МОДЕЛИРАНЕ НА СВЕТЛОРАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО НА СВЕТЛОДИОДНИ ОСВЕТИТЕЛИ

А. Пачаманов, Кр. Костадинов, К. Христов, Ст. Петров
Технически университет - София

MODELING OF INTENSITY DISTRIBUTION FOR LEDS LUMINARIES

A. Pachamanov, Kr. Kostadinov, K. Hristov, St. Petrov
Technical University of Sofia

Резюме

В доклада е описан метод за моделиране на светлоразпределения на светлодиодни осветители от тип «плосък лъч» за обслужващи улици и пътни тунели. Чрез решаване на оптимизационна задача "постигане на зададени количествени и качествени показатели на осветителни уредби с минимален светлинен поток" по теоретичен път са получени светлоразпределения, които се моделират със светлодиоди и оптични лещи. Сумарното действие на всички светлодиодни модули се оценява с програма за прожекторно осветление, след което по обратен път се получават съответстващите интензитети по C и γ на виртуалния осветител, с които се изчислява яркоста пътното платно.

Abstract

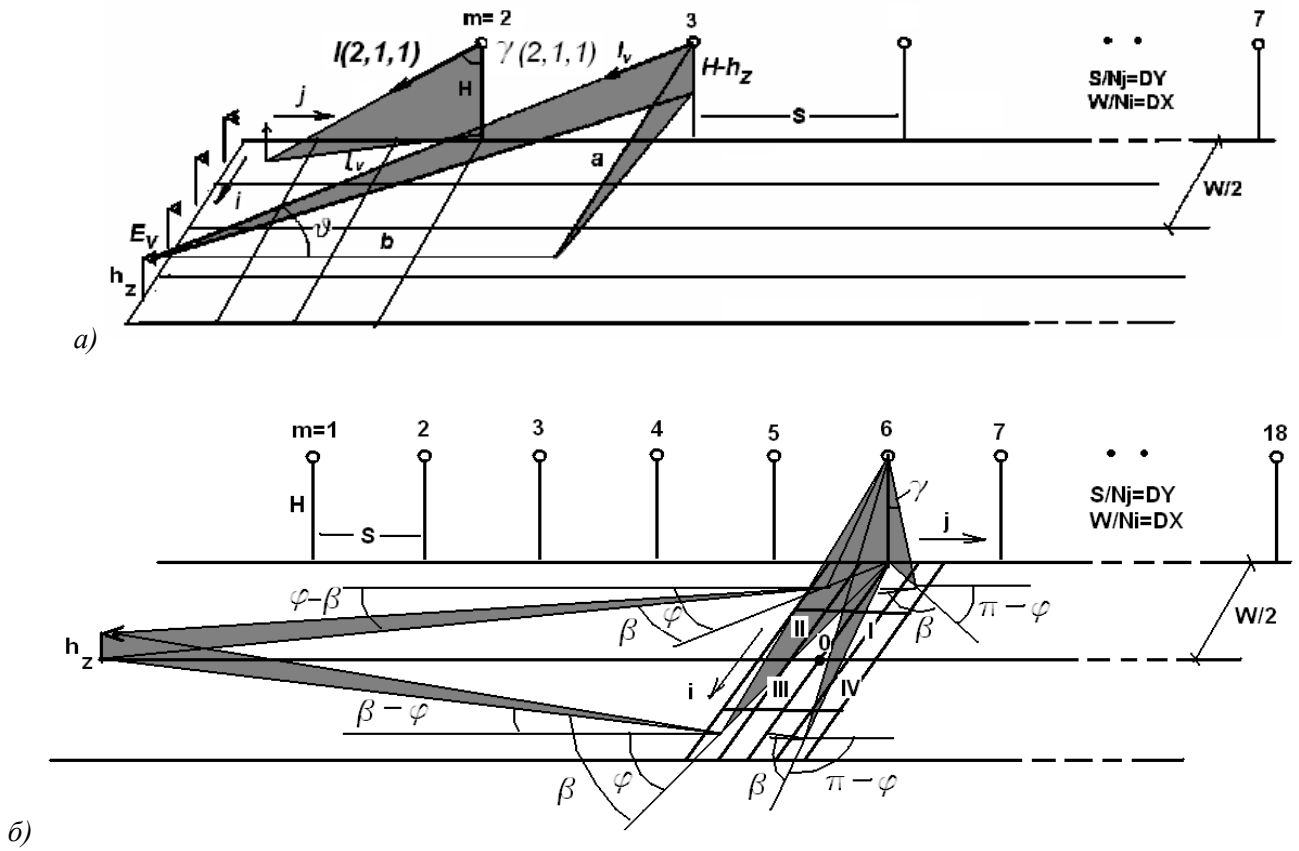
Abstract: *This paper presents method for modeling of the intensity distribution for LEDs luminaries with "flat beam" technology for residential streets and road tunnels. The requisite intensity distribution of the luminaries is received theoretically through solving an optimizational problem according to the criteria "receiving qualitative and quantitative indices for lighting systems with minimal luminous flux". The total influence of all LEDs is evaluated with a program for floodlighting computation. The light intensities of virtual luminaire are received in the reverse order in the CIE coordinates C and γ for computing of luminance of the road surface.*

