

Драгослав А. Рајичиќ



ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ - СКОПЈЕ

Драгослав А. Рајчиќ

ЕЛЕКТРИЧНО ОСВЕТЛЕНИЕ

ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ - СКОПЈЕ

СКОПЈЕ, 1993

Рецензенти: Проф. Димитар Грчев
Проф. Димитар Качурков

Наставно-научниот совет на Електротехничкиот факултет во Скопје, на неговата 180-та седница, одржана на 19. мај 1993 година, ја усвои рецензијата и го одобри печатењето на ракописот како основен учебник.

Издавач: Електротехнички факултет - Скопје

Умножено на офсет техника во А.Д. ГИТ "Гоце Делчев" - Скопје

© 1993 Драгослав А. Рајчиќ

Сите авторски права ги задржува авторот. Ни еден дел од овој учебник не смее да се репродуцира или дистрибуира, во каква и да е форма и на каков и да е начин, без претходна писмена согласност на авторот.

Според Мислењето на Министерството за култура број 21-3434/2, од 14 октомври 1993 година, за овој учебник се плаќа повластена даночна стапка.

CIP - Каталогизација во публикација
Народна и универзитетска библиотека
"Климент Охридски", Скопје

628.9(075.8)

РАЈЧИЌ, Драгослав А.

Електрично осветление / Драгослав А. Рајчиќ. -
Скопје : Електротехнички факултет, 1993. - VIII, 227 стр. :
графички прикази ; 24 cm

Библиографија: стр. 201 - 204

а) Светлосна техника - учебник

*На благородните луѓе
кои ми помогнале во развојот и
на прекрасните луѓе
со кои успешно соработував*

ПРЕДГОВОР

Најголемиот број од информациите за светот што го опкружува, човекот ги прима преку својот орган за вид. Затоа, осветлението има незаобиколна улога при обезбедување услови за повеќето значајни активности на луѓето, посебно за работните. Кога се знае дека со технолошкиот развој пред работникот се поставуваат се' посложени и за очите напорни задачи, сосема е разбирлива неопходноста на работните места да се обезбедува и поквалитетно осветление. Работата врз решавањето на тој проблем придонела за развој на светлинските извори, за детално проучување на нивните карактеристики и за изнаоѓање практични начини за нивното рационално користење, односно за развој на областа на науката и техниката наречена светлотехника.

Основната намена на оваа книга е да послужи како учебник за студентите на Електротехничкиот факултет во Скопје, кои во седмиот семестар, на насоката индустриска електроенергетика и автоматизација, го изучуваат предметот електрично осветление. Со постојниот наставен план е предвидено тој предмет да биде застапен со два часа неделен фонд за предавања, еден час за аудиторни вежби и еден час за програмски вежби. Така малиот фонд часови беше пресуден при определувањето на обемот на материјалот за учебникот. Освен тоа, при изборот на содржината и дефинирањето на нејзиниот обем е уважен фактот дека во курсот треба да бидат застапени не само теоретските основи на светлотехниката туку и методите за практични пресметки на светлотехничките големини и насоките за избор и оценка на светлотехничките решенија. Нема сомнение дека сите тие барања можеа само делумно да бидат задоволени, при што добар дел од проблематиката не можеше да биде обработен. Така, на пример, во ракописот не најде место декоративното осветление, рефлекторското осветление и осветлението на патишта и тунели за автомобилски сообраќај. Од друга страна, со цел да се помогне така намалениот обем полесно и поквалитетно да се совлада, прикажани се комплетни решенија на карактеристични примери и даден е определен број задачи за индивидуално вежбање. За поголем број од задачите е даден одговорот, односно резултатот.

Во поранешните учебници по светлотехника не беше обработувана постапката за пресметување на внатрешното осветление со помош на методот на кумулативни зонални флукови (често нарекуван основен метод на Меѓународниот комитет за осветление, C.I.E). Тука соодветно внимание му е посветено и на овој пристап. Мотивите за неговото изучување се, освен модерноста, и следниве две негови особини: а) со него се добиваат не само резултати за средната осветленост на работната површина туку и резултати за средните осветлености на ѕидовите и плафонот; б) при неговата примена е потребен многу помал број на податоци за предвидената светилка, одошто при користење на веќе класичниот метод со помош на коефициентот на искористување на осветлението.

При изработка на ракописот требаше да се разрешат редица термилошки проблеми. Не е исклучено дека наместо некои од понудените термини можеле да се најдат и посоодветни.

Проф. Димитар Грчев и проф. Димитар Качурков, во својство на рецензенти на ракописот, дадоа редица сугестии за подобрување на одделни формулации во него, за што авторот им е благодарен.

М-р Рубин Талески беше љубезен да го прочита ракописот и да ги провери решенијата и одговорите на задачите. Укажувајќи на повеќе грешки во ракописот, тој придонесе забележаните пропусти да бидат отклонети. Освен за тоа, авторот му е благодарен и за сугестиите и помошта околу техничката обработка на ракописот, а посебно за обработка на сликите што се преземени од други публикации со помош на скенер и за печатењето на ракописот на ласерски печатар.

Заслужуваат да им се искаже благодарност и сите издавачи и производители на светлотехничка опрема кои дале согласност за користење на деловите од нивните публикации.

Посебна благодарност му припаѓа на Деканатот на Електротехничкиот факултет за безрезервен ангажман околу издавањето на овој учебник и за обезбедување на неопходните материјални средства.

Авторот

СОДРЖИНА

	Страна
1. ВОВЕД	1
2. ОСНОВНИ СВЕЛТОТЕХНИЧКИ ГОЛЕМИНИ И ПОИМИ	5
2.1. Количество на светлина	5
2.2. Светлински флуks.....	5
2.3. Точкаст светлински извор.....	5
2.4. Светлинска јачина.....	5
2.5. Осветленост	7
2.6. Сјајност (луминанција)	10
2.7. Светлинска емисија	13
2.8. Вектор на осветленоста.....	15
2.9. Средна сферна осветленоста	16
2.10. Средна цилиндрична осветленост	17
2.11. Експозиција	19
2.12. Специфично производство.....	20
2.13. Коефициент на искористување на светилка	20
2.14. Коефициент на искористување на осветление	20
2.15. Примери	21
2.16. Задачи.....	27
3. РАСПРЕДЕЛБА НА СВЕЛТИНСКАТА ЈАЧИНА	32
3.1. Фотометриско тело.....	32
3.2. Крива на распределба на светлинската јачина	32
3.3. Табеларно прикажување на распределбата на светлинската јачина.....	38
3.4. Изоканделни дијаграми.....	41
3.5. Изолукс дијаграми	45
3.6. Примери	46
3.7. Задачи.....	51
4. ПРЕСМЕТКА НА ОСВЕЛТЕНОСТ ОД ИЗВОР ВО ВИД НА СВЕЛТЕЧКА ОТСЕЧКА	56
4.1. Општо.....	56
4.2. Основен случај.....	56
4.3. Општ случај.....	60
4.4. Примери	62
4.5. Задачи.....	70
5. СВЕЛТОТЕХНИЧКИ СВОЈСТВА НА ТЕЛАТА	72
5.1. Воведни забелешки.....	72
5.2. Одбивање на светлината	72
5.3. Пропуштање на светлината	79
5.4. Впивање на светлината	84
5.5. Повеќекратно одбивање	85
5.6. Примери	87
5.7. Задачи.....	91
6. ДРУГИ ПОИМИ ВО ВРСКА СО ГЛЕДАЊЕТО И СВЕЛТЕНИЕТО	93
6.1. Релативна спектрална светлинска ефективност на човечкото око	93
6.2. Видно поле.....	94

6.3. Контраст	94
6.4. Блескотење	95
6.5. Температура на бојата	99
6.6. Индекс на репродукција на боја	100
7. ЕЛЕКТРИЧНИ СИЈАЛИЦИ	102
7.1. Општо.....	102
7.2. Сијалици со метално влакно.....	102
7.3. Халогени сијалици.....	107
7.4. Флуоресцентни сијалици.....	110
7.5. Живини сијалици со висок притисок	124
7.6. Металхалогени сијалици	128
7.7. Натриумови сијалици со висок притисок	132
7.8. Натриумови сијалици со низок притисок	135
8. СВЕТИЛКИ.....	138
9. СИСТЕМИ НА ОСВЕТЛЕНИЕ	141
9.1. Општо осветление.....	141
9.2. Дополнително осветление	141
10. СТАНДАРДИ И ПРЕПОРАКИ ЗА НИВОТО НА ОСВЕТЛЕНОСТА	143
11. ПРЕСМЕТКА НА СРЕДНА ОСВЕТЛЕНОСТ СО ПОМОШ НА КОЕФИЦИЕНТОТ НА ИСКОРИСТУВАЊЕ НА ОСВЕТЛЕНИЕТО	146
11.1. Пресметка на потребниот светлински флукс	146
11.2. Определување потребниот број на светилки и нивниот распоред	149
11.3. Пример.....	152
11.4. Задачи.....	158
12. ПРЕСМЕТКА НА СРЕДНА ОСВЕТЛЕНОСТ СО ПОМОШ НА КУМУЛАТИВНИ ЗОНАЛНИ ФЛУКСОВИ	161
12.1. Основно за методот.....	161
12.2. Пресметка на директниот флукс врз работната рамнина.....	163
12.3. Коефициенти на меѓусебна размена.....	168
12.4. Пресметка на индиректниот флукс.....	173
12.5. Пример.....	178
13. ОСНОВНО ЗА ОДРЖУВАЊЕ НА УРЕДИТЕ ЗА ЕЛЕКТРИЧНО ОСВЕТЛЕНИЕ	183
14. НЕКОИ АСПЕКТИ НА РАБОТНОТО ОСВЕТЛЕНИЕ	185
15. СВЕЛТОТЕХНИЧКИ МЕРЕЊА.....	189
15.1. Општо.....	189
15.2. Мерење на светлинскиот флукс	189
15.3. Мерење на осветленоста.....	190
ЛИТЕРАТУРА.....	193
РЕЗУЛТАТИ И ОДГОВОРИ.....	196
ДОДАТОК	199

1. ВОВЕД

Од широкиот спектар на електромагнетните зрачења само мал дел може непосредно да се регистрира со човечкото око. Тие зрачења ги нарекуваме светлина. Нивните бранови должини во вакуум се во интервалот од 380 nm до 780 nm, при што зрачењата со различни бранови должини човечкото око ги забележува како светлина со различна боја.

Во табелата 1.1.1 се наведени брановите должини за светлини со одделни бои. Но, мора да се забележи дека границите меѓу боите не се остри, како што тоа би можело да се заклучи од табелата 1.1.1. Всушност, меѓу соседните бои се присутни сите преливи на тие бои.

Табела 1.1.1 Бранови должини на светлина со одделни бои

Боја на светлината	Бранова должина во вакуум nm
Виолетова	380 - 440
Сина	440 - 500
Зелена	500 - 570
Жолта	570 - 590
Портокалова	590 - 630
Црвена	630 - 780

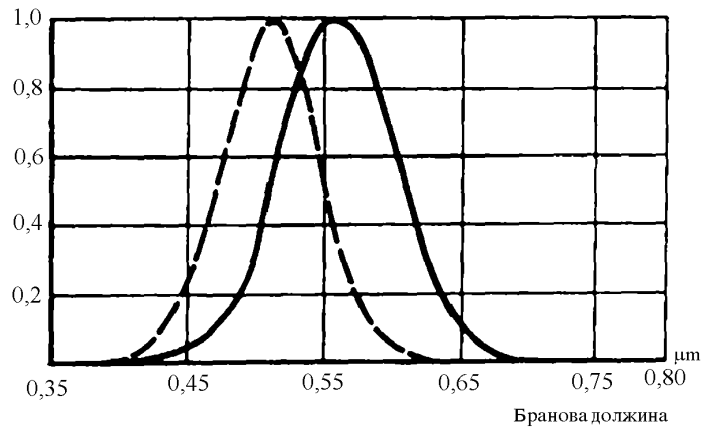
Електромагнетното зрачење со бранова должина од 100 nm до 380 nm е наречено ултравиолетово, а електромагнетното зрачење со бранова должина од 780 nm до околу 1 mm е наречено инфрацрвено зрачење. Ултравиолетовото, видливото и инфрацрвеното зрачење со заедничко име се нарекуваат оптичко зрачење.

Областа на науката и техниката што се занимава со проучување на принципите и развојот на средствата за производство, просторната распределба и мерењето на оптичкото зрачење се нарекува светлотехника. Пред светлотехниката најчесто се поставува една од следниве две основни задачи:

- да обезбеди квалитетно и економично осветление кое ќе овозможи ефикасно извршување на работните активности со дефинирани задачи или
- да даде светлотехничко решение што ќе овозможува создавање на бараните естетски ефекти.

Во првиот од наведените случаи е вообичаено да се вели дека станува збор за работно или рационално осветление. Во вториот случај се смета дека е во прашање декоративно осветление. Во двата случаја осветлението треба да овозможи човечкото око да создаде впечаток соодветен на конкретните услови, олеснувајќи го процесот на гледањето.

Човечкото око е мошне деликатен орган, со карактеристични особини за кои се води сметка во светлотехниката. Неговата осетливост не е еднаква на сите бои од спектарот на светлината, а зависи и од сјајноста. На сликата 1.1.1 се прикажани релативните осетливости на човечкото око на одделни бои во услови на дневно гледање (полна линија) и во услови на ноќно гледање (испрекинатата линија). Во првиот случај човечкото око е најосетливо на жолто-зелената светлина, со максимум кај брановата должина од 555 nm. Во вториот случај најголемата осетливост на окото е за светлина со бранова должина 505 nm.



Слика 1.1.1 Релативна спектрална светлинска ефективност на човечкото око во услови на: а) дневно гледање (полна линија) и б) ноќно гледање (испрекинатата линија)

Освен тоа, заслужува да биде истакнато дека со возраста човечкото око ги намалува своите способности за добро гледање. Процесот на влошувањето не се одвива забрзано, но започнува релативно рано, на возраста под 20 години. Се смета дека тоа е резултат на повеќе причини. Некои од нив ќе ги наведеме. Кога човекот расте и неговите очни леќи стануваат поголеми и малку пожелтуваат. Од друга, страна бидејќи рожницата и очната леќа не се од наполно хомоген материјал, во окото на возрасен човек се јавуваат неправилности кои повлекуваат слабеење на пропуштената светлина. Тие процеси се поизразени доколку светлината е со покуса бранова должина. Покрај тоа, поради прогресивното слабеење на соодветниот мускул, со возраста се намалува и отворот на црнката, особено во услови на ноќно гледање (т.е. при мали сјајности). Како резултат на наведеното, при константна сјајност на набљудуваните предмети осветленоста на мрежницата на окото униформно опаѓа со возраста на набљудувачот. Според [8] на 60-годишна возраст таа изнесува само една третина од онаа на 20-годишна возраст.

Бидејќи осветлението непосредно влијае врз гледањето, а тој процес е во тесна врска со работата на мозокот, тоа индиректно битно влијае и врз централниот нервен систем што ја контролира активноста на човекот.

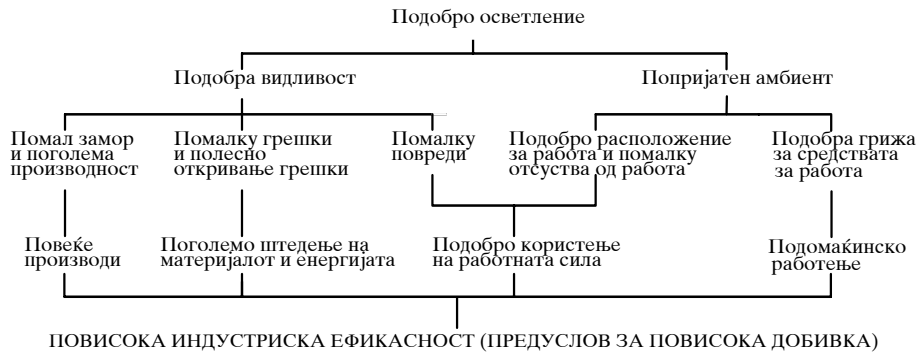
Во овој курс ќе се изучуваат главно макроскопските ефекти, со акцент на вештачкото осветление, без кое тешко би можел да се замисли животот на современиот човек. Покрај основните големини и единици кои се користат во светлотехниката, тука ќе бидат изложени и најчесто користените методи за пресметка на основните светлотехнички големини, ќе бидат опишани најчесто користените електрични извори на светлина и ќе биде укажано на некои од принципите врз кои се темелат рационалните светлотехнички решенија на одделни објекти.

Електричните извори на светлина се нарекуваат сијалици. За да може една сијалица ефикасно да работи, неопходно е таа да биде поставена во уред преку кој ќе се обезбедува нејзиното напојување со електрична енергија, кој ќе ја заштити од штетните надворешни влијанија и со кој ќе се обезбеди соодветна просторна распределба на израчената светлина. Таквите уреди се нарекуваат светилки.

Сметајќи дека егзистенцијата на современиот човек зависи и од ефикасноста на неговата активност што се одвива при вештачко осветление, заслужува да се нагласи дека влијанието на тоа осветление е мошне значајно. Во таа смисла е и тврдењето дека "не е скапо доброто осветление туку лошото" [1]. Според истражувањата извршени во поразвиените земји [9] е заклучено дека инвестирање во соодветен квалитет на осветлението редовно се исплатува. По правило, со подобрување на осветлението се зголемува продуктивноста на трудот на сите работници, но зголемувањето е поизразито кај повозрасните работници.

На сликата 1.1.2 е даден преглед на некои ефекти од подобрување на работното осветление. Од таа слика се гледа дека со подобро осветление се постигнува поголемо производство, порационално користење на материјалите, енергијата и работната сила и подобро користење и одржување на средствата за работа. Сите тие ефекти се неопходни за постигнување поголема ефикасност на трудот и претставуваат битен услов за успешно работење, што е императив за развој на материјалната основа на општеството.

Значи, сосема е неоправдано на осветлението да се гледа како на помодарство или како на фактор чие влијание е маргинално. Во сите сфери на човековата активност осветлението има неспорно значајна улога. Освен тоа, во разновидните услови пред осветлението се поставуваат различни барања. Затоа е неопходно да се проектираат и изведуваат светлотехнички решенија со различни карактеристики, секогаш усогласени со условите за кои се наменети.



Слика 1.1.2 Ефекти од подобро осветление [9]

2. ОСНОВНИ СВЕТЛОТЕХНИЧКИ ГОЛЕМИНИ И ПОИМИ

2.1. Количество на светлина

Под светлински извор се подразбира уред што претвора друг вид енергија во светлина. При тоа претворање, обично, во светлина не се претвора сета примена енергија.

Под количество на светлина на еден светлински извор подразбираме енергија што тој извор ја емитува во вид на светлина. Количеството на светлина ќе го означуваме со Q .

2.2. Светлински флуks

Светлински флуks на еден светлински извор е количество на светлина што тој извор го емитува во една секунда. Светлинскиот флуks ќе го означуваме со Φ .

Светлинскиот флуks на еден извор дава информација само за моќноста на видливото зрачење што го емитува изворот. Но, тој не дава никаква информација за просторната распределба на видливото зрачење, ниту пак за моќноста на вкупното зрачење на изворот (вклучувајќи го и невидливото).

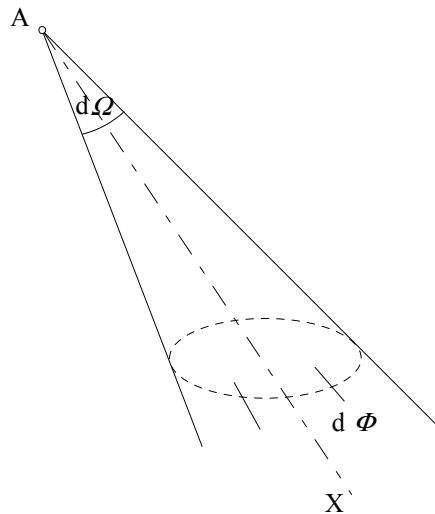
2.3. Точкаст светлински извор

Под точкаст или пунктуален светлински извор подразбираме светлински извор чии димензии се мали во споредба со неговото растојание од површината што тој ја осветлува, односно од точката од која се набљудува. Да забележиме дека овој поим е релативен. Еден ист светлински извор со конечни димензии може да се смета за точкаст, ако се набљудува од растојание што е најмалку пет пати поголемо од најголемата димензија на изворот. Но, не може да се смета за точкаст ако тоа растојание е од ист ред на големина како и димензиите на изворот.

2.4. Светлинска јачина

Нека набљудуваме точкаст светлински извор поставен во точката A , како на сликата 2.4.1. Да одбереме еден правец од изворот, на пример правецот $A-X$, и да замислиме елементарен конус чиј врв е во точката A и чија оска се поклопува со правецот $A-X$. Светлинскиот флуks што изворот го зрачи во конусот нека е $d\Phi$ и нека $d\Omega$ е просторниот агол на конусот. Светлинската јачина на изворот во набљудуваниот правец $A-X$ се дефинира со равенката:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}. \quad (2.4.1)$$



Слика 2.4.1 Кон дефиницијата на светлинската јачина

Единица за светлинската јачина е **кандела** (ознака: cd). Кандела е една од основните единици на Меѓународниот систем на мерни единици (SI). По дефиниција [30], кандела е светлинска јачина во определен правец на изворот на монохроматско зрачење, со фреквенција 540 THz, чија енергетска јачина на зрачењето во тој правец е 1/863 W/sr.

Ако изворот зрачи светлина со иста јачина во сите правци, за него велеме дека е **униформен**. Бидејќи кај таквите извори светлинската јачина не зависи од изборот на набљудуваниот правец, таа може едноставно да се пресмета како количник помеѓу флуksот Φ , што е израчен во произволен просторен агол Ω , и големината на тој просторен агол, т.е.

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}. \quad (2.4.2)$$

Но, најчесто изворите на светлина не се униформни. Во тој случај количникот помеѓу светлинскиот флуks Φ , израчен во конечен просторен агол Ω , и големината на тој просторен агол, претставува средна светлинска јачина која ја означуваме со $I_{\text{средна}}$ и може да се напише:

$$I_{\text{средна}} = \frac{\Phi}{\Omega}. \quad (2.4.3)$$

Единица за светлинскиот флуks е **лумен** (ознака: lm). Лумен е светлински флуks израчен во просторниот агол од еден стерадијан од

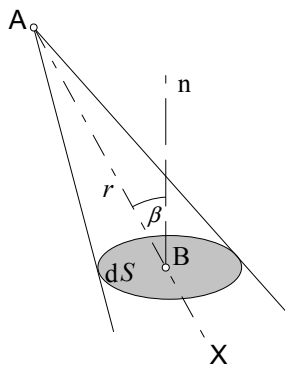
страна на точкаст светлински извор чија светлинска јачина во сите правци е еднаква на една кандела.

Единица за количество на светлина е **лумен-секунда** (ознака: $\text{lm}\cdot\text{s}$). Тоа е количество на светлина што ја израчува изворот чиј флуks е еден лумен за време од една секунда.

2.5. Осветленост

Нека на елементарна површина со плоштина dS паѓа светлински флуks $d\Phi$, како што е прикажано на сликата 2.5.1. Нека флуksот потекнува од точкастиот светлински извор поставен во точката А, а неговото растојание од површината со плоштина dS нека е r . Осветленост се дефинира како густина на светлинскиот флуks на осветлуваната површина. Осветленоста ќе ја означуваме со E . Според тоа, во случајот прикажан на сликата 2.5.1, за осветленоста на точката В може да се напише:

$$E = \frac{d\Phi}{dS}. \quad (2.5.1)$$



Слика 2.5.1 Кон дефиницијата на осветленоста

Често, особено на поголеми површини, осветленоста не е еднаква во сите точки. Во тие случаи може да се дефинира средна осветленост, $E_{\text{средна}}$. Таа се дефинира како однос помеѓу вкупниот флуks Φ и плоштината S на површината на која паѓа тој флуks, т.е. може да се напише:

$$E_{\text{средна}} = \frac{\Phi}{S}. \quad (2.5.2)$$

Единица за осветленост е **луks** (ознака: lx). Луks е осветленост што се добива на површина со плоштина од еден квадратен метар кога на неа паѓа рамномерно распределен светлински флуks од еден лумен.

Од практична гледна точка, корисно е равенката (2.5.1) да се трансформира во облик поподобен за користење. Од дефиниционата равенка за светлинската јачина следува:

$$d\Phi = I \cdot d\Omega, \quad (2.5.3)$$

а врз основа на дефиницијата за просторен агол и сликата 2.5.1 следува:

$$d\Omega = \frac{dS \cdot \cos\beta}{r^2}, \quad (2.5.4)$$

каде што β е агол помеѓу нормалата на осветлуваната површина и правецот на кој лежат точкастиот светлински извор и набљудуваната точка В (т.е. правецот А-В). Изразот $dS \cdot \cos\beta$ претставува плоштина на проекцијата на површината со плоштина dS врз рамнина нормална на правецот А-В.

Со помош на равенките (2.5.4) и (2.5.3), равенката (2.5.1) може да се трансформира во облик:

$$E = \frac{I \cdot \cos\beta}{r^2}. \quad (2.5.5)$$

Од равенката (2.5.5) произлегува дека осветленоста во една точка е:

- директно пропорционална на светлинската јачина на изворот во правецот на кој лежи точката;
- директно пропорционална на косинусот на аголот што кај точката го зафаќаат светлинските зраци со нормалата на рамнината во која лежи точката;
- обратно пропорционална на квадратот на растојанието меѓу изворот и точката.

Осветленоста во една точка, условена од едновремено дејствување на повеќе точкасти извори, може да се пресмета како сума на осветленостите во таа точка од секој од изворите одделно. Така, на пример, ако се во прашање n точкасти извори, за резултантната осветленост може да се напише:

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \cos\beta_i}{r_i^2}, \quad (2.5.6)$$

каде индексот i ја означува придруженоста кон одделниот точкаст извор. Во практиката равенката (2.5.5) може да се користи во случаите кога најголемата димензија на изворот е повеќе од пет пати помала од најмалото растојание помеѓу изворот и осветлуваната точка.

Во случај на извор што не може да се смета за точкаст, осветленоста може да се определи со примена на принципот на суперпозиција. За таа цел површината на изворот се разделува на малечки делови, од кои секој може да се смета за точкаст извор. Потоа се пресметува осветленост од секој таков дел и на крајот се собираат осветленостите од сите делови.

Нека dI е светлинската јачина во набљудуваниот правец на еден од малите делови на кои е разделена површината на изворот. Во точката на растојание r од тој дел осветленоста може да се пресмета со равенката:

$$dE = \frac{dI \cdot \cos\beta}{r^2}, \quad (2.5.7)$$

каде со β е означен аголот помеѓу правецот на светлината од набљудуваниот дел на површината на изворот и нормалата на рамнината на која лежи осветлуваната точка. Резултантната осветленост во набљудуваната точка ќе биде:

$$E = \int_S \frac{\cos\beta}{r^2} dI. \quad (2.5.8)$$

Површината S , по која треба да се изврши интеграцијата во равенката (2.5.8), ја сочинуваат сите делови на површината на изворот, од кои светлината доаѓа директно до осветлуваната точка.

За пресметување на интегралот во равенката (2.5.8) е неопходно да се знае како може да се определи dI . Разрешувањето на тој проблем се однесува со воведување на големината сјајност.

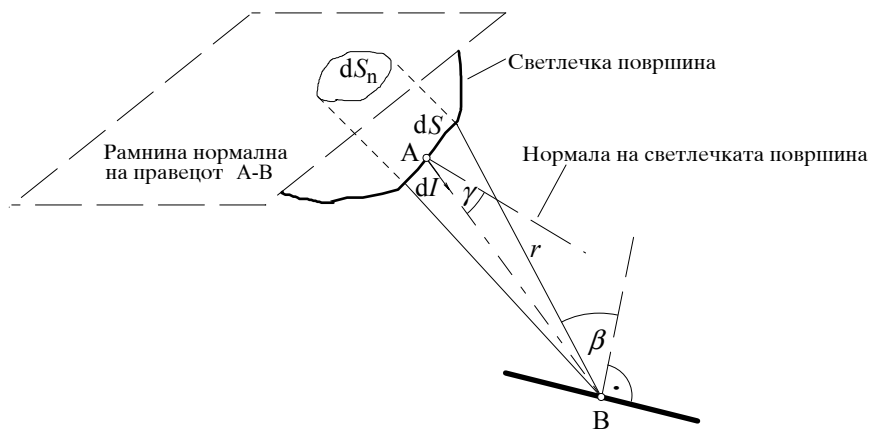
Треба да се забележи дека во равенката (2.5.5), како и во равенките изведени од неа, при пресметување на осветленоста во точка претпоставуваме дека точката лежи на некоја површина и осветленоста во неа е директно пропорционална на косинусот на аголот што во таа точка го зафаќаат правецот на светлинските зраци и нормалата на површината. Во овој учебник, кога станува збор за осветленост во точка, ќе подразбираме осветленост пресметана на наведениот начин. Меѓутоа, како во праксата така и во литературата можат да се сретнат термините: хоризонтална и вертикална осветленост. Тие се дефинираат на нешто поинаков начин. Хоризонталната осветленост во една точка е всушност осветленост во таа точка во случај кога таа припаѓа на хоризонтална рамнина. Со други зборови, ако се бара да се определи хоризонталната осветленост во една точка, ќе замислиме дека таа точка лежи на една хоризонтална рамнина и во таквите услови ќе ја пресметаме осветленоста. Вертикалната осветленост во една точка се дефинира како осветленост во таа точка во услови кога таа припаѓа на една вертикална рамнина. Сосема е разбирливо да се зборува за хоризонталната и

вертикалната осветленост во некоја точка во просторот, особено ако точката не лежи на површината на некое материјално тело.

2.6. Сјајност (луминанција)

Нека dS е плоштина на елементарна површина на светлинскиот извор (слика 2.6.1). Во набљудуваниот правец $A-B$ елементарната површина нека зрачи светлина со јачина dI . Нормалата на елементарната површина и правецот $A-B$ нека зафаќаат агол γ . Површината на набљудуваниот елемент на изворот ќе ја проектираме врз рамнина нормална на правецот $A-B$. Добиената проекција ќе биде површина со плоштина:

$$dS_n = dS \cdot \cos \gamma. \quad (2.6.1)$$



Слика 2.6.1 Кон дефиницијата на сјајноста

По дефиниција, сјајност на еден елемент на светлинскиот извор во определен правец е количник помеѓу светлинската јачина на елементот во тој правец и плоштината на проекцијата на елементот врз рамнина нормална на истиот правец. Сјајноста ќе ја означуваме со L .

Според тоа, за условите претставени на сликата 2.6.1 и со користење на воведените ознаки, за сјајноста на избраниот елемент набљудуван од точката B може да се напише:

$$L = \frac{dI}{dS \cdot \cos \gamma} = \frac{dI}{dS_n}. \quad (2.6.2)$$

Во општ случај сјајноста зависи од локацијата на набљудувачот и од локацијата на набљудуваниот елемент на површината на изворот, односно од правецот во кој се набљудува елементот на површината на изворот.

Од равенката (2.6.2) произлегува дека сјајноста може да се дефинира како светлинска јачина на единична проектирана површина на изворот.

Единица за сјајност е **кандела на квадратен метар** (ознака: cd/m^2). Ако површината на светлинскиот извор е рамна, со плоштина од еден квадратен метар и ако во правец на нормалата на својата површина изворот зрачи со светлинска јачина од една кандела, тогаш во правец на таа нормала сјајноста на изворот изнесува кандела на квадратен метар.

Равенката (2.6.2) може да се напише во вид:

$$dI = L \cdot dS_n. \quad (2.6.3)$$

Со помош на равенката (2.6.3), равенката (2.5.7) го добива обликот:

$$dE = L \cdot \cos\beta \frac{dS_n}{r^2}. \quad (2.6.4)$$

Но, бидејќи

$$d\Omega = \frac{dS_n}{r^2} \quad (2.6.5)$$

е просторен агол под кој, од точката на набљудувањето В, се гледа избраниот елемент на површината на изворот, равенката (2.6.4) може да се напише во вид:

$$dE = L \cdot \cos\beta \cdot d\Omega. \quad (2.6.6)$$

Од равенката (2.6.6) за резултантната осветленост во набљудуваната точка следува:

$$E = \int_S L \cdot \cos\beta \cdot d\Omega. \quad (2.6.7)$$

Доколку сјајноста на изворот е еднаква во сите правци, равенката (2.6.7) може да се напише во вид:

$$E = L \int_S \cos\beta \cdot d\Omega. \quad (2.6.8)$$

Во равенката (2.6.8), како и во равенката (2.6.7), доменот на интеграцијата е ограничен на делот на површината на изворот што е видлив од точката во која се пресметува осветленоста.

Светлинските извори со еднаква сјајност во сите правци се наречуваат **униформно дифузни** извори. Веднаш да забележиме дека и

во случаите кога изворот има еднаква сјајност во сите правци, тој во сите правци не мора да има еднаква светлинска јачина. За да дојдеме до законот за распределба на светлинската јачина на таков извор со мала рамна површина, ќе набљудуваме мал рамен униформно дифузен извор со плошина S . Нека неговата светлинска јачина во правец на нормалата на светлечката површина е I_0 . Во произволен правец, што со нормалата зафаќа агол γ , светлинската јачина на изворот нека е I_γ . Бидејќи во двата наведени правци сјајностите се еднакви, од равенката (2.6.2) следува:

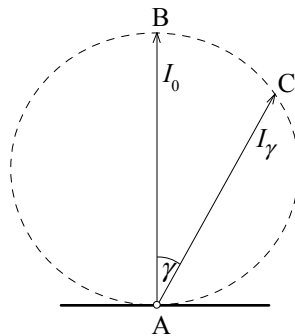
$$L = \frac{I_0}{S_\gamma} = \frac{I_\gamma}{S \cdot \cos \gamma}, \quad (2.6.9)$$

односно,

$$I_\gamma = I_0 \cos \gamma = L \cdot S \cdot \cos \gamma. \quad (2.6.10)$$

Равенката (2.6.10) важи за секое γ . Од неа произлегува дека аголот $\angle ACB$ (слика 2.6.2) е секогаш прав, односно дека точките C претставуваат геометриско место на точките од кои отсечката AB (пропорционална на I_0) се гледа под прав агол. Во секоја рамнина што ја содржи отсечката AB наведеното геометриско место на точките е кружница, чиј дијаметар е отсечката AB (слика 2.6.2). Со други зборови, ако од средиштето на разгледуваниот мал униформно дифузен извор во одделни правци повлечеме радиус-вектори со должина пропорционална на светлинската јачина на изворот во тие правци, тогаш крајните точки на тие радиус-вектори ќе образуваат сфера. Пресекот на таа сфера со рамнина нормална на светлечката површина е прикажан на сликата 2.6.2.

Ако светлинската јачина во правец на нормалата на светлечката површина и светлинската јачина во произволен правец, што со нормалата зафаќа агол γ , ја задоволуваат равенката (2.6.10), за светлечката површина се вели дека зрачи според Ламбертовиот закон.



Слика 2.6.2 Распределба на светлинската јачина кај телата што зрачат униформно дифузно

2.7. Светлинска емисија

Светлинска емисија се дефинира како светлински флукс емитиран од површина со единична плоштина. Така, на пример, ако еден елемент на изворот има плоштина dS и во просторот зрачи светлински флукс $d\Phi$, за неговата светлинска емисија може да се напише:

$$M = \frac{d\Phi}{dS}. \quad (2.7.1)$$

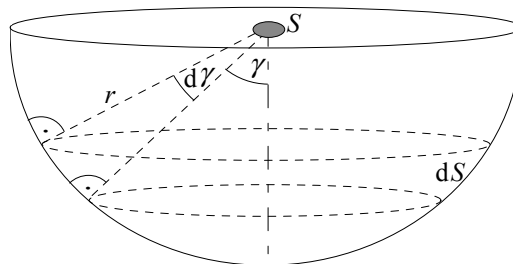
Единица за светлинската емисија е **лумен на квадратен метар** (ознака: lm/m^2). Лумен на квадратен метар е светлинска емисија на извор со плоштина еден квадратен метар, кој зрачи светлински флукс од еден лумен.

