разстояние, m
- N е броя на точките в надлъжна посока.
- W_L е широчината на съответната зона,

като външните редове отстоят на $d/2$ от краищата на лентата.

Яркостта L_j на точка от уличното платно, създавана от един индивидуален осветител, се изчислява според (3) съобразно фиг. 2.

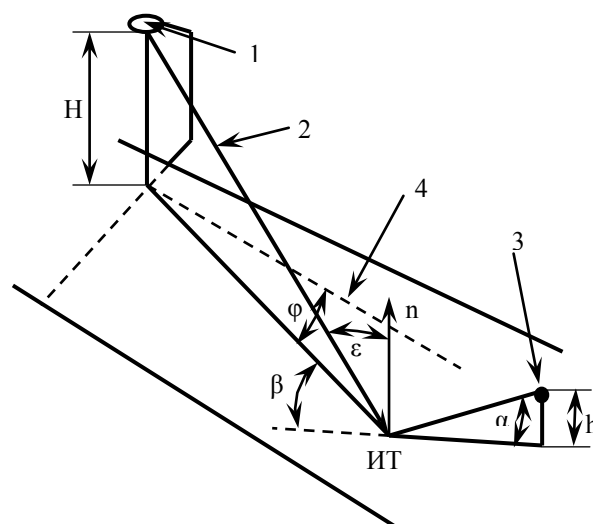
$$L_j = \frac{I'(C, \gamma) \cdot (Q_x / Q_0 \Phi \cdot r(\beta, \epsilon) \cdot MF)}{10000 \cdot H^2}, \text{ cd/m}^2 \quad (3)$$

- $I'(C, \gamma)$, cd - интензитетът, определен от ъглите C и γ според светлоразпределителната крива;

- $r(\beta, \epsilon)$, $(10^4 \cdot (\text{cd/m}^2)/\text{lx})$ - редуцираният яркостен фактор, определен от ъглите β и ϵ според r -таблиците за съответния клас улична настилка. Когато едноименните оси на координатните системи на осветителя и на изчислителното поле са паралелни, $\epsilon = \gamma$;

- Q_0 (cd/m^2)/lx - средният яркостен фактор за дадения клас улична настилка;

- Q_x (cd/m^2)/lx - средният яркостен фактор за реалната улична настилка;
- H , m - височината на осветителя над уличното платно;
- MF - експлоатационният фактор за осветителната уредба;
- Φ , klm - светлинният поток на източника в осветителя;



Фиг. 2. Геометрия за определяне на яркостта на изчислителна точка от уличното платно:
1 - осветително тяло; 2 - падащият към точката светлинен лъч; 3 - наблюдател;
4 - линия на осветителните тела [1].

За описване на светлоразпределителните криви е използвано уравнение (3) в основаващо се на полиноми на Лежандър от 9 ред [2], [5].

$$I(\gamma, C) = e^{(d_0(\gamma_i) + d_1(\gamma_i) \bar{C}_j + d_2(\gamma_i) \bar{C}_j^2 + d_3(\gamma_i) \bar{C}_j^3 + d_4(\gamma_i) \bar{C}_j^4 + d_5(\gamma_i) \bar{C}_j^5 + d_6(\gamma_i) \bar{C}_j^6 + d_7(\gamma_i) \bar{C}_j^7)} \quad (3)$$

където:

- $d_p(\gamma_i)$ ($p=0,1,2,3,4,5,6,7$) са коефициенти изразени чрез ортогонални полиноми на Лежандър, като

$$d_p(\gamma_i) = q_{p1} S_1(T_i) + q_{p2} S_2(T_i) + \dots + q_{pm} S_m(T_i) \quad (4)$$

S_k е полином на Лежандър от ред k , q_{pk} са неизвестни коефициенти, чиито стойности определят формата на кривите и се изчисляват в процеса на оптимизация, а T_i е аргумент изчислен по

$$T_i = \frac{2\gamma_i - \gamma_1 - \gamma_n}{\gamma_1 - \gamma_n} \quad (5)$$

γ_1 и γ_n са първата и последната стойност на ъгъла γ

$$\bar{C}_j = \frac{C_j}{\max(C)} \quad (6)$$

и се изменя в интервала $[0,1]$, като в (5) и (6) i показва номера на ъглите γ , а j е номера на “С-равнините” подредени според табличния ред в който следват.