Keywords: Tunnel lighting, Luminary design, Flat beam, Ledsн 120

ВЪВЕДЕНИЕ

В доклада е показан метод за моделиране на светлодиодни осветители от тип «плосък лъч» [1,2] по теоретично светлоразпределение, получено чрез решаване на оптимизационна задача "постигане на зададени количествени и качествени показатели на тунелна осветителна уредба с минимален светлинен поток" [3,4]. Постановките за извеждане на математичните модели за улично и тунелно осветление са показана на фиг.1. Получените светлоразпределения са оптимално за стандартна пътна настилка клас RIII и следните светлотехнически и геометрични параметри на осветителните уредби:

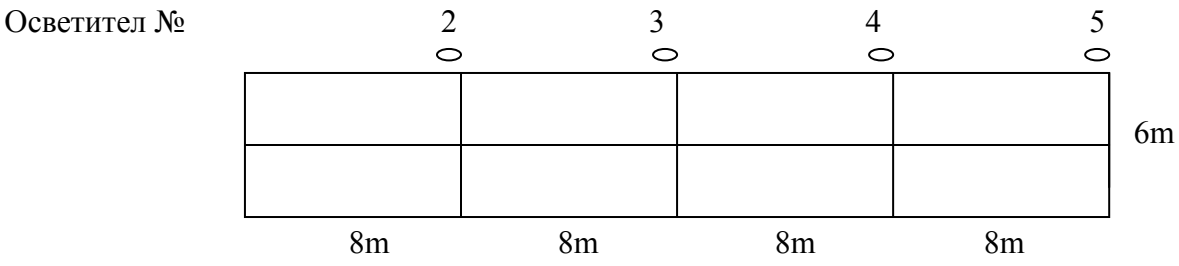
Показател	Улица	Тунел
Средна яркост на пътното платно, cd/m2	L_{AV}=0.5	L_{AV}=30
Надлъжна равномерност на яркостта	U_L>0,4	U_L>0,6
Обща равномерност на яркостта	U_O>0,15	U_O>0,2
Монтажна височина на осветителите, m	H=1.20	H=1.25
Ширина на изчислителното поле, m	W= 3	W= 5
Разстояние между осветителите, m	S= 8	S= 12
Номер на последния осветител	M_{last}= 5	M_{last}= 9
Номер на първия осветител	M_{first}= 2	M_{first}= 5
Брой ивици на изчислителното поле	Ni= 4	Ni= 4
Брой участъци в ивица	Nj= 6	Nj= 4



Фиг.1. *Постановки за извеждане на математичните модели при улично (а) и тунелно (б) осветление*

ИЗЛОЖЕНИЕ

Оптималното светлоразпределение за обслужваща улица е получено за пътна настилка клас R3 при максимален коефициент на усилване на потока на светлинните източници Ку = Imax/(Ф/4 π)= 30. Необходимите интензитети за постигане на средна яркост 0,5 cd/m2 в изчислително поле от 24 подучастъка към осветител №2 с отчитане на влиянието на осветители 2-3-4-5 (фиг.1а) са дадени в табл.1. В действителност, ако се разгледа осветител №5 (фиг.2), той осигурява осветяване на прилежащите полета на осветители 2-3-4-5, така както осветители 2-3-4-5 осветяват поле №2.