Заслужува да се подвлече дека и светлинската емисија и осветленоста се дефинирани како флукови по единична површина. Сепак, помеѓу нив постои супстинска разлика. Светлинската емисија се однесува на флуксот што го зрачи една површина, додека осветленоста се однесува на флуксот што паѓа на една површина.

Кај униформно дифузните извори постои едноставна релација што ги поврзува сјајноста и светлинската емисија. За да дојдеме до таа врска, ќе набљудуваме мал рамен униформно дифузен извор со сјајност L и плоштина S , поставен во центарот на една замислена полусфера, како што е прикажано на сликата 2.7.1. Нека светлечката површина зрачи само од едната страна и нека е поставена така што сиот израчен флукс паѓа на споменатата полусфера. Во тие услови светлината паѓа нормално на внатрешната површина на полусферата, при што осветленоста во која и да е точка може да се пресмета со равенката:

$$E = \frac{L_\gamma}{r^2}, \quad (2.7.2)$$

каде со L_γ е означена светлинската јачина во правец што со нормалата на светлечката површина зафаќа агол γ .



Слика 2.7.1 Кон определувањето на флуксот од рамен униформно дифузен светлински извор

Користејќи ја равенката (2.6.10), равенката (2.7.2) може да се напише во вид:

$$E = \frac{L \cdot S \cdot \cos \gamma}{r^2}. \quad (2.7.3)$$

Ако се земат предвид елементите со еднаква осветленост, не е тешко да се утврди дека тие образуваат сферен прстен со плоштина dS (слика 2.7.1). Светлинскиот флукс што паѓа на еден таков прстен е:

$$d\Phi = E \cdot dS = E \cdot 2\pi \cdot r^2 \cdot \sin \gamma \cdot d\gamma. \quad (2.7.4)$$

Оттука, имајќи ја предвид равенката (2.7.3), од равенката (2.7.4) за вкупниот светлински флукс израчен од едната страна на мала рамна површина што зрачи униформно дифузно, следува:

$$\Phi = 2\pi \cdot L \cdot S \int_0^{\pi/2} \sin \gamma \cdot \cos \gamma \cdot d\gamma = \pi \cdot L \cdot S. \quad (2.7.5)$$

Од друга страна, вкупниот светлински флукс што го зрачи набљудуваниот извор може да се изрази преку светлинската емисија, т.е. може да се напише:

$$\Phi = M \cdot S. \quad (2.7.6)$$

Од равенките (2.7.5) и (2.7.6) произлегува дека за површините што зрачат униформно дифузно важи равенството:

$$M = \pi \cdot L. \quad (2.7.7)$$

2.8. Вектор на осветленоста

Според равенката (2.5.5) осветленоста во една точка (од еден точкаст светлински извор) може да се смета за компонента на еден вектор, чиј модул е еднаков на I/r^2 и чиј правец и насока се поклопуваат со правецот и насоката на простирањето на светлината (слика 2.8.1). Тој вектор се наречува вектор на осветленоста. На сликата 2.8.1 точкастиот светлински извор е во точката означена со А, додека набљудуваната точка е означена со В. Точката В лежи на една рамна површина, што ја осветлува изворот. За тие услови, осветленоста во точката В е:

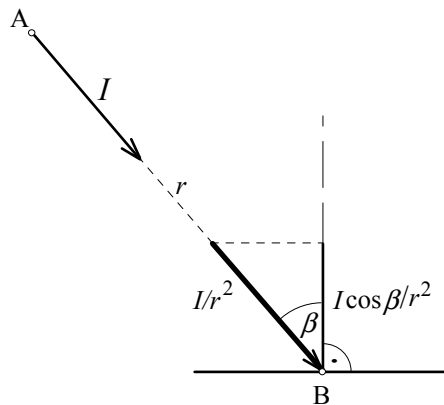
$$\frac{I \cdot \cos \beta}{r^2}.$$

Според тоа, осветленоста, дефинирана во потпоглавјето 2.5, може да се смета за компонента на векторот на осветленоста, при што правецот на компонентата се поклопува со нормалата на осветлуваната површина.

Но, треба да се забележи дека, заради коректна примена на овој пристап, мора да биде задоволена релацијата:

$$0 \leq \beta \leq \pi/2, \quad (2.8.1)$$

т.е. пристапот е применлив само во случаите кога осветленоста се пресметува од таа страна на осветлуваната површина која е свртена кон изворот на светлината.



Слика 2.8.1 Вектор на осветленоста

Во случај кога повеќе точкasti извори осветлуваат една рамнина, секој од нив во секоја точка од рамнината создава соодветен вектор на осветленост. Со собирање на тие вектори може да се добие резултантен вектор на осветленоста, што може да се употреби за пресметка на осветленоста во соодветна точка на рамнината, но само под услов сите извори да бидат од истата страна на рамнината. Доколку ова ограничување не се почитува, за изворите што ја осветлуваат другата страна на рамнината аглиите β ќе бидат помеѓу 90° и 180° и нивните косинуси ќе бидат негативни, што значи дека уделот на тие извори ќе биде одземен од сумата. Така, ако има извори од двете страни на осветлуваната рамнина, и ако сите тие се земат предвид, со примена на векторот на осветленоста ќе се добие резултат кој претставува разлика помеѓу осветленостите од едната и другата страна на рамнината.

Ако во некоја точка во просторот векторот на осветленоста има модул еднаков на нула, тоа не мора да значи дека таа точка не е осветлена, туку дека се еднакви осветленостите од двете страни на рамнината на која ѝ припаѓа набљудуваната точка. Притоа не е битно која од рамнините низ набљудуваната точка е избрана. Како пример за наведеното може да послужи точка што се наоѓа на средината на отсечка на чии краишта се наоѓа по еден точкаст светлински извор и тие извори имаат еднакви светлински јачини во правецот на кој лежи набљудуваната точка.

2.9. Средна сферна осветленост

Средната сферна осветленост или скалар на осветленоста се користи како мерка за тоа колку светлина е расположлива во една точка на просторот, без да се специфицираат положбата на осветлуваната рамнина во таа точка и насоката од која доаѓа светлината. Средната сферна осветленост е дефинирана како средна осветленост на површината на малечка сфера, чие средиште е во набљудуваната точка.

Најнапред, да ја пресметаме средната сферна осветленост од еден точкаст светлински извор, во точка на растојание r од изворот и во правец на која светлинската јачина на изворот е I . Нека замислената сфера околу набљудуваната точка има радиус a . Светлинскиот флуks што паѓа на сферата е еднаков со флуksот што би паѓал на нејзиниот главен круг кој е нормален на правата на која лежат точкастиот извор и набљудуваната точка. Тој флуks изнесува:

$$\Phi = I \cdot \Omega = \frac{\pi \cdot a^2 \cdot I}{r^2}. \quad (2.9.1)$$

Ако флуksот што паѓа врз сферата се подели со нејзината плоштина ($4\pi a^2$), за средната сферна осветленост во набљудуваната точка ќе се добие:

$$E_{\text{сферна}} = \frac{I}{4r^2}. \quad (2.9.2)$$

Во случај светлинскиот извор да не може да се третира како точкаст, мали делови од неговата површина можат да се сметаат за точкасти извори. Притоа, ако плоштината на проекцијата на елементот врз рамнина нормална на правецот на кој лежат елементот и набљудуваната точка ја означиме со dS_n , а со L ја означиме сјајноста на изворот во наведениот правец, соодветната средна сферна осветленост ќе биде:

$$dE_{\text{сферна}} = \frac{L \cdot dS_n}{4r^2}. \quad (2.9.3)$$

Бидејќи

$$d\Omega = \frac{dS_n}{r^2} \quad (2.9.4)$$

претставува просторен агол под кој од набљудуваната точка се гледа елементот на површината на изворот, равенката (2.9.3) може да се напише во вид:

$$dE_{\text{сферна}} = \frac{L \cdot d\Omega}{4}. \quad (2.9.5)$$

Оттука, за средната сферна осветленост од целиот извор следува:

$$E_{\text{сферна}} = \frac{1}{4} \int_S L \cdot d\Omega. \quad (2.9.6)$$

Доменот на интеграцијата на интегралот од равенката (2.9.6) го сочинуваат сите точки на површината на изворот од кои светлината директно доаѓа до точката во која определуваме средна сферна осветленост.

Ако е во прашање униформно дифузен извор, сјајноста е еднаква во сите правци и од равенката (2.9.6) следува:

$$E_{\text{сферна}} = \frac{1}{4} L \cdot \Omega. \quad (2.9.7)$$

Во равенката (2.9.7) со Ω е означен просторниот агол под кој од набљудуваната точка се гледа изворот.

Може да се покаже (како во [11]) дека средната сферна осветленост е пропорционална на волуменската густина на светлинската енергија. Таа ја определува општата заситеност на просторот со светлина во набљудуваната точка и е пропорционална на средната сјајност на околната средина. Во практичните случаи волуменската густина на светлинската енергија е многу мала. Така, на пример, во непосредна близина на нашата планета, во просторот изложен на директно сончево зрачење, волуменската густина на светлинската енергија не надминува $10^{-4} \text{ lm}\cdot\text{s}/\text{m}^3$ [11]. Сосема е разбирливо дека при вештачко осветление (најчесто) таа енергија е уште помала. Затоа, поподобно е наместо волуменската густина на светлинската енергија да се користи средната сферна осветленост.

Заслужува да биде нагласено дека средната сферна осветленост, како скаларна големина, не зависи од насоката од која доаѓаат светлинските зраци.

2.10. Средна цилиндрична осветленост

Средната цилиндрична осветленост е количник помеѓу флуксот што паѓа на обвивката на мал вертикален цилиндер и плоштината на таа обвивка. Притоа, висината на цилиндерот и дијаметарот на неговата основа се бесконечно мали во споредба со димензиите на осветлуваниот простор. Средната цилиндрична осветленост може да послужи за оценка на заситеност на простории со светлина во услови кога предност му се дава на хоризонталниот правец на набљудување. Таков случај имаме кај музеи, предавални, театри и слични простории.

Нека набљудуваме точка на растојание r од еден точкаст светлински извор. Светлинската јачина на изворот, во правецот на кој се

наоѓа набљудуваната точка, нека е I . Околу набљудуваната точка замислуваме мал цилиндер со вертикална оска (слика 2.10.1). Висината на цилиндерот нека е h , а радиусот на основата нека е a . Аголот помеѓу оската на цилиндерот и правецот под кој доаѓаат светлинските зраци од изворот нека е ψ . Во таквите услови флуksот што паѓа на обвивката на цилиндерот е:

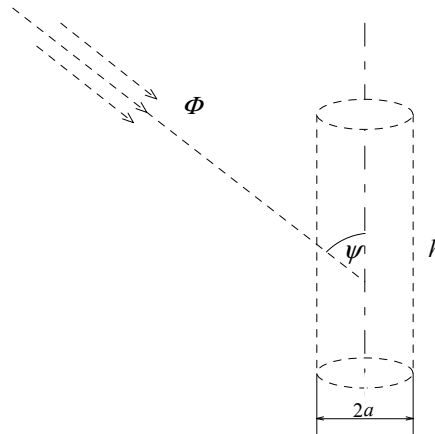
$$\Phi = 2 \cdot a \cdot h \cdot E = \frac{2 \cdot a \cdot h \cdot I}{r^2} \cdot \cos(90^\circ - \psi) = \frac{2 \cdot a \cdot h \cdot I}{r^2} \cdot \sin \psi. \quad (2.10.1)$$

Бидејќи плоштината на обвивката на цилиндерот е:

$$S = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot h, \quad (2.10.2)$$

за средната цилиндрична осветленост се добива:

$$E_{\text{цил.}} = \frac{I}{\pi r^2} \sin \psi. \quad (2.10.3)$$



Слика 2.10.1 Кон дефиницијата на средна цилиндрична осветленост

Доколку светлинскиот извор не е точкаст, неговата површина се разделува на доволно мали елементи, кои можат да се сметаат за точкасти извори. Разделувањето може да се ограничи само на делот од површината на изворот што емитура светлина кон набљудуваната точка. Светлинската јачина на еден од елементите, во правец на набљудуваната точка што се наоѓа на растојание r од него, е:

$$dI = L \cdot dS_n, \quad (2.10.4)$$

каде L е сјајност на елементот, а dS_n е плоштина на неговата проекција врз рамнина нормална на правецот што го определуваат набљудуваната точка и средиштето на елементот. Така, за средната цилиндрична освет-

леност во набљудуваната точка од еден елемент на изворот може да се напише:

$$dE_{\text{цил.}} = \frac{L \cdot dS_n}{r^2} \sin \psi = \frac{L \cdot d\Omega}{\pi} \sin \psi. \quad (2.10.5)$$

Од равенката (2.10.5), за средната цилиндрична осветленост од целиот извор, следува:

$$E_{\text{цил.}} = \frac{1}{\pi} \int_S L \cdot \sin \psi \cdot d\Omega. \quad (2.10.6)$$

Во доменот на интеграцијата на интегралот од равенката (2.10.6) влегуваат сите точки на површината на изворот кои зрачат светлински флуks кон набљудуваната точка.

Доколку сјајноста на изворот е еднаква во сите правци, од равенката (2.10.6) за средната цилиндрична осветленост следува:

$$E_{\text{цил.}} = \frac{L}{\pi} \int_S \sin \psi \cdot d\Omega. \quad (2.10.7)$$

2.11. Експозиција

Во општ случај, односот помеѓу количеството светлина што паѓа на една површина и плоштината на таа површина се дефинира како експозиција. Експозицијата ќе ја означуваме со H . Според таа дефиниција, ако врз површината со плоштина dS паѓа вкупно количество светлина dQ , за експозицијата може да се напише:

$$H = \frac{dQ}{dS}. \quad (2.11.1)$$

Доколку осветленоста на една површина не се менува со времето, во тој случај експозицијата може едноставно да се пресмета како производ на осветленоста E и времето t , т.е.

$$H = E \cdot t. \quad (2.11.2)$$

Единица за експозиција е **лукс-секунда** (ознака: lx·s). Лукс-секунда е експозиција при осветленост од еден лукс за време од една секунда.

2.12. Специфично производство

Под специфично производство на еден светлински извор се подразбира светлински флуks произведен по единица ангажирана активна моќност. Специфичното производство ќе го означуваме со ξ . За светлински извор, во кој се вложува вкупна активна моќност P и кој емитира вкупен светлински флуks Φ , специфичното производство е:

$$\xi = \frac{\Phi}{P}. \quad (2.12.1)$$

Единица за специфично производство е **лумен по ват** (ознака: lm/W). Лумен по ват е специфично производство на извор што зрачи светлински флуks од еден лумен, примајќи активна моќност од еден ват.

2.13. Коефициент на искористување на светилка

Коефициент на искористување на светилка е однос помеѓу флуksот што го зрачи светилката и вкупниот флуks на сите сијалици инсталирани во неа. Коефициентот на искористување на светилка ќе го означуваме со $\eta_{\text{светилка}}$. Според тоа, ако една светилка зрачи флуks Φ_0 и ако флуksот на сите сијалици во неа е $\Phi_{\text{св}}$, тогаш нејзиниот коефициент на искористување се пресметува со равенката:

$$\eta_{\text{светилка}} = \frac{\Phi_0}{\Phi_{\text{св}}}. \quad (2.13.1)$$

Коефициентот на искористување на светилка е помал од еден. Неговата вредност зависи како од обликот и димензиите на светилката така и од светлотехничките особини на употребените материјали.

2.14. Коефициент на искористување на осветление

Коефициент на искористување на осветление е однос помеѓу светлинскиот флуks што паѓа врз површината што треба да се осветли и вкупниот флуks што го произведуваат сите сијалици инсталирани во светилките со кои се осветлува набљудуваната површина. Коефициентот на искористување на осветление ќе го означуваме со η . Оттука, ако врз осветлуваната површина паѓа флуksот Φ' и ако Φ е вкупен флуks на сите сијалици кои се употребени за осветлението, за коефициентот на искористување на осветление може да се напише:

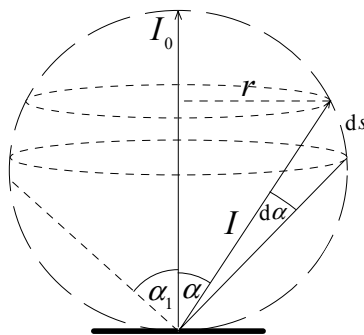
$$\eta = \frac{\Phi'}{\Phi}. \quad (2.14.1)$$

Од дефиницијата на коефициентот на искористување на осветление е разбирливо дека тој е помал од единица. Неговата големина, главно, зависи од:

- обликот и димензиите на просторијата во која се наоѓа набљудуваната површина;
- висината на која се поставени светилките;
- светлотехничките особини на употребените светилки;
- коефициентите на одбивањето на светлината од плафонот, од ѕидовите и од подот.

2.15. Примери

2.15.1. Релативно мала рамна површина зрачи униформно дифузно, но само од едната страна. Да се определи големината на просторниот агол во кој се израчува половината од вкупниот израчен светлински флуks. Просторниот агол е дефиниран со конусот чиј врв е во средишната точка на светлечката површина и чија оска се поклопува со нормалата на светлечката површина во таа точка (слика 2.15.1).



Слика 2.15.1

Решение:

Светлинскиот флуks низ елементарниот појас прикажан на сликата 2.15.1 е:

$$d\Phi = I \cdot d\Omega,$$

каде што со $d\Omega$ е означен просторниот агол помеѓу конусот со отвор 2α и конусот со отвор $2(\alpha+d\alpha)$. Бидејќи е:

$$d\Omega = \frac{2\pi \cdot r \cdot ds}{l^2} = \frac{2\pi \cdot I \cdot \sin\alpha \cdot I \cdot d\alpha}{l^2} = 2\pi \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha$$

и зрачењето е според Ламбертовиот закон, т.е. важи равенството:

$$I_\alpha = I_0 \cdot \cos\alpha,$$

следува:

$$d\Phi = I_0 \cdot \cos\alpha \cdot 2\pi \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha = \pi \cdot I_0 \cdot \sin 2\alpha \cdot d\alpha.$$

Флуксот израчен во конусот со отворот 2α е:

$$\Phi_\alpha = \int_0^\alpha \pi \cdot I_0 \cdot \sin 2\alpha \cdot d\alpha.$$

Нека со $2\alpha_1$ го означиме отворот на конусот што го зафаќа просторниот агол во кој се израчува половината од светлинскиот флуks. Бидејќи површината зрачи само од едната страна, може да се напише дека флуксот израчен во конусот со отворот $2\alpha_1$ е еднаков на флуксот израчен во останатиот дел на полупросторот, т.е.

$$\int_0^{\alpha_1} \pi \cdot I_0 \cdot \sin 2\alpha \cdot d\alpha = \int_{\alpha_1}^{\pi/2} \pi \cdot I_0 \cdot \sin 2\alpha \cdot d\alpha.$$

од каде што следува:

$$\cos 2\alpha_1 - 1 = -1 - \cos 2\alpha_1,$$

т.е.

$$\alpha_1 = \frac{\pi}{4}.$$

Конечно, за бараниот просторен агол се добива:

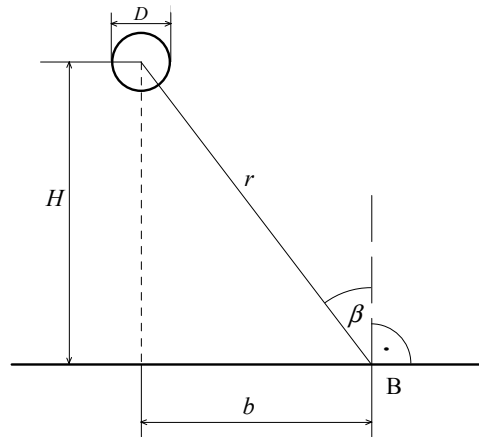
$$\Omega = 2\pi \int_0^{\pi/4} \sin \alpha \cdot d\alpha = 2\pi(1 - \cos \frac{\pi}{4}) = 1,84 \text{ sr.}$$

2.15.2. Светлински извор е во вид на сфера и зрачи униформно дифузно. Дијаметарот на изворот е 10 cm. Растојанието од изворот до осветлуваната рамнина е H . Точката В лежи во осветлуваната рамнина, на растојание $b=7,07$ m од проекцијата на центарот на изворот врз рамнина (слика 2.15.2). Колкаво треба да биде растојанието H , за да се постигне максимална осветленост во точката В?

Решение:

Кај сферата од опално стакло светлинската јачина I е еднаква во сите правци на зрачењето. Користејќи ги ознаките употребени на сликата 2.15.2 за осветленоста во точката В, може да се напише:

$$E = \frac{I \cdot \cos\beta}{r^2}.$$



Слика 2.15.2

Бидејќи е:

$$r^2 = H^2 + b^2$$

и

$$\cos\beta = \frac{H}{r},$$

следува:

$$E = \frac{I \cdot H}{r^3} = \frac{H \cdot I}{\sqrt{(b^2 + H^2)^3}}.$$

Со оглед на фактот дека I и b се константи, максималната осветленост во точката В ќе се постигне ако висината H ја задоволува равенката:

$$\frac{dE}{dH} = 0,$$

т.е.

$$\frac{1}{\sqrt{(b^2 + H^2)^3}} - \frac{3H^2}{\sqrt{(b^2 + H^2)^5}} = 0.$$

Бидејќи изразот $b^2 + H^2$ не е еднаков на нула, со решавање на последната равенка се добива бараното решение:

$$H = \frac{b}{\sqrt{2}} = \frac{7,07}{\sqrt{2}} = 5 \text{ m.}$$

Овој пример може да се решава и на поинаков начин. Ќе го наведеме и тој начин.

Бидејќи е:

$$r = \frac{b}{\sin \beta},$$

равенката за пресметување на осветленоста во точката В може да се напише во вид:

$$E = \frac{I \cdot \cos \beta \cdot \sin^2 \beta}{b^2}.$$

Во разгледуваниот случај, I и b се константи. Поради тоа, последната равенка покажува како осветленоста во точката В зависи од аголот β . Диференцирајќи ја десната страна на таа равенка по аголот β и прирамнувајќи го добиениот извод на нула, ја добиваме равенката:

$$\sin \beta (\sin^2 \beta - 2 \cos^2 \beta) = 0.$$

Бидејќи се бара решение за кое не е $\beta=0$, од претходната равенка следува:

$$\cos \beta = \frac{1}{\sqrt{3}}.$$

Конечно, бараното растојание на изворот од осветлуваната рамнина е:

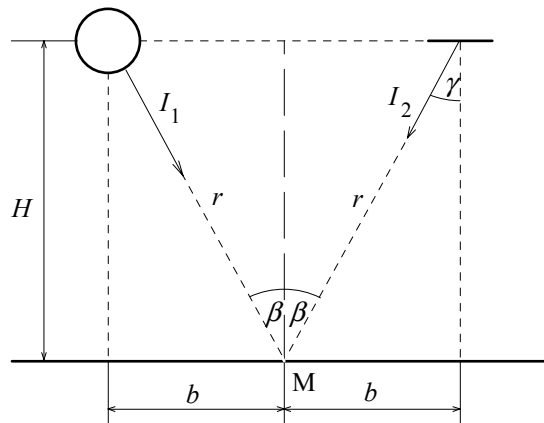
$$H = b \cdot \operatorname{ctg} \beta = \frac{b}{\sqrt{2}} = 5 \text{ m.}$$

2.15.3. Сфера и диск зрачат според Ламбертовиот закон. Сјајноста на сферата е еднаква со сјајноста на дискот и дијаметарот на сферата е еднаков со дијаметарот на дискот. Нивната меѓусебна положба е дадена на сликата 2.15.3. Во точката М двата извора создаваат осветленост $E=100 \text{ lx}$. Во однос на таа точка изворите можат да се сметаат за точки. Познати се димензиите $H=2 \text{ m}$ и $b=1 \text{ m}$. Дебелината на дискот може да се занемари. Да се пресмета:

- а) светлинскиот флукс што го зрачи сферата;
- б) светлинскиот флукс што го зрачи дискот (земајќи дека дискот зрачи од двете страни);
- в) средната сферна осветленост во точката М;
- г) средната цилиндрична осветленост во точката М;

д) за колку ќе се промени осветленоста во точката М ако дискот се заврти околу својата оска на симетријата нормална на рамнината на цртежот за агол 2γ , во насока на стрелките на часовникот, ако е:

$$\gamma = \operatorname{arctg} \frac{b}{H}.$$



Слика 2.15.3

Решение:

а) Осветленоста во точката М е сума на две компоненти. Едната потекнува од сферата, а другата потекнува од дискот. Ако во правец на точката М светлинската јачина на сферата ја означиме со I_1 , а светлинската јачина на дискот ја означиме со I_2 , имајќи предвид дека растојанието од сферата до точката М е еднакво на растојанието од дискот до точката М, за осветленоста во точката М може да се напише:

$$E = \frac{I_1 \cdot \cos \beta}{r^2} + \frac{I_2 \cdot \cos \beta}{r^2}.$$

Од еднаквоста на сјајностите на сферата и дискот следува:

$$\frac{I_1}{S} = \frac{I_2}{S \cdot \cos \beta},$$

каде што со S е означена плоштината на дискот, односно плоштината на проекцијата на сферата врз рамнина нормална на правата на која лежат центарот на сферата и точката М. Од претходната равенка следува:

$$I_2 = I_1 \cdot \cos \gamma.$$

Бидејќи кај сферата светлинската јачина е еднаква во сите правци, може да се напише:

$$I_1 = I_0,$$

па равенката за светлинската јачина на дискот станува:

$$I_2 = I_0 \cdot \cos \gamma.$$

Кога во равенката, за пресметување на осветленоста во точката М, се заменат светлинските јачини на сферата и дискот, по средувањето добиваме:

$$I_0 + I_0 \cdot \cos \gamma = \frac{E \cdot r^2}{\cos \beta},$$

т.е.

$$I_0 = \frac{E \cdot r^2}{(1 + \cos \gamma) \cos \beta}. \quad (2.15.1)$$

Бидејќи е :

$$r^2 = H^2 + b^2$$

и

$$\cos \gamma = \cos \beta = \frac{H}{r} = \frac{H}{\sqrt{H^2 + b^2}} = \frac{2}{\sqrt{5}},$$

за светлинската јачина на сферата следува:

$$I_0 = 295 \text{ cd.}$$

Поради фактот дека сферата во просторниот агол од 4π стеррадијани зрачи рамномерно распределен светлински флуks, за нејзиниот вкупен светлински флуks може да се напише:

$$\Phi_{\text{сфера}} = 4\pi \cdot I_0 = 3700 \text{ lm.}$$

б) Според равенката (2.7.5) вкупниот светлински флуks на еден диск што зрачи униформно дифузно од двете страни изнесува:

$$\Phi_{\text{диск}} = 2\pi \cdot I_0,$$

од каде, за конкретниот случај, следува:

$$\Phi_{\text{диск}} = 1850 \text{ lm.}$$

в) Бидејќи двата извора можат да се сметаат за точки, за пресметка на средната сферна осветленост може да се користи

равенката (2.9.2) и принципот на суперпозиција. Ако се земе предвид дека и растојанието на сферата од точката М е еднакво на растојанието на дискот од точката М, за средната сферна осветленост во таа точка следува:

$$E_{\text{сферна}} = \frac{I_1 + I_2}{4r^2} = \frac{I_0 \cdot (1 + \cos \gamma)}{4r^2}. \quad (2.15.2)$$

Имајќи ја предвид равенката (2.15.1), равенката (2.15.2) може да се напише во вид:

$$E_{\text{сферна}} = \frac{E}{4 \cos \beta},$$

од каде што следува:

$$E_{\text{сферна}} = 28 \text{ lx.}$$

г) Како што беше наведено, двата извора можат да се сметаат за точки и еднакво се оддалечени од точката М. Користејќи ја равенката (2.10.3) и принципот на суперпозиција, со уважување дека е $\psi_1 = \psi_2 = \beta$, за средната цилиндрична осветленост во точката М се добива:

$$E_{\text{цил.}} = \frac{1}{\pi^2} (I_1 \cdot \sin \psi_1 + I_2 \cdot \sin \psi_2) = \frac{I_0 \cdot \sin \beta}{\pi^2} (1 + \cos \gamma) = \frac{E \cdot \sin \beta}{\pi \cdot \cos \gamma},$$

од каде следува:

$$E_{\text{цил.}} = 16 \text{ lx.}$$

д) Ако дискот се заврти за агол 2γ околу својата оска на симетрија, што е нормална на рамнината на цртежот, осветленоста на точката М нема да се промени, бидејќи нема да се промени светлинската јачина на дискот, во правец на кој лежат точката М и центарот на дискот.

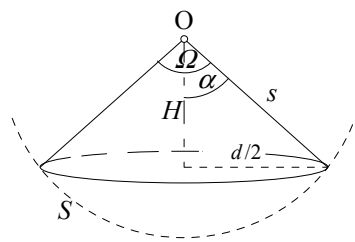
2.16. Задачи

- 2.16.1. Светлински извор во вид на сфера зрачи рамномерно распределен светлински флуks $\Phi = 1480 \text{ lm}$. Колкава е сјајноста на сферата ако нејзиниот дијаметар изнесува 10 cm ?
- 2.16.2. Сфера со дијаметар 4 cm зрачи според Ламбертовиот закон. Вкупниот светлински флуks на изворот е 3000 lm . Да се определи сјајноста на сферата.
- 2.16.3. Плоча од алуминиум има облик на правоаголник со должина 30 cm и ширина 20 cm . На плочата паѓа рамномерно распределен светлински флуks од 4200 lm . Од плочата се одбива 60% од падна-

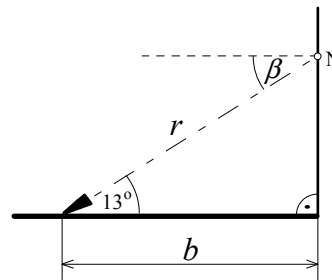
тиот флуks. Да се пресмета осветленоста и светлинската емисија на плочата.

2.16.4. Униформно дифузен светлински извор има облик на круг со плоштина $S=10\text{ cm}^2$. Во правец на својата нормала изворот зрачи со светлинска јачина $I_0=100\text{ cd}$. Да се определи: а) светлинската емисија на изворот, б) просторниот агол во кој се зрачат две третини од светлинскиот флуks на изворот.

2.16.5. На врвот на еден конус е поставен униформен светлински извор. Во внатрешноста на конусот изворот зрачи светлински флуks $\Phi=1200\text{ lm}$ (слика 2.16.5). Висината на конусот е $H=0,3\text{ m}$, а дијаметарот на основата изнесува $d=0,2\text{ m}$. Да се пресмета светлинската јачина на изворот.



Слика 2.16.5



Слика 2.16.6

2.16.6. Вертикален ѕид од фасадата на една зграда е осветлен со рефлектор што се наоѓа на растојание $b=30\text{ m}$ од зградата. Оската на рефлекторот со хоризонталата зафаќа агол од 13° (слика 2.16.6). Ако е познато дека светлинската јачина по оската на рефлекторот изнесува 200000 cd , да се пресмета осветленоста во точката на фасадата која лежи и на оската на рефлекторот.

2.16.7. Светлински извор е во вид на цилиндер со светлечка обвивка. Ако со α се означи аголот помеѓу набљудуваниот правец и оската на цилиндерот, тогаш светлинската јачина во тој правец е $I_\alpha = I_m \cdot \sin \alpha$, при што со I_m е означена максималната светлинска јачина на изворот. Да се определи:

- вкупниот светлински флуks на изворот;
- сјајноста на изворот во правец нормален на оската на цилиндерот (во симетралната рамнина на цилиндерот), ако висината на цилиндерот е 60 cm , ако неговиот радиус изнесува 2 cm и ако максималната светлинска јачина на изворот изнесува 66 cd .

2.16.8. Светлински извор е во вид на диск што свети само од едната страна. Ако со γ се означи аголот помеѓу оската на симетријата на изворот, што е нормална на светлечката површина, и набљудуваниот правец, а со I_m се означи максималната светлинска јачина

на изворот, светлинската јачина во набљудуваниот правец е определена со законот:

$$I_\gamma = I_m \cdot \cos \gamma, \quad 0 \leq \gamma \leq \frac{\pi}{2}.$$

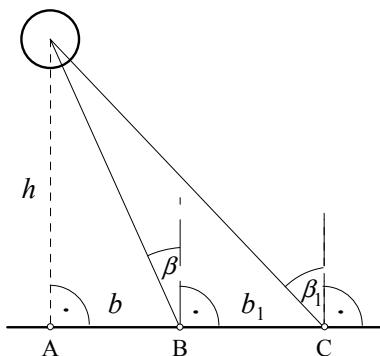
Да се пресмета вкупниот светлински флуks на изворот.

- 2.16.9. Светлински извор е во вид на светлечка полутопка. Основата на полутопката не свети. Распределбата на светлинската јачина на изворот е дадена со релацијата:

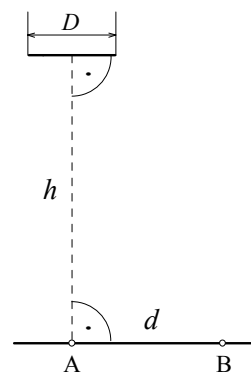
$$I_\alpha = I_m \cdot \frac{1 + \cos \alpha}{2},$$

каде што α е агол помеѓу набљудуваниот правец и оската на симетријата на изворот, а I_m е максималната светлинска јачина на изворот. Да се определи:

- вкупниот светлински флуks на изворот;
 - сјајноста на изворот во правец на неговата оска на симетријата, ако е $I_m = 1000 \text{ cd}$, а радиусот на полутопката е 20 cm.
 - Дали овој извор зрачи според Ламбертовиот закон?
- 2.16.10. Сферична светилка со дијаметар 400 mm е направена од опално стакло и е поставена на височина $h = 5 \text{ m}$ над рамната површина на земјата. Проекцијата на центарот на сферата врз површината на земјата е означена со А (слика 2.16.10). Во точките на површината на земјата кои се наоѓаат на растојание $b = 4 \text{ m}$ од точката А светилката создава осветленост од 40 lx.
- Колкава е осветленоста во точката С која се наоѓа на површината на земјата на растојание $b + b_1 = 8 \text{ m}$ од точката А?
 - Колкав е флуksот што го зрачи светилката врз кругот на површината на земјата, чиј центар е во точката А и радиусот му е еднаков на b ?



Слика 2.16.10



Слика 2.16.11

- 2.16.11. Униформно дифузен диск има дијаметар $D = 10 \text{ cm}$. Дискот се наоѓа на височина $h = 5 \text{ m}$ над хоризонталната рамнина што ја ос-

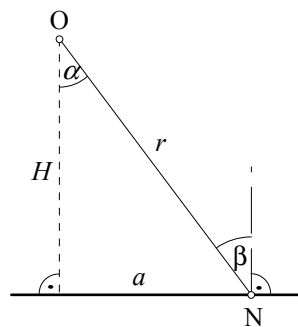
ветлува и е паралелен со неа (слика 2.16.11). Со A е означена проекцијата на средиштето на дискот врз осветлуваната рамнина. Ако осветленоста во точката A е 200 lx , да се определи:

- осветленоста во точката B што се наоѓа на осветлуваната рамнина на растојание $d=h$ од точката A ;
- вкупниот светлински флукс на дискот, ако тој зрачи од едната страна;
- средната сферна и средната цилиндрична осветленост во точката B што се наоѓа вертикално над точката A на растојание $h/2$ од неа.