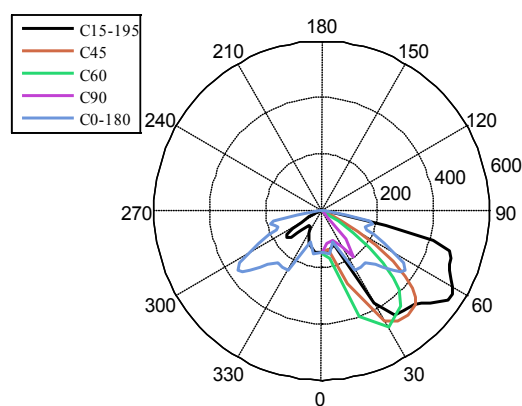
Минимизирането на светлинният поток е извършено в *MATLAB* среда посредством функцията *fmincon* [4] и създадени *Matlab* файлове за изчисляване на уличното осветление според методологията при нормиране по яркост дадена в [1].

Основна трудност при минимизирането на светлинният поток е полученото разпределение да бъде технически реализуемо. За това в ограничителните условия е зададено коефициента на усилване да е по-малък от 7, интензитета на източника за $\gamma = 0^\circ$ да е в границите на $150 \text{ cd}/1000 \text{ lm}$ и максималната разлика между два съседни интензитета по γ да не надхвърля $200 \text{ cd}/1000 \text{ lm}$. Крайните резултати – разпределението на светлинният поток и неговата минимална стойност при всяко изчисление са силно зависими от поставените ограничителни условия, в следствие на което могат да се получат многобройни комбинации удовлетворяващи нормените изисквания с близки по стойност светлинни потоци. Изследването е осъществено за често срещани основни класове улици [3] и светлинни ситуации. Разгледаните ситуации са за съществуващи осветителни уредби с междустълбие 30 метра. Оптимизирането на светлоразпределението е извършено за симетрично излъчващи спрямо надлъжната си равнина на симетрия осветители. Прието е експлоатационният фактор да е $MF=0,7$. Осветителите са разположени едностранно над бордюра, ненавлизаш в изчислителното поле, като в изчисленията участват общо 8 осветителя – четири преди и четири след изчислителното поле. В изчисленията е заложено, че настилната на уличното платно е с отражател

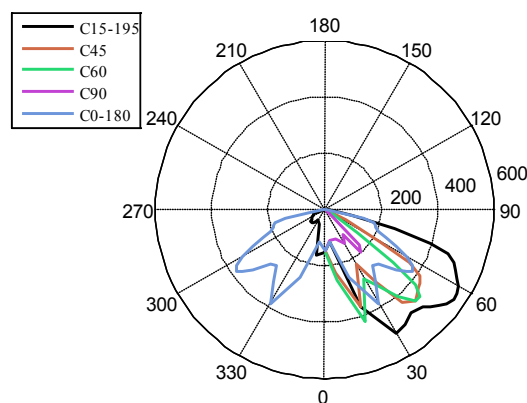
ни характеристики клас *R3*, а коефициента на полезно действие на осветителите е 75%.

РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

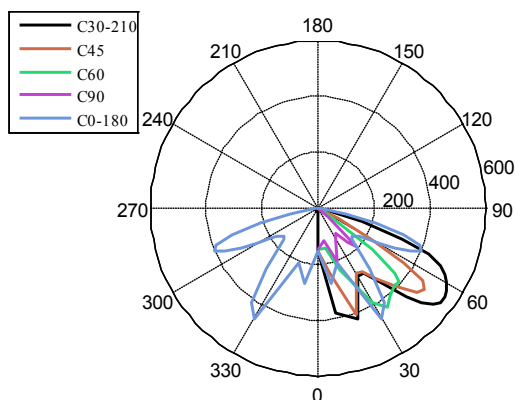
На следващите фигури са представени част от светлоразпределителните криви и някои от съответстващите им разпределения на яркостта (за наблюдателя, за който имаме най-ниска стойност на средната яркост), получени в резултат на решаване на оптимизационната задача за минимизиране на светлинния поток за основни типов улици с характерни светлини ситуации [1].