Фиг. 2. *"Обърната" схема - четири 3x8 м полета, „облъчвани" от осветител №5*

Таблица 1. Интензитети от осветители 2-3-4-5 към поле №2 или на осветител 5 към полета 5-4-3-2 ($Ф_{сум}$= 15,48 lm) [5]

осв.№2 за поле №2 (също от 5 за 5)				
j/i	1	2	3	4
1	78	57	66	78
2	78	44	60	78
3	78	25	53	77
4	78	0	45	67
5	45	0	10	23
6	0	0	0	11

осв.№3 за поле №2 (също от 5 за 4)				
j/i	1	2	3	4
1	78	76	77	78
2	78	75	76	78
3	78	74	76	78
4	78	72	74	78
5	78	69	73	78
6	78	64	70	78

Продължение на таблица 1

осв.№4 за поле №2 (също от 5 за 3)				
j/i	1	2	3	4
1	78	78	78	78
2	78	77	78	78
3	78	77	78	78
4	78	77	78	78
5	78	77	78	78
6	78	76	77	78

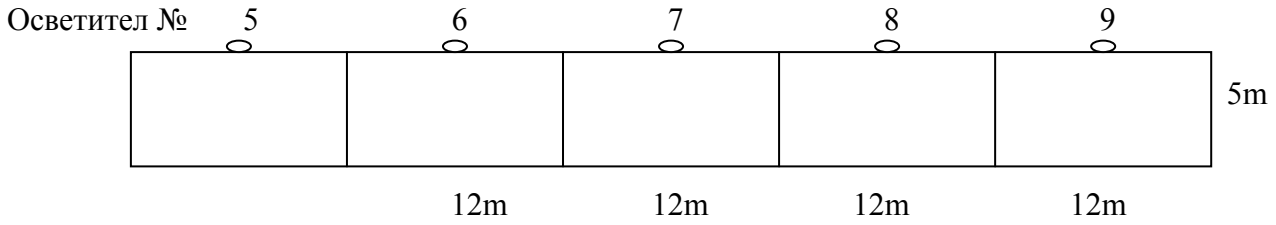
осв.№5 за поле №2				
j/i	1	2	3	4
1	78	78	78	78
2	78	78	78	78
3	78	78	78	78
4	78	78	78	78
5	78	78	78	78
6	78	78	78	78

Продължение на таблица 1

Общ поток от осветители № 5+4+3+2 в поле №2 ($Ф_{сум}$=15,48 lm)				
j/i	1	2	3	4
1	0,26	0,20	0,21	0,23
2	0,45	0,26	0,32	0,36
3	0,89	0,30	0,52	0,62
4	2,16	0,07	0,91	1,02
5	4,21	0,10	0,56	0,73
6	0,17	0,14	0,14	0,65
Общо	8,16	1,07	2,66	3,60
15,48 lm	При 80,00 lm/W 0,194 W мощност			

Оптимизационната задача за търсене на светлоразпределение на тунелен осветител дава като решение необходимите интензитети за постигане на средна яркост 30 cd/m^2 в изчислително поле от 16 подучастъка към осветител №6 (фиг.1). В случая е отчетено влиянието на пет последователни осветителя 5-6-7-8-9 (табл.2), като интензитетите на осветител №5 към изчислителното поле на осветител 6 са с нулева стойност. Тъй като целта е да се моделира светлоразпределение на един осветител, табл.2 се отнася и за интензитетите, които осветител №9 осигурява в разширеното поле 9-8-7-6, т.е. 4x12 м (фиг.2).

Необходимите интензитети за всяка от 4x16-те клетки на разширеното до 48 м поле са дадени в табл.2.



Фиг. 3. *"Обърната" схема - четири 5x12 м полета, „облъчвани" от осветител №9*

Таблица 2. Интензитети от осветители 6-7-8-9 към поле №6 или на осветител 9 към полета 9-8-7-6 ($Ф_{сум}$=623 lm) [6]

осв.№6 за поле №6 (също от 9 за 9)				
i/j	1	2	3	4
1	2728	3156	61	1488
2	3156	0	0	0
3	0	0	1618	3156
4	0	0	3156	3156

осв.№7 за поле №6 (също от 9 за 8)				
i/j	1	2	3	4
1	3156	3156	3156	3156
2	3156	3156	3156	149
3	3156	3156	3156	3156
4	3156	3156	3156	0

Продължение на таблица 2

осв.№8 за поле №6 (също от 9 за 7)				
i/j	1	2	3	4
1	3156	3156	3156	3156
2	3156	3156	3156	3156
3	3156	3156	3156	3156
4	3156	3156	3156	3156