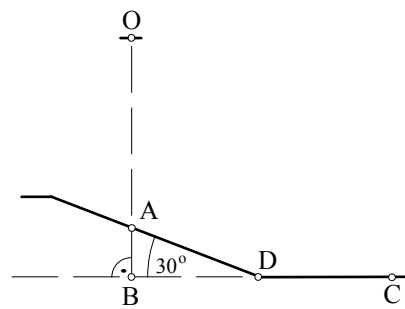
2.16.12. Светлински извор е поставен на височина $H=3 \text{ m}$ над хоризонталната рамна површина. Светлинската јачина на изворот зависи од аголот α што го зафаќа набљудуваниот правец со вертикалата (слика 2.16.12). Зависноста е изразена со релацијата:

$$I_{\alpha} = 10000 \cdot \sin \alpha.$$

- Во кои точки од хоризонталната рамнина осветленоста е најголема?
- Колкава е средната сферна осветленост во точките што се наоѓаат на височина од 2 m над точките определени под а)?
- Колкава е средната цилиндрична осветленост во точките што се наоѓаат на височина 2 m над хоризонталната рамнина и на растојание $1,1 \text{ m}$ од изворот?



Слика 2.16.12



Слика 2.16.13

2.16.13. Точката O е средишна точка на рамна површина на светлински извор што зрачи според Ламбертовиот закон. Нормалата на светлечката површина се поклопува со правецот OB (слика 2.16.13). Правецот OB е нормален на хоризонталната рамнина во која лежат точките B , C и D . Точките A и D лежат на коса рамнина што е нормална на рамнината на пртежот. Светлинската јачина на изворот во правецот OB е 1000 cd . Растојанието помеѓу точките O и A изнесува $5,5 \text{ m}$, помеѓу точките A и D изнесува еден метар и помеѓу точките C и D изнесува $1,13 \text{ m}$. Да се пресмета:

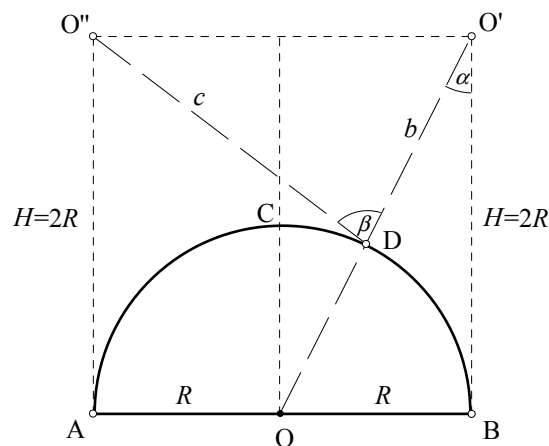
- осветленоста на косата површина во точката A ;

- б) хоризонталната осветленост во точката А;
- в) хоризонталната осветленост во точката С;
- г) вертикалната осветленост во точката А;
- д) вертикалната осветленост во точката C_1 , што се наоѓа вертикално над точката С и на растојание 2 m од неа;
- ѓ) средната сферна и средната цилиндрична осветленост во точката C_1 .

2.16.14. Сфера и диск зрачат според Ламбертовиот закон и имаат еднакви светлински флуКСови: $\Phi_{\text{сфера}} = \Phi_{\text{диск}} = 6280 \text{ lm}$. Меѓусебната положба на изворите е прикажана на сликата 2.15.3, при што е $H=b=2 \text{ m}$. Во однос на точката М двата извора можат да се сметаат за точкасти. Дебелината на дискот може да се занемари. Дискот зрачи од двете страни.

- а) Да се пресмета резултантната хоризонтална осветленост во точката М.
- б) Колкава ќе биде осветленоста во точката М ако дискот се заврти за агол од 90° околу својата оска на симетријата што е нормална на рамнината на цртежот?

2.16.15. Два еднакви униформни светлински извора се поставени во точките O' и O'' , според сликата 2.16.15. Изворите се со светлинска јачина $I=200 \text{ cd}$ и со нив се осветлува една полусфера со радиус $R=5 \text{ m}$. Да се пресмета осветленоста на полусферата во точките: А, В, С и D.



Слика 2.16.15

3. РАСПРЕДЕЛБА НА СВЕТЛИНСКАТА ЈАЧИНА

3.1. Фотометриско тело

Реалните светлински извори најчесто немаат еднакви светлински јачини во сите правци. Ако за еден светлински извор се познати светлинските јачини во сите правци, тогаш се вели дека е позната распределбата на светлинската јачина на изворот. Податоците за светлинските јачини во одделни правци можат да бидат прикажани на повеќе начини. Еден од нив се состои во тоа што од средиштето на изворот, како од полот на поларниот координатен систем, во одделни правци се повлекуваат соодветни светлински јачини (како вектори, во усвоен размер). Крајните точки на тие вектори образуваат една затворена површина, која се нарекува површина на фотометриско тело за набљудуваниот светлински извор. Фотометриското тело ја содржи комплетната информација за распределбата на светлинската јачина на соодветниот извор.

Доколку фотометриското тело на еден извор е ротационо симетрично, за изворот велиме дека има ротационо симетрична распределба на светлинската јачина. Во тие случаи оската на ротационото симетрично фотометриско тело се поклопува со оската на изворот.

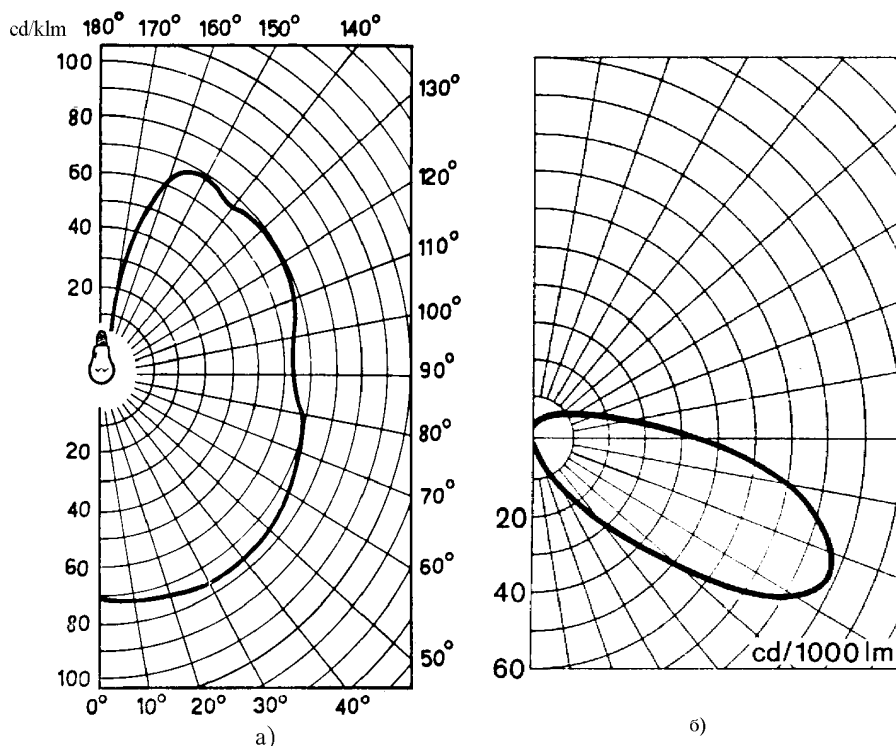
3.2. Крива на распределба на светлинската јачина

Ако фотометриското тело се пресече со рамнина што минува низ средиштето на телото, трагата на површината на телото во пресечната рамнина е затворена крива линија. Таа крива, всушност, ја образуваат крајните точки на светлинските јачини на изворот, нанесени како вектори од средиштето во сите правци што лежат во пресечната рамнина. Поради тоа, таквите криви се нарекуваат криви (или дијаграми) на распределба на светлинската јачина. Познавањето на таквата крива овозможува едноставно определување на светлинската јачина во одделни правци на соодветната рамнина.

Во општ случај, една крива на распределба на светлинската јачина не може да ја содржи комплетната информација за распределбата на светлинската јачина. Но, таа информација може да се опфати со семејство криви добиени со пресечување на фотометриското тело со множество рамнини, одбрани според соодветни критериуми.

Ако фотометриското тело е ротационо симетрично, кривите на распределба на светлинската јачина се еднакви во сите рамнини што ја содржат оската на симетријата (ротацијата). Освен тоа, тие криви се симетрични во однос на таа оска. Тоа значи дека за изворите што зрачат со ротационо симетрична распределба на светлинската јачина е доволно да се знае кривата на распределба на светлинската јачина само во една од полурамнините што ја содржат и оската на симетријата (ротацијата)

на фотометрското тело. Примери за такви криви (дијаграми) се дадени на сликите 3.2.1а и 3.2.1б.



Слика 3.2.1 Распределба на светлинската јачина (нормирани дијаграми) за:
 а) сијалици со двојно спирализирано метално влакно, полнети со инертни гасови и со моќност 40 до 100 W [36];
 б) светилка за надворешна монтажа со живина сијалица и растер, тип ULR 450-1080 [61]

Дијаграмите на светлинската јачина редовно се даваат за светлински флуks од 1000 lm и се нарекуваат нормирани дијаграми. Бидејќи за секој извор постои директна пропорционалност помеѓу вкупниот флуks и светлинската јачина во одделни правци, познавањето на нормираниот дијаграм на распределба на светлинската јачина овозможува лесно определување на светлинската јачина за секоја вредност на светлинскиот флуks на изворот. Така, на пример, ако флуksот на сијалицата е 1000 lm, од сликата 3.2.1а наоѓаме дека во правец што со оската на сијалицата зафаќа агол од 50° светлинската јачина иснесува 76 cd. Но, ако флуksот на сијалицата не е 1000 lm, туку е 1250 lm, светлинската јачина во наведениот правец ќе биде:

$$I_{50^\circ} = 76 \cdot \frac{1250}{1000} = 95 \text{ cd.}$$

Да разгледаме уште еден пример на определување светлинска јачина на извор чиј дијаграм на распределба на светлинската јачина е прикажан на сликата 3.2.1а. Нека е познато дека вкупниот светлински флукс на изворот изнесува 640 lm, а се бара светлинската јачина во правец што со оската на сијалицата зафаќа агол 75° . За добивање одговор на поставеното прашање најнапред од дијаграмот на сликата 3.2.1а наоѓаме дека, при флукс од 1000 lm, светлинската јачина во наведениот правец изнесува 70 cd. Светлинската јачина во правец што со оската на сијалицата зафаќа агол од 75° , за сијалица со вкупен флукс 640 lm, може да се пресмета на следниов начин:

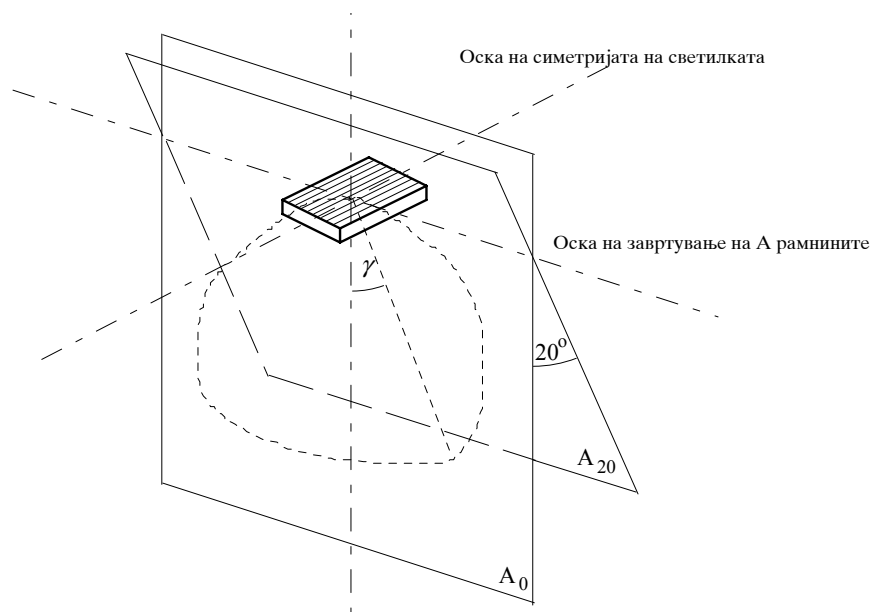
$$I_{75^\circ} = 70 \cdot \frac{640}{1000} = 44,8 \approx 45 \text{ cd.}$$

Доколку изворот нема ротационо симетрично фотометриско тело, не е доволно да се познава распределбата на светлинската јачина само во една полурамнина. Во тие случаи се даваат кривите на распределба на светлинската јачина во повеќе рамнини, одбрани на соодветен начин. Така, во литературата се наведуваат три системи на рамнини, познати под имиња: А, В и С рамнини.

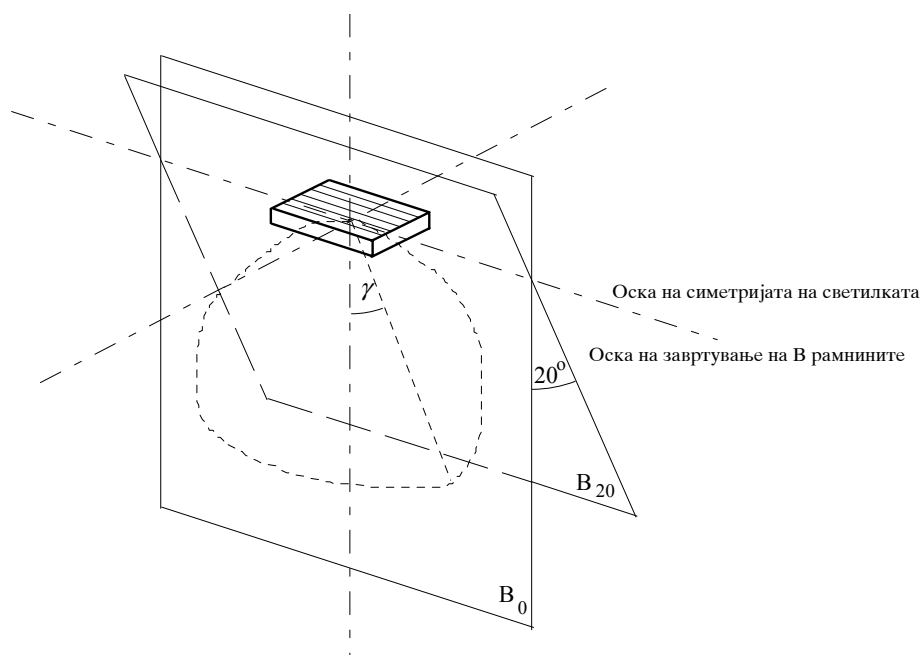
Рамнините од системот А се сечат на една права што е нормална на оската на симетријата на изворот, како што е прикажано на сликата 3.2.2. Вообичаено е рамнината нормална на оската на симетријата на изворот да се означува како рамнина A_0 и да служи како појдовна. Секоја друга рамнина, од овој систем, зафаќа определен агол со рамнината A_0 . При означувањето на рамнините од системот А, на секоја од нив ѝ се придружува индекс еднаков на аголот (изразен во агливи степени) што таа рамнина го зафаќа со рамнината A_0 .

Рамнините од системот В се сечат на правата што се поклопува со оската на симетријата на изворот, како што е претставено на сликата 3.2.3. На таа слика е прикажан и начинот на означувањето на одделните В рамнини.

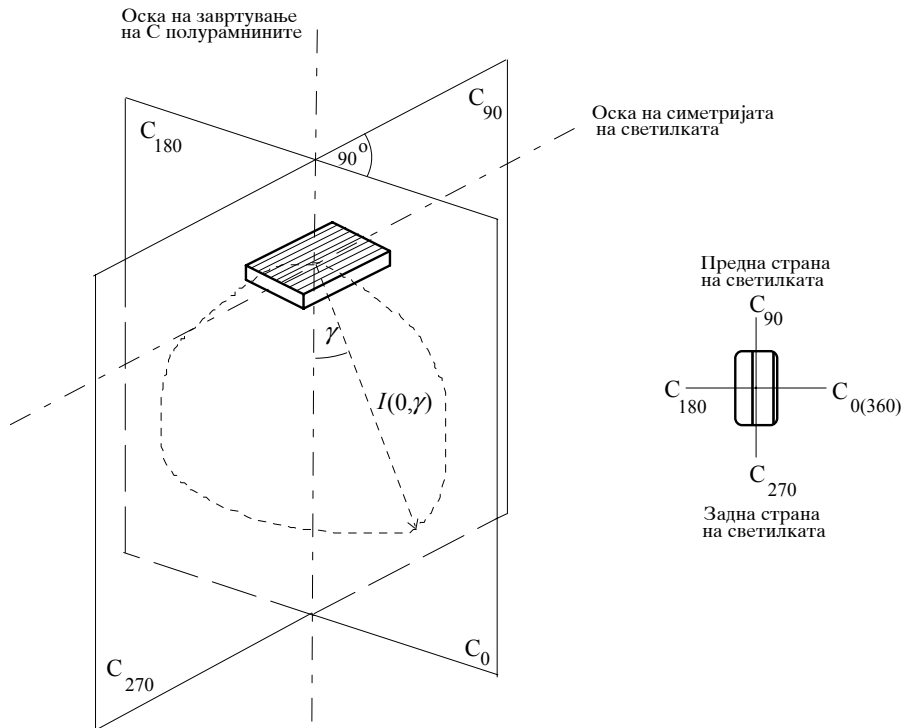
Кај системот С се набљудуваат пресеци на фотометриското тело со полурамнини што ја содржат оптичката оска на изворот, како што е прикажано на сликата 3.2.4. Во секоја од полурамнините се дава распределба на светлинската јачина, т.е. дијаграм на распределбата на светлинската јачина. За секоја од полурамнините се знае колкав агол зафаќа со полурамнината означена со C_0 . Положбата на полурамнината C_0 е прикажана на сликата 3.2.4.



Слика 3.2.2 Рамнини од системот А



Слика 3.2.3 Рамнини од системот В



Слика 3.2.4 Полурамнини од системот С

Производителите често пати даваат податоци за распределбата на светлинската јачина во мал број С полурамнини. Еден таков пример е прикажан на сликата 3.2.5. На левата страна на сликата 3.2.5 се прикажани дијаграмите на распределбата на светлинската јачина во полурамнините C_0 , C_{20} и C_{90} , а на десната страна се прикажани дијаграмите во полурамнините C_{160} , C_{180} и C_{270} .

Кога се користат дијаграмите како на сликата 3.2.5, многу често е потребно да се определи светлинската јачина на изворот во правец што лежи во полурамнина за која експлицитно не е дадена кривата на распределба на светлинската јачина. Во таквите случаи е вообичаено да се применува линеарната апроксимација. Таа постапка ќе ја демонстрираме на еден пример.

За светилката чишто дијаграми на распределба на светлинската јачина се прикажани на сликата 3.2.5, нека е потребна светлинската јачина во правец што со оската на светилката зафаќа агол од 50° и што лежи во полурамнината C_{55} . Бидејќи на сликата 3.2.5 не е даден дијаграм на распределба на светлинската јачина за полурамнината C_{55} , ќе ги искористиме дијаграмите што се дадени на сликата 3.2.5, а се однесуваат на полурамнините помеѓу кои се наоѓа полурамнината C_{55} . Тоа се дијаграмите за полурамнините C_{20} и C_{90} . Од дијаграмот на распределба на

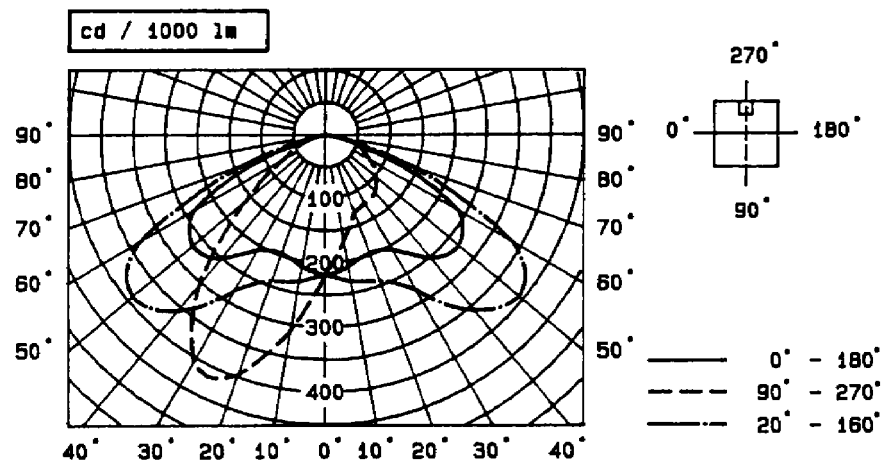
светлинската јачина во полурамнината C_{20} (слика 3.2.5) за агол 50° следува светлинска јачина:

$$I'(20,50) = 390 \text{ cd / klm},$$

додека за истиот агол во полурамнината C_{90} светлинската јачина изнесува:

$$I'(90,50) = 160 \text{ cd / klm}.$$

Да забележиме дека левата половина од дијаграмот, прикажан со цртки на сликата 3.2.5, соодветствува на полурамнината C_{90} , а десната половина соодветствува на полурамнината C_{270} .



Слика 3.2.5 Распределба на светлинската јачина за светилка за надворешно осветление тип СТ 1646-2125 [57]

Натаму, со линеарна интерполација, за светлинската јачина во полурамнината C_{55} следува:

$$I'(55,50) = I'(20,50) + \frac{I'(90,50) - I'(20,50)}{90 - 20} (55 - 20),$$

т.е.

$$I'(55,50) = 390 + \frac{160 - 390}{90 - 20} (55 - 20) = 275 \text{ cd / klm},$$

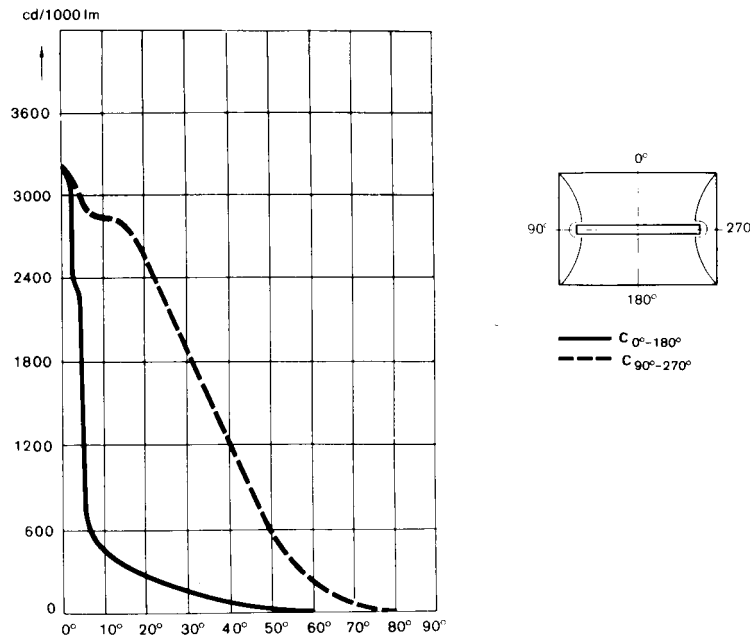
или на друг начин:

$$I'(55,50) = I'(90,50) - \frac{I'(20,50) - I'(90,50)}{20 - 90} (90 - 55),$$

т.е.

$$I'(55,50) = 160 - \frac{390 - 160}{20 - 90} (90 - 55) = 275 \text{ cd / klm.}$$

Светилките што зрачат во мал просторен агол често се нарекуваат рефлектори. Понекогаш за таквите светилки распределбата на светлинската јачина се прикажува во правоаголен координатен систем, како што е претставено на сликата 3.2.6. Во тие дијаграми на апсцисата е аголот што го зафаќа набљудуваниот правец со оптичката оска на светилката, а на ординатата е соодветната светлинска јачина. Во случајот прикажан на сликата 3.2.6, светилката во полурамнината C_0 има иста распределба на светлинската јачина како и во полурамнината C_{180} , а во полурамнината C_{90} има иста распределба на светлинската јачина како и во полурамнината C_{270} .



Слика 3.2.6 Распределба на светлинската јачина за рефлектор RJ-1500 A [62]

3.3. Табеларно прикажување на распределбата на светлинската јачина

Наместо со дијаграми, податоците за распределбата на светлинската јачина можат да бидат прикажани и табеларно. Така, на пример, во табелата 3.3.1 е дадена распределбата на светлинската јачина за една светилка за надворешна монтажа (со ротационо симетрична распределба на светлинската јачина), чиј дијаграм на распределбата на светлинската јачина е прикажан на сликата 3.2.1б. Во табелите на распределбата на

светлинската јачина се дадени светлинските јачини само за некои вредности на аголот што го зафаќа набљудуваниот правец со оската на светилката. За светилки (рефлектори) што зрачат во поголем просторен агол (т.е. со широка карактеристика) обично се даваат светлинските јачини за низа агли, при што разликата помеѓу соседните агли е 10° . Меѓутоа, за светилки (рефлектори) што зрачат во помал просторен агол (т.е. со тесна карактеристика) светлинските јачини можат да бидат дадени за низа агли, при што чекорот е два степена. Табеларните прикази имаат предност во случаите кога пресметките се изведуваат со дигитална сметачка машина.

Табела 3.3.1 Распределба на светлинската јачина за светилка тип ULR 450-1080 [61]

Агол во степени	Светлинска јачина cd/klm
0	2,2
5	2,4
15	5,1
25	11,1
35	20,1
45	37,3
55	65,5
65	87,1
75	78,3
85	54,9
90	42,5
95	32,8
105	18,2
115	12,8
125	10,6
135	8,8
145	7,1
155	5,8
165	5,1
175	3,5
180	3,0

Во табеларниот приказ се располага само со светлинските јачини во определени правци. За другите правци (за кои светлинската јачина не е еднаква на нула) светлинската јачина се определува со примена на линеарната интерполација. Со цел да го појасниме тоа ќе наведеме еден пример.

Нека за светилката, чија што распределба на светлинската јачина е дадена во табелата 3.3.1, треба да се определи светлинската јачина во правец што со оската на светилката зафаќа агол $\gamma=53^\circ$. Бидејќи во табелата 3.3.1 немаме податок за големината на светлинската јачина за агол $\gamma=53^\circ$, во тој случај најнапред го определуваме интервалот во кој се наоѓа тој агол, т.е. определуваме две вредности на аглите од табелата 3.3.1 помеѓу кои се наоѓа дадениот агол γ . Тоа се аглите $\gamma_1=45^\circ$ и $\gamma_2=55^\circ$. Натаму, претпоставуваме дека во интервалот $\gamma_1 \leq \gamma \leq \gamma_2$ светлинската

јачина на изворот е линеарно зависна од аголот γ . Со тоа, земајќи ги од табелата 3.3.1 вредностите на светлинската јачина

$$I'_{\gamma_1} = I'_{45^\circ} = 37,3 \text{ cd / klm} \text{ и } I'_{\gamma_2} = I'_{55^\circ} = 65,5 \text{ cd / klm},$$

за светлинската јачина во правец што со оската на светилката зафаќа агол 53° со линеарна интерполација може да се пресмета:

$$I'_\gamma = I'_{\gamma_1} + \frac{I'_{\gamma_2} - I'_{\gamma_1}}{\gamma_2 - \gamma_1} (\gamma - \gamma_1),$$

односно,

$$I'_{53^\circ} = I'_{45^\circ} + \frac{I'_{55^\circ} - I'_{45^\circ}}{55 - 45} (53 - 45) = 37,3 + \frac{65,5 - 37,3}{55 - 45} (53 - 45),$$

т.е.

$$I'_{53^\circ} = 59,9 \approx 60 \text{ cd / klm}.$$

До истиот резултат може да се дојде поаѓајќи од формулата:

$$I'_\gamma = I'_{\gamma_2} - \frac{I'_{\gamma_1} - I'_{\gamma_2}}{\gamma_1 - \gamma_2} (\gamma_2 - \gamma),$$

т.е.

$$I'_{53^\circ} = I'_{55^\circ} - \frac{I'_{45^\circ} - I'_{55^\circ}}{45 - 55} (55 - 53) = 65,5 - \frac{37,3 - 65,5}{45 - 55} (55 - 53),$$

од каде следува:

$$I'_{53^\circ} = 59,9 \approx 60 \text{ cd / klm}.$$

Ако светилката нема ротационо симетрична распределба на светлинската јачина, неопходно е да се дадат табели на распределба на светлинската јачина за повеќе рамнини, односно полурамнини. Најчесто податоците се даваат за полурамнините C_0 , C_{10} , C_{20} , C_{30} , итн. Истовремено, за секоја од тие полурамнини, се даваат податоци за светлинските јачини во правците што со оската на светилката зафаќаат агли: 0° , 1° , 3° , 5° , ... или 0° , 5° , 15° , 25° , ...

И во тие случаи, за правците што не лежат ни во една од дадените C полурамнини и не се поклопуваат ни со еден од дадените правци во нив, светлинските јачини се определуваат со примена на линеарната апроксимација. За илустрација на таа постапка, пак, ќе наведеме еден пример.

Нека за една светилка се располага со податоците за распределба на светлинската јачина во полурамнините $C_0, C_{10}, C_{20}, C_{30}$ итн, и тоа за правците што со оската на светилката зафаќаат агли $0^\circ, 5^\circ, 15^\circ, 25^\circ$ итн. За таа светилка нека се бара светлинската јачина во правец што лежи во полурамнината C_{16} и со оската на светилката зафаќа агол од 9° , т.е. нека се бара $I(16;9)$.

Бараната светлинска јачина ќе ја определиме во два чекора. Во првиот чекор се пресметува:

$$I'(10;9) = I'(10;5) + \frac{I'(10;15) - I'(10;5)}{15 - 5}(9 - 5)$$

и

$$I'(20;9) = I'(20;5) + \frac{I'(20;15) - I'(20;5)}{15 - 5}(9 - 5).$$

Потоа, во вториот чекор, се пресметува:

$$I'(16;9) = I'(10;9) + \frac{I'(20;9) - I'(10;9)}{20 - 10}(16 - 10).$$

Треба да се нагласи дека наведената постапка не е единствена. До истиот резултат може да се дојде и на малку изменет начин. Имено, со примена на линеарната апроксимација, во првиот чекор, може да се пресметаат $I(16;5)$ и $I(16;15)$, а потоа, во вториот чекор, да се пресмета $I(16;9)$.

3.4. Изоканделни дијаграми

Како информација за распределба на светлинската јачина на некој извор (најчесто рефлектор) може да се користи и изоканделен дијаграм. Еден таков дијаграм е прикажан на сликата 3.4.1. И тие дијаграми се прават за флукс од 1000 lm. На нив се прикажуваат светлинските јачини на рефлекторот во рамнина нормална на неговата оптичка оска. Таа рамнина ќе ја нарекуваме набљудувана рамнина. Секоја од кривите на сликата 3.4.1 ги поврзува точките во правец на кои изворот зрачи со еднаква светлинска јачина. Тие криви се нарекуваат изоканделни криви. Точката во која оптичката оска на рефлекторот ја пробива набљудуваната рамнина претставува координатен почеток на координатниот систем на сликата 3.4.1.

Рамнината што ја содржи подолжната (геометриска) оска на рефлекторот и неговата оптичка оска ќе ја нарекуваме втора рамнина на рефлекторот. Пресекот на втората рамнина на рефлекторот со набљудуваната рамнина е апсцисната оска на координатниот систем на сликата 3.4.1.

Рамнината што ја содржи оптичката оска на рефлекторот и е нормална на неговата втора рамнина, ќе ја нарекуваме прва рамнина на рефлекторот. Пресекот на првата рамнина на рефлекторот со набљудуваната рамнина е ординатната оска на координатниот систем на сликата 3.4.1.

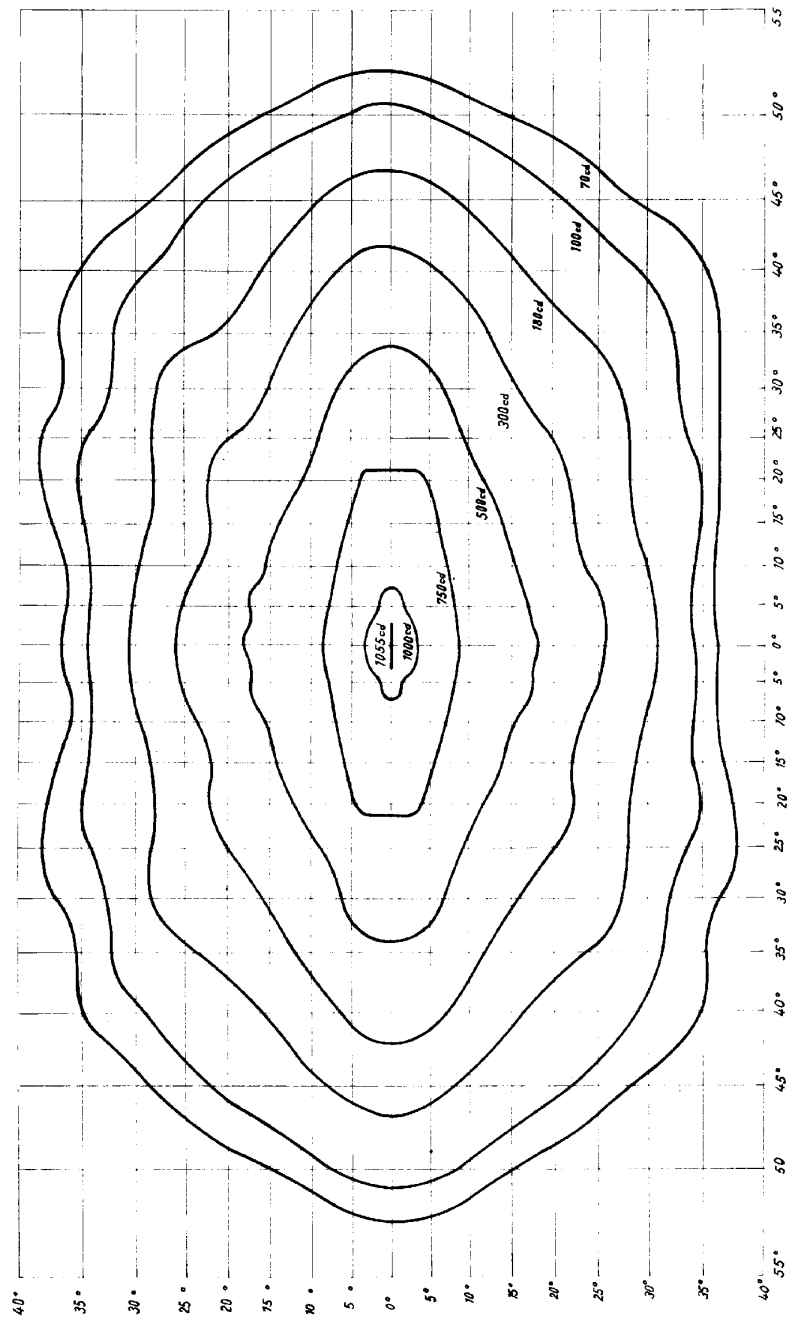
Во координатниот систем на сликата 3.4.1 секоја точка на набљудуваната рамнина е определена со два агла: апсцисниот агол и ординатниот агол.

За секоја точка во набљудуваната рамнина можат да се дефинираат две рамнини, кои ќе ги нарекуваме: прва рамнина на набљудуваната точка и втора рамнина на набљудуваната точка.

Првата рамнина на набљудуваната точка е паралелна на ординатната оска и на неа лежат средиштето на рефлекторот и набљудуваната точка. Во координатниот систем на сликата 3.4.1 аголот помеѓу првата рамнина на набљудуваната точка и првата рамнина на рефлекторот е прикажан како апсциса на набљудуваната точка.

Втората рамнина на набљудуваната точка е паралелна на апсцисната оска и на неа лежат средиштето на рефлекторот и набљудуваната точка. Во координатниот систем на сликата 3.4.1 аголот помеѓу втората рамнина на набљудуваната точка и втората рамнина на рефлекторот е прикажан како ордината на набљудуваната точка.