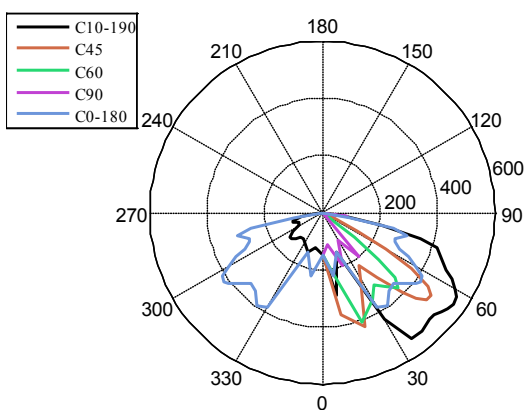
Фиг. 3. Светлоразпределителни криви
Светлинна ситуация B1, клас ME3c
 $H = 7 \text{ m}$; $b^* = 2 \times 3,5 \text{ m}$; $L_{av} = 1,0 \text{ cd}/\text{m}^2$; $TI = 15$;
 $U_l = 0,5$; $U_0 = 0,4$; $SR = 0,5$;
 $\Phi_{изх} = 6204 \text{ lm}$; $\Phi_{изч.поле} = 4914 \text{ lm}$; $K_y = 7$.



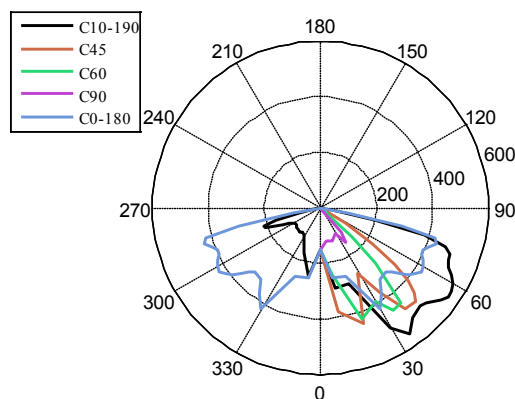
Фиг. 4. Светлоразпределителни криви
Светлинна ситуация B1, клас ME3c
 $H = 10 \text{ m}$; $b^* = 3 \times 3,5 \text{ m}$; $L_{av} = 1,5 \text{ cd}/\text{m}^2$; $TI = 10$;
 $U_l = 0,7$; $U_0 = 0,4$; $SR = 0,5$;
 $\Phi_{изх} = 13640 \text{ lm}$; $\Phi_{изч.поле} = 11501 \text{ lm}$; $K_y = 7$.



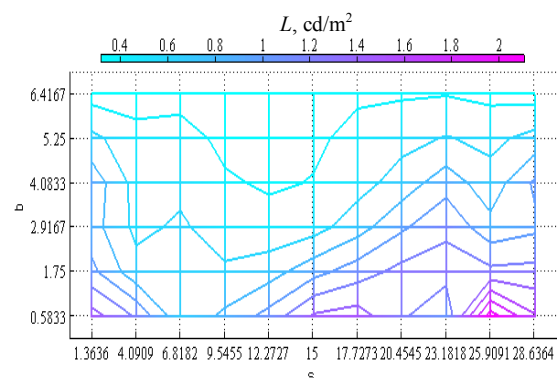
Фиг. 5.1. Светлоразпределителни криви
Светлинна ситуация B2, клас ME4b
 $H = 6 \text{ m}$; $L_{av} = 0,75 \text{ cd/m}^2$; $TI = 15$;
 $U_l = 0,5$; $U_0 = 0,4$; $SR = 0,5$;
 $\Phi_{изх} = 4488 \text{ lm}$; $\Phi_{изч.поле} = 3697 \text{ lm}$; $K_y = 7$.