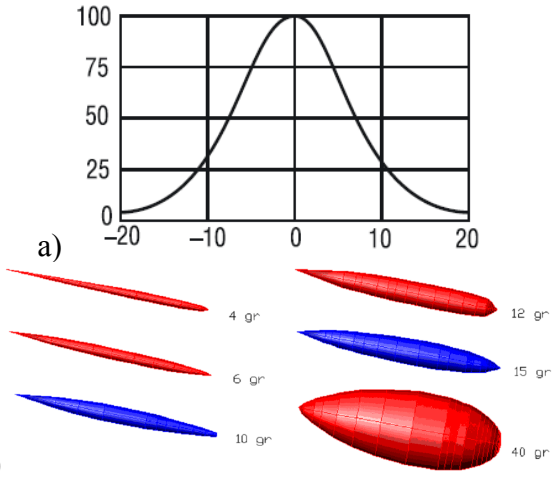
осв.№9 за поле №6				
i/j	1	2	3	4
1	3156	3156	3156	3156
2	3156	3156	3156	3156
3	3156	3156	3156	3156
4	3156	3156	3156	3156

Продължение на таблица 2

Общ поток от осветители № 6+7+8+9 в поле №6 ($Ф_{сум}$=622,94 lm)				
i/j	1	2	3	4
1	31,43	14,24	34,66	67,63
2	33,41	1,78	1,28	0,35
3	2,55	1,76	152,8	84,31
4	2,48	1,72	135,8	56,76
Общо	69,86	19,50	324,5	209,1
623 lm	При 80,00 lm/W 7,79W мощност			

За „облъчване" на разширеното поле се използват светлодиодни модули, всеки от които осигурява необходимите интензитети по подучастъци на полето. Всеки модул се състои от светлодиод и фокусираща леща. За реализацията на конкретните осветители се използват лещи с ъгли на разсейване 3°, 4°, 6°, 7°, 10°, 12° , 25° и 40° (при ъгъл на разсейване 40° 50% от I_{max} е при ±20°). Интензитетите на модулите светлодиод-оптична леща се дават в относителни единици (фиг.3а). При известна номинална стойност на излъчения от светлодиода светлинен поток, абсолютната стойност на максималния интензитет се получава чрез метода на зоналните потоци. За всеки модул е дадена и т.н. «ефективност» в относителни единици, която съответства на к.п.д. на класическите прожектори (от 0.5 до 0.7 в зависимост от концентрацията на потока). Фотометричните тела на интензитетите на светлината на използваните светлодиодни модули са показани на фиг.3б.

За да се получи сумарното действие на всички светлодиодни модули в разширените изчислителни полета се използва програма за спортно прожекторно осветление, като «игралното поле» за моделирания уличен осветител е 32x6 м, като осветителя е поставен в горния десен ъгъл (фиг.2). Всеки светлодиоден модул се представя със своето светлоразпределение в полярни координати, за 1000 lm поток на светлодиода. Програмата за спортно прожекторно осветление изисква този тип входни данни и позволява едновременна работа с 9 типа светлоразпределения [7].

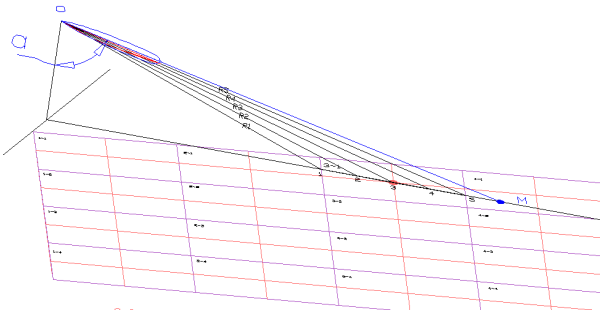


Фиг. 4. *Светлоразпределения на модул с леща 12° в правоъгълни координати (а) и на модули 4°,6°,10°,12°,15°,40° в полярни координатни (б)*