На еден пример ќе ја илустрираме примената на изоканделен дијаграм. Нека со избраниот рефлектор се осветлува вертикална рамнина. Оптичката оска на рефлекторот нека е поставена нормално на осветлуваната рамнина и нека ја пробива во точката O . Растојанието од точката O до рефлекторот е $H=20$ m. Подолжната оска на рефлекторот е хоризонтална. Изоканделниот дијаграм на рефлекторот е прикажан на сликата 3.4.1. На осветлуваната рамнина е дефиниран правоаголен координатен систем, чиј почеток е во точката O , а апсцисната оска е хоризонтална. Нека се бара осветленоста во точката T , со апсцисата $x=5$ m и ординатата $y=8$ m. Во рефлекторот е инсталирана сијалица со флукс 22000 lm.



Слика 3.4.1 Изоканделен дијаграм (за $\Phi=1000 \text{ lm}$) за рефлектор тип RJ-1000 C [67]

Најнапред треба да ги најдеме соодветните координатни агли со кои се определува релативната положба на точката Т на дијаграмот на сликата 3.4.1. Во таа смисла, апсцисниот агол е:

$$\alpha_{\text{анс.}} = \operatorname{arctg} \frac{x}{H} = \operatorname{arctg} \frac{5}{20} = 14^\circ,$$

а ординатниот:

$$\alpha_{\text{орд.}} = \operatorname{arctg} \frac{y}{H} = \operatorname{arctg} \frac{8}{20} = 21,8^\circ.$$

Според тоа, координатите на набљудуваната точка на дијаграмот на сликата 3.4.1 се $T(14,0^\circ; 21,8^\circ)$.

Од дијаграмот на сликата 3.4.1, за светлинската јачина на рефлекторот во правец на точката Т, се добива:

$$I' = 300 \text{ cd / klm},$$

т.е.

$$I = \frac{\Phi}{1000} \cdot I' = \frac{22000}{1000} \cdot 300 = 6600 \text{ cd}.$$

Аголот помеѓу нормалата на осветлуваната рамнина во точката Т и правецот на светлината од рефлекторот нека е β , а растојанието помеѓу рефлекторот и точката Т нека е r . Не е тешко да се провери дека за разгледуваниот случај важат равенките:

$$\cos \beta = \frac{H}{r}$$

и

$$r^2 = x^2 + y^2 + H^2.$$

Конечно, со помош на равенката (2.5.5), за осветленоста во точката Т се добива:

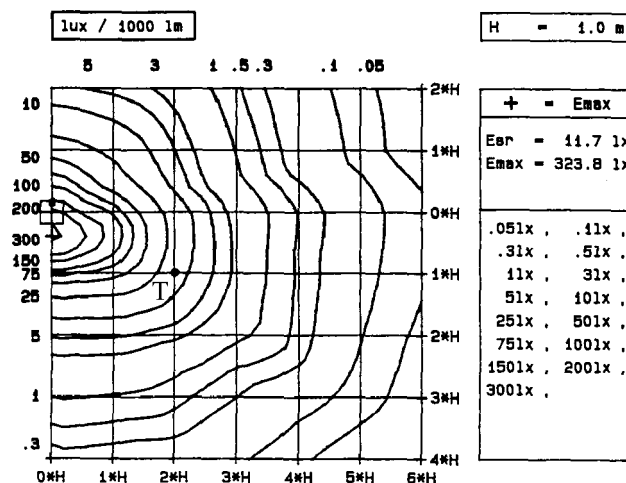
$$E = \frac{I \cdot H}{\sqrt{(x^2 + y^2 + H^2)^3}} = \frac{6600 \cdot 20}{\sqrt{(5^2 + 8^2 + 20^2)^3}} = 12,2 \text{ lx}.$$

Да забележиме дека, при читувањата од дијаграмот на сликата 3.4.1, помеѓу изоканделните криви се претпоставува линеарна промена на светлинската јачина. Освен тоа, производителите обично даваат поголеми изоканделни дијаграми од тој прикажан на сликата 3.4.1. Дијаграмот на сликата 3.4.1 е околу четири пати помал од оригиналниот. Сосема е разбирливо дека поголем дијаграм дава можност за поточно определување на бараните светлински јачини.

3.5. Изолукс-дијаграми

Пример на изолукс-дијаграм е прикажан на сликата 3.5.1. Тој дијаграм се однесува на светилка за која полурамнините C_{90} и C_{270} претставуваат рамнина на симетријата. И изолукс-дијаграмите се даваат како нормирани, т.е. за флуks од 1000 lm. Еден таков дијаграм ги прикажува осветленостите на точките од рамнината на цртежот, за случај кога таа рамнина би била осветлена со светилка поставена на растојание $H=1$ m од рамнината и кога оската на светилката би била нормална на рамнината.

Изолукс-дијаграмот е релативен дијаграм и со негово користење лесно се доаѓа до одговор на прашањето колкава е осветленоста на некоја точка во осветлуваната рамнина ако се знаат координатите на таа точка, ако се знае растојанието на светилката од осветлуваната рамнина и ако се знае вкупниот светлински флуks на сивалиците инсталирани во светилката. Притоа се претпоставува дека оптичката оска на светилката се поклопува со апликатата на правоаголниот координатен систем, чишто апсциса и ордината лежат во осветлуваната рамнина, при што апсцисната оска лежи во полурамнината C_{180} на светилката, а ординатната оска лежи во нејзината полурамнина C_{90} .



Слика 3.5.1 Изолукс-дијаграм за светилка за надворешно осветление тип СТ 1646-2125 [57]

За илустрација на примената на изолукс-дијаграм ќе разгледаме еден пример.

Нека со светилката, чиј изолукс-дијаграм е прикажан на сликата 3.5.1, се осветлува вертикална рамнина. Нека оската на светилката е нормална на осветлуваната рамнина и нека ја пробива во точката О. Растојанието од светилката до осветлуваната рамнина нека е 8 m. Колкава е

осветленоста во точката Т (слика 3.5.1) на осветлуваната рамнина, ако нејзините координати се (16 m; 8 m) и ако флуksот на сијалиците во светилката изнесува 11500 lm?

При решавањето на оваа задача најнапред, од дијаграмот на сликата 3.5.1, определуваме дека во услови кога светилката е на растојание еден метар од осветлуваната рамнина и кога флуksот на сијалиците во неа е 1000 lm, осветленоста во точката Т ќе биде:

$$E' = 17 \text{ lx / klm.}$$

За светлински флуks $\Phi = 11,5 \text{ klm}$ осветленоста ќе биде 11,5 пати поголема од E' , а ако растојанието на светилката од осветлуваната рамнина не е еден метар туку осум метри, според равенката (2.5.5), осветленоста ќе биде 8^2 пати помала. На таков начин, за осветленоста во точката Т се добива:

$$E = \frac{11,5 \cdot E'}{8^2} = \frac{11,5 \cdot 17}{8^2} = 3 \text{ lx.}$$

Врз основа на претходното не е тешко да се согледа постапката за користење на изолукс-дијаграмите при определување на осветленост во точка, во услови кога оптичката оска на светилката е нормална на осветлуваната рамнина.

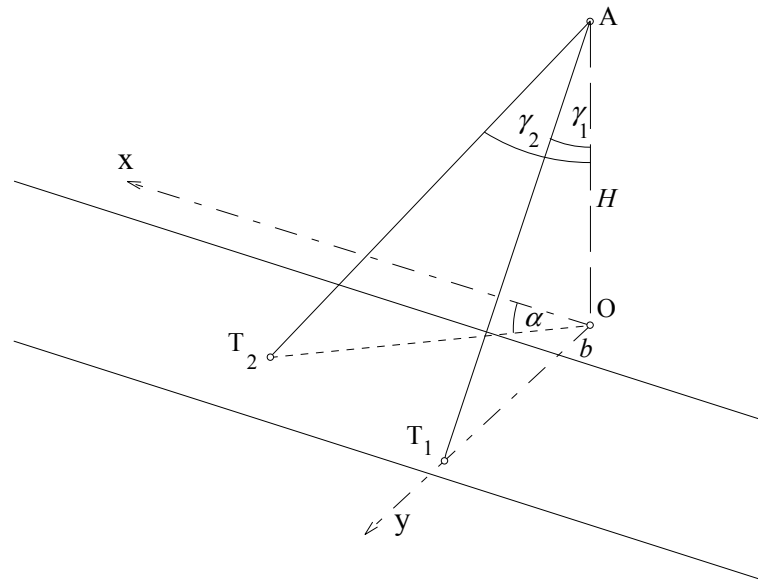
Нека флуksот на сијалицата/сијалиците во светилката е $\Phi_{\text{свет.}}$ и нека растојанието на светилката од осветлуваната рамнина е H . Најнапред, мерејки со H (како со единична мерка), во соодветниот изолукс-дијаграм ги определуваме координатите на точката во која се бара осветленост. Потоа од изолукс-дијаграмот се прочитува осветленоста во таа точка. Таа осветленост, што ќе ја означуваме со E' , се однесува на условите кога вкупниот флуks на сијалицата/сијалиците во светилката изнесува 1000 lm и кога светилката е на растојание еден метар од осветлуваната рамнина. Во случај кога вкупниот флуks е $\Phi_{\text{свет.}}$ и кога растојанието од светилката до осветлуваната рамнина е H , осветленоста во набљудуваната точка ќе изнесува:

$$E = \frac{\Phi_{\text{свет.}} \cdot E'}{1000 \cdot H^2}. \quad (3.5.1)$$

3.6. Примери

3.6.1. Прав пат, широк 7 m, е осветлен со светилка поставена на височина $H=10 \text{ m}$. Оската на светилката е нормална на рамнината на патот и ја пробива во точката О. Точката О е надвор од коловозот, на растојание $b=1 \text{ m}$ од работ на коловозот. Изолукс-дијаграмот на светилката е даден на сликата 3.5.1, а нејзините дијаграми на распределба на светлинската јачина се дадени на сликата 3.2.5. Флуksот на сијалиците во светилката е 11500 lm. Во рамнината на

патот е поставен правоаголен координатен систем. Координатниот почеток се поклопува со точката O . Апсцисната оска е паралелна на оската на патот, а ординатната е нормална на таа оска (слика 3.6.1). Светилката е поставена така што апсцисната оска лежи во нејзината полурамнина S_0 . Да се определи осветленоста во точките $T_1(0;7)$ и $T_2(15;4,5)$. Координатите на точките се дадени во метри.



Слика 3.6.1

а) *Решение со користење на изолукс-дијаграмот*

За да може да се користи изолукс-дијаграмот, најнапред треба да се определат релативните координати на точките во кои се бара осветленоста. Притоа единичната мерка е H . Така добиваме: $T_1(0;0;0,7H)$ и $T_2(1,5H;0,45H)$.

Натаму, од изолукс-дијаграмот (на сликата 3.5.1) може да се прочита дека на тие точки им соодветствуваат следниве осветлености: $E_1 = 200 \text{ lx/klm}$ и $E_2 = 50 \text{ lx/klm}$.

Конечно, според равенката (3.5.1), за вистинските осветлености во точките T_1 и T_2 следува:

$$E_1 = \frac{11,5}{10^2} \cdot 200 = 23 \text{ lx}$$

$$E_2 = \frac{11,5}{10^2} \cdot 50 = 5,75 \approx 6 \text{ lx.}$$

б) *Решение со користење на дијаграми на распределба на светлинската јачина*

Во овој случај осветленоста ќе ја пресметуваме со помош на равенката (2.5.5). За таа цел, за точката T_1 најнапред треба да се определат: светлинската јачина на изворот во правецот на кој се наоѓа точката, аголот β и квадратот на растојанието од светилката до точката. Точката T_1 се наоѓа во полурамнината C_{90} и тоа на правецот што со оската на светилката зафаќа агол:

$$\gamma_1 = \operatorname{arctg} \frac{y_1}{H} = \operatorname{arctg} \frac{7}{10} = 35^\circ.$$

Од дијаграмот на сликата 3.2.5 следува дека светлинската јачина на светилката во тој правец изнесува:

$$I'_1 = 350 \text{ cd / klm},$$

односно:

$$I_1' = 11,5 \cdot 350 = 4025 \text{ cd}.$$

Натаму е:

$$\beta_1 = \gamma_1$$

$$r_1^2 = H^2 + y_1^2 = 10^2 + 7^2 = 149 \text{ m}^2$$

и со помош на равенката (2.5.5) за осветленоста во точката T_1 добиваме:

$$E_1 = \frac{4025 \cdot \cos 35^\circ}{149} = 22 \text{ lx}.$$

Точката T_2 лежи во полурамнината определена со аголот:

$$\alpha_2 = \operatorname{arctg} \frac{y_2}{x_2} = \operatorname{arctg} \frac{4,5}{15} = 16,7^\circ \approx 17^\circ,$$

т.е. во полурамнината C_{17} . Аголот помеѓу правецот на кој лежи точката T_2 и оската на светилката е:

$$\gamma_2 = \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{x_2^2 + y_2^2}}{H} = \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{15^2 + 4,5^2}}{10} = 57,4^\circ \approx 57^\circ.$$

Светлинската јачина на светилката, во правец на кој се наоѓа точката T_2 , ќе ја определеме користејќи ги податоците за светлинските јачини во полурамнините C_0 и C_{20} . Од дијаграмот на сликата 3.2.5 се добива: $I(0;57) = 250 \text{ cd/klm}$ и $I(20;57) = 360 \text{ cd/klm}$, т.е.

$$I(0;57) = 11,5 \cdot 250 = 2875 \text{ cd}$$

$$I(20;57) = 11,5 \cdot 360 = 4140 \text{ cd.}$$

Натаму, за светлинската јачина на светилката во правец на точката T_2 следува:

$$I(17;57) = I(0;57) + \frac{I(20;57) - I(0;57)}{20 - 0} (17 - 0),$$

т.е.

$$I(17;57) = 2875 + \frac{4140 - 2875}{20} \cdot 17 = 3950 \text{ cd.}$$

Квадратот на растојанието од светилката до точката T_2 е:

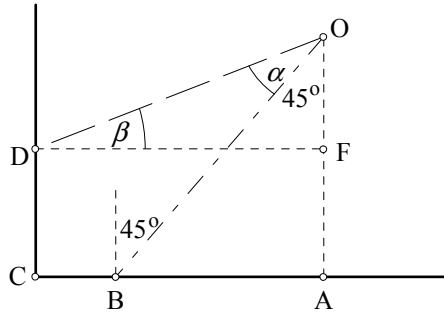
$$r_2^2 = x_2^2 + y_2^2 + H^2 = 15^2 + 4,5^2 + 10^2 = 345,25 \text{ m}^2.$$

Конечно, со помош на равенката (2.5.5), имајќи предвид дека е $\beta_{2\epsilon} = \gamma_{2\epsilon}$ за осветленоста во точката T_2 се добива:

$$E_2 = \frac{3950 \cdot \cos 57^\circ}{345,25} = 6,2 \approx 6 \text{ lx.}$$

Од примеров се гледа дека со користење на изолукс-дијаграмите значително полесно се доаѓа до бараниот резултат. Освен тоа, може да се забележи дека со различни пристапи се добиени резултати што не се наполно еднакви (а би требало да бидат еднакви). Таквите отстапувања се последица на малата точност на дијаграмите на сликата 3.2.5 и на сликата 3.5.1, односно на неможноста тие да се прочитаат (т.е. да се добијат податоци) со поголема точност.

3.6.2. Во точката О (слика 3.6.2) е инсталиран рефлектор. Неговата оптичка оска се поклопува со правецот ОВ и зафаќа агол од 45° со вертикалата ОА. Во рефлекторот се наоѓа сијалица со светлински флукс 18800 lm. Распределбата на светлинската јачина на рефлекторот е ротационо симетрична и е дадена во табелата 3.6.2. Познати се должините: ОА = 10 m; АС = 10,88 m и CD = 1,5 m. Да се пресмета осветленоста на осветлуваните површини во точките В и D.



Слика 3.6.2

Табела 3.6.2 Распределба на светлинската јачина на рефлекторот

Агол во степени	Светлинска јачина cd/klm
0	6100
2	5700
4	4500
6	3000
8	2000
10	1500
12	1000
14	600
16	400

Решение:

Точката В се наоѓа на оптичката оска на рефлекторот. Во тој правец светлинската јачина е:

$$I_0 = 6100 \cdot \frac{18800}{1000} = 114680 \text{ cd.}$$

Натаму, со помош на равенката (2.5.5) за осветленоста во точката В добиваме:

$$E_B = \frac{I_0 \cdot \cos 45^\circ}{\overline{OB}^2} = \frac{114680 \cdot 0,707}{10^2 + 10^2} = 405 \text{ lx.}$$

За пресметување на осветленоста во точката D најнапред треба да се определи аголот α што го зафаќа правецот на кој лежи точката D со оптичката оска на рефлекторот. Од триаголникот ODF (слика 3.6.2) наоѓаме:

$$\operatorname{tg}(\alpha + 45^\circ) = \frac{\overline{DF}}{\overline{OF}} = \frac{\overline{AC}}{\overline{OA} - \overline{CD}} = \frac{10,88}{10 - 1,5} = 1,28,$$

од каде што следува:

$$\alpha + 45^\circ = 52^\circ,$$

т.е.

$$\alpha = 7^\circ.$$

Во дадената табела немаме податок колкава е светлинската јачина за агол од 7° . Таа ќе ја определеме врз основа на расположливите податоци за светлинските јачини за аглиите од 6° и 8° , претпоставувајќи дека во тој интервал промената на светлинската јачина е линеарна. Така добиваме:

$$I_7' = I_6' + \frac{I_8' - I_6'}{8 - 6} = 3000 + \frac{2000 - 3000}{2} = 2500 \text{ cd / klm},$$

односно

$$I_\alpha = I_7 = 18,8 \cdot 2500 = 47000 \text{ cd}.$$

Бидејќи е:

$$\beta = 90^\circ - (\alpha + 45^\circ) = 38^\circ$$

и

$$\overline{OD} = \frac{\overline{AC}}{\cos \beta},$$

со помош на равенката (2.5.5) за осветленоста во точката D добиваме:

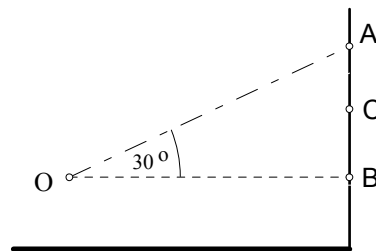
$$E_D = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \beta}{\overline{AC}^2} = 194 \text{ lx}.$$

3.7. Задачи

- 3.7.1. Рефлектор со ротационо симетрична распределба на светлинската јачина е поставен во точката O (слика 3.7.1). Неговата оптичка оска се поклопува со правецот OA и зафаќа агол од 30° со хоризонталата. Точките A, B и C лежат на вертикален ѕид, но и во истата рамнина со точката O. Познати се растојанијата $OB = 12,2 \text{ m}$ и $BC = 2,82 \text{ m}$. Во рефлекторот се наоѓа сијалица со метално влакно, со моќност 500 W и светлински флукс 8250 lm . Распределбата на светлинската јачина на рефлекторот е дадена во табелата 3.7.1. Да се определи осветленоста на вертикалниот ѕид во точките A и C. Колкави се средната цилиндрична осветленост и средната сферна осветленост во точката C?

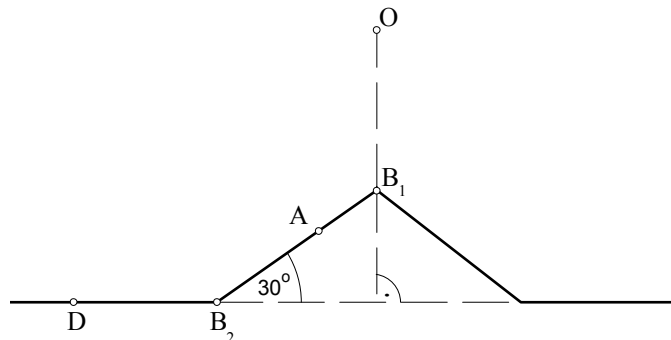
Табела 3.7.1 Распределба на светлинската јачина на рефлекторот

Агол во степени	Светлинска јачина cd/klm
0	710
2	690
4	640
6	580
8	535
10	510
12	460
14	420
16	395
18	365
20	340



Слика 3.7.1

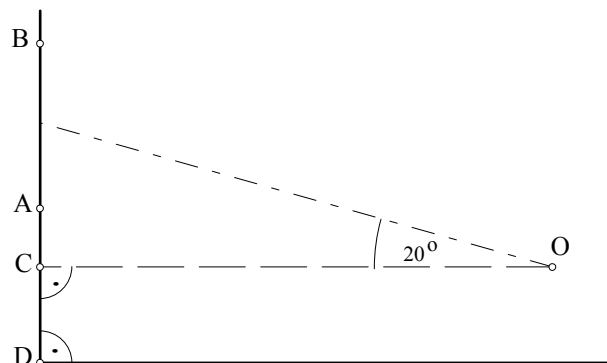
3.7.2. Во точката O (слика 3.7.2) се наоѓа рефлектор чија распределба на светлинската јачина е дадена во табелата 3.6.2. Во рефлекторот е поставена сијалица со вкупен светлински флуks 20000 lm . Оптичката оска на рефлекторот минува низ точката B_1 и е нормална на правата на која лежат точките B_2 и D . Познати се должините: $OB_1 = 7,74 \text{ m}$; $AB_1 = 1 \text{ m}$; $B_1B_2 = 3 \text{ m}$ и $B_2D = 5 \text{ m}$. Да се определат осветленостите во точките A и D .



Слика 3.7.2

3.7.3. Во точката O се наоѓа рефлектор чија распределба на светлинската јачина е дадена во табелата 3.6.2. Во рефлекторот се наоѓа сијалица со светлински флуks 90000 lm . Оптичката оска на рефлек-

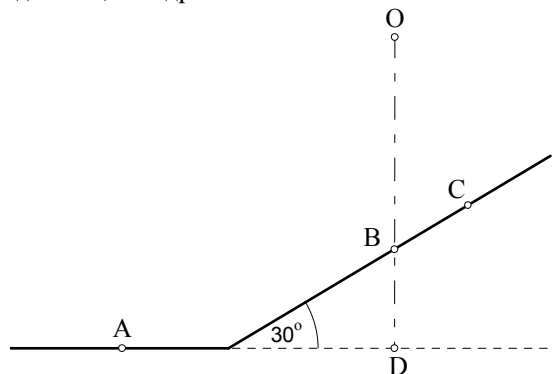
торот зафаќа агол од 20° со хоризонталата и лежи во истата рамнина со точките А и В. Да се определи вертикалната осветленост и средната цилиндрична осветленост во точките А и В. Познати се должините: $AD = 3,42 \text{ m}$; $BD = 8,14 \text{ m}$ и $OC = 15 \text{ m}$ и $CD=0,5\text{m}$.



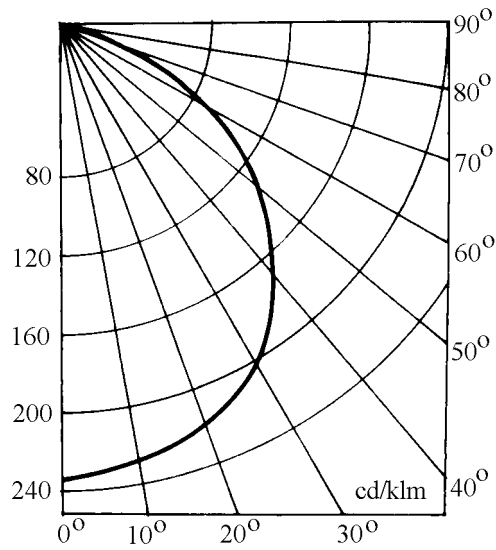
Слика 3.7.3

3.7.4. Во точката О (слика3.7.4а) се наоѓа светилка чија распределба на светлинската јачина во рамнината во која лежат точките А, В и С е прикажана на сликата 3.7.4б. Оптичката оска на светилката се поклопува со правецот ОВ. Во светилката се наоѓаат флуоресцентни сијалици со вкупен флукс 8100 lm . Познати се должините: $OB = 3,5 \text{ m}$; $BD = 0,5 \text{ m}$; $AD = 1,46 \text{ m}$ и $BC = 1,54 \text{ m}$. Да се определи:

- осветленоста во точките А, В и С;
- средната цилиндрична осветленост во точката С.



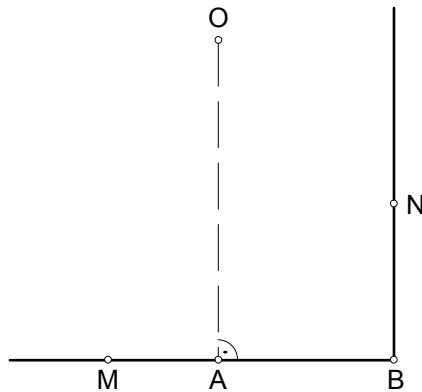
Слика 3.7.4а



Слика 3.7.46

3.7.5. Во точката O (слика 3.7.5) е поставена светилка чија распределба на светлинската јачина е дадена на сликата 3.7.46. Во светилката се наоѓаат сијалици со вкупен светлински флукс 5100 lm . Познати се должините: $OA = 5,2 \text{ m}$; $AM = 3 \text{ m}$; $AB = 4 \text{ m}$ и $BN = 1,2 \text{ m}$. Да се пресмета:

- осветленоста во точките A , M и N , ако оптичката оска на светилката се поклопува со правецот OA ;
- осветленоста во точката N , ако оптичката оска на светилката се поклопува со правецот ON .



Слика 3.7.5

3.7.6. Две еднакви светилки ја осветлуваат рамнината XOY на еден правоаголен координатен систем. Средиштата на светилките се наоѓаат во точките $A_1(0;0;6)$ и $A_2(0;5;7)$. Двете светилки се поста-

вени така што нивните полурамнини C_0 се паралелни на рамнината YOZ, а нивните полурамнини C_{90} се паралелни на рамнината XOZ. Во светилките се инсталирани по две флуоресцентни сијалици, секоја со светлински флукс од 2800 lm. Распределбата на светлинската јачина во полурамнината C_{180} е еднаква на таа во полурамнината C_0 , а во полурамнината C_{270} е еднаква на таа во полурамнината C_{90} . Распределбата на светлинската јачина во полурамнините C_0 и C_{90} е дадена во табелата 3.7.6. Сите координати се дадени во метри. Да се пресмета осветленоста во точката B(4;3;0).

Табела 3.7.6 Распределба на светлинската јачина

Полурамнина	Светлинска јачина во cd/klm									
	Агол во степени									
	0	5	15	25	35	45	55	65	75	85
C_0	160	160	160	160	155	145	130	116	100	90
C_{90}	160	155	150	140	125	105	80	50	25	10

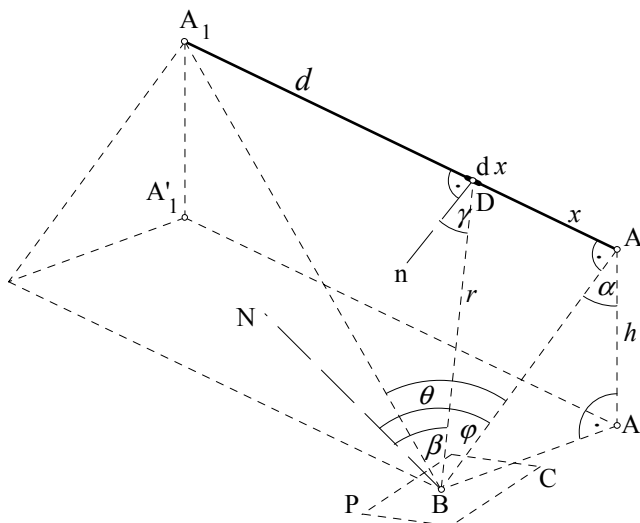
4. ПРЕСМЕТКА НА ОСВЕТЛЕНОСТ ОД ИЗВОР ВО ВИД НА СВЕТЛЕЧКА ОТСЕЧКА

4.1. Општо

Ако должината на светлинскиот извор е многу поголема од неговите напречни димензии, тој се нарекува *линиски извор*. Кога линискиот извор е прав и со конечна должина, за него се вели дека е во вид на *светлечка отсечка*. Во ова поглавје ќе биде изложена постапка за пресметување на осветленоста што во една точка ја создава светлински извор во вид на светлечка отсечка. Притоа растојанието од точката до светлечката отсечка не е многу поголемо од должината на светлечката отсечка.

4.2. Основен случај

На сликата 4.2.1 е прикажана една светлечка отсечка. Крајните точки на светлечката отсечка се означени со A и A_1 . Должината на светлечката отсечка е означена со d . Точката во која се бара осветленоста е означена со B . Таа точка ќе ја нарекуваме *набљудувана точка*. Карактеристика на основниот случај е што рамнината низ набљудуваната точка B , поставена нормално на светлечката отсечка, минува низ крајната точка на светлечката отсечка. Таа точка на светлечката отсечка нека е означена со A . Изворот во вид на светлечка отсечка не мора да има еднаква распределба на светлинската јачина во сите рамнини што ја содржат правата на која лежи изворот. Една од тие рамнини, која ја карактеризира просторната ориентација на изворот (т.е. светилката), се нарекува *рамнина на насочувањето*. На сликата 4.2.1, рамнината на насочувањето е рамнина определена со точките AA_1A' . Честопати, тоа е рамнина во која светлинската јачина е најголема. При изложување на пресметковната постапка ќе го користиме терминот *помошна рамнина*. Тоа е рамнината што минува низ набљудуваната точка, паралелна е на светлечката отсечка и нормална е на нејзината рамнина на насочувањето. Растојанието помеѓу светлечката отсечка и помошната рамнина ќе го означиме со h . На сликата 4.2.1 помошната рамнина е определена со точките B, A' и A'_1 . Освен наведеното, за определување на релативната положба на набљудуваната точка во однос на светлечката отсечка е вообичаено да биде познат и аголот α (слика 4.2.1). Тоа е аголот помеѓу две рамнини на чија пресечна права лежи светлечката отсечка. Едната од нив е рамнината на насочувањето, а втората е рамнината што минува низ набљудуваната точка. (На сликата 4.2.1 втората од наведените рамнини е рамнината $BA A_1$.) Осветленоста во точката B ќе ја пресметаме земајќи дека таа лежи во рамнината определена со точките B, P и C . Таа рамнина ќе ја нарекуваме *осветлувана рамнина*. Со BN е означена нормалата на осветлуваната рамнина.



Слика 4.2.1 Светелечка отсечка и точка - основен случај

Најнапред ќе ја определеме осветленоста што во точката B ја создава елементот на светелечката отсечка кој се наоѓа кај точката D (слика 4.2.1). Неговата должина нека е dx и нека е на растојание x од точката A. Во рамнината BA_1A правецот на кој лежат B и D зафаќа агол γ со нормалата на светелечката отсечка. Од друга страна, во однос на рамнината на насочувањето, положбата на рамнината BA_1A е определена со аголот α . Поради тоа е вообичаено да се зема дека правецот BD (слика 4.2.1) е определен со аглите α и γ . Во тој правец светлинскиот извор со единична должина ќе зрачи со светлинска јачина што ќе ја означуваме $I'_{\alpha\gamma}$. Нормалата на осветлуваната површина со правецот BD нека зафаќа агол β . Според тоа, елементот dx во точката B создава осветленост што е определена со равенката:

$$dE = I'_{\alpha\gamma} \frac{\cos\beta}{r^2} dx. \quad (4.2.1)$$

Користејќи ги геометриските односи, равенката (4.2.1) може да се трансформира во поинаков облик. Од правоаголните триаголници ABA' и ADB следува:

$$r = \frac{h}{\cos\alpha \cdot \cos\gamma} \quad (4.2.2)$$

и

$$x = \frac{h}{\cos\alpha} \operatorname{tg}\gamma. \quad (4.2.3)$$

Од равенката (4.2.3) се добива:

$$dx = \frac{h \cdot d\gamma}{\cos \alpha \cdot \cos^2 \gamma}. \quad (4.2.4)$$

Имајќи ги предвид равенките (4.2.2) и (4.2.4), равенката (4.2.1) може да се напише во вид:

$$dE = \frac{I'_{\alpha\gamma}}{h} \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot d\gamma. \quad (4.2.5)$$

Од равенката (4.2.5), за осветленоста од целата светлечка отсечка, следува:

$$E = \frac{1}{h} \cdot \cos \alpha \int_0^{\theta} I'_{\alpha\gamma} \cdot \cos \beta \cdot d\gamma. \quad (4.2.6)$$

Во равенката (4.2.6) со θ е означена најголемата вредност на аголот γ , т.е. аголот под кој од точката В се гледа светлечката отсечка АА₁. Тој агол може да се определи со равенката:

$$\theta = \arctg\left(\frac{d}{h} \cdot \cos \alpha\right) \quad (4.2.7)$$

Нека со $I'_{\alpha 0}$ се означи светлинската јачина по единица должина на изворот, во рамнина определена со аголот α и во правец што е нормален на изворот. За практичните извори во вид на светлечка отсечка, со прифатлива точност, важи релацијата [11]:

$$I'_{\alpha\gamma} = I'_{\alpha 0} \cdot \cos^s \gamma, \quad (4.2.8)$$

каде што s е рационален број помеѓу 1 и 4.

Ако се искористи равенката (4.2.8), равенката (4.2.6) може да се напише во следниов облик:

$$E = \frac{I'_{\alpha 0}}{h} \cdot \cos \alpha \cdot \int_0^{\theta} \cos \beta \cdot \cos^s \gamma \cdot d\gamma. \quad (4.2.9)$$

За одделни меѓусебни положби на осветлуваната рамнина и светлечката отсечка равенката (4.2.9) значително се упростиува, т.е. интегралот во таа равенка лесно се сведува на интеграл само од променливата γ . Во натамошното излагање ќе бидат обработени само две такви положби, и тоа:

1. положбата во која осветлуваната рамнина е паралелна на светлечката отсечка и
2. положбата во која осветлуваната рамнина е нормална на светлечката отсечка.

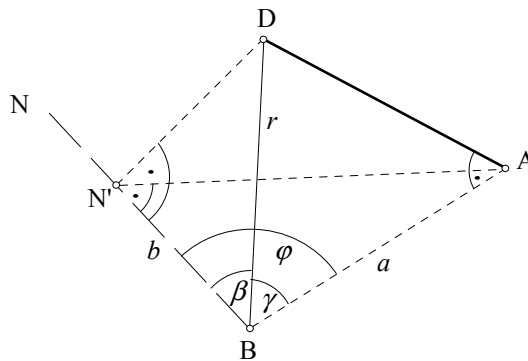
Во случајот кога осветлуваната рамнина е паралелна на светлечката отсечка, релативната положба на нормалата BN во однос на светлечката отсечка може да се определи со аголот φ што нормалата BN го зафаќа со отсечката AB (слика 4.2.1). За да се утврди релацијата помеѓу аглиите β , γ и φ , низ отсечката AD ќе поставиме рамнина нормална на BN . На сликата 4.2.2 тоа е рамнината определена со точките D , A и N' . Од правоаголните триаголници ABN' , DBN' и ADB следува, соодветно:

$$\begin{aligned}\cos \varphi &= \frac{b}{a}, \\ \cos \beta &= \frac{b}{r}, \\ \cos \gamma &= \frac{a}{r}.\end{aligned}\quad (4.2.10)$$

Од равенките (4.2.10) следува:

$$\cos \beta = \cos \gamma \cdot \cos \varphi. \quad (4.2.11)$$

Заслужува да се забележи дека аголот φ не зависи од аголот γ , што не е случај со аголот β .