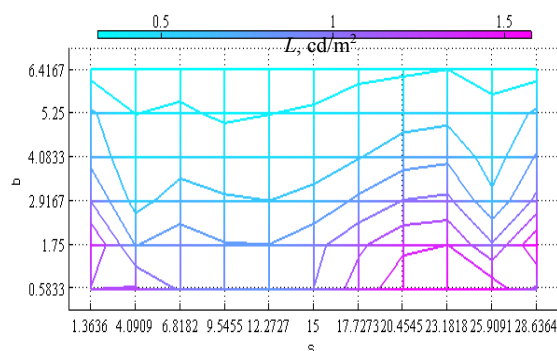
Фиг. 6.1. Светлоразпределителни криви
Светлинна ситуация B2, клас ME4b
 $H = 7 \text{ m}$; $L_{av} = 0,75 \text{ cd/m}^2$; $TI = 15$;
 $U_l = 0,5$; $U_0 = 0,4$; $SR = 0,5$;
 $\Phi_{изх} = 4191 \text{ lm}$; $\Phi_{изч.поле} = 3553 \text{ lm}$; $K_y = 7$.



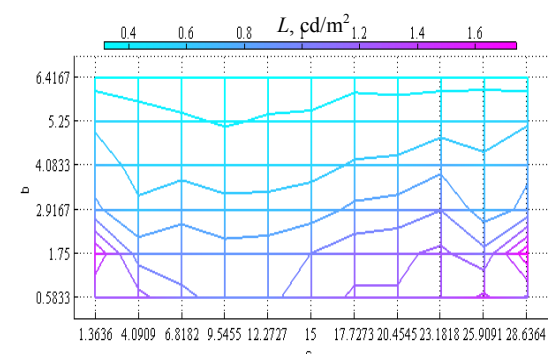
Фиг. 7.1. Светлоразпределителни криви
Светлинна ситуация B2, клас ME4b
 $H = 8 \text{ m}$; $L_{av} = 0,75 \text{ cd/m}^2$; $TI = 15$;
 $U_l = 0,5$; $U_0 = 0,4$; $SR = 0,5$;
 $\Phi_{изх} = 4092 \text{ lm}$; $\Phi_{изч.поле} = 3265 \text{ lm}$; $K_y = 7$.



Фиг. 5.2. Разпределение на яркостта $L, \text{ cd/m}^2$ в изчислителното поле ($s = 30 \text{ m}$, $b = 2 \times 3,5 \text{ m}$)



Фиг. 6.2. Разпределение на яркостта $L, \text{ cd/m}^2$ в изчислителното поле ($s = 30 \text{ m}$, $b = 2 \times 3,5 \text{ m}$)



Фиг. 7.2. Разпределение на яркостта $L, \text{ cd/m}^2$ в изчислителното поле ($s = 30 \text{ m}$, $b = 2 \times 3,5 \text{ m}$)

Както се вижда от фигурите и нормените изисквания, за всеки клас улица и светлинна ситуация има характерно светлоразпределение. В Таблица 3 са дадени стойностите на изчислените отношения (7) между светлинните потоци и реализираните средни яркости:

$$\kappa 1_L = \frac{\Phi_{изч.поле}}{L_{av} \cdot s \cdot b} \quad \text{и} \quad \kappa 2_L = \frac{\Phi_{изх}}{L_{av} \cdot s \cdot b} \quad (7)$$

даващи представа каква е стойността на светлинния поток, с който се реализира 1-ца L_{av} , за 1 m^2 улична площ при различните решения и класове улици.