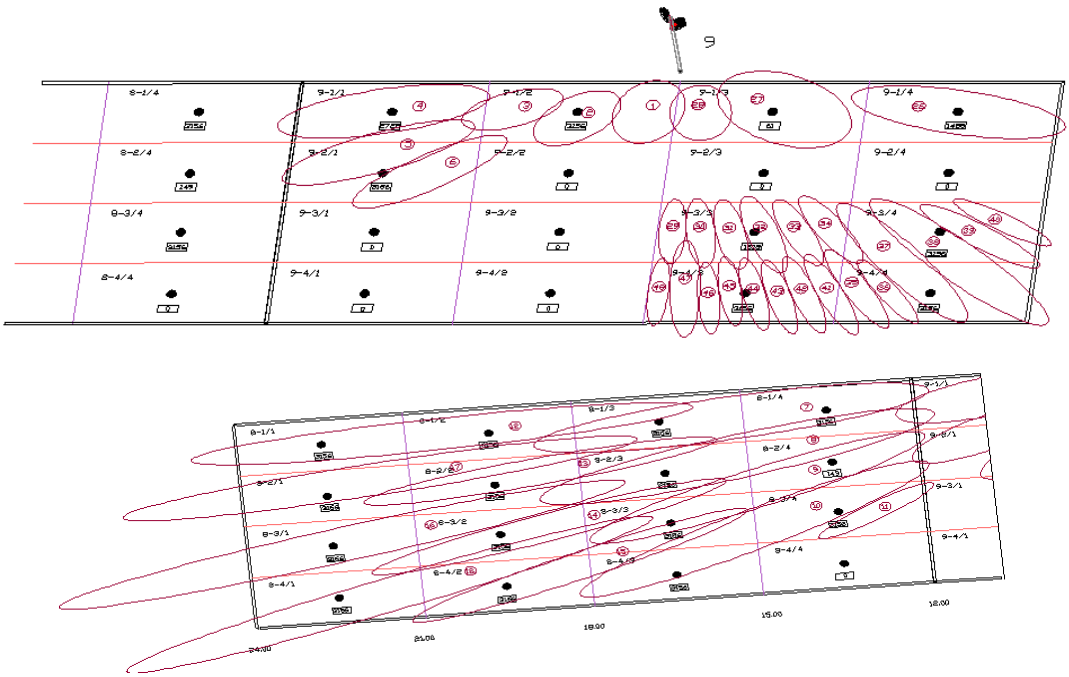
Определянето на броя на “прожекторите”, ъгъла на разсейване и мястото на всеки пробод може да се получи с решаване на оптимизационна задача “постигане на минимална разлика между зададени и реализирани потоци по елементарни участъци в разширеното поле”, като спазването на количествените и качествените показатели на уредбата е “осигурено” от ограничителните условия за получаване на оптималното светлоразпределение.

На този етап методът се илюстрира с решение, при което броят и ъглите на разсейване на „прожекторите” се определя по интуитивен път, така че разширеното поле плътно да се “насити” с “елипси”, осигуряващи необходимите потоци по подучастъци на разширеното поле. Например за случая с тунелния осветител конкретното насочване се свързва с определяне на мястото на прободите - необходимите интензитети формират “зададена” крива, която трябва да “припокрива” най-близката по форма крива от разполагаемия набор “прожектори”. Избира се този “прожектор”, с чиято крива и светлинен поток най-близко се получават изискваните интензитети за полетата, попадащи в елипсата на разглеждания “прожектор”.

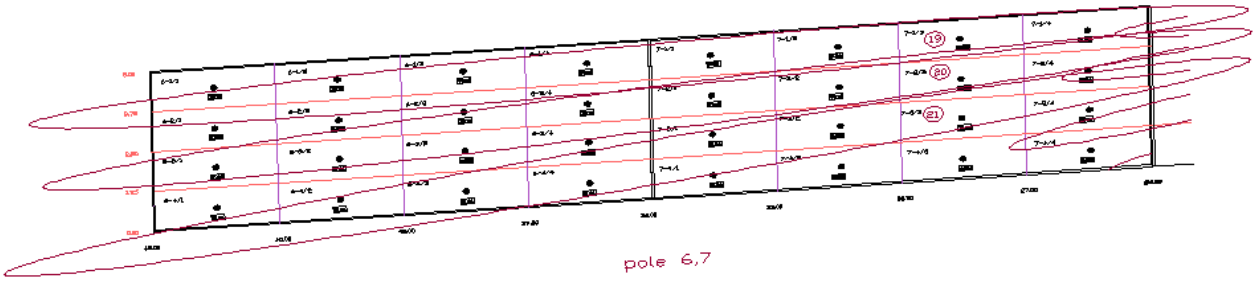
Например, нека разгледаме показаните на фиг.5 площови елементи 3-1. За точки 1, 2, 3, 4 и 5, лежащи на пресечницата на равнината на полето и равнината на падащия лъч, се нанасят „зададените” интензитети. Мястото на пробода се получава от налагането на двете криви – на зададените интензитети и на най-близкия по светлоразпределение “прожектор”. Тъй като този “прожектор” има принос и за потоците в по-отдалечените полета, това се отчита чрез програмата за прожекторно осветление. Така изчислителното поле се запълва с потока на избраните “прожектори” в посока от мястото на монтажа към отдалечените участъци на полето. Например, интензитетите, които осветител №9 осигурява в разширеното поле 4x12 м се получават от 20 светлодиодни модула, насочени както е показано на фиг.6-7.