Слика 4.2.2 Врска помеѓу аглиите β , γ и φ - за првата положба

Уважувајќи ја равенката (4.2.11), равенката (4.2.5) може да се напише во вид:

$$dE = \frac{I'_{\alpha\gamma}}{h} \cdot \cos \alpha \cdot \cos \varphi \cdot \cos \gamma \cdot d\gamma. \quad (4.2.12)$$

За да се пресмета осветеленоста од сите елементи на светлечката отсечка, треба равенката (4.2.12) да се интегрира по γ во границите од нула до θ . Така добиваме:

$$E = \frac{1}{h} \cdot \cos \alpha \cdot \cos \varphi \cdot \int_0^{\theta} I'_{\alpha\gamma} \cdot \cos \gamma \cdot d\gamma. \quad (4.2.13)$$

Со користење на равенката (4.2.8) равенката (4.2.13) станува:

$$E = \frac{I'_{\alpha 0}}{h} \cdot \cos \alpha \cdot \cos \varphi \cdot \int_0^{\theta} \cos^{s+1} \gamma \cdot d\gamma. \quad (4.2.14)$$

Да подвлечеме дека, во основниот случај, со равенката (4.2.14) се пресметува осветленост во точка, кога осветлуваната рамнина е паралелна на светлечката отсечка и кога релативната положба на осветлуваната точка, во однос на таа отсечка, е определена со аглиите α и φ , како што е прикажано на сликата 4.2.1. Во специјалниот случај, кога точката В се поклопува со точката А', ќе биде $\alpha=0$ и од равенката (4.2.14) за осветленоста се добива:

$$E = \frac{I'_{\alpha 0}}{h} \cdot \cos \varphi \cdot \int_0^{\theta} \cos^{s+1} \gamma \cdot d\gamma. \quad (4.2.15)$$

Помеѓу положбите, во кои осветлуваната рамнина е паралелна на светлечката отсечка, заслужува да се одбележи таа кај која осветлуваната рамнина се поклопува со помошната рамнина. Ако се набљудува сликата 4.2.1, тоа е положбата кога рамнината определена со точките В, С и Р се поклопува со рамнината определена со точките А', А'₁ и В. Тогаш е $\varphi=\alpha$ и од равенката (4.2.14) за осветленоста во точката В следува:

$$E = \frac{I'_{\alpha 0}}{h} \cdot \cos^2 \alpha \int_0^{\theta} \cos^{s+1} \gamma \cdot d\gamma. \quad (4.2.16)$$

Во положбата кога осветлуваната рамнина е нормална на светлечката отсечка (т.е. кога на сликата 4.2.1 рамнината определена со точките В, С и Р се поклопува со рамнината определена со точките А, В и А') ќе биде $\beta+\gamma=\pi/2$ и равенката (4.2.5) може да се напише во вид:

$$dE = \frac{I'_{\alpha \gamma}}{h} \cdot \cos \alpha \cdot \sin \gamma \cdot d\gamma. \quad (4.2.17)$$

Ако се искористи равенката (4.2.8), по интеграцијата на равенката (4.2.17), во границите од нула до θ , за осветленоста од целата светлечка отсечка добиваме:

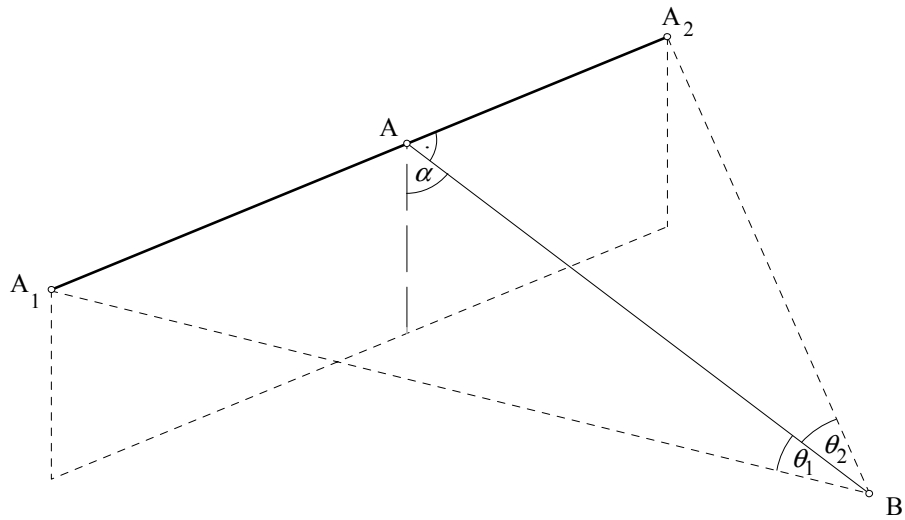
$$E = \frac{I'_{\alpha 0}}{h} \cdot \cos \alpha \cdot \int_0^{\theta} \cos^s \gamma \cdot \sin \gamma \cdot d\gamma. \quad (4.2.18)$$

4.3. Општ случај

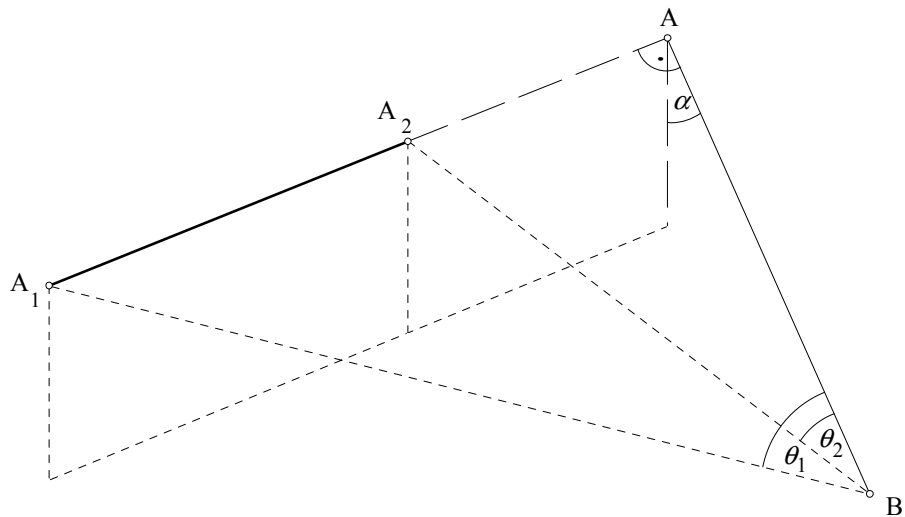
Во општ случај, за разликување на релативната положба на набљудуваната точка В во однос на светлечката отсечка А₁А₂ низ точката В поставуваме рамнина нормално на правата на која лежи

светлечката отсечка. Потоа, според локацијата на пресечната точка на таа рамнина и правата на која лежи светлечката отсечка, ги разликуваме следниве три случаи:

- а) пресечната точка е една од крајните точки на светлечката отсечка (слика 4.2.1);
- б) пресечната точка е помеѓу крајните точки на светлечката отсечка (слика 4.3.1) и
- в) пресечната точка не лежи на светлечката отсечка (слика 4.3.2).



Слика 4.3.1 Случај б)



Слика 4.3.2 Случај в)

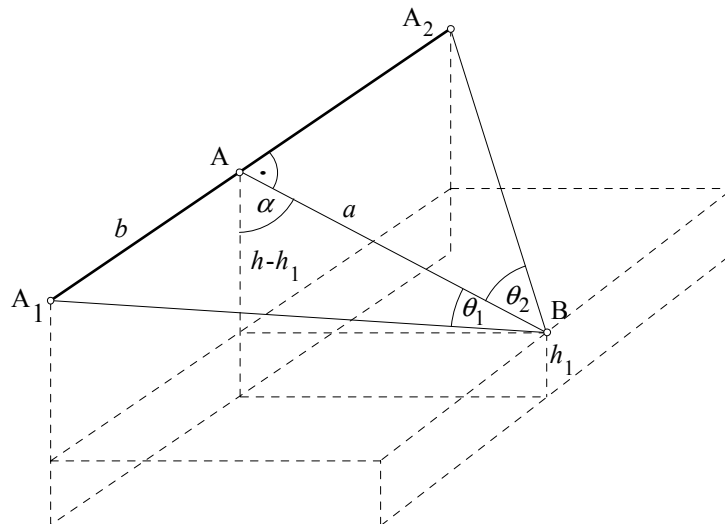
Случајот а) е наречен основен случај и веќе е обработен во потпоглавјето 4.2. Во случаите б) и в), независно од тоа на која рамнина лежи точката В, осветленоста ќе се пресметува со примена на принципот на суперпозиција и со користење на постапката што се користи во случајот а).

Поконкретно, во случајот б) осветленоста во точката В се пресметува како аритметичка сума на осветленостите што во таа точка ги создаваат светлечките отсечки AA_1 и AA_2 . Осветленостите од светлечките отсечки AA_1 и AA_2 се пресметуваат со соодветните равенки, изведени во потпоглавјето 4.2. При определувањето на осветленоста од светлечката отсечка AA_1 интеграцијата се изведува од нула до θ_1 , а при определувањето на осветленоста од светлечката отсечка AA_2 интеграцијата се изведува од нула до θ_2 .

Во случајот в) осветленоста во точката В се пресметува како аритметичка разлика на осветленостите што во таа точка ги создаваат фиктивните светлечки отсечки AA_1 и AA_2 . Притоа, светлинските карактеристики, по единица должина, на фиктивните извори AA_1 и AA_2 се еднакви на соодветните карактеристики на реалниот извор A_1A_2 . Определувањето на осветленоста од фиктивната отсечка AA_1 се изведува преку соодветна интеграција, во границите од нула до θ_1 , а определувањето на осветленоста од фиктивната отсечка AA_2 се изведува преку соодветна интеграција во границите од нула до θ_2 (според сликата 4.3.2). И во овој случај за определувањето на аглиите θ_1 и θ_2 се користи постапката што е аналогна на наведената при обработката на основниот случај.

4.4. Примери

4.4.1. Пет светилки со по една флуоресцентна сијалица од 58 W се поставени хоризонтално и формираат една светлечка отсечка. Сите светилки се поставени така што нивната рамнина на насочувањето е вертикална. Распределбата на најголемата светлинска јачина ($I_{\text{ср}}$), во рамнините што со рамнината на насочувањето зафаќаат произволен агол, е дадена на сликата 3.7.4б. Во секоја рамнина што го содржи изворот распределбата на светлинската јачина е според Ламбертовиот закон. Светлинскиот флукс на една од флуоресцентните сијалици е 4400 lm. Должината на секоја од светилките е 1,528 m. Формираната светлечка отсечка A_1A_2 (слика 4.4.1) се наоѓа на висина $h_2=3,2$ m над хоризонталната рамнина. Набљудуваната точка В се наоѓа на висина $h_1=0,8$ m над хоризонталната рамнина и на растојание $a=4$ m од правата на која лежи светлечката отсечка. Рамнината поставена низ точката В, нормално на светлечката отсечка, ја сече таа отсечка во точката А, што се наоѓа на растојание $b=2$ m од точката A_1 . Да се пресмета осветленоста во точката В ако осветлуваната рамнина е: а) хоризонтална, б) вертикална и паралелна на светлечката отсечка.



Слика 4.4.1

Р е ш е н и е:

Најнапред, од сликата 4.4.1, определуваме:

$$\cos \alpha = \frac{h}{a} = \frac{h_2 - h_1}{a} = \frac{3,2 - 0,8}{4} = 0,6$$

и

$$\alpha = 53,13^\circ.$$

Потоа од дијаграмот на сликата 3.7.4б добиваме дека најголемата светлинска јачина, во рамнината определена со аголот α изнесува 120 cd/km. Бидејќи секоја светилка е долга по 1,528 m и во неа е инсталирана сијалица со флуks 4400 lm, за најголемата светлинска јачина, по единица должина, следува:

$$I'_{\alpha 0} = \frac{120 \cdot 4,4}{1,528} = 345,55 \text{ cd / m.}$$

Во рамнината определена со аголот α , во правецот што со нормалата на изворот зафаќа агол γ светлинската јачина е:

$$I'_{\alpha \gamma} = 345,55 \cdot \cos \gamma.$$

Отсечката AA_1 се гледа од точката B под агол:

$$\theta_1 = \arctg \frac{b}{a} = \arctg \frac{2}{4} = 0,46365 \text{ rad.}$$

Аголот под кој отсечката AA_2 се гледа од точката B е:

$$\theta_2 = \operatorname{arctg} \frac{5 \cdot 1,528 - b}{a} = \operatorname{arctg} \frac{5 \cdot 1,528 - 2}{4} = 0,95391 \text{ rad.}$$

а) Бидејќи точката В лежи во хоризонталната рамнина, а рамнината на насочувањето е вертикална, ќе биде $\varphi = \alpha$. Освен тоа, со условите е зададено дека во рамнините што ја содржат светлечката отсечка распределбата на светлинската јачина е според Ламбертовиот закон. Тоа значи дека во равенката (4.2.8), како и во равенките (4.2.14), (4.2.15) и (4.2.17), треба да се земе $s=1$. Во конкретниов случај осветлуваната рамнина се поклопува со помошната рамнина и за пресметување на осветленоста во набљудуваната точка ќе ја користиме равенката (4.2.16). Така, со помош на принципот на суперпозиција, за осветленоста во точката В добиваме:

$$E_{\text{хор.}} = \frac{345,55}{2,4} \cdot \cos^2 \alpha \cdot \left(\int_0^{\theta_1} \cos^2 \gamma \cdot d\gamma + \int_0^{\theta_2} \cos^2 \gamma \cdot d\gamma \right). \quad (4.4.1)$$

Во равенката (4.4.1) е земено предвид дека е $I'_{\alpha 0} = 345,55 \text{ cd/m}$ и дека светлечката отсечка е на висина $h_2 - h_1$ над хоризонталната рамнина во која лежи точката В. Бидејќи е:

$$\int \cos^2 \gamma \cdot d\gamma = \frac{\gamma}{2} + \frac{\sin 2\gamma}{4}, \quad (4.4.2)$$

од равенката (4.4.1) се добива:

$$E_{\text{хор.}} = 51,83 \left(\frac{0,4636}{2} + \frac{\sin 0,9273}{4} + \frac{0,9539}{2} + \frac{\sin 1,9078}{4} \right).$$

т.е.

$$E_{\text{хор.}} = 51,83 \cdot 1,1447 = 59 \text{ lx.}$$

б) Во овој случај нормалата во точката В зафаќа со правецот АВ агол $\varphi = (\pi/2) - \alpha$ и од равенката (4.2.14), со примена на принципот на суперпозиција, за вертикалната осветленост во точката В следува:

$$E_{\text{хор.}} = \frac{345,55}{2,4} \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot \left(\int_0^{\theta_1} \cos^2 \gamma \cdot d\gamma + \int_0^{\theta_2} \cos^2 \gamma \cdot d\gamma \right).$$

Бидејќи овие интегралите се еднакви на веќе пресметаните во случајот под а), за овој случај не е тешко да се пресмета:

$$E_{\text{верт.}} = \frac{345,55}{2,4} \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 1,1447 = 79 \text{ lx.}$$

4.4.2. Во условите како во примерот 4.4.1 се набљудува точката Р. Таа лежи на правата што минува низ точката В и е паралелна на правата на која лежи светлечката отсечка. Ако низ точката Р се постави рамнина нормална на правата на која лежи светлечката

леноста ќе ја користиме равенката (4.2.16). Така, со помош на принципот на суперпозиција, за хоризонталната осветленост во точката P добиваме:

$$E_{\text{хор.}} = \frac{345,55}{2,4} \cdot 0,6^2 \cdot \left(\int_0^{\theta_1} \cos^2 \gamma \cdot d\gamma - \int_0^{\theta_2} \cos^2 \gamma \cdot d\gamma \right)$$

од каде следува:

$$E_{\text{хор.}} = 51,83 \cdot \left(\frac{1,19506}{2} + \frac{\sin 2,39012}{4} - \frac{0,55860}{2} - \frac{\sin 1,11720}{4} \right),$$

т.е.

$$E_{\text{хор.}} = 51,83 \cdot 0,2642 = 13,7 \text{ lx} \approx 14 \text{ lx}.$$

б) Од истите причини, како и во случајот б) од примерот 4.4.1, и тука ќе биде $\varphi = (\pi/2) - \alpha$. Така, со помош на равенката (4.2.14) добиваме:

$$E_{\text{верт.1}} = \frac{345,55}{2,4} \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot \left(\int_0^{\theta_1} \cos^2 \gamma \cdot d\gamma - \int_0^{\theta_2} \cos^2 \gamma \cdot d\gamma \right),$$

т.е.

$$E_{\text{верт.1}} = 69,11 \cdot 0,2642 = 18,3 \text{ lx} \approx 18 \text{ lx}.$$

в) Во овој случај осветленоста се пресметува со примена на равенката (4.2.18). Така добиваме:

$$E_{\text{верт.2}} = \frac{345,55}{2,4} \cdot 0,6 \cdot \left(\int_0^{\theta_1} \cos \gamma \cdot \sin \gamma \cdot d\gamma - \int_0^{\theta_2} \cos \gamma \cdot \sin \gamma \cdot d\gamma \right)$$

Бидејќи е:

$$\int \sin \gamma \cdot \cos \gamma \cdot d\gamma = \frac{\sin^2 \gamma}{2}, \quad (4.4.3)$$

натаму следува:

$$E_{\text{верт.2}} = 86,3875 \cdot \left(\frac{\sin^2 \theta_1}{2} - \frac{\sin^2 \theta_2}{2} \right) = 86,3875 \cdot 0,2922 = 25,2 \approx 25 \text{ lx}.$$

4.4.3. Во правоаголниот координатен систем (слика 4.4.3) координатите на крајните точки на првата светлечка отсечка се $A_1(2,4;0;2,5)$ и $A_2(0;0;2,5)$, а координатите на крајните точки на втората светлечка отсечка се $A_2(0;0;2,5)$ и $A_3(0;0;1,9)$. Координатите на набљудуваната точка се $B(1,5;1,5;0,8)$. Во секоја рамнина што го содржи изворот, најголемата светлинска јачина на првиот извор изнесува 600 cd, а на вториот 120 cd. Во тие рамнини изворите зрачат според Ламбертовиот закон. Да се пресмета осветленоста во точката B ако осветлуваната рамнина е: а) рамнина паралелна на рамнината XOY, б) рамнина паралелна на рамнината XOZ.

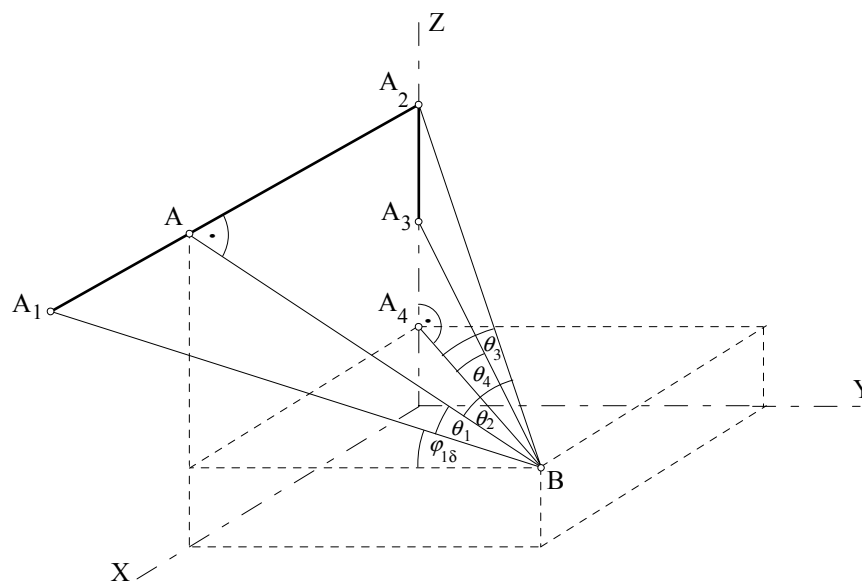
Решение:

На отсечката A_1A_2 ја определуваме точката A , така што отсечката AB да биде нормална на отсечката A_1A_2 . Координатите на таа точка се $A(1,5;0;2,5)$. Потоа пресметуваме:

$$\overline{AB} = \sqrt{1,5^2 + (2,5 - 0,8)^2} = 2,2672 \text{ m},$$

$$\theta_1 = \arctg \frac{\overline{AA_1}}{\overline{AB}} = \arctg \frac{0,9}{2,2672} = 0,3779 \text{ rad},$$

$$\theta_2 = \arctg \frac{\overline{AA_2}}{\overline{AB}} = \arctg \frac{1,5}{2,2672} = 0,5845 \text{ rad}.$$



Слика 4.4.3

Аналогно, на правата на која лежи отсечката A_2A_3 ја определуваме точката A_4 , при што отсечката BA_4 да биде нормална на таа права. Не е тешко да се утврди дека координатите на таа точка се $A_4(0;0;0,8)$ и дека е:

$$\overline{BA_4} = \sqrt{1,5^2 + 1,5^2} = 2,1213 \text{ m}.$$

Од точката B отсечката A_2A_4 се гледа под агол:

$$\theta_3 = \arctg \frac{\overline{A_2A_4}}{\overline{BA_4}} = \arctg \frac{1,7}{2,1213} = 0,6756 \text{ rad},$$

додека отсечката A_3A_4 се гледа под агол:

$$\theta_4 = \arctg \frac{A_3A_4}{BA_4} = \arctg \frac{1,1}{2,1213} = 0,4784 \text{ rad.}$$

По единица должина максималната светлинска јачина на првиот извор е:

$$I'_{01} = \frac{600}{2,4} = 250 \text{ cd / m,}$$

а за вториот извор е:

$$I'_{02} = \frac{120}{0,6} = 200 \text{ cd / m.}$$

Бидејќи, според зададениот услов, распределбата на светлинската јачина не зависи од изборот на рамнината која го содржи изворот, може да се земе дека набљудуваната точка В лежи во рамнината на насочувањето како на првиот така и на вториот извор, односно дека е $\alpha_1=0$ и $\alpha_2=0$.

а) Во овој случај, во точката В, нормалата на осветлуваната рамнина е паралелна на оската Z. Аголот помеѓу отсечката АВ и таа нормала е:

$$\varphi_1 = \arctg \frac{1,5}{2,5-0,8} = 0,7230 \text{ rad.}$$

Осветленоста во точката В од првата светлечка отсечка, ќе ја пресметаме со примена на принципот на суперпозиција. Користејќи ја равенката (4.2.14) и заменувајќи во неа $h=AB$, $\cos\alpha=1$ и $s=1$, добиваме:

$$E_{XOY,1} = \frac{I'_{01}}{AB} \cdot \cos \varphi_1 \cdot \left(\int_0^{\theta_1} \cos^2 \gamma \cdot d\gamma + \int_0^{\theta_2} \cos^2 \gamma \cdot d\gamma \right).$$

Натаму, имајќи ја предвид равенката (4.4.2), следува:

$$E_{XOY,1} = \frac{250}{2,2672} \cdot \cos 0,723 \cdot \left(\frac{0,3779}{2} + \frac{\sin 0,7558}{4} + \frac{0,5845}{2} + \frac{\sin 1,169}{4} \right),$$

т.е.

$$E_{XOY,1} = 82,6817 \cdot 0,88276 = 73 \text{ lx.}$$

И од втората светлечка отсечка осветленоста во точката В ќе ја пресметаме со примена на принципот на суперпозиција. Бидејќи се бара осветленост во точка што лежи во рамнина нормална на светлечката отсечка, ќе ја користиме равенката (4.2.18). Притоа е: $h=BA_4$, $\cos\alpha=1$ и $s=1$. Така добиваме:

$$E_{XOY,2} = \frac{I'_{02}}{BA_4} \cdot \left(\int_0^{\theta_3} \cos \gamma \cdot \sin \gamma \cdot d\gamma - \int_0^{\theta_4} \cos \gamma \cdot \sin \gamma \cdot d\gamma \right).$$

Натаму, имајќи ја предвид равенката (4.4.3), следува:

$$E_{XOY,2} = \frac{200}{2,1213} \cdot \left(\frac{\sin^2 0,6756}{2} - \frac{\sin^2 0,4784}{2} \right),$$

т.е.

$$E_{XOY,2} = 94,282 \cdot 0,0896 = 8,4 \text{ lx.}$$

Конечно, во случајот кога осветлуваната рамнина е паралелна на рамнината XOY, осветленоста во точката В од двете светлечки отсечки ќе биде:

$$E_{XOY} = E_{XOY,1} + E_{XOY,2} = 73 + 8,4 = 81,4 \text{ lx} \approx 81 \text{ lx.}$$

б) Во овој случај осветлуваната рамнина е паралелна на двете светлечки отсечки. Во точката В нормалата на осветлуваната површина е паралелна на оската OY. Аголот помеѓу отсечката АВ и таа нормала е:

$$\varphi_{1\delta} = \arctg \frac{2,5 - 0,8}{1,5} = 0,8478 \text{ rad.}$$

За пресметување на осветленоста во точката В од првата светлечка отсечка ќе ја користиме равенката (4.2.14), земајќи: $h=AB$, $\cos\alpha=1$ и $s=1$. Користејќи го принципот на суперпозиција, добиваме:

$$E_{XOZ,1} = \frac{I'_{01}}{AB} \cdot \cos \varphi_{1\delta} \cdot \left(\int_0^{\theta_1} \cos^2 \gamma \cdot d\gamma + \int_0^{\theta_2} \cos^2 \gamma \cdot d\gamma \right),$$

т.е.

$$E_{XOZ,1} = \frac{250}{2,2672} \cdot \cos 0,8478 \cdot 0,88276 = 64,4 \text{ lx.}$$

Аголот помеѓу правата BA_4 и нормалата на осветлуваната рамнина е:

$$\varphi_{2\delta} = \arctg \frac{1,5}{1,5} = 0,7854 = \frac{\pi}{4} \text{ rad.}$$

Бидејќи и втората светлечка отсечка е паралелна на осветлуваната рамнина (во која лежи точката В), за пресметување на осветленоста во таа точка, пак ќе ја користиме равенката (4.2.14), во која е: $h=A_4B$, $\cos\alpha=1$ и $s=1$. Притоа го користиме и принципот на суперпозиција. Така добиваме:

$$E_{XOZ,2} = \frac{I'_{02}}{BA_4} \cdot \cos \varphi_{2\delta} \cdot \left(\int_0^{\theta_3} \cos^2 \gamma \cdot d\gamma - \int_0^{\theta_4} \cos^2 \gamma \cdot d\gamma \right),$$

т.е.

$$E_{XOZ,2} = \frac{200}{2,1213} \cdot \cos 0,7854 \cdot 0,1383 = 9 \text{ lx.}$$

На крајот, за случај кога набљудуваната точка лежи во рамнина паралелна на рамнината XOZ, резултантната осветленост од двете светлечки отсечки во таа точка изнесува:

$$E_{XOZ} = E_{XOZ,1} + E_{XOZ,2} = 64 + 9 = 73 \text{ lx.}$$

4.5. Задачи

- 4.5.1. Светлечка отсечка е долга 8 m и поставена е хоризонтално. Рамнината на насочувањето е вертикална. Набљудуваната точка P се наоѓа на симетралната рамнина на светлечката отсечка и на растојание 3 m од неа. Рамнината определена со точката P и светлечката отсечка зафаќа агол $\pi/6$ со рамнината на насочувањето на изворот. Да се пресмета хоризонталната осветленост во точката P, ако во рамнината во која лежат светлечката отсечка и точката P светлинската јачина се менува според законот: $I'_{\alpha\gamma} = 260 \cdot \cos^2 \gamma$.
- 4.5.2. Да се реши задачата од примерот 4.4.1, земајќи дека, во зависност од аголот γ светлинската јачина на изворот по единица од неговата должина се менува според законот: $I'_{\alpha\gamma} = 345,55 \cdot \cos^2 \gamma$.
- 4.5.3. Коцка е поставена така што нејзините две страни се хоризонтални. Должината на работ на коцката е $a=3$ m. Четири еднакви светлечки отсечки се поставени така што се поклопуваат со рабовите на горната страна на коцката. За секој од изворите е познато дека во секоја рамнина што го содржи изворот максималната светлинска јачина изнесува 180 cd/m и дека сјајноста на изворот е еднаква во сите правци.
- Да се пресмета хоризонталната осветленост во темињата на коцката што лежат на долната страна на коцката.
 - Да се пресмета хоризонталната осветленост во средиштето на коцката.
- 4.5.4. Четири светлечки отсечки образуваат квадрат со страна $a=1,5$ m. Во секоја рамнина што го содржи изворот, распределбата на светлинската јачина е според Ламбертовиот закон, а максималната светлинска јачина изнесува 160 cd/m. Растојанието од кое и да е теме на квадратот до набљудуваната точка B е $b=1,25$ m. Да се

определи осветленоста во точката В ако осветлуваната рамнина е паралелна на светлечките отсечки.

- 4.5.5 Светлечка отсечка A_1A_2 е долга 3,6 m. Во секоја рамнина што ја содржи светлечката отсечка, распределбата на светлинската јачина е според законот $I'_{\alpha\gamma} = 180 \cdot \cos \gamma$. Правата на која лежи светлечката отсечка и осветлуваната рамнина зафаќаат агол од 45° . Од сите точки на светлечката отсечка точката A_1 е најблиску до осветлуваната рамнина и нејзиното растојание изнесува 2,1 m. Набљудуваната точка В лежи на проекцијата на правата, на која лежи светлечката отсечка, врз осветлуваната рамнина. Растојанието на точката В од правата на која лежи светлечката отсечка, изнесува 2,7 m. Да се определи осветленоста во точката В.
- 4.5.6. Флуоресцентна сијалица е во вид на прав правилен цилиндер со дијаметар на основата 26 mm и висина 1,5 m. Вкупниот светлински флукс на сијалицата изнесува 4600 lm и се израчува преку нејзиниот омотач, чишто сите делови во сите правци имаат еднакви сјајности. Оската на сијалицата се поклопува со оската OZ на правоаголниот координатен систем. Точката на сијалицата со најмала аплика е $A_1(0;0;1,6)$. Набљудуваната точка е $T(1,2;1,6;0,8)$. Да се пресмета осветленоста во точката Т ако осветлуваната рамнина е:
- паралелна на рамнината XOY;
 - паралелна на рамнината YOZ;
 - паралелна на рамнината XOZ;
 - паралелна на рамнината XOY и ако светлинскиот извор се смета за точкаст.
- 4.5.7. Помеѓу точките $A(2;1;4)$ и $B(4;1;4)$ е поставена светлечка отсечка која е насочена спротивно на насоката на оската OZ. Набљудуваната точка е $T(1;4,5;1)$. Во рамнината определена со точките А, В и Т сјајноста на изворот е еднаква во сите правци, а најголемата светлинска јачина изнесува 415 cd/m. Да се пресмета осветленоста во набљудуваната точка, ако осветлуваната рамнина е:
- паралелна на рамнината XOY;
 - паралелна на рамнината YOZ;
 - паралелна на рамнината XOZ.

5. СВЕТЛОТЕХНИЧКИ СВОЈСТВА НА ТЕЛАТА

5.1. Воведни забелешки

Во општ случај, ако на едно тело падне светлински флуks Φ , еден дел од тој флуks ќе се одбие од телото, вториот дел ќе помине низ телото, а третиот дел ќе биде впиен од телото. Во зависност од карактерот на просторната распределба на одбиениот флуks разликуваме: насочено, дифузно, полудифузно и мешано одбивање. Истата поделба може да се разликува и кај пропуштените флуkсови. Подетално ќе ги разгледаме овие видови на одбивање и пропуштање на светлината, бидејќи тие, во голема мерка, влијаат врз светлотехничките карактеристики на светилките и, воопшто, врз карактеристиките на светлотехничките решенија.

5.2. Одбивање на светлината

Кај сите видови одбивање на светлината односот помеѓу светлинскиот флуks Φ_p , што е одбиен од телото, и светлинскиот флуks Φ , што на него паднал, се нарекува коефициент на одбивање или коефициент на рефлексивност. Овој коефициент се означува со ρ и може да се напише:

$$\rho = \frac{\Phi_p}{\Phi}. \quad (5.2.1)$$

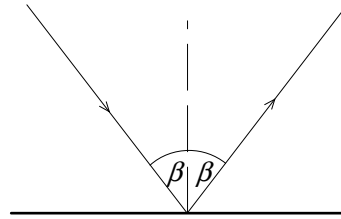
Коефициентот на одбивање зависи од спектарот на паднатата светлина. Поради тоа е усвоено неговата големина да се определува при условно бела светлина, т.е. светлината што ја испушта идеалното црно тело при температура 5000 °K.

Беше наведено дека разликуваме: насочено, дифузно, полудифузно и мешано одбивање. Секое од нив ќе го разгледаме поодделно.

Н а с о ч е н о т о одбивање, често нарекувано огледално одбивање, ги има следниве особини (слика 5.2.1):

- зракот пред одбивањето, нормалата на одбивната површина и одбиениот зрак лежат во иста рамнина;
- аголот што со нормалата го зафаќа зракот пред одбивањето е еднаков со аголот што го зафаќа одбиениот зрак со нормалата.

Значи, битна особина на насоченото одбивање, по која таквото одбивање се разликува од другите видови, е дека правецот на одбиениот зрак е директно зависен од правецот по кој зракот паѓа на одбивната површина.



Слика 5.2.1 Насочено одбивање

Површините што се одликуваат со насочено одбивање се нарекуваат огледални површини или покусо огледала. Тие често се користат во светлотехниката.

Кај рамни огледални површини обликот и големината на просторниот агол, во кој е опфатен светлинскиот флукс пред одбивањето, е еднаков на обликот и големината на просторниот агол во кој е распределен одбиениот флукс. Поради тоа, во случај на насочено одбивање може да се напише:

$$\rho = \frac{\Phi_p}{\Phi} = \frac{I_p \cdot \Delta\Omega_p}{I \cdot \Delta\Omega} = \frac{I_p}{I} = \frac{L_p \cdot \Delta S_p}{L \cdot \Delta S} = \frac{L_p}{L}, \quad (5.2.2)$$

кадешто е:

$\Delta\Omega_p$ - просторен агол во кој е распределен одбиениот флукс;

ΔS_p - плоштина на мал дел на површината на ликот на светлинскиот извор, што го гледа набљудувачот;

$\Delta\Omega$ - просторен агол во кој е распределен флуксот пред одбивањето;

ΔS - плоштина на мал дел на површината на светлинскиот извор, што го гледа набљудувачот (пред одбивањето);

I_p, I - светлински јачини во набљудуваните правци, по и пред одбивањето, соодветно;

L_p, L - сјајноста на ликот и сјајноста на изворот, соодветно.

Во равенката (5.2.2) се искористени особините на насоченото одбивање, што можат да се формулираат на следниов начин:

$$\Delta\Omega_p = \Delta\Omega$$

$$\Delta S_p = \Delta S.$$

Од равенката (5.2.2) следува дека кај насоченото одбивање односот на светлинската јачина по одбивањето и светлинската јачина пред одбивањето е еднаков на коефициентот на одбивање на површината од која светлината насочено се одбива. На истата вредност е еднаков и односот помеѓу сјајноста на ликот на светлинскиот извор и сјајноста на самиот извор.

Осветленоста што ја создава одбиената светлина може, пак, да се пресмета со равенката (2.5.5), т.е.

$$E = \frac{I_p \cdot \cos \beta}{r^2}, \quad (5.2.3)$$

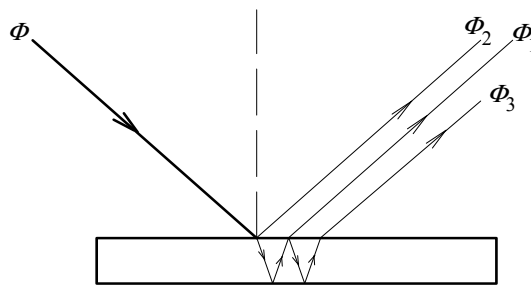
кадешто растојанието r се мери од ликот на изворот до точката во која се бара осветленоста.

Насоченото одбивање настанува од мазни (полирани) метални површини, чии нерамнини се малечки во споредба со брановата должина на паднатата светлина. Најголем коефициент на насочено одбивање има полирано сребро и тој изнесува 0,93. Сепак, во практиката, огледала од полирано сребро ретко се применуваат, бидејќи под атмосферски влијанија сребрената површина брзо ги губи своите одлични одбивни својства. Во тој поглед хромот е многу попостојан, но, за жал, неговиот коефициент на одбивањето е помал.