Изходящия светлинен поток $\Phi_{изх}$ и падащия

върху изчислителното поле на уличното платно светлинен поток $\Phi_{\text{изч.поле}}$ са при $MF=1$ (чист осветител), а “ $s.b$ ”, m^2 е площта на изчислителното поле.

$$\text{Отношението } \kappa_{\text{изп}\Phi} = \frac{\Phi_{\text{изч.поле}}}{\Phi_{\text{изх}}} \quad (8)$$

дава информация каква част от изходящия според фотометричното тяло от осветителя светлинен поток попада върху изчислителното поле.

Таблица 1

n	H m	L_{av} cd/m ²	U_l	U_0	TI
Двупосочна улица с ширина $b = 7$ m, светлинна ситуация B2, клас ME4b					
1	6	0,75	0,5	0,4	15
2	7	0,75	0,5	0,4	15
3	8	0,75	0,5	0,4	15
Улица с две ленти в еднопосочните платна, $b^* = 7$ m и светлинна ситуация B1, клас ME3c					
4	6	1	0,5	0,4	15
5	7	1	0,5	0,4	15
6	8	1	0,5	0,4	15
Улица с три ленти в еднопосочните платна, $b^* = 10,5$ m, светлинна ситуация B1, клас ME3c					
7	6	1	0,5	0,4	15
8	7	1	0,5	0,4	15
9	8	1	0,5	0,4	15
Улица с три ленти в еднопосочните платна, $b^* = 10,5$ m, светлинна ситуация B1, клас ME2					
10	8	1,5	0,7	0,4	10
11	9	1,5	0,7	0,4	10
12	10	1,5	0,7	0,4	10

Таблица 2

n	H m	L_{av} cd/m ²	$\kappa 1_L$, lm/(cd/m ²).m ²	$\kappa 2_L$, lm/(cd/m ²).m ²	$\kappa_{\text{изп}\Phi}$
Двупосочна улица с ширина $b = 7$ m, светлинна ситуация B2, клас ME4b					
1	6	0,75	23,47	28,50	0,82
2	7	0,75	21,35	26,61	0,85
3	8	0,75	20,74	25,98	0,80
Улица с две ленти в еднопосочните платна, $b^* = 7$ m и светлинна ситуация B1, клас ME3c					
4	6	1	25,49	32,55	0,78
5	7	1	23,40	29,54	0,79
6	8	1	20,48	26,50	0,77
Улица с три ленти в еднопосочните платна, $b^* = 10,5$ m, светлинна ситуация B1, клас ME3c					
7	6	1	28,80	32,78	0,88
8	7	1	23,90	29,44	0,81
9	8	1	23,00	27,22	0,84
Улица с три ленти в еднопосочните платна, $b^* = 10,5$ m, светлинна ситуация B1, клас ME2					
10	8	1,5	25,42	29,80	0,85
11	9	1,5	24,80	29,33	0,85
12	10	1,5	24,34	28,87	0,84

Таблица 3

n	H m	L_{av} cd/m ²	$\Phi_{\text{изх}}$ lm	$\Phi_{\text{изч.поле}}$ lm	$E_{\text{ср.из.поле}}$ lx($MF=1$)
Двупосочна улица с ширина $b = 7$ m, светлинна ситуация B2, клас ME4b					
1	6	0,75	4488	3697	17,6
2	7	0,75	4191	3363	16,9
3	8	0,75	4092	3266	15,6
Улица с две ленти в еднопосочните платна, $b^* = 7$ m и светлинна ситуация B1, клас ME3c					
4	6	1	6836	5353	25,5
5	7	1	6204	4913	23,3
6	8	1	5564	4301	20,5
Улица с три ленти в еднопосочните платна, $b^* = 10,5$ m, светлинна ситуация B1, клас ME3c					
7	6	1	10325	9072	28,8
8	7	1	9275	7530	23,9
9	8	1	8575	7246	22,9
Улица с три ленти в еднопосочните платна, $b^* = 10,5$ m, светлинна ситуация B1, клас ME2					
10	8	1,5	14080	12011	38,1
11	9	1,5	13860	11718	37,2
12	10	1,5	13640	11501	36,5

Забележка: b^ - ширина на еднопосочните платна

1. Стойностите на изходящия и на падащия върху уличното платно светлинен поток показват, че падащият върху изчислителното поле светлинен поток е в рамките на 78–85% от изходящия. Това показва добро разпределение на светлинния поток в пространството и съсредоточаването му върху уличното платно, при наличие достатъчна осветеност върху непосредствено прилежащите, външни за изчислителното поле зони (SR).