***Фиг.5**. Определяне мястото на пробода на конкретен “прожектор” по избрана СРК*

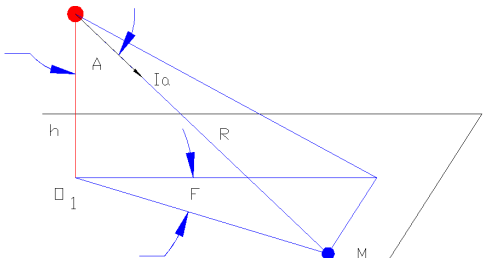


***Фиг.6.** Светлодиодни модули, насочени в полета № 9 и 8*

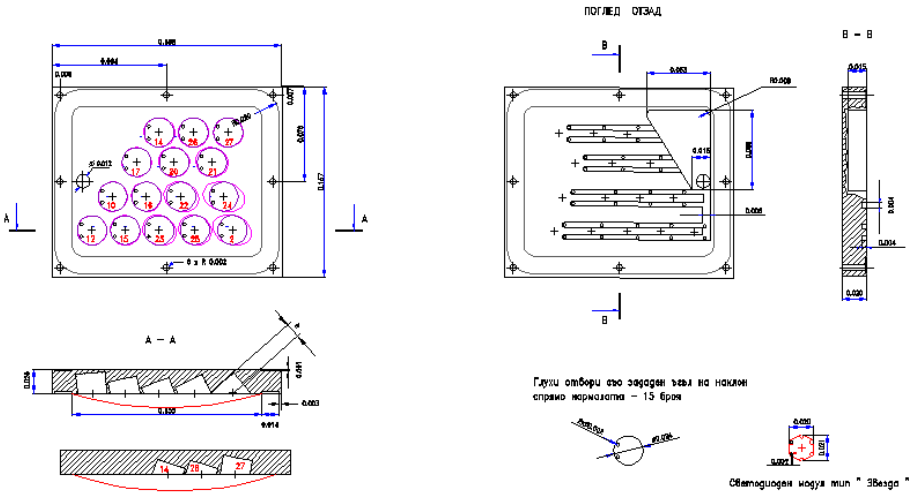


Фиг.7. *Светлодиодни модули, насочени в полета № 6 и 7*

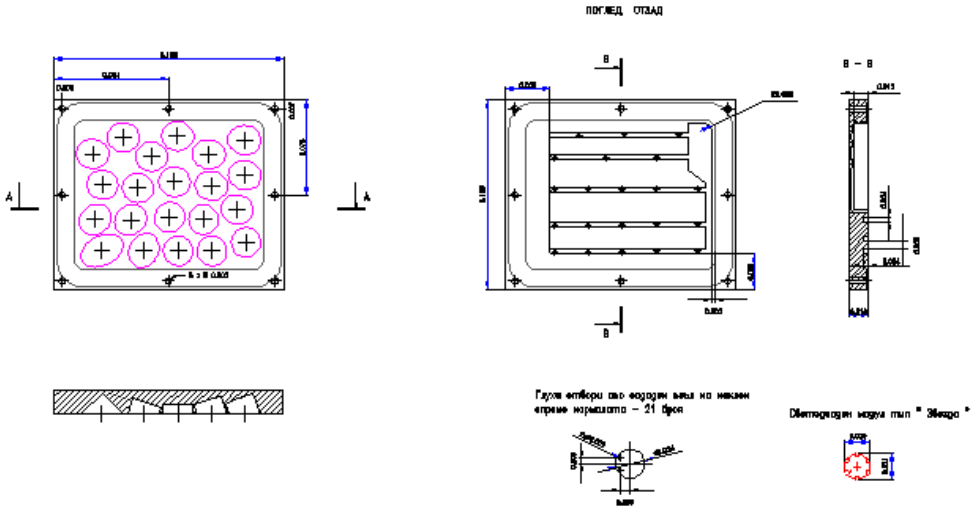
Насочването на всеки “прожектор” спрямо изчислителното поле се изразява чрез ъглите α и φ (фиг.8), които са необходими за подготовка на подложките, върху които се закрепват светлодиодните модули - върху правоъгълна плочка с дебелина около 20 мм са фрезовани глухи отвори, чиито оси са насочени към предварително определения пробод в изчислителното поле (фиг.9-10).