При изработка на разни уреди често се користат стаклени огледала со сребрен слој. Кај овие огледала сребрениот слој се нанесува од едната страна на стаклена плоча (калота, параболоид). Нанесувањето се изведува по хемиски пат, а потоа, по пат на галванопластика, сребрениот слој се прекрива со бакарен слој кој треба да го заштитува сребрениот слој од атмосферски влијанија и од механички повреди. На крајот, бакарниот слој се прекрива со слој од постојана боја или лак.

Заслужува да се нагласи дека кај стаклените огледала сребрениот слој е многу тенок. Поради тоа, цената на овие огледала е повеќекратно пониска од цената на огледалата целосно изработени од сребро.

Кај металното огледало светлината се одбива од надворешната површина на огледалото, како што е претставено на сликата 5.2.1. Кај стакленото огледало, покрај основниот флуks Φ_1 (слика 5.2.2) што се одбива непосредно од огледалниот слој поставен на задната површина на стаклената плоча, можат да се забележат и други флуkсови. Меѓу нив најизразени се Φ_2 и Φ_3 . Со Φ_2 е означен флуkсот одбиен од предната површина на стаклото, а со Φ_3 е означен флуkсот двапати одбиен од огледалниот слој и еднаш одбиен од внатрешната страна на предната површина на стаклото. Сосема е разбирливо дека ќе се јават и флуkсови со поголем број на одбивања од овие две површини, но, по правило, за нив не се води сметка, бидејќи тие претставуваат сразмерно мал дел од вкупниот одбиен флуks. Всушност, и флуkсовите Φ_2 и Φ_3 се малечки во споредба со вкупниот одбиен флуks Φ_p . Практично, приближно 90% од одбиениот флуks е флуkсот Φ_1 , т.е. тој флуks што е само еднаш одбиен од огледалниот слој. Од тие причини во практичните пресметки честопати не се води сметка за флуkсовите Φ_2 и Φ_3 .



Слика 5.2.2 Одбивање од стаклено огледало со метален слој

Специјален случај на насочено одбивање имаме од рамни и мазни површини на провидни тела. Во тој случај коефициентот на одбивањето е зависен од аголот β , под кој светлината паѓа на површината, и од аголот γ , под кој светлината се прекршува, т.е. за коефициентот на одбивањето може да се напише:

$$\rho = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\beta - \gamma)}{\sin^2(\beta + \gamma)} + \frac{\text{tg}^2(\beta - \gamma)}{\text{tg}^2(\beta + \gamma)} \right] \quad (5.2.4)$$

Равенката (5.2.4) прв ја формулирал Френел. Во негова чест таа е наречена Френелова равенка.

Од физиката е познато дека односот

$$\frac{\sin \beta}{\sin \gamma} = n \quad (5.2.5)$$

се нарекува индекс на прекршување и дека тој претставува важна карактеристика на пар провидни средини. Ако аголот β се стреми кон нулата, тогаш и аголот γ се стреми кон нулата. Барајќи ја границата кон која се стреми коефициентот на одбивањето, од равенката (5.2.4) добиваме:

$$\rho = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \quad (5.2.6)$$

Ако равенката (5.2.6) се напише во вид

$$\rho = \left(1 - \frac{2}{n+1} \right)^2, \quad (5.2.7)$$

не е тешко да се заклучи дека на поголемо n му соодветствува поголемо ρ и обратно.

За илустрација на тоа како аголот β , под кој светлината паѓа на површината на провидното тело, влијае врз големината на коефициентот на одбивање, ќе наведеме еден пример. Нека на граничната површина воздух-стакло паѓаат светлински зраци под различни агли. За случај кога

е $n=1,5$, добиените вредности на коефициентот на одбивањето се средени во табелата 5.2.1.

Табела 5.2.1 Вредности на коефициентот на одбивање од стаклена површина при $n=1,5$

β	ρ
0°	0,040
30°	0,041
45°	0,051
60°	0,089
70°	0,167
80°	0,387
85°	0,609
90°	1,000

Наведените вредности во табелата 5.2.1 укажуваат дека при промена на аголот под кој паѓаат светлинските зраци на површината на стаклото (од страна на воздухот) од нула до 45° коефициентот на одбивањето бавно се менува - од 4% до приближно 5%. При натамошно зголемување на тој агол вредностите на коефициентот на одбивањето растат сè побрзо и побрзо.

Вредностите на коефициентите на одбивањето на некои материјали, што одбиваат насочено, се дадени во табелата 5.2.2.

Табела 5.2.2 Коефициенти на насочено одбивање на некои материјали [18]

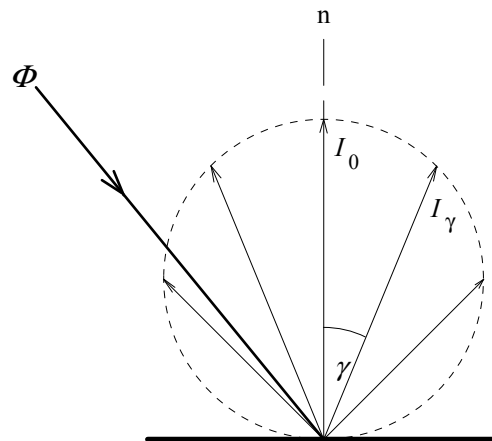
Материјал	Коефициент на насочено одбивање
Полирано сребро	0,88-0,93
Посребрено стаклено огледало	0,70-0,85
Стаклено огледало со амалгам	0,70
Полиран алуминиум	0,65-0,75
Полиран хром	0,60-0,70
Полиран кадмиум	0,64
Полиран никел	0,55-0,63

Д и ф у з н о т о одбивање доста се разликува од насоченото. Кај насоченото одбивање правецот на одбиената светлина зависи од правецот под кој светлината паѓа на одбивната површина. Кај дифузното одбивање одбиениот светлински флуks е секогаш распределен во просторниот агол од 2π радијани, независно од аголот под кој флуksот паднал на одбивната површина. Освен тоа, при дифузното одбивање распределбата на светлинската јачина на одбиената светлина е таква што крајните точки на радиус-векторите, чијашто заедничка точка е точката на одбивањето и чијшто интензитет е еднаков на светлинската јачина на одбиената светлина во соодветниот правец, образуваат сфера што ја допира одбивната површина. Притоа, допирната точка е точката на одбивањето (слика 5.2.3). Со други зборови, по дифузното одбивање

распределбата на светлинската јачина го задоволува Ламбертовиот закон, т.е. во произволен правец, определен со аголот γ во однос на нормалата на одбивната површина, светлинската јачина е:

$$I_\gamma = I_0 \cdot \cos \gamma,$$

каде што со I_0 е означена светлинската јачина на одбиената светлина во правец на нормалата на површината од која светлината се одбива дифузно.



Слика 5.2.3 Дифузно одбивање

Сјајноста на површината што одбива дифузно е еднаква во сите правци. Ако таа сјајност ја означиме со L_p и ако плоштината на одбивната површина ја означиме со ΔS , тогаш, според равенката (2.12.10), вкупниот одбиен флуks изнесува:

$$\Phi_p = \pi \cdot L_p \cdot \Delta S. \quad (5.2.8)$$

Ако, пак, на одбивната површина паѓа рамномерно распределен флуks Φ , тој на неа создава осветленост E , при што важи равенката:

$$\Phi = E \cdot \Delta S. \quad (5.2.9)$$

Имајќи ги предвид равенките (5.2.8) и (5.2.9), равенката (5.2.1) може да се напише во вид:

$$\rho = \frac{\pi \cdot L_p}{E}. \quad (5.2.10)$$

Равенката (5.2.10) претставува важна врска помеѓу сјајноста и осветленоста на една површина што одбива несовршено, но дифузно. Таа често се пишува во вид:

$$L_p = \frac{\rho}{\pi} \cdot E. \quad (5.2.11)$$

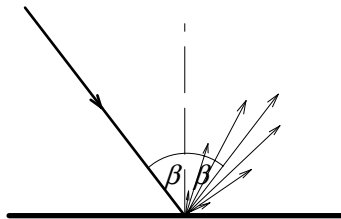
Значи, сјајноста на една површина што одбива дифузно е директно пропорционална на нејзината осветленост, при што коефициентот на пропорционалноста е еднаков на ρ/π .

Во табелата 5.2.3 се дадени коефициентите на одбивањето за некои материјали што одбиваат дифузно.

Табела 5.2.3 Коефициенти на дифузно одбивање на некои материјали [18]

Материјал	Коефициент на дифузно одбивање
Магнезиум оксид	0,96
Бариум оксид	0,95
Алабастер (ситнозрнест бел гипс)	0,92
Бела боја	0,80

П о л у д и ф у з н о одбивање имаме во случај кога одбивната површина светлината се одбива делумно насочено, а делумно дифузно, како што е прикажано на сликата 5.2.4. Притоа не важи Ламбертовиот закон, а одбиената светлина има најголема светлинска јачина во правец што би го имала во случај на насочено одбивање.

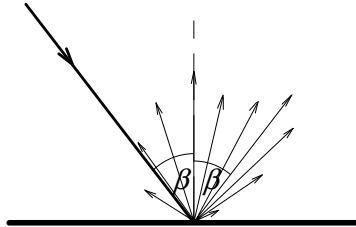


Слика 5.2.4 Полуифузно одбивање

Овој вид на одбивање се јавува кај: матирани метални површини, површини бојадисани со мрсна боја, лакирани површини, порцулански емајли и слични површини. Бидејќи кај овој вид одбивање распределбата на одбиениот флуks доста се разликува од распределбата пред одбивањето, ликовите во таквите огледала се нејасни и со помала сјајност.

М е ш а н о одбивање се нарекува одбивањето кај кое одбиената светлина е така распределена што во некои правци има особини на дифузно одбиена светлина, а во други има особини на насочено одбиена светлина, како што е прикажано на сликата 5.2.5. Во овој случај светлинската јачина на одбиената светлина има два максимума: еден во правец на нормалата на одбивната површина и друг во правец во кој би се одбила светлината во случај на насоченото одбивање. Кај површините што одбиваат мешано односот помеѓу флуksот одбиен насочено и флуksот одбиен дифузно зависи од големината на аголот под кој светлината

паѓа на одбивната површина, од измазнетоста на одбивната површина и од светлотехничките особини на материјалот од кој светлината се одбива. Во поглед на ликовите што се создаваат по одбивањето од површините што одбиваат мешано, може да се рече дека тие уште повеќе се деформирани отколку кај полудифузното одбивање и нивната сјајност е уште помала.



Слика 5.2.5 Мешано одбивање

Во материјалите што одбиваат мешано спаѓаат: млечното стакло, мермерот, порцуланскиот емајл и др.

5.3. Пропуштање на светлината

Односот помеѓу светлинскиот флуks Φ_r , што го пропушта телото, и светлинскиот флуks Φ , што паѓа на телото, се нарекува коефициент на пропуштање. Тој коефициент се означува со τ и за него може да се напише:

$$\tau = \frac{\Phi_r}{\Phi}. \quad (5.3.1)$$

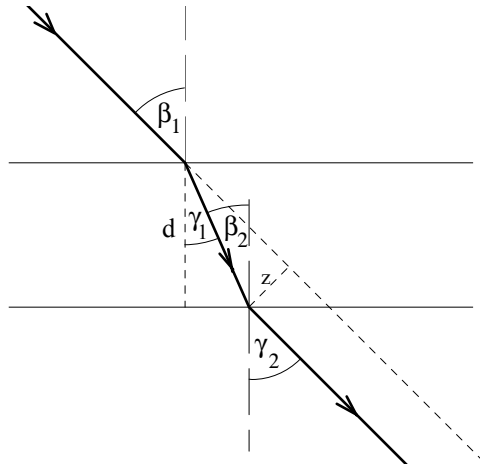
Аналогно на одбивањето, и пропуштањето на светлината може да се јави како: насочено, дифузно, полудифузно и мешано.

Н а с о ч е н о пропуштање е такво пропуштање при кое светлината, минувајќи низ телото, ја задржува големината и обликот на просторниот агол. Примери за таквото пропуштање се прикажани на сликите 5.3.1 и 5.3.2.

Во случај кога светлината минува низ планпаралелна плоча од провиден материјал (слика 5.3.1), пропуштените светлински зраци го имаат истиот правец како и пред пропуштањето, само се поместени паралелно. Големината на паралелното поместување може да се пресмета на следниов начин:

$$z = \frac{d \cdot \sin(\beta_1 - \gamma_1)}{\cos \gamma_1} = d \cdot \sin \beta_1 \cdot \left(1 - \frac{\cos \beta_1}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \beta_1}} \right), \quad (5.3.2)$$

каде што n е индекс на прекршување на материјалот. Од равенката (5.3.2) се гледа дека големината на поместувањето зависи од аголот под кој паѓаат светлинските зраци на плочата, од индексот на прекршувањето на употребениот материјал и од дебелината на плочата. Најчесто ова поместување не е големо и може да се занемари. Така, на пример, ако е $d=3 \text{ mm}$, $n=1,5$ и $\beta_1=45^\circ$, од равенката (5.3.2) ќе се добие $z=0,987 \text{ mm}$.



Слика 5.3.1 Пропуштање низ планпаралелна плоча

Значителна промена на правецот на светлинските зраци може да се постигне со нивното пропуштање низ провидна средина ограничена со две непаралелни површини (т.н. оптичка призма, претставена на сликата 5.3.2). Како што се гледа од сликата 5.3.2, промената на правецот на простирањето на светлината е за агол δ (наречен агол на девијацијата), кој е еднаков на:

$$\delta = (\beta_1 - \gamma_1) + (\gamma_2 - \beta_2). \quad (5.3.3)$$

Бидејќи е:

$$\theta = \gamma_1 + \beta_2, \quad (5.3.4)$$

равенката (5.3.3) може да се напише во вид:

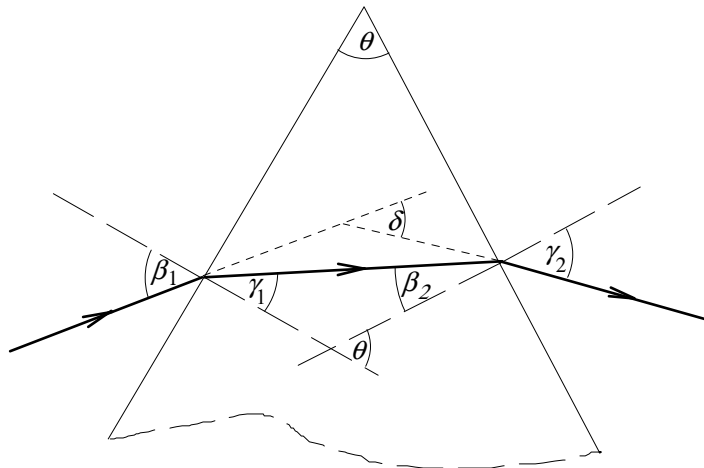
$$\delta = \beta_1 + \gamma_2 - \theta. \quad (5.3.5)$$

Ако имаме предвид дека важат равенките:

$$\sin \beta_1 = n \cdot \sin \gamma_1 \quad (5.3.6)$$

$$\sin \gamma_2 = n \cdot \sin \beta_2, \quad (5.3.7)$$

со нивно користење и со помош на равенката (5.3.4), со соодветен избор на β_1 , n и θ , може да се постигне (саканата) промена на правецот на простирањето на светлинските зраци за аголот δ , определен со равенката (5.3.5).



Слика 5.3.2 Пропуштање низ оптичка призма

И во случај на насочено пропуштање осветленоста може да се пресмета со формулата (2.5.5), која за овој случај може да се напише во вид:

$$E = \frac{I_\tau \cdot \cos \beta}{r^2}, \quad (5.3.8)$$

каде што со I_τ е означена светлинската јачина на пропуштената светлина, а r е должината на светлинските зраци од изворот до набљудуваната точка.

Низ плочата, која има особина насочено да пропушта светлина, светлинскиот извор (предметот на набљудување) јасно се гледа и неговиот лик не е деформиран. Во случај на пропуштање низ планпаралелна плоча е:

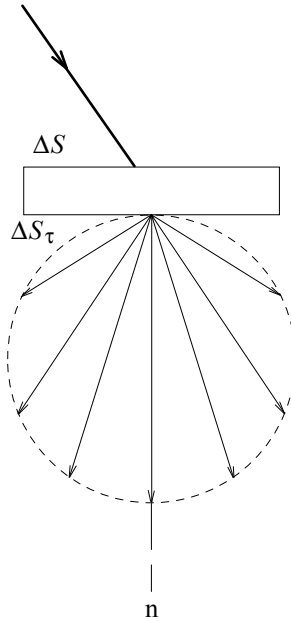
$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi} = \frac{I_\tau \cdot \Delta \Omega_\tau}{I \cdot \Delta \Omega} = \frac{I_\tau}{I} = \frac{L_\tau \cdot \Delta S_\tau}{L \cdot \Delta S} = \frac{L_\tau}{L}, \quad (5.3.9)$$

при што употребените ознаки се аналогни на тие во равенката (5.2.2). Од равенката (5.3.9) може да се заклучи дека сјајноста на ликот на изворот, што се гледа низ планпаралелна плоча, е еднаква на производот на коефициентот на пропуштањето на плочата и на сјајноста на изворот, набљудуван во истиот правец при непостоење на плочата. Аналогна релација важи и за светлинските јачини.

Во множеството на телата што пропуштаат насочено во прв ред спаѓаат безбојните и слабо обоените стакла.

Дифузно пропуштање се карактеризира со распределба на пропуштениот флукс според Ламбертовиот закон (слика 5.3.3). Ако со L_τ се означи сјајноста на површината преку која светлината го напушта телото што ја пропушта, а со ΔS_τ се означи плоштината на таа површина, тогаш според равенките (2.7.6) и (2.7.7) за вкупниот пропуштен флукс може да се напише:

$$\Phi_\tau = \pi \cdot L_\tau \cdot \Delta S_\tau. \quad (5.3.10)$$



Слика 5.3.3 Дифузно пропуштање

Ако, пак, со E се означи осветленоста на површината преку која светлината минува во телото што ја пропушта, а со ΔS се означи плоштината на таа површина, за флуксот што паѓа на телото може да се напише:

$$\Phi = E \cdot \Delta S, \quad (5.3.11)$$

а за пропуштениот флукс следува:

$$\Phi_\tau = \tau \cdot \Phi = \tau \cdot E \cdot \Delta S. \quad (5.3.12)$$

Израмнувајќи ги десните страни на равенките (5.3.10) и (5.3.12) и земајќи дека е $\Delta S_\tau = \Delta S$, добиваме:

$$L_\tau = \frac{\tau}{\pi} \cdot E. \quad (5.3.13)$$

Равенката (5.3.13) укажува дека сјајноста на излезната површина на телото кое ја пропушта светлината е директно пропорционална на осветленоста на приемната површина на телото, при што факторот на пропорционалност е π .

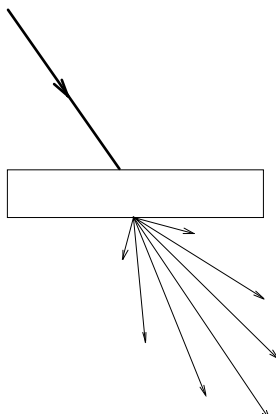
Меѓу материјалите што дифузно пропуштаат светлина спаѓаат разни опални стакла (млечни стакла). Тие стакла се состојат од еднородна маса на провидно стакло во која се наоѓаат провидни частички од материјал со друг индекс на прекршување. Поради тоа, минувајќи низ опалното стакло, светлината многукратно го менува својот правец и како резултат на тоа пропуштената светлина е дифузна. Оваа дифузија ќе биде дотолку посовршена колку што се поситни и побројни внесените частички. За да не дојде до насочено пропуштање кај опалните стакла, потребно е тие да имаат голема концентрација на многу ситни частички, но тоа неминовно влијае врз намалувањето на коефициентот на пропуштањето. Една од честите примени на материјалите што пропуштаат дифузно е при изработка на светилки чија што сјајност не треба да биде голема, дури и кога во нив се поставуваат сјјалици со голема сјајност.

П о л у д и ф у з н о пропуштање се одликува со распределба на пропуштениот светлински флуks во поголем просторен агол, во споредба со просторниот агол во кој бил распределен пред пропуштањето (слика 5.3.4). Притоа, максималната светлинска јачина е во истиот правец како и кога пропуштањето би било насочено.

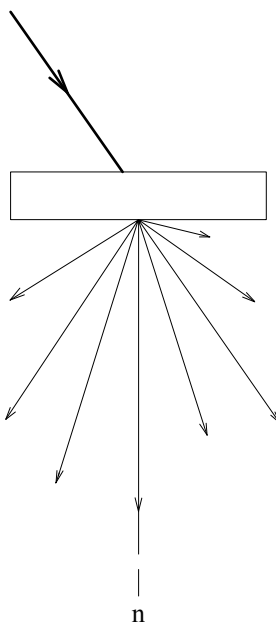
Меѓу материјалите што пропуштаат полудифузно најпознати се матираните стакла. Матирањето се изведува механички (со песочен млаз) или хемиски. Обично се матира само едната површина на стаклото. Постигнатите коефициенти на пропуштањето зависат од начинот на матирањето и најчесто изнесуваат од 0,7 до 0,9.

Материјалите што пропуштаат полудифузно се користат за слични намени како и материјалите што пропуштаат дифузно. Во тој поглед тие ги немаат особините на опалните стакла, но од нив се поевтини и имаат поголем коефициент на пропуштање. Тоа е причината што овие материјали имаат широка примена.

М е ш а н о пропуштање имаме во случај кога едниот дел од пропуштениот флуks има особини на дифузно пропуштен флуks, а другиот дел има особини на полудифузно пропуштен флуks, како што е прикажано на сликата 5.3.5. Од таа слика се гледа дека светлинската јачина на пропуштената светлина има два максимума. Еден во правец на нормалата на излезната површина и друг во правецот по кој би се простирала светлината во случај на насочено пропуштање.



Слика 5.3.4 Полудифузно пропуштање



Слика 5.3.5 Мешано пропуштање

5.4. Впивање на светлината

При одбивањето и пропуштањето на светлината неизбежна е и загуба на флуksот, како последица на впивањето (апсорпцијата) на светлината. Впивањето на светлината се карактеризира со коефициент на впивањето α , што се дефинира како однос на флуksот впиен од телото, Φ_α , и флуksот што паѓа на телото, Φ , т.е.

$$\alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi} = \frac{\Phi - (\Phi_p + \Phi_t)}{\Phi}. \quad (5.4.1)$$

Во општ случај, вкупниот флукс што паѓа на телото може да се раздели на три дела: одбиен, пропуштен и впиен. Притоа важи равенката:

$$\Phi = \Phi_{\rho} + \Phi_{\tau} + \Phi_{\alpha}. \quad (5.4.2)$$

Ако равенката (5.4.2) се подели со Φ , добиваме:

$$1 = \rho + \tau + \alpha. \quad (5.4.3)$$

Покрај тоа што зависи од особините на материјалот од кој е направено телото, коефициентот на впивањето зависи и од температурата на телото и од брановата должина (фреквенцијата) на светлината. По правило, телата имаат поголем коефициент на впивање за зрачењата со помали бранови должини. Како пример ќе го наведеме обичното стакло за прозорци. Тоа добро ја пропушта видливата светлина, но не и ултравиолетовите зраци.

За илустација, во табелата 5.4.1 се дадени коефициентите на одбивањето, пропуштањето и впивањето на некои материјали.

Табела 5.4.1 Светлотехнички карактеристики на некои материјали [18]

Материјал	τ	ρ	α	Дебелина <i>mm</i>
Провидно безбојно стакло	0,89-0,91	0,08	0,01-0,03	1,0-3,0
Релјефно безбојно стакло	0,57-0,90	0,08-0,24	0,02-0,04	3,2-5,9
Стакло матирано со песок	0,72-0,85	0,12-0,15	0,03-0,08	1,8-4,4
Стакло матирано со киселина	0,75-0,89	0,09-0,13	0,02-0,12	1,3-3,7
Млечно стакло - густо	0,10-0,66	0,30-0,76	0,04-0,28	1,3-6,2
Млечно стакло - добро пропусно	0,45-0,55	0,40-0,50	0,04-0,06	1,5-2,0
Мермер полиран од едната страна	0,03-0,06	0,50-0,61	0,27-0,47	8,1-9,3
Бел тенок пергамент	0,35-0,55	0,40-0,50	0,10-0,15	-
Светла хартија за абажури	0,42-0,50	0,33-0,40	0,13-0,20	-
Темна хартија за абажури	0,30-0,45	0,40-0,50	0,17-0,23	-

5.5. Повеќекратно одбивање

Во светлотехничката пракса често се јавува потреба за пресметка на повеќекратно одбивање кај одделни вдлабени површини или помеѓу неколку рамни или вдлабени површини. Како едноставен пример ќе набљудуваме сфера од опално стакло со коефициент на одбивањето ρ и коефициент на пропуштањето τ . Ако во внатрешноста на сферата се наоѓа сијалица која дава светлински флукс Φ , природно е да се постави прашањето колкав ќе биде флуксот $\Phi_{\text{пропушт.}}$, што го зрачи опалната сфера, ако впивањето на сијалицата може да се занемари. За изнаоѓање одговор на поставеното прашање ќе претпоставиме дека од почетокот на светењето сијалицата го дава флуксот Φ . Тој флукс паѓа на сферата, при што низ сферата поминува флуксот $\tau\Phi$, а флуксот $\rho\Phi$ се одбива од неа.

Одбиениот флуks целосно паѓа на внатрешната површина на сферата и неговиот дел $\tau\rho\Phi$ поминува низ неа, а делот $\rho^2\Phi$ повторно се одбива итн. На тој начин за вкупниот пропуштен флуks може да се напише:

$$\Phi_{\text{пропушт.}} = \tau \cdot \Phi \cdot (1 + \rho + \rho^2 + \dots) = \frac{\tau}{1 - \rho} \cdot \Phi. \quad (5.5.1)$$

Според тоа, степенот на искористување на опалната сфера изнесува:

$$\eta_{\text{сфера}} = \frac{\Phi_{\text{пропушт.}}}{\Phi} = \frac{\tau}{1 - \rho} = \frac{\tau}{\alpha + \tau}. \quad (5.5.2)$$

Вкупниот светлински флуks што паѓа на внатрешната површина на сферата е:

$$\Phi_{\text{внатр.}} = (1 + \rho + \rho^2 + \dots) \Phi = \frac{1}{1 - \rho} \cdot \Phi, \quad (5.5.3)$$

што значи дека тој флуks е поголем од флуksот на изворот.

Да го разгледаме и поопштиот случај на повеќекратно одбивање од отворена вдлабена површина со плоштина S и со плоштина на отворот S_0 (слика 5.5.1). Нека вдлабената површина одбива светлина, при што коефициентот на одбивањето е ρ , и нека од флуksот паднат на вдлабената површина по одбивањето едниот дел излегува низ отворот, а другиот дел повторно паѓа на вдлабената површина итн. Во таквите услови не е едноставно да се изнајде одговор на следново прашање: ако флуksот Φ паѓа на вдлабената површина, колкав флуks $\Phi_{\text{излезен}}$ излегува низ отворот, ако се знае дека при еднократно одбивање од вдлабената површина делот што не излегува низ отворот (и повторно паѓа на таа површина) се добива како производ на коефициентот q и вкупниот одбиен флуks. До одговорот на поставеното прашање може да се дојде преку соодветна анализа. По првото одбивање од вдлабената површина, низ отворот излегува флуksот $(1-q)\rho\Phi$, а флуksот $\rho q\Phi$ повторно паѓа на вдлабената површина. По второто одбивање, низ отворот излегува флуksот $(1-q)\rho^2 q\Phi$, а повторно на вдлабената површина паѓа флуksот $\rho^2 q^2\Phi$. По третото одбивање, низ отворот излегува флуksот $(1-q)\rho^3 q^2\Phi$, а повторно паѓа на вдлабената површина флуksот $\rho^3 q^3\Phi$ итн. Сумирајќи ги флуksовите што излегуваат низ отворот, добиваме:

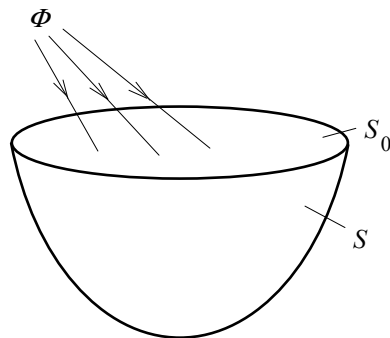
$$\Phi_{\text{излезен}} = (1-q) \cdot \rho \cdot \Phi \cdot (1 + \rho \cdot q + \rho^2 \cdot q^2 + \dots),$$

т.е.

$$\Phi_{\text{излезен}} = \frac{(1-q) \cdot \rho}{1 - \rho \cdot q} \cdot \Phi, \quad (5.5.4)$$

а сумирајќи ги флуksовите што паѓаат на вдлабената површина, добиваме:

$$\Phi_{\text{внатр.}} = \Phi \cdot (1 + \rho \cdot q + \rho^2 \cdot q^2 + \dots) = \frac{1}{1 - \rho \cdot q} \cdot \Phi. \quad (5.5.5)$$



Слика 5.5.1 Пример на услови за повеќекратно одбивање

Односот помеѓу вкупниот флуks кој при повеќекратна рефлексија паѓа на вдлабена површина и флуksот што доаѓа однадвор се нарекува коефициент на повеќекратното одбивање. За него може да се напише:

$$\rho_{\text{пов.}} = \frac{\Phi_{\text{внатр.}}}{\Phi} = \frac{1}{1 - \rho \cdot q}. \quad (5.5.6)$$

Од равенката (5.5.6) може да се заклучи дека вредноста на коефициентот на повеќекратното одбивање е поголема од единица, дека на поголемо q му соодветствува поголемо $\rho_{\text{пов.}}$ и дека во случаите кога се јавува повеќекратно одбивање осветленоста на одбивната површина е поголема, но поголеми се и загубите во системот.

5.6. Примери

5.6.1. Во просторниот агол од половина стерадијан сфера од млечно стакло зрачи рамномерно распределен светлински флуks од 900 lm. Внатрешниот дијаметар на сферата е $D=30$ cm. Внатрешната површина одбива дифузно. Коефициентот на одбивањето од млечното стакло е $\rho=0,3$, а неговиот коефициент на пропуштање е $\tau=0,6$. Да се определат сјајноста на надворешната и сјајноста на внатрешната површина на сферата.

Решение:

Дадениот флуks е пропуштениот флуks, Φ_{τ} . Според равенката (5.3.1) флуksот што паѓа на внатрешната страна на сферата е:

$$\Phi = \frac{\Phi_{\tau}}{\tau} = \frac{900}{0,6} = 1500 \text{ lm.}$$

Врз основа на зададените услови, може да се смета дека флуksот Φ е рамномерно распределен во наведениот просторен агол, па за осветленоста на внатрешната површина на соодветната калота може да се напише:

$$E = \frac{\Phi}{S},$$

каде што S е плоштината на калотата.

Бидејќи е:

$$S = \Omega \cdot \frac{D^2}{4} = 0,5 \cdot 0,15^2 = 0,01125 \text{ m}^2,$$

следува:

$$E = \frac{1500}{0,01125} = 133333 \text{ lm}.$$

Млечното стакло дифузно ја пропушта светлината, па за надворешната сјајност можеме да ја користиме врската помеѓу осветленоста пред пропуштањето и сјајноста по пропуштањето, што беше дефинирана со равенката (5.3.13). Така добиваме:

$$L_{\text{надв.}} = \frac{\tau \cdot E}{\pi} = \frac{0,6 \cdot 133333}{\pi} = 25464 \text{ cd / m}^2.$$

Одбивањето од внатрешната површина е дифузно, па сјајноста на таа површина може да се определи со равенката (5.2.11), т.е.

$$L_{\text{внатр.}} = \frac{\rho \cdot E}{\pi} = \frac{0,3 \cdot 133333}{\pi} = 12732 \text{ cd / m}^2.$$

5.6.2. Сфера од млечно стакло има дијаметар $D=50$ cm. За млечното стакло се познати коефициентите на пропуштањето и одбивањето: $\tau=0,5$ и $\rho=0,5$. Сјајноста на надворешната површина на сферата е $L_{\text{надв.}}=5000$ cd/m². Во центарот на сферата е поставен униформен сферичен светлински извор со дијаметар $d=0,5$ cm. Ако се земе дека светлинскиот извор не ја впиwa ниту ја одбива светлината што на него паѓа по одбивањето од сферата, да се определи сјајноста на светлинскиот извор.

Решение:

Сферата од млечно стакло дифузно ја пропушта светлината и од равенката (5.3.13) за осветленоста на нејзината внатрешна површина следува:

$$L_{\text{надв.}} = \frac{\tau}{\pi} \cdot E_{\text{внатр.}}$$

На внатрешната површина на сферата светлинскиот флуks е рамномерно распределен и неговиот вкупен износ е:

$$\Phi = S \cdot E_{\text{внатр.}} = \pi \cdot D^2 \cdot E_{\text{внатр.}} = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot L_{\text{надв.}}}{\tau}.$$

Овој флуks е последица и на постоењето на повеќекратно одбивање од затворената сфера. Според равенката (5.5.6) коефициентот на повеќекратното одбивање е:

$$\rho_{\text{пов.}} = \frac{1}{1-\rho} = \frac{5}{3}$$

и за светлинскиот флуks на изворот добиваме:

$$\Phi_{\text{извор}} = \frac{\Phi}{\rho_{\text{пов.}}} = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot L_{\text{надв.}}}{\tau \cdot \rho_{\text{пов.}}}.$$

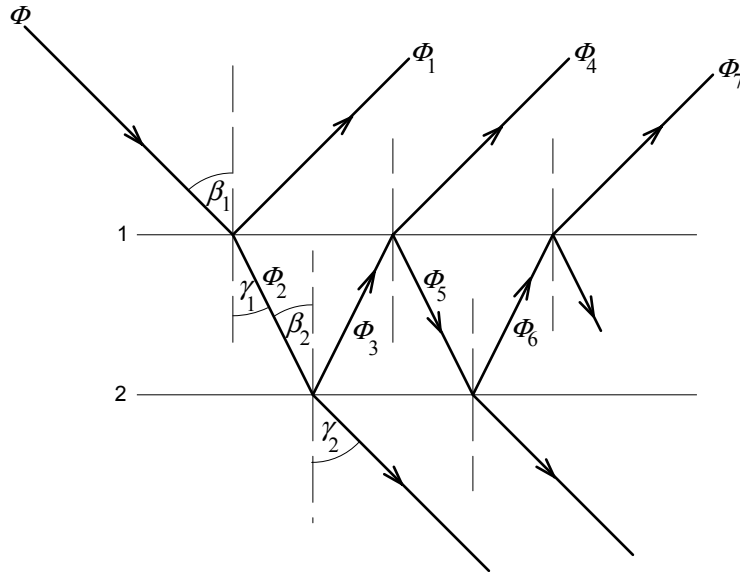
Поради униформноста на изворот, неговата светлинска јачина е:

$$I = \frac{\Phi_{\text{извор}}}{4\pi} = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot L_{\text{надв.}}}{4\tau \cdot \rho_{\text{пов.}}},$$

од каде, за неговата сјајност, следува:

$$L_{\text{извор}} = \frac{I}{\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{D^2 \cdot L_{\text{надв.}}}{\tau \cdot d^2 \cdot \rho_{\text{пов.}}} = 6 \cdot 10^7 \text{ cd/m}^2.$$

5.6.3. Под агол $\beta_1=35^\circ$ на планпаралелна стаклена плоча паѓа природна светлина (слика 5.6.3). Индексот на прекршувањето на стаклото е $n=1,53$. Апсорпцијата на светлината во стаклото може да се занемари. Колкав процент од паднатата светлина ќе се одбие од плочата?