2. При сравняване на формите на получените в резултат на минимизирането фотометрични тела, не се забелязват закономерности за изменението им свързани с височината на окачване или със светлинната ситуация.

3. Максимумът на интензитета се движи в зоната по “ γ ” = 55°–62,5°, а за С-равнините в зоната 10°–30°, като за листовите С-равнини преобладава зоната 15°–20°.

4. При нарастване на височината на окачване (за едни и същи условия в останалата част от уличната геометрия), се наблюдава тенденция за намаляване на необходимия изходящ от осветителя минимизиран светлинен поток (за разглежданите височини).

5. Според полученото разпределение на яркостта в изчислителните точки, най-ниски стойности се реализират в най-отдалечените

в напречна посока на уличното платно от осветителите зони. Най-високи стойности на яркостта наблюдаваме в зоните, близки до осветителите, като максималните са в крайната 2/5 надлъжна част на изчислителната зона. Това разпределение благоприятства условията на виждане, тъй като основният поток при еднопосочни платна е в лентата до осветителите. За улица от клас "Обслужваща" в едната посока на движение имаме стойности на яркостта 0,36–0,4 cd/m², което е около половината от нормената средна яркост, относно която са направени изчисленията за този тип улица. Това подсказва, че в тези зони може да се очакват затруднение в условията на виждане при едностранно осветяване.

6. За улицата със светлина ситуация *B1*, широчина на три-лентовите еднопосочни платна 10,5 m и светлинен клас *ME2*, се оказва невъзможно изпълнението на ограничителните условия относно коефициента на усилване за фотометричното тяло, показателя на заслепяване, общата и надлъжната равномерност при височини на окачване под 8 метра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направения анализ се вижда, че освен минимизиране на светлинния поток, като основен резултат от решаването на оптимизационните задачи, допълнително се реализира и ограничаване на светлинното излъчване в зони извън изчислителните и най-вече в зоната $\gamma = 80^\circ - 90^\circ$. По този начин се ограничава светлинното замърсяване на околната среда, а получените в резултат на решава-

нето на оптимизационната задача фотометрични тела са от типа "*Full cut off*".

Недостатък на получените фотометрични тела е, че те са приложими за много тесни изменения на междустълбовите разстояния и височините на окачване от тези, при които са получени, като основен проблем се явяват стойностите на качествения показател обща равномерност на яркостта U_0 .

ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 13201 – Part 1, Part 2, Part 3, Part 4.
- [2] Велинов К., Хр. Василев, Влияние на геометричните параметри и нормативните ограничения върху оптималното светлоразпределение на уличните осветители. Осветление'2007 - XIII Национална конференция, Варна, Сборник доклади, стр.94-104, 2007.
- [3] МРРБ, Наредба , №2 от 29 юни 2004г. на МРРБ, ДБ бр.86, 2004г. попр. бр.93, 2004.
- [4] Поршнев С. MATLAB 7 основы работы и программирования, Бином, Москва, 2006.
- [5] Стефанов Ст., Минимизиране на светлинният поток на улични осветителни уредби за обслужваща, събирателна и главна улица нормирани по видимост, Годишник на ТУ-София, том 59/2009, книга 1, стр. 128-137, 2009.
- [6] CIE 140 – 2000, Road lighting calculations. Vienna, CIE.
- [7] CIE 13X – 1999, Guide to the lighting of urban Areas, Vienna, CIE.
- [8] CIE 102 – 1993, Recommended file format for electronic transfer of luminaire photometric data, 1st Edition, Vienna, CIE.
- [9] CIE publication №144/2001. Road Surface and Marking Reflection Characteristics. Vienna, CIE.