Фиг. 8. *Ъгли за насочване на модулите*



Фиг. 9. *Плочка с дебелина 20 мм с глухи отвори за закрепване на светлодиодните модули за уличен осветител*



Фиг. 10. *Плочка с дебелина 20 мм с глухи отвори за закрепване на светлодиодните модули за тунелен осветител*

Предстои решената дотук задача да продължи в стадий проверка на полученото светлоразпределение - по обратен път от разпределение на осветеностите в разширеното изчислително поле ще се премине към интензитети в мрежата на МКО на виртуалния осветител. Чрез програма за улично осветление за избраната геометрия на осветителната уредба (улична или тунелна) ще се изчисли разпределението на яркостите в изчислителното поле и на тяхна база ще се оцени изпълнението на заложените ограничения на оптимизационната задача. Подобряване на решението ще бъде възможно чрез промяна на светлодиодните модули по ъгли на излъчване и мощност, и подходяща промяна на прободите им в изчислителното поле.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разгледаният метод за моделиране на светлоразпределението на осветители със светлодиодни модули с оптични лещи прави възможно лесно реализиране на теоретично получено светлоразпределение, без необходимост от физическо моделиране на оптичната система. Отпада необходимостта от изработване на експериментални образци, реалното им фотометриране и следващи корекции, преди получаването на приемливо светлоразпределение на виртуалния осветител.

БЛАГОДАРНОСТИ

Разработката е финансирана със средства от Министерството на образованието, младежта и науката, Фонд "Научни изследвания", договор № МУ-ФС-07/2007 "Оптимизиране по разход на енергия на осветителни уредби за улици и пътни тунели"

ЛИТЕРАТУРА

[1] Jacques Lecocq, Jean-Paul Rami. Flat beam: a new concept of road lighting based on luminance and visibility, LUX EUROPA 2005, pp.481-484

[2] Rami Jean-Paul1, Lecocq Jacques, Leibig Joachim, Manto David. "Flat beam" Luminaires Adapted to Tunnel Road Lighting Using LEDS and Fluorescent Tubes Sources. 11th European Lighting Conference Lux Europa'2009, 9-11 September 2009 - Istanbul, pp. 1165-1170

[3] Пачаманов А., Д. Пачаманова, Ст. Петров. Оптимизиране на светлоразпределението на тунелни осветители от тип "Плосък лъч", Известия на ТУ-София, том 58/2008 , с.186-196

[4] Пачаманов А., К. Христов. Оптимизиране на светлоразпределението на осветители за пешеходни зони", Годишник на Техническия университет- София (том 59, кн. 1, 2009 – с.108-116)

[5] Пачаманов А., К. Христов, П. Енева. Енергийноефективни светлоразпределения от тип «плосък лъч» за събирателни и обслужващи улици, Годишник на Техническия университет- София (том 59, кн. 1, 2009 – с.117-127)

[6] Пачаманов А., Кр. Костадинов, Ст. Петров. Енергийноефективни светлоразпределения от тип «плосък лъч» за пътни тунели. II Научна конференция ЕФ'2010, Созопол, 1 – 3 октомври 2010 г. (под печат)

[7] Gudum J.q A Obro. Computer-Program for Computation of Sport Lighting Installations. The Danish Illuminating Engineering Laboratory, Report No.6, 1973

АВТОРИ

Д-р инж. Ангел Саракинов Пачаманов – професор в катедра "Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт", Технически университет-София, Email: pach@tu-sofia.bg; Маг.инж. Красимир Трендафилов Костадинов, НИС при ТУ–София; Маг.инж. Константин Христов Христов, Маг.инж. Стоян Савов Петров - докторанти на самостоятелна подготовка към катедра "ЕСЕОЕТ", ТУ–София.