Слика 5.6.3

Решение:

Бидејќи е:

$$\sin \gamma_1 = \frac{\sin \beta_1}{n} = \frac{\sin 35^\circ}{1,53} = 0,37489$$

и

$$\gamma_1 = 22^\circ,$$

според Френеловата равенка (5.2.4) за коефициентот на одбивањето, при првото одбивање од предната површина на стаклото следува:

$$\rho_1 = 0,0472.$$

Кај втората површина е $\beta_2 = \gamma_1$ и $\gamma_2 = \beta_1$ и од равенката (5.2.4) не е тешко да се заклучи дека е $\rho_2 = \rho_1$. Ако светлинскиот флуks што паѓа на стаклената плоча го означиме со Φ , тогаш флуksот одбиен од предната површина е:

$$\Phi_1 = \rho_1 \cdot \Phi = 0,0472 \cdot \Phi,$$

а флуksот по првото прекршување кај предната површина е:

$$\Phi_2 = (1 - \rho_1) \cdot \Phi.$$

Флуksот првпат одбиен од втората површина е:

$$\Phi_3 = \rho_2 \cdot \Phi_2 = \rho_2 \cdot (1 - \rho_1) \cdot \Phi = 0,045 \cdot \Phi,$$

а флуksот првпат одбиен од внатрешната страна на предната површина е:

$$\Phi_5 = \rho_1 \cdot \Phi_3 = \rho_1 \cdot \rho_2 \cdot (1 - \rho_1) \cdot \Phi = 0,00212 \cdot \Phi.$$

Флуksот вторпат одбиен од втората површина е:

$$\Phi_6 = \rho_2 \cdot \Phi_5 = \rho_1 \cdot \rho_2^2 \cdot (1 - \rho_1) \cdot \Phi = 0,0001 \cdot \Phi.$$

Флуksот Φ_4 е:

$$\Phi_4 = (1 - \rho_1) \cdot \Phi_3 = \rho_2 \cdot (1 - \rho_1)^2 \cdot \Phi.$$

Бидејќи флуksот Φ_6 може да се занемари во однос на флуksевите Φ_1 и Φ_3 , за вкупниот одбиен флуks може да се напише:

$$\Phi_p = \Phi_1 + \Phi_4 = \rho_1 \cdot \Phi + \rho_2 \cdot (1 - \rho_1)^2 \cdot \Phi = \left[\rho_1 + \rho_2 \cdot (1 - \rho_1)^2 \right] \cdot \Phi,$$

на што му соодветствува коефициент на одбивањето:

$$\rho = \frac{\Phi_p}{\Phi} = \rho_1 + \rho_2 \cdot (1 - \rho_1)^2 = 0,09.$$

Тоа значи дека од плочата се одбиваат 9% од светлината што на неа паѓа.

Да забележиме дека занемарувањето на флуksот Φ_6 , всушност, се сведува на занемарувањето на флуksот Φ_5 . Тоа често се практикува и тогаш добиваме:

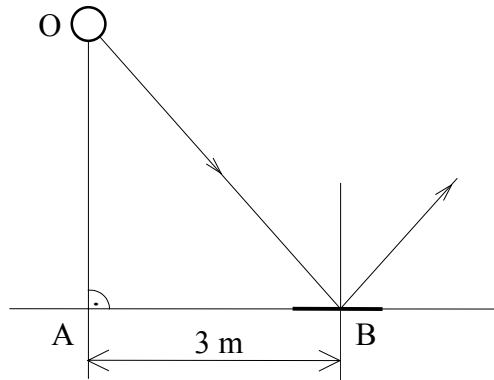
$$\rho = \rho_1 + \rho_2 \cdot (1 - \rho_1),$$

што практично малку се разликува од претходното. Во случаите кога се занемарува повеќекратно одбивање, вообичаено е да се користи последниот израз.

5.7. Задачи

5.7.1. За светилка со флуоресцентни сијалици е познат нормираниот дијаграм на распределба на светлинската јачина во симетралната рамнина нормална на подолжната геометриска оска на светилката. Тој дијаграм е даден на сликата 3.7.4б. Во светилката се поставени две флуоресцентни сијалици, секоја со флуks 1060 lm. Средиштето на светилката е поставено во точката О и нејзината оптичка оска се поклопува со правецот ОА (слика 5.7.1). Дел од израчената светлина паѓа на рамно огледало и од него се одбива. Меѓусебната положба на светилката и огледалото е прикажана на сликата 5.7.1. Подолжната геометриска оска на светилката е паралелна на рамнината на огледалото и се наоѓа на растојание 4 m од неа.

Должината на светилката е 60 cm. Средиштето на огледалото е во точката В. Коефициентот на одбивањето од огледалото е 0,9.



Слика 5.7.1

- а) Колкава е светлинската јачина на светлината одбиена од огледалото?
- б) Колкава ќе биде светлинската јачина на одбиената светлина ако огледалото се заврти околу својата оска нормална на рамнината на цртежот, во насоката на стрелките на часовникот, за агол од 20° ?
- 5.7.2. Сноп на сончева светлина паѓа, под агол $\beta=70^\circ$, на прозорец со две стакла. Индексот на прекршувањето на стаклата е $n=1,5$. Колкав процент од паднатата светлина на прозорецот ќе мине низ двете негови стакла? Повеќекратното одбивање и апсорпцијата можат да се занемарат.
- 5.7.3. Сноп на природна светлина паѓа, под агол $\beta=0$, на површината на планпаралелна плоча. Плочата е од стакло со индекс на прекршување $n=1,53$. Апсорпцијата во стаклото може да се занемари. Да се определи еквивалентниот коефициент на одбивањето од плочата (водејќи сметка дека светлината се одбива од двете површини на плочата).
- 5.7.4. Во центарот на сфера од млечно стакло е поставен многу мал светлински извор што зрачи светлински флуks од 500 lm. Дијаметарот на сферата е 20 cm. Внатрешната површина на сферата одбива дифузно. Коефициентот на одбивањето од сферата е 0,6, а коефициентот на пропуштањето низ неа е 0,3. Уважувајќи го ефектот на повеќекратното одбивање, да се определат сјајноста на внатрешната и сјајноста на надворешната површина на сферата.

6. ДРУГИ ПОИМИ ВО ВРСКА СО ГЛЕДАЊЕТО И ОСВЕТЛЕНИЕТО

6.1. Релативна спектрална светлинска ефективност на човечкото око

Утврдено е дека човечкото око не е во еднаква мерка осетливо на сите фреквенции (т.е. бои) од спектарот на видливото зрачење. Освен тоа, осетливоста на окото на истите бои зависи од големината на сјајноста. Тоа е последица на механизмот на функционирањето на човечкото око. Во своите публикации Меѓународната комисија за осветление (Commission Internationale d'Eclairage - CIE) зборува за функциите на релативната спектрална осетливост на човечкото око при дневно и ноќно гледање, нарекувајќи ги функции на релативна спектрална светлинска ефективност на монохроматско зрачење. Графиците на тие функции се прикажани на сликата 1.1.1. Полната линија на сликата 1.1.1 соодветствува на условите кога сјајностите се поголеми од 3 cd/m^2 (услови на дневно гледање), додека испрекинатата линија соодветствува на условите кога сјајностите се помали од $3 \cdot 10^{-5} \text{ cd/m}^2$ (услови на ноќно гледање). Во услови на дневно гледање човечкото око има најголема осетливост на светлина со бранова должина од 555 nm , додека во услови на ноќно гледање има најголема осетливост на светлина со бранова должина од 505 nm . Од дијаграмите на сликата 1.1.1 се гледа дека при дневното гледање, во споредба со ноќното гледање, човечкото око има значително поголема осетливост на жолтата, портокаловата и црвената светлина, но и значително помала осетливост на сината и виолетовата светлина.

Уште во 1823 година чешкиот научник Ј. Е. Пуркиње (J. E. Purkyne, 1787-1869) утврдил дека разнобојни површини иако имаат еднакви сјајности во услови на дневно гледање, различно се затемнуваат при значително намалување на нивната сјајност, т.е. при премин на ноќно гледање. Притоа сините површини изгледаат посветли отколку црвените, жолтите и портокаловите. Појавата на релативно поосветлување на сината и затемнување на црвената, во споредба со белата боја, при премин од дневното кон ноќното гледање, е наречена ефект на Пуркиње. За овој ефект треба да се води сметка при проектирање на осветление во специфични услови, како што се театрите и слично.

Според договорот постигнат во 1924 година во рамките на Меѓународната комисија за осветление, како основна функција на спектралната осетливост на човечкото око е земена функцијата на релативната спектрална светлинска ефективност во услови на дневно гледање (полна крива на сликата 1.1.1). Таа функција е земена предвид при создавање на денес употребуваниот систем на светлински големини и единици.

6.2. Видно поле

Ако набљудувачот не ја движи главата и очите, тој ги гледа предметите сместени во рамките на определен просторен агол, кој се нарекува видно поле. За да ја добиеме претставата за границите на видното поле, ќе замислиме дека правата што се поклопува со правецот на гледањето е хоризонтална и дека на неа се сечат две меѓусебно нормални рамнини, од кои едната е хоризонтална, а другата е вертикална. Во однос на правецот на гледањето, границите на видното поле во вертикалната рамнина приближно се определени со агли од 60° над и 60° под тој правец, а во хоризонталната рамнина со агли од 75° лево и 75° десно од тој правец. Се разбира дека предметите разместени во разни делови на видното поле околу не ја гледа еднакво јасно. Најјасно се гледаат предметите што се наоѓаат на правецот на гледањето, на растојание поголемо од 20 cm (од очите на набљудувачот) и ако, притоа, видниот агол е доволно голем. Видниот агол е агол што го зафаќаат правите повлечени од средиштето на очната леќа кон двата краја на набљудуваната отсечка. За да може околу две одделени точки да ги гледа како одделени точки, потребно е отсечката на чиешто краишта лежат тие точки околу да ја гледа со виден агол од најмалку една минута.

6.3. Контраст

Да тргнеме од еден пример. Истиот текст е напишан два пати. Во двата случаи буквите биле црни, со еднаква сјајност и со еднаква големина. Но, во првиот случај хартијата била виолетова, а во вториот била бела. Во кој од случаите текстот бил полесен за читање? Според искуството, може да се очекува секој да одговори дека текстот напишан на бела подлога е полесен за читање. Ова е едноставен пример од кој се гледа дека за добро гледање на предметот е нужно неговата сјајност јасно да се разликува од сјајноста на околината.

За квантитативна оценка на субјективното чувство за разлика на сјајностите на две подрачја од видното поле што се гледаат едновременно или непосредно едно по друго, воведен е поимот контраст на сјајноста. Тој се означува со L_c и е дефиниран со равенката:

$$L_c = \frac{|L_1 - L_2|}{L_1}, \quad (6.3.1)$$

каде што е:

L_1 - сјајноста на околината,

L_2 - сјајноста на предметот.

Покрај со односот (6.3.1), во литературата може да се сретне дека контрастот на сјајноста е дефиниран и на друг начин. Еден таков пример е:

$$L_c = 2 \cdot \frac{|L_1 - L_2|}{L_1 + L_2}. \quad (6.3.2)$$

Освен тоа, во светлотехниката се користи и поимот контрастна осетливост. Таа се означува со C и се дефинира како реципрочна вредност на контрастот на сјајноста, т.е.

$$C = \frac{1}{L_c}. \quad (6.3.3)$$

За добро гледање е потребно сјајноста на набљудуваниот предмет јасно да се разликува од сјајноста на околината. Но таа разлика не смее да биде преголема, бидејќи во тој случај гледањето ќе биде отежнато и заморно. Според [66] односите на сјајностите не треба да ги пречекоруваат вредностите наведени во табелата 6.3.1. Во табелата 6.3.1 помалите вредности се однесуваат на простории во кои се работи со мали детали и се бара висока концентрација при работата. Како примери на такви простории можат да се наведат: цртални, училници, простории за монтажа на мерни инструменти и сл. Треба да се забележи дека на видниот комфор, покрај сјајностите, влијание имаат и боите.

Табела 6.3.1 Најголеми дозволени односи на сјајности (според [66])

	Најголем дозволен однос на сјајностите
Помеѓу главното видно поле и поблиската околина на видното поле	3:1 до 5:1
Помеѓу главното видно поле и подалечната околина на видното поле	10:1 до 20:1
Помеѓу изворот на светлината и соседните површини во видното поле	20:1 до 40:1
Било каде во просторијата	40:1 до 80:1

6.4. Блескотење

Блескотење настапува кога во видното поле се наоѓа некој предмет со многу поголема сјајност од сјајноста на останатите делови на видното поле. Блескотењето е појава што ја намалува способноста на окото за јасно гледање и создава помали или поголеми тешкотии при гледањето. Покрај тоа, свртувајќи го постојано вниманието врз себе, блескотењето создава чувство за пречење и замор во сите ситуации кога човекот се занимава со активност (работа) што бара концентрација. Дали една светла површина ќе создаде ефект на блескотење не зависи само од нејзината сјајност, туку и од сјајноста на нејзината поблиска и подалечна околина. Доколку сјајноста на околината е поголема дотолку е потребно и сјајноста на светлечката површина да биде поголема, за да предизвика блескотење и обратно. Така, на пример, ако сјајноста на околината е помала од 10^{-4} cd/m^2 (што се јавува во услови на ноќ без

месечина), блескотење предизвикува секоја површина со сјајност поголема од 200 cd/m^2 , додека во услови кога сјајноста на околината е околу 10 cd/m^2 (што приближно соодветствува на вештачко осветление во работни простории), блескотење предизвикува секоја површина со сјајност поголема од 7500 cd/m^2 . Во оваа смисла илустративен е и примерот со автомобилските фарови. Дење, кога заднината е светла, тие не создаваат силно блескотење, додека ноќе (при темна заднина) тие предизвикуваат силно блескотење, наречено заслепување. Покрај кажаното, треба да се забележи дека, независно од сјајноста на околината, предметите чија сјајност е поголема од 200000 cd/m^2 секогаш предизвикуваат блескотење.

Според условите за појава на блескотење разликуваме: истовремено блескотење и дополнително блескотење. Ако површината (најчесто на некој светлински извор) која предизвикува блескотење се наоѓа во видното поле, блескотењето се нарекува истовремено. Ако блескотењето се јавува по изнесувањето на светлинскиот извор (примарен или секундарен) од видното поле, таквото блескотење се нарекува дополнително.

Чувството на непријатност, пречење и замор, кое потекнува од блескотењето, тешко може бројно да се изрази. Затоа оценките за степенот на блескотењето се главно квалитативни. Покрај тоа, констатирано е дека светлината со помала бранова должина (сината и виолетовата) во поголема мерка предизвикува блескотење одошто светлината со поголема бранова должина (портокаловата и црвената).

Во осветлението на работни простории, предавални, концертни сали, театарски сали, кино-сали и други слични објекти, треба внимателно да се одбегнат сите можности за појава на блескотење, бидејќи во тие простории секое блескотење се смета за штетно. Притоа треба да се внимава на фактот дека причината за појава на блескотење, покрај несоодветни светилки или нивното несоодветно поставување, можат да бидат и површините што одбиваат насочено.

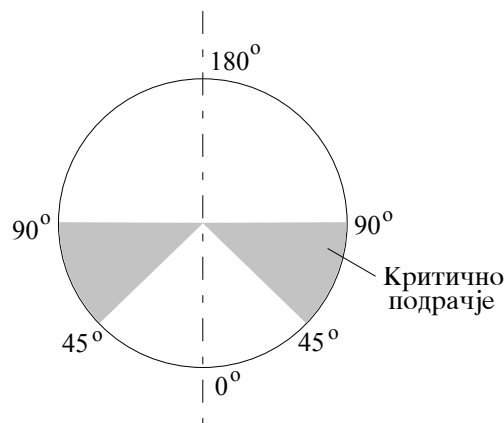
Меѓутоа, во простории за разонода и забава (диско клубови, барови и сл.), во соодветна мерка, блескотењето намерно се предвидува. Во овие простории не се работи, туку се забавува и од осветлението не се бара да создаде оптимални услови за гледање, туку да создаде атмосфера за добро и весело расположение. За постигнување на таа цел може да послужи и соодветно блескотење, бидејќи тоа предизвикува посилено надразнување на мрежницата на окото, што условува човекот да се доведе во состојба на поголема живост и развеселеност.

Ако причината за појава на блескотење се извори со голема сјајност, таквото блескотење се нарекува директно блескотење. За намалување (односно елиминирање) на директното блескотење можат да се преземаат следниве мерки:

- користење на извори со помала сјајност;

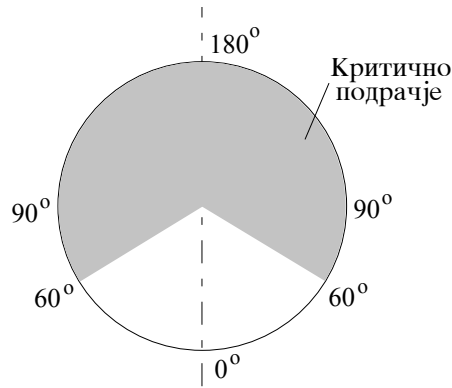
- соодветна ориентација на изворите во просторот и
- поставување на изворите надвор од видното поле, односно зад соодветни заклони.

За да се намалат условите за појава на директното блескотење, вообичаено е сјајноста на светилките да се ограничува во определени подрачја, кои се нарекуваат критични подрачја. Во тие подрачја сјајноста на светилката не треба да биде поголема од пропишаната. Кое подрачје е критично за една светилка во прв ред зависи од нејзината намена. Во таа смисла стандардот [66] предвидува вредности на граничните сјајности и границите на критичните подрачја за светилките за општо осветление и за светилките за дополнително осветление. (Подетално за овие видови на осветление може да се види во главата 9.) Кај светилките за општо осветление на простории критичното подрачје го ограничуваат правците што со оптичката оска на светилката (која обично се поклопува со вертикалата) зафаќаат агли од 45° и 90° , а граничната сјајност е 3000 cd/m^2 . Тоа значи дека кај тие светилки сјајноста во било кој правец кој со оската на светилката зафаќа агол помеѓу 45° и 90° (слика 6.4.1) не треба да биде поголема од 3000 cd/m^2 .



Слика 6.4.1 Критично подрачје за светилките за општо осветление [66]

Кај светилките за дополнително осветление на работните места граничната сјајност е 2000 cd/m^2 , а граничното подрачје го ограничуваат правците што со оската на светилката зафаќаат агли од 60° до 180° (слика 6.4.2). Тоа значи дека кај тие светилки сјајноста во било кој правец кој со оската на светилката зафаќа агол помеѓу 60° и 180° не треба да биде поголема од 2000 cd/m^2 .



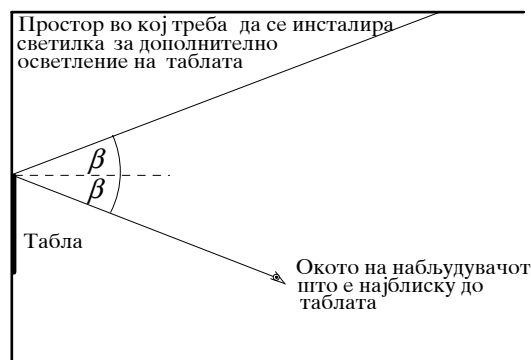
6.4.2 Критично подрачје за светилките за дополнително осветление [66]

Ако за појавата на блескотење е пресудно постоење на површини со висок коефициент на насочено одбивање, блескотењето се нарекува рефлексно. За да не дојде до појава на рефлексно блескотење, можат да се преземат следниве мерки:

- распоредување на изворите и одбивните површини така правците на насоченото одбивање да не се поклопуваат со правците на гледањето;
- избирање на одбивни површини што не одбиваат насочено (на пример, матирани површини);
- користење на светилки со помала сјајност.

Ќе наведеме еден пример како се постапува за да не се јави рефлексно блескотење од разни табла, како што се: мокра училишна табла, табла со инструменти, разни слики и слично. За исправно решавање на овој проблем е потребно, меѓу другото, да бидат познати локацијата на горниот раб на таблата и позицијата на окото на набљудувачот кој е најблиску до таблата. Како што се гледа од сликата 6.4.3, наведените податоци се доволни за определување на границата на просторот во кој треба да се постави светилка за дополнително осветление на таблата, за да не дојде до појава на рефлексно блескотење од неа.

Со оглед на последиците што ги предизвикува блескотењето, разликуваме: физиолошко блескотење и психолошко блескотење. Физиолошкото блескотење предизвикува намалување на видната способност. Тоа намалување обично е привремено, но во случаи на исклучително силни блескотења, особено ако тие не се краткотрајни, можни се и трајни оштетувања на видот. Психолошкото блескотење се јавува, пред сè, во случаи кога набљудувачот подолго време престојува во просторија во која постои ефект на блескотење (кое и не мора да биде многу силно). Тоа се манифестира како субјективно чувство на замор, нервоза и неудобност, но тоа не мора да повлекува намалување на видната способност.



Слика 6.4.3 Определување простор за поставување светилка за дополнително осветление на табла

6.5. Температура на боја

Под температура на боја на еден светлински извор се подразбира температурата на идеално црно тело, во Келвинови степени, на која тоа тело зрачи светлина со иста боја како и набљудуваниот светлински извор. За илустрација, во табелата 6.5.1 се наведени температурите на бојата за некои светлински извори.

Табела 6.5.1 Температури на бојата за некои светлински извори

Светлински извор	Температура на бојата °K
Парафинска свеќа	1920
Петролеумска лампа	2050
Сијалица со метално влакно	2650-3370
Флуоресцентна сијалица	2700-6500
Месечина	4150
Сонце (набљудувано над Земјината атмосфера)	6500

При проектирање на осветление треба да се води сметка температурата на бојата на предвидениот извор да биде ускладена со нивото на осветленоста. Притоа важи правилото според кое во случаите каде се бара помала осветленост е поповолно да се користат извори со пониска температура на бојата и, обратно, во случаите каде се бара повисока осветленост да се користат извори со повисока температура на бојата. За практично решавање на овој проблем е погодно да се користи дијаграм даден на сликата 6.5.1. Тој дијаграм е познат како дијаграм на Круитхоф. Се смета дека температурата на бојата на светлинскиот извор и осветленоста се добро одбрани ако на нив им соодветствува точка во незасенчениот дел (дијаграм на сликата 6.5.1). Само при правилно одбрана температура на бојата на светлинскиот извор определената осветленост остава удобен впечаток. Ако со извори со определена температура

јата на истиот објект при употреба на референтен извор на светлина. Индексот на репродукција на боја е големина со која се оценува способноста на изворот на светлина во усогласување на бои, односно во идентификација на идентични бои и разликување на бои што не се идентични. Овој индекс се означува со R_a . Неговата најголема вредност е 100. Ако е $R_a=100$, изворот обезбедува совршена репродукција на боите.

7. ЕЛЕКТРИЧНИ СИЈАЛИЦИ

7.1. Општо

Од вештачките извори на светлина во светлотехничката пракса најмногу се користат тие што електричната енергија ја претвораат во светлинска. Тие извори се нарекуваат електрични светлински извори или електрични сијалици. Со оглед на начинот на настанувањето на светлината во нив, сијалиците можат да се поделат во две основни групи:

- сијалици во кои светлината се добива од усвитено метално влакно и
- сијалици во кои светлината се добива по пат на електрично празнење низ гас или пареа.

Во првата група спаѓаат сијалиците со метално влакно и халогените сијалици. Втората група е побројна. Во неа спаѓаат: флуоресцентните сијалици, живините сијалици со висок притисок, металхалогените сијалици, натриумовите сијалици со висок притисок, натриумовите сијалици со низок притисок, ксенонските сијалици и други сијалици со племенити гасови. Живините сијалици со висок притисок и метално влакно би можеле да бидат и во едната и во другата група. Покрај наведените сијалици, за специфични цели се користат специјални извори на светлина, во кои спаѓаат: електролуминисцентни панели, светлечки диоди, извори на светлина со радиоактивни изотопи и ласери.

7.2. Сијалици со метално влакно

Кај овие сијалици влакното порано било правено од осмиум, потоа од тантал, а денес се прави од волфрам. Волфрамот е подобен поради високата температура на топењето (3655 °K), како и поради големата механичка цврстина и релативно бавно испарување при високи температури. Сепак, жица од чист волфрам не се користи, бидејќи при нејзиното затошлување доаѓа до рекристализација, при што влакнестата структура преминува во кристална, а жицата станува крпа и неотпорна. Овој недостаток се ублажува ако на волфрамот му се додаде малку ториумов оксид.

За да се спречи оксидација на усвитеното влакно, тоа се става во стаклен балон, чиј облик може да биде во вид на: крупа, сфера, цевка, печурка или пламен на свеќа. Балоните се прават од стакло што е провидно, матирано, опализирано, инколизирано (внатрешната страна на балонот е прекриена со тенок слој на силициум), обоено со определена боја или делумно метализирано. Кај првите сијалици воздухот бил извлечен од балонот. Денес тоа се прави само кај сијалиците со мали моќности. Тие сијалици често се нарекуваат вакуум-сијалици.

Кај сијалиците со метално влакно само мал дел од вложената електрична енергија се претвора во светлинска. Колкав ќе биде тој дел, во прв ред зависи од температурата на влакното, бидејќи, според Виновиот закон (Wien), со повишувањето на температурата на телото сè поголем дел од енергијата што телото ја зрачи е во вид на видливото зрачење. За илустрација ќе наведеме дека кај идеалното црно тело на температурата од 2000 °K само 3% од израчената енергија е во вид на светлина, додека при температурата од 3000 °K тој дел изнесува 16%. Од тоа произлегува дека, ако сакаме сијалицата да има поголемо специфично производство, нужно е нејзиното влакно да се загрее на повисока температура. Но, при тоа се јавуваат тешкотии. На повисоките температури волфрамот побрзо испарува. Со тоа влакното станува потенко, а испарениот волфрам се таложи по ѕидовите на балонот. Двата ефекта влијаат врз намалувањето на светлинскиот флукс на сијалицата. Освен тоа, на повисоките температури слабеат и добрите механички својства на волфрамот, што условува скратување на трајноста на сијалицата.

Констатирано е дека испарувањето на волфрамот може значително да се намали ако во балонот се уфрли инертен гас. Но, присутството на гасот во балонот го зголемува пренесувањето на топлината од влакното (по пат на спроведување на топлината и конвекција). Затоа за оваа цел се подобри тие инертни гасови што се послаби пренесувачи на топлината. Освен тоа, за да се намали површината на влакното од која се одведува топлината, влакното се изработува во вид на спирала, често и во вид на двојна спирала, а во специјални случаи (на пример, кај сијалиците за проекциски апарати) и во вид на тројна спирала. На тој начин е овозможено влакното да може да работи на повисока температура и, како последица на тоа, да има повисоко специфично производство. Како инертен гас, со кој се исполнува балонот, најчесто се користи аргонот. Покрај тоа што, како племенит гас, не стапува во реакција со усвитеното влакно, аргонот е и лош пренесувач на топлината. Но, тој има особина лесно да се јонизира и ако во балонот би имало чист аргон би можело да дојде до електрично празнење низ него, било меѓу навивките на волфрамовата жица било меѓу електродите на сијалицата. За да не дојде до тоа, на аргонот му се додава определен процент на друг гас, на пример, водород или азот.

Спиралите се изработуваат од многу тенка волфрамова жица. Така, на пример, за сијалицата со моќност од 25 W за напон 220-230 V со стандардот е дефинирано дијаметарот на жицата да изнесува 15 μm . Освен тоа, дозволените отстапувања на дијаметарот не смеат да бидат поголеми од 0,4 μm . Поголеми отстапувања би значеле постоење на потенки места кои би се грееле повеќе и од кои испарувањето би било поинтензивно. Тоа би условило забрзано намалување на дијаметарот на таквите места и, конечно, прекин на жицата, односно намалување на трајноста на сијалицата.

Ако балонот е исполнет со криптон, одведувањето на топлината од влакното е полошо и испарувањето на влакното е послабо. Тоа овозможува влакното да работи со нешто повисока температура, поради што се постигнува поголемо специфично производство, без намалување на трајноста. Така, светлинскиот флуks на сијалиците полнети со криптон е за 6-14% поголем отколку кај соодветните сијалици полнети со аргон на кој му е додаден водород или азот.

Податоците за големината на светлинскиот флуks на сијалиците со метално влакно за општа употреба се дадени во табелата 7.2.1. Податоците во табелата 7.2.1 се однесуваат на сијалиците со бистар балон. Ако балонот е матиран, светлинскиот флуks на сијалицата е за околу 3% помал од флуksот на соодветната сијалица со бистар балон. Ако балонот е од опално стакло, светлинскиот флуks е помал за околу 8-12% одошто кај сијалицата со бистар балон со еднаква номинална моќност и со ист номинален напон [37].

Табела 7.2.1 Номинални параметри на некои сијалици со метално влакно за општа употреба

Моќност на сијалицата W	Напон V	Светлински флуks lm
25	220-230	230*
40	220-230	430*
60	220-230	730*
75	220-230	960*
100	220-230	1380*
150	220-230	2200*
200	230-250	3100*
300	250	5000**
500	250	8300**
1000	250	18600**

* Според [45]

** Според [37]

За сијалиците со метално влакно важи правилото според кое од две сијалици со исти моќности, но за различни напони, поголем светлински флуks, а со тоа и поголемо специфично производство, има сијалицата предвидена за понизок напон. Освен тоа, од две сијалици за ист напон, но со различни моќности, сијалицата со поголема моќност има поголемо специфично производство. Во двата наведени случаја поголемо специфично производство имаат сијалиците чие влакно е со поголема проводност, т.е. кое е подебело, што му овозможува да работи при повисока температура.

Одлика на сијалиците со метално влакно е појава на големи струјни удари при нивното вклучување на мрежата. Тоа се должи на фактот дека кога сијалицата не е во погон електричната отпорност на нејзининото влакно е 12-14 пати помала отколку во номинален погон. Времетраењето на струјниот удар е многу кусо, само 0,1-1,0 ms. Големината на струјниот удар и неговото траење се зависни од моќноста на сијалицата. При секое вклучување на сијалицата на погонскиот напон температурата на влакното нараснува до работната за многу кусо време, а по исклучувањето температурата на влакното многу брзо се намалува. Во двата случаи влакното е изложено на т.н. "термички шокови", кои ја намалуваат трајноста на сијалицата. Но, според истражувањата спроведени во низа лаборатории на производителите [37], тоа скратување е минимално. Ова е важна карактеристика на сијалиците со метално влакно. За споредба да наведеме дека кај флуоресцентните сијалици зголемениот број на запалувања битно ја намалува трајноста.

Трајноста на сијалиците со метално влакно за општа употреба е околу 1000 саати. Тоа е време по кое во погон се 50% од сијалиците од една серија кои истовремено биле ставени во погон и работеле под еднакви услови. До толкава трајност се дошло по пат на барање да се произведе сијалица кај која ќе бидат минимални трошоците за единица количество на светлина. Притоа се земени предвид: трошоците за купување на сијалицата, трошоците за нејзината монтажа и трошоците за потрошената електрична енергија.

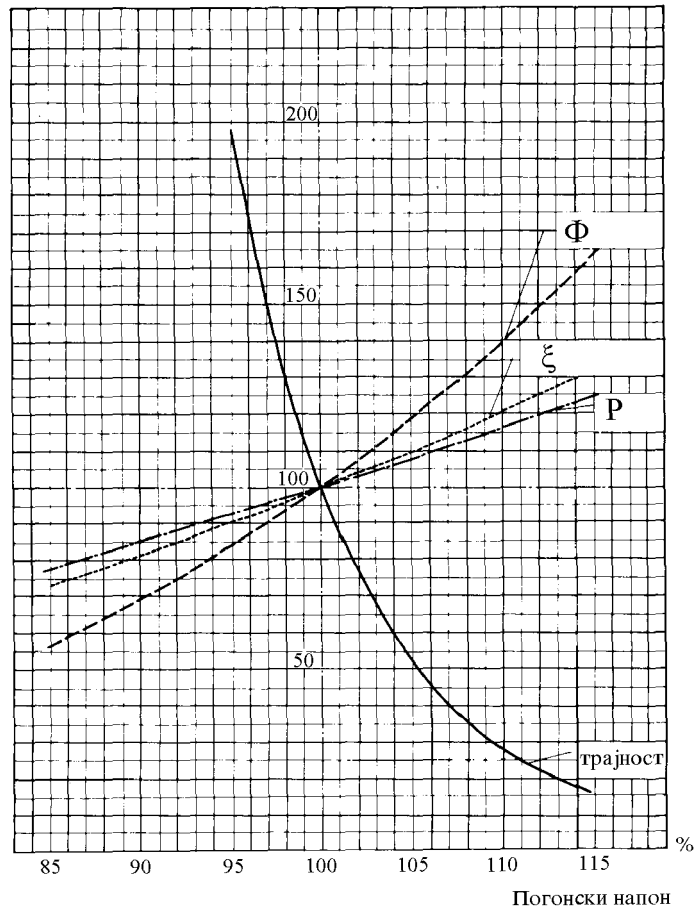
За одбележување е дека карактеристиките на сијалиците со метално влакно за општа употреба (т.е. моќноста P , светлинскиот флукс Φ , специфичното производство ξ и трајноста) доста зависат од напонот на кој сијалицата е приклучена. Тоа јасно се гледа од кривите прикажани на сликата 7.2.1. Така, на пример, од сликата 7.2.1 следува дека при напон понизок за само 4% од номиналниот, светлинскиот флукс ќе биде понизок за 13%, а трајноста ќе биде поголема за 75%. Но, ако погонскиот напон е повисок за само 4%, светлинскиот флукс ќе биде повисок за 15%, а трајноста ќе биде намалена за 40%.

Во табелата 7.2.2 се дадени сјајностите и температурите на бојата на некои сијалици со метално влакно за општа употреба.

Табела 7.2.2 Сјајности и температури на бојата за некои сијалици со метално влакно за општа употреба [37]*

Карактеристика на балонот	Сјајност cd/m ²	Температура на бојата °K
Бистар балон	4600000-6000000	2750
Матиран балон	100000-300000	2750
Инколизиран балон	15000-22000	2650

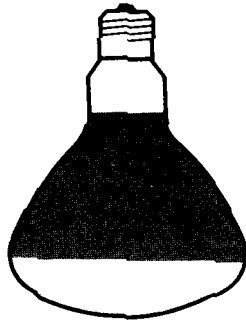
* Податоците се однесуваат на сијалиците за номинален напон 220-230 V и со номинална моќност 40-100 W.



Слика 7.2.1 Релативната зависност на параметрите на сијалицата со метално влакно за општа употреба од висината на погонскиот напон [37]

За одделни намени се произведуваат рефлекторски сијалици и сијалици со метализирана калота. Вообичаено е рефлекторските сијалици да имаат параболичен стаклен балон, на чија внатрешна страна е формирано алуминиумско огледало (слика 7.2.2). Со тоа е постигнато овие сијалици да зрачат во помал просторен агол и подобни се за осветление на излози, витрини, изложбени експонати и сл. Челото на балонот може да биде бистро или матирано.

Сијалиците со метализирана калота се разликуваат од сијалиците за општа намена само по тоа што темето на стаклениот балон им е метализирано од внатрешната страна (слика 7.2.3). Метализираната калота спречува влакното директно да се гледа, со што битно се намалува сјајноста на сијалицата и светлината индиректно доаѓа до осветлуваните површини.



Слика 7.2.2 Рефлекторска сијалица



Слика 7.2.3 Сијалица со метализирана калота

7.3. Халогени сијалици

Халогените сијалици претставуваат натамошен облик на развојот на сијалиците со метално влакно. И овие сијалици имаат влакно од волфрам. Вlakното се наоѓа во балон од кварцно стакло (слика 7.3.1), во кој, покрај инертниот гас, има строго определено количество на некој од халогените елементи (најчесто јод или бром). При определени физички и конструктивни услови присуството на халогените елементи овозможува настанување на регенеративен кружен процес. Накусо ќе биде опишано во што се состои тој процес. Испарениот волфрам се соединува со халогениот елемент. Добиениот халогенид на волфрамот има особина лесно да испарува на температури од 200-600 °C. Работните услови во сијалицата овозможуваат халогенидот на волфрам да биде во гасна состојба, со што се спречува неговото натрупување на ѕидовите на балонот. Но, при навлегувањето на молекулите на халогенидот во зоните блиску до влакното, каде што температурата е повисока од 1200 °C, доаѓа до нивното распаѓање. Така ослободените атоми на волфрамот ја зголемуваат концентрацијата на волфрамовата пара во околината на усвитеното влакно, од каде што волфрамот се враќа на влакното во исто количество во кое и испарил. Со тоа е постигнато влакното да не станува потенко и испарениот волфрам да не се натрупува по ѕидовите на балонот. Како резултат на постоењето на наведениот кружен процес, халогените сијалици имаат особини што се доста различни од особините на обичните сијалици со метално влакно. Тука ќе бидат изнесени поважните од тие особини.



Слика 7.3.1 Халогена сијалица за општа употреба

1. Во текот на работниот век на халогената сијалица светлинскиот флуks се намалува до 3%, додека кај обичните сијалици со метално влакно тоа намалување може да изнесува 20 и повеќе проценти.

2. Температурата на влакното кај халогените сијалици може да биде повисока отколку кај обичните сијалици со метално влакно, што овозможува поголемо специфично производство. Така, на пример, според [44], специфичното производство на халогените сијалици за општа намена е од 16-22 lm/W, а на халогените сијалици за фото-снимања тоа изнесува од 28,3-34,4 lm/W. Но, трајноста на првите е 1000-2000 саати, а трајноста на вторите е, по правило, 15 саати.

3. Температурата на бојата е повисока отколку кај обичните сијалици со метално влакно. Кај халогените сијалици за општа намена таа изнесува 3000 °K, кај халогените сијалици за филмски и телевизиски снимања е 3200 °K, а кај халогените сијалици за фото-снимања е 3400 °K.

4. Кај халогените сијалици постојат ограничувања во поглед на положбата на горење. Така, на пример, ако должината на балонот на халогената сијалица е поголема од трикратниот дијаметар на балонот, сијалицата треба да работи само во хоризонтална положба. Попрецизно, дозволено е нејзината оска со хоризонталата да зафаќа агол што не е поголем од 4°.

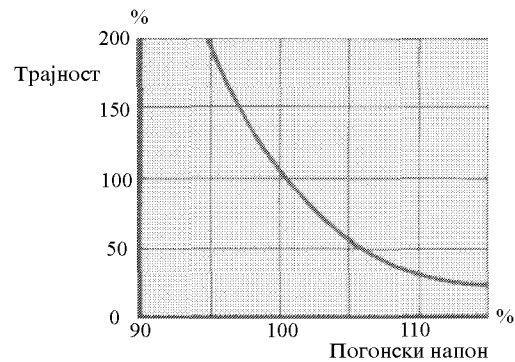
5. Халогените сијалици можат да се направат со помали димензии отколку обичните сијалици со метално влакно (за иста моќност). Тоа халогените сијалици ги прави поподобни за употреба во рефлектори, проекциски апарати и сл.

Една од особините на халогените сијалици е што нивната трајност битно зависи од погонскиот напон. Тоа го покажува дијаграмот прикажан на сликата 7.3.2. Од дијаграмот на сликата 7.3.2 се гледа дека халогената сијалица, која работи под напон што е за само 6% повисок од номиналниот, ќе има половина од трајноста што би ја имала кога погонскиот напон би бил еднаков на номиналниот. Но, важи и обратното. При работа под напон што е само за 6% понизок од номиналниот, трајноста е двојно поголема отколку во случајот на работа под напон еднаков на номиналниот.

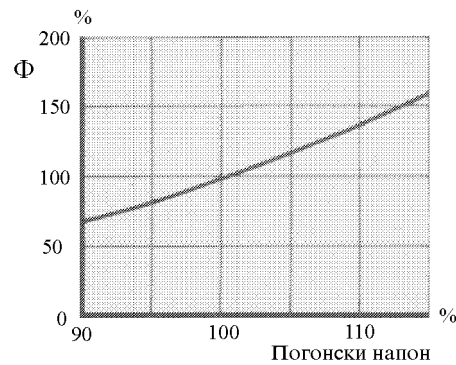
И светлинскиот флуks на халогените сијалици е зависен од погонскиот напон. Зависноста е прикажана на сликата 7.3.3. Како што се гледа од сликата 7.3.3, кога халогената сијалица работи под напон што е за 6% повисок од номиналниот, нејзиниот светлински флуks е за околу 20% поголем од номиналниот. Но, ако халогената сијалица работи под напон што е за 6% понизок од номиналниот, нејзиниот светлински флуks ќе биде за околу 20% помал од номиналниот.

Покрај тоа, треба да се има предвид дека, слично како и кај другите сијалици со метално влакно, кај халогените сијалици се јавуваат струјни удари при нивно вклучување на електричен напон. Ударните

струји се со интензитет што е 16 до 20 пати поголем од номиналната струја на сијалицата.



Слика 7.3.2 Зависност на трајноста на халогена сијалица од висината на погонскиот напон [44]



Слика 7.3.3 Зависност на светлинскиот флуks на халогена сијалица од висината на погонскиот напон [44]

Заслужува да се нагласи дека халогените сијалици не треба да се фаќаат со голи раце или со нечисти помошни средства. Ако се фаќани (или на друг начин замастени) пред запалувањето на сијалицата, мрсно-тијата може да се симне со памук натопен во алкохол. Ако замастената сијалица се запали, настануваат трајни затемнувања, кои го намалуваат светлинскиот флуks на сијалицата.

Основни податоци за некои од халогените сијалици за општа намена се дадени во табелата 7.3.1. Податоците за: халогените сијалици за филмски и телевизиски снимања, халогените сијалици за фото-снимања, халогените аеродромски сијалици, халогените сијалици за копирни апарати, халогените инфра-црвени сијалици, халогените проекциски сијалици, халогените проекциски сијалици со огледало, нисконапонските халогени сијалици, халогените студио-сијалици, нисконапонските хало-

гени сијалици за семафори и халогените автомобилски сијалици, можат да се видат во каталозите на производителите (на пример [44]).

Табела 7.3.1 Номинални податоци за некои халогени сијалици за општа намена (според [44])

Ознака	Напон V	Можност W	Светлински флукс lm	Трајност h
HN51-7124	110-120	250	4000	1000
HN61-7124	220-230	250	4500	1000
HN51-7224	110-120	300	5100	1000
HN61-7224	220-230	300	5100	1000
HN51-7424	110-120	500	10500	1000
HN61-7424	220-230	500	9500	1000
HN61-7424	220-230	500	9500	2000
HN61-7524	220-230	750	16500	2000
HN51-7724	110-120	1000	22000	2000
HN61-7724	220-230	1000	22000	2000
HN61-7724	220-230	1000	22000	2000
HN61-7824	220-230	1500	33000	2000
HN61-7924	220-230	2000	44000	2000
HN61-7976	220-230	2000	44000	2000

7.4. Флуоресцентни сијалици

7.4.1. Општи особини

Овие сијалици се градат во вид на цевка на чии краишта се поставени две спирални електроди. Електродите се направени од тенка волфрамова жица. Во цевката има аргон. Неговата задача е да го олесни запалувањето на сијалицата. Покрај агронот во цевката има и жива. Притисокот е мал. Кога низ живината пареа се воспостави електрично празнење, околу 60% од израчената енергија е во вид на ултравиолетовите зраци. За претворање на тие зраци во видлива светлина се користат луминатори. Луминаторите се во вид на прав и се нанесени на внатрешната страна на цевката. Со разни луминатори се добива светлина со различна боја.

При работа на флуоресцентните цевки најчесто се користат стартер и придушница, поврзани според сликата 7.4.1. Постојат повеќе видови стартери. На домашниот пазар најприсутен е биметалниот стартер со гас, а од поново време и електронскиот стартер. Двата се приклучуваат на идентичен начин (како на сликата 7.4.1). Другите стартери се приклучуваат на други начини и имаат поинакви карактеристики.

Биметалниот стартер е едноставен и евтин. Тој се состои од малечка стаклена цевка во која има две електроди. Барем една од електродите е биметална. Цевката е исполнета со мешавина на аргон, хелиум и водород. Составот на гасот, неговиот притисок, обликот на електродите и нивната меѓусебна положба, треба да бидат така ускладени во стартерот да започне празнење низ гасот при напони пониски од напонот

на мрежата на која сијалицата е приклучена, но повисоки од работниот напон на сијалицата. Така, на пример, биметалните стартери со гас за стандардните флуоресцентни цевки од 40(36) и 65(58) W се палат при напон повисок од 160 V, но не се палат ако напонот е понизок од 135 V. Бидејќи по запалувањето на овие сијалици напонот на нивните краишта не е повисок од 110 V (иако мрежниот напон е 220 V), стартерот нема да се активира додека сијалицата свети.

За време на празнењето низ гасот на биметалниот стартер со гас, низ него тече струја со интензитет 20 до 40 mA. Притоа, поради повишувањето на температурата, биметалната електрода се искривува и доаѓа до допир на двете електроди. Од тој миг низ колото тече значително поголема струја која ги усвитува двете спирални електроди на флуоресцентаната сијалица. На тој начин ослободената топлина служи за создавање поволни услови за започнување на празнењето низ гасот. Меѓутоа, од мигот на спојувањето на контактите на стартерот во него престанува да се одвива празнењето во гасот, т.е. престанува да се ослободува топлина. Стартерот се оладува и по кусо време неговите контакти се раздвојуваат. Тоа е причината за брза промена на струјата низ колото, во кое на ред беа поврзани електродите на сијалицата и придушницата. Брзата промена на струјата низ придушницата условува брза промена на нејзиниот магнетен флукс, како последица на што во придушницата се индуцира електромоторна сила со амплитуда од 600 до 2000 V. Но, ако во биметалниот стартер со гас се исклучи кондензаторот врзан помеѓу неговите контакти, електромоторната сила може да достигне вредност 4000 до 8000 V. Со овој напонски импулс, помеѓу електродите на сијалицата се јавува силно електрично поле, кое ја интензивира јонизацијата на гасот и овозможува отпочнување електрично празнење низ сијалицата. Поради прогресивна јонизација струјата низ сијалицата нагло се зголемува и би се зголемувала до струјата на заситување, која би била толку голема што би предизвикала прекумерно затоплување на сијалицата и нејзиното уништување. Но, во случаите како на сликата 7.4.1, зголемувањето на струјата низ сијалицата значи и зголемување на струјата низ придушницата, а тоа доведува до зголемување на напонот на нејзините краишта. Како, притоа, мрежниот напон не се менува, зголемувањето на напонот на придушницата повлекува намалување на напонот на сијалицата, а тоа условува намалување на струјата низ неа. На тој начин, во преодниот режим што трае многу кратко, струјата во сијалицата се стабилизира на определена вредност.

По запалувањето на сијалицата напонот на нејзините краишта (т.е. помеѓу електродите на сијалицата) е доста понизок од погонскиот напон на мрежата. За најчесто користените флуоресцентни сијалици вредностите на напонот помеѓу електродите на сијалицата во стационарниот погон, т.е. напонот на горењето, се наведени во табелата 7.4.2.

Во случај контактите на стартерот да се растават во моментот кога јачината на наизменичната струја низ придушницата има вредност блиску до нула, индуцираната електромоторна сила во придушницата може да биде мала за да предизвика запалување на сијалицата. Но, во тој случај, повторно, напонот помеѓу електродите на стартерот е доволен да го активира стартерот, со што процесот на палењето се повторува. Повторувањето ќе се изведува додека сијалицата не се запали.

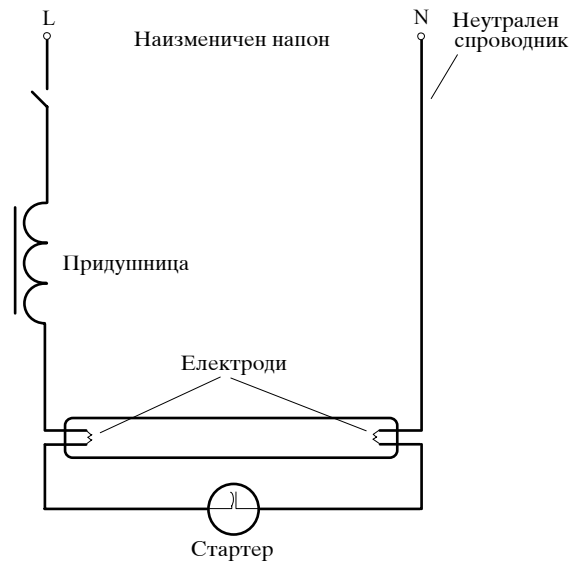
Стартерот и придушницата се конструирани така што напонскиот импулс да трае најмалку една милисекунда, а тоа е подолго од времето потребно за започнување на процесот на електричното празнење низ гасот на сијалицата.

Температурата на околината малку влијае врз работата на стартерот со гас. Испитувањата покажале дека и при температура од $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ во стартерот може да се ослободи доволно количество топлина, потребно за извршување на неговата улога, т.е. за обезбедување на сигурен контакт помеѓу неговите електроди. Навистина, при температурата од $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ за ова е потребно малку повеќе време отколку при вообичаени температури. Но, и покрај тоа, при тие услови, до запалување на стандардна флуоресцентна сијалица нема да дојде, бидејќи во тие услови затоплувањето на електродите на сијалицата е недоволно за создавање потребна концентарција на јони, неопходна за започнување на процесот на електричното празнење низ гасот на сијалицата.

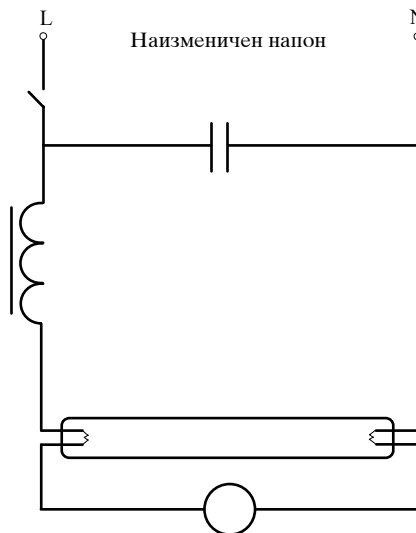
Стартерите со гас спаѓаат меѓу најспорите стартери, бидејќи за време на затоплувањето на стартерот низ електродите на сијалицата тече многу слаба струја и електродите практично не се затоплуваат. Во нормален режим на работа овој стартер може да направи најмалку милион затворања на своите контакти. Во случај на непрекинато активирање (кога сијалицата е неисправна и не може да се запали) овој стартер може да издржи околу 100 саати.

Во последно време производителите (на пример [39]) нудат и електронски стартери. Предностите на електронските стартери се што ја запалуваат флуоресцентната сијалица за покусо време, имаат поголема трајност и предвидени се да го исклучат струјното коло доколку флуоресцентната сијалица е неисправна (и на тој начин да придонесат за штедење на електричната енергија).

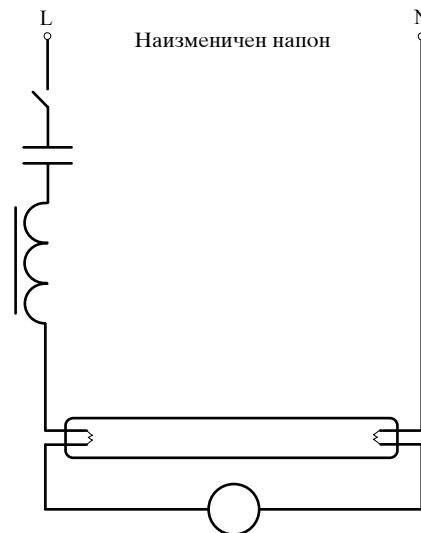
Во нашата практика се користат неколку врски на флуоресцентни сијалици, и тоа: индуктивна врска (слика 7.4.1), компензирана врска (слика 7.4.2), капацитивна врска (слика 7.4.3), дуо врска (слика 7.4.4) и тандем врска (слика 7.4.5). Последната се користи само за сијалиците со моќности до 20 (односно 18) W.



Слика 7.4.1 Поврзување на флуоресцентна сијалица - индуктивна врска



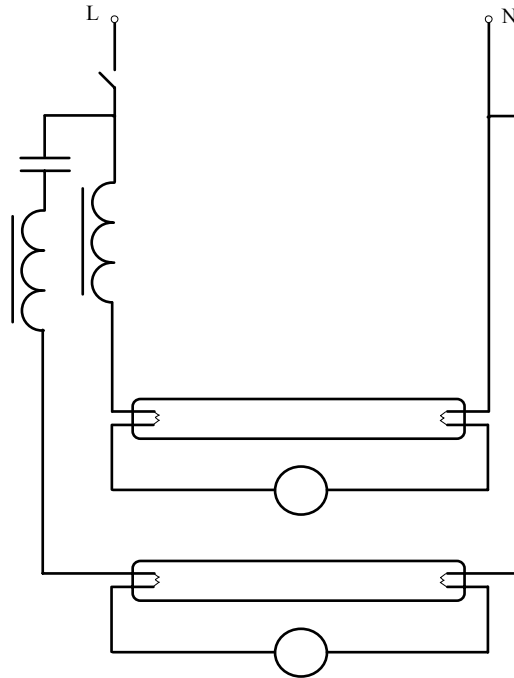
Слика 7.4.2 Компензирана врска



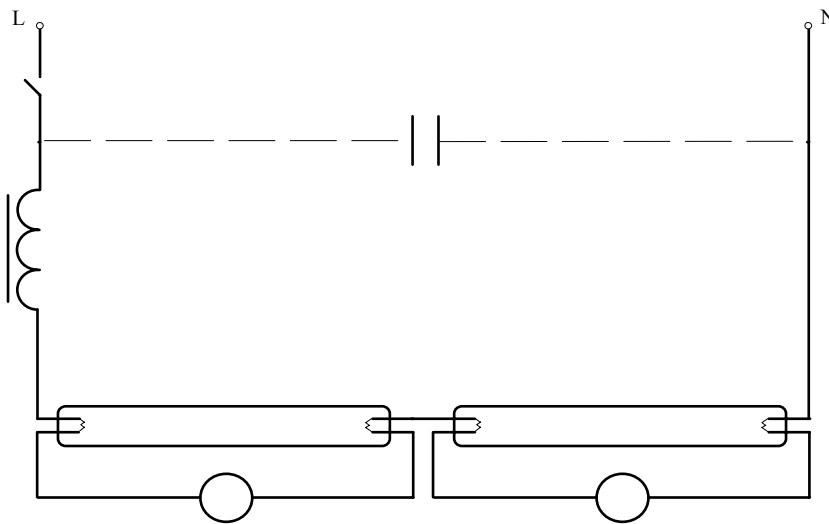
Слика 7.4.3 Капацитивна врска

Во случај на индуктивна врска (слика 7.4.1) факторот на моќност е многу мал и изнесува 0,33; 0,52 и 0,53; за сијалиците со моќност 20, 40 и 65 W, соодветно [60]. За да се подобри факторот на моќност, може да се користи паралелно вклучен кондензатор со соодветни параметри, т.е. да се користи компензирана врска (слика 7.4.2). На тој начин се постигнува фактор на моќност помеѓу 0,95 и 0,99 [60].

Кај капацитивната врска (слика 7.4.3) реактанцијата на кондензаторот е двојно поголема од реактанцијата на придушницата. Во тој случај, ако сијалиците се со моќност 40 и 65 W, постигнатиот фактор на моќност е 0,53-капацитивен и 0,55-капацитивен, соодветно [60].



Слика 7.4.4 Дуо врска



Слика 7.4.5 Тандем (сериска) врска

Паралелна врска на една сијалица во индуктивна врска и една сијалица во капацитивна врска се нарекува дуо врска (слика 7.4.4). Кај оваа врска се постигнува фактор на моќност 0,99 и 0,98 за сијалиците со моќност 40 и 65 W, соодветно [60].

Кај тандем врската (слика 7.4.5), всушност, разликуваме два случаја: тандем индуктивен и тандем компензиран. Во првиот случај факторот на моќност е 0,57, а во вториот 0,98 [60].

Кај флуоресцентните сијалици, како и кај сите сијалици со празнење низ гас, можно е да се јави *с т р о б о с к о п с к и* ефект. Појавата на овој ефект е последица на фактот дека кај тие сијалици, кога се напојуваат со наизменична струја, значително се намалува флуксот (дури до нултата вредност) кога струјата ја менува насоката (и нејзиниот интензитет е еднаков на нула). Бидејќи при фреквенција од 50 Hz тоа ќе се случува 100 пати во секунда, при таквото осветление на набљудувачот може да му се создаде впечаток на треперење и/или да му изгледа дека деловите што се движат во една насока стојат или се движат во спротивна насока. Ова може да биде причина за незгоди, особено ако се јави во индустриски, занаетчиски и слични погони. Намалувањето на стробоскопскиот ефект се постигнува со употреба на флуоресцентни сијалици во дуо врска или со поврзување на соседните сијалици на различни фази на трифазниот систем на наизменична струја.

Разни производители нудат различни типови на флуоресцентни сијалици. Глобално, можат да се разликуваат: флуоресцентни сијалици за општа намена и флуоресцентни сијалици за специјални намени.

7.4.2. Флуоресцентни сијалици за општа намена

Според [38], во табелата 7.4.1 се дадени боите на светлината, соодветните ознаки и температурите на боите за флуоресцентните сијалици за општа намена со дијаметар 26 mm .

Табела 7.4.1 Некои податоци за флуоресцентните сијалици за општа намена (според [38])

Назив на бојата	Температура на бојата °K	Номинален светлински флукс во лумени за сијалици со моќност			Индекс Ra
		18 W	36 W	58 W	
Топло бела	3000	1060	2800	4600	49
Бела	3500	1060	2800	4600	62
Студено бела	4300	1020	2700	4400	67
Дневна светлина	6500	880	2300	3750	72
Топло бела DE LUXE	2900	750	2200	3400	79
Студено бела DE LUXE	4100	750	2200	3400	88

Забелешка: Податоците се однесуваат на флуоресцентните сијалици со дијаметар 26 mm.

Флуоресцентните сијалици со температура на бојата од 3000 °K (топло бела) даваат светлина што е слична на светлината од сијалиците со метално влакно - за општа намена. Таа светлина дава впечаток на

топла атмосфера. Сијалиците со ознака ТВ се препорачуваат за осветление на станбени и слични простории, каде што не се бара голема осветленост (на пример, 150 lx). Погодни се за комбинација со сијалиците со метално влакно.

Светлината од флуоресцентните сијалици со температура на бојата од 3500 °К (бела) му дава на осветлуваниот простор впечаток на топлина. Овие сијалици се препорачуваат за осветление во трговијата, индустријата и на други места каде при релативно мала осветленост (200 lx и повеќе) се бара прифатливо распознавање на боите.

Флуоресцентните сијалици со температура на бојата од 4300 °К (студено бела) даваат светлина со бела боја, која се смета за универзална и најмногу се користи за осветление на индустриски хали, трговски објекти, канцеларии и други простории, во кои се бара осветленост од најмалку 300 lx.

Светлината што ја даваат флуоресцентните сијалици со температура на бојата од 6500 °К е слична на дневната светлина при средно облачен ден. Овие сијалици се наменети за осветление на простори кај кои е потребно разликување на бои како при дневна светлина. Меѓутоа, за да се постигне добро разликување на боите, со овие сијалици треба да се постигне осветленост од најмалку 1000 lx. Нивната најчеста примена е во текстилната и графичката индустрија.

Во однос на флуоресцентните сијалици чија боја на светлината е топло бела, бела, студено бела или дневна светлина, флуоресцентните сијалици со топло бела боја DE LUXE имаат поизразен црвен дел од спектарот, што на бојата на светлината ѝ дава мек топол тон. Овие сијалици се препорачуваат за осветление на станови, болници, ресторани, продавници на прехранбени производи и секаде каде се бара добра репродукција на бојата.

Флуоресцентните сијалици со студено бела боја DE LUXE даваат светлина во чиј спектар е најизразена црвената компонента, но во однос на сијалиците со топло бела боја DE LUXE имаат поголемо учество на зелената и сината компонента. Тоа овозможува мошне добра репродукција на бојата на осветлените предмети. Затоа овие сијалици се препорачуваат за осветление на продавници на прехранбени и деликатесни производи, продавници на козметички производи, козметички салони, болнички соби, стоковни куќи, изложбени салони и секаде каде е потребна многу добра репродукција на бојата.

Номиналните светлински флуковски на стандардните флуоресцентни сијалици со дијаметар на цевката 26 mm се дадени во табелата 7.4.1 [38]. За сијалиците со дијаметар на цевката 38 mm и моќност 20, 40 и 65 W светлинските флуковски се еднакви на светлинските флуковски на сијалиците со дијаметар на цевката 26 mm, со моќност 18, 36 и 58 W, соодветно.

Флуоресцентните сијалици со дијаметар на цевката 26 mm и моќност 18, 36 и 58 W имаат должини 590, 1200 и 1500 mm, соодветно. Флуоресцентните сијалици со дијаметар на цевката 38 mm и моќност 20, 40 и 65 W имаат должини 590, 1200 и 1500 mm, соодветно.

Од табелата 7.4.1 може да се заклучи дека сите флуоресцентни сијалици немаат еднакво специфично производство. Тоа зависи како од спектралниот состав на светлината што ја зрачи сијалицата така и од нејзината моќност.

Загубите на активната моќност во припадната придушница изнесуваат 7, 8 и 11 W, за флуоресцентните сијалици со моќност 20 (18), 40 (36) и 65 (58) W, соодветно. Уважувајќи ги и тие загуби, специфичното производство на флуоресцентните сијалици за општа намена зависи од бојата на нивната светлина и изнесува [38]:

- 30-42 lm/W, за сијалиците со моќност 18 W;
- 28-39 lm/W, за сијалиците со моќност 20 W;
- 52-67 lm/W, за сијалиците со моќност 36 W;
- 46-58 lm/W, за сијалиците со моќност 40 W;
- 49-67 lm/W, за сијалиците со моќност 58 W;
- 45-60 lm/W, за сијалиците со моќност 65 W.

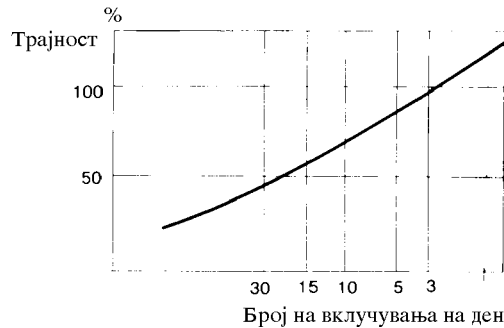
Како што е прикажано во табелата 7.4.2, напонот на краевите на флуоресцентната сијалица за време на нејзината стационарна работа значително се разликува од мрежниот (погонски) напон и зависи од моќноста на сијалицата. Но, сјајноста на флуоресцентните сијалици помалку зависи од моќноста, а повеќе од дијаметарот на сијалицата. Заслужува да се забележи дека, практично, кај сите флуоресцентни сијалици почетната струја (додека контактите на стартерот се затворени) е за околу 50% поголема од струјата на стационарниот погон.

Табела 7.4.2 Некои податоци за флуоресцентните сијалици за напон 220 V (според [38])

Номинална моќност W	Напон на горење V	Сјајност cd/m ²	Однос на струите почетна/работна
18	57	7500	1,49
20	57	6000	1,49
36	103	8600	1,51
40	103	6500	1,51
58	110	11100	1,49
65	110	7500	1,49

Под "напон на горење" во табелата 7.4.2 е даден податокот за напонот на приклучоците на секоја од сијалиците, кога тие се во стационарен погон. Но, треба да се нагласи дека сите сијалици од табелата 7.4.2 се предвидени да бидат приклучени на напон 220 V, преку соодветни предспojни справи (т.е. придушници).

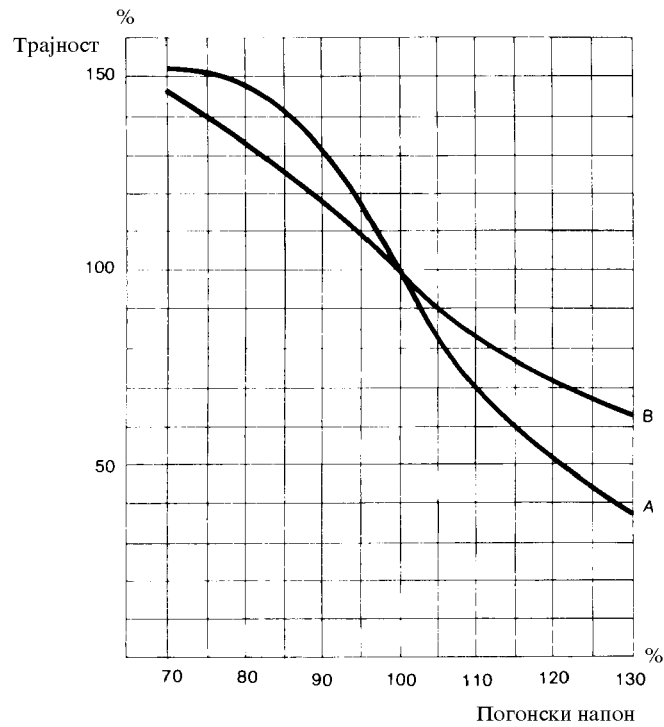
Трајноста на една флуоресцентна сијалица многу зависи од тоа колку време сијалицата гори по секое запалување. На сликата 7.4.6 е прикажана зависноста на трајноста на флуоресцентни сијалици за општа намена од бројот на вклучувања на ден.



Слика 7.4.6 Зависност на трајноста на флуоресцентна сијалица од бројот на вклучувања на ден [38]

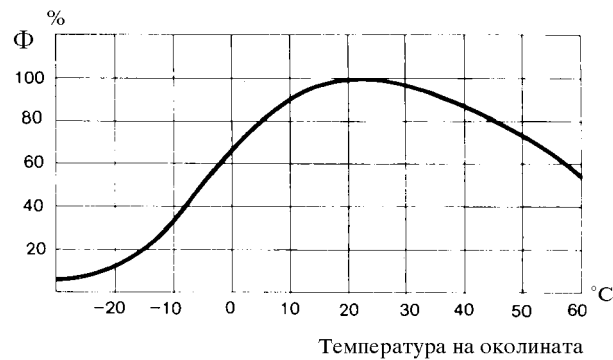
Според каталогот [38], под нормални погонски услови, зависно од моќноста и изведбата, трајноста на флуоресцентните сијалици за општа намена е од 5000 до 7500 часови. Но, врз брзината на стареењето и трајноста на флуоресцентни сијалици имаат влијание и други фактори, како што се: недоволно предгревање на електродите и висината на погонскиот напон. Недоволното предгревање на електродите предизвикува забрзано стареење и намалување на трајноста. Ако погонскиот напон е различен од номиналниот и трајноста се менува. Каква е зависноста на трајноста од висината на погонскиот напон е прикажано на сликата 7.4.7. На таа слика кривата А се однесува на флуоресцентни сијалици во индуктивна врска, а кривата В на флуоресцентни сијалици во капацитивна врска.

Во зависност од погонскиот напон се менуваат и карактеристиките на флуоресцентни сијалици. Кај сијалиците во индуктивна врска, при промена на погонскиот напон од 85 до 115% од номиналниот напон, светлинскиот флукс се менува од 84 до 112%, моќноста на колото се менува од 76 до 128%, а специфичното производство се менува од 108 до 91% [8]. Кај сијалиците во капацитивна врска, при промена на погонскиот напон од 85 до 115% од номиналниот, светлинскиот флукс се менува од 95 до 106%, моќноста на колото се менува од 88 до 113%, а специфичното производство се менува од 104 до 96% [8]. Ако овие податоци се споредат со соодветните податоци за сијалиците со метално влакно (прикажани на сликата 7.2.1), може да се заклучи дека висината на погонскиот напон има помало влијание врз карактеристиките на флуоресцентните сијалици.



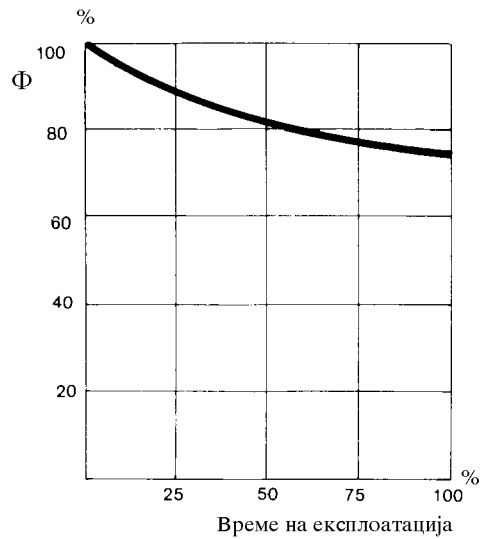
Слика 7.4.7 Зависност на трајноста на флуоресцентни сијалици од висината на погонскиот напон [38]

Зависноста на светлинскиот флукс на флуоресцентните сијалици за општа намена од температурата на околината е прикажана на сликата 7.4.8. Од таа слика се гледа дека оптимална е температурата од 20 °C. Освен тоа, при намалување на температурата под оптималната флуксот опаѓа побрзо, отколку во обратниот случај.



Слика 7.4.8 Зависност на светлинскиот флукс на флуоресцентна сијалица од температурата на околината [38]

Во текот на експлоатацијата флуksот на флуоресцентни сијалици опаѓа. Големината на опаѓањето е прикажана на сликата 7.4.9.



Слика 7.4.9 Промена на светлинскиот флуks на флуоресцентни сијалици во текот на експлоатацијата [38]

Според [38] се нудат и флуоресцентни сијалици под името DOMILUX. Дијаметарот на тие сијалици е 26 mm, а должините се исти како и кај другите флуоресцентни сијалици со соодветна моќност. Постојат три типа овие сијалици: DOMILUX 30, DOMILUX 40 и DOMILUX 60. Секој од наведените типови се произведува со моќност 18, 36 и 58 W. Соодветните светлински флуksови се дадени во табелата 7.4.2, од каде што се гледа дека тие се поголеми (за 8,5 до 17,9%) отколку кај другите флуоресцентни сијалици со иста моќност.

Табела 7.4.2 Светлински флуksови на сијалиците од типот DOMILUX [38]

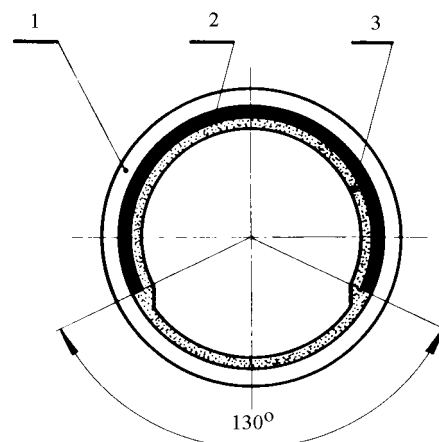
Ознака на сијалицата	Номинален светлински флуks (во lm) за сијалица со моќност		
	18 W	36 W	58 W
DOMILUX 30	1250	3250	5200
DOMILUX 40	1250	3250	5200
DOMILUX 60	1150	3000	5000

Општ индекс на репродукција на бојата (R_a) кај DOMILUX сијалиците е 85-100. Сијалиците од типот DOMILUX се поскапи од соодветните флуоресцентни сијалици за општа намена. Разликата во цената е зависна од моќноста на сијалицата.

7.4.3. Флуоресцентни сијалици за посебни намени

Тука накусо ќе бидат изнесени основните одлики на флуоресцентните сијалици за посебни намени, прикажани во [38].

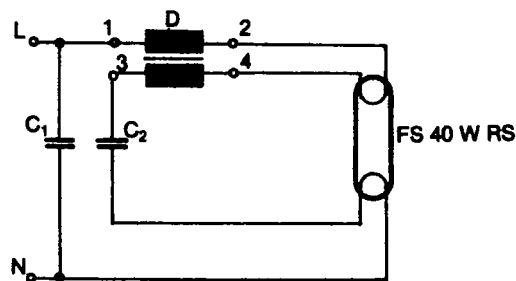
а) Флуоресцентни сијалици со рефлексен слој (ознака FcR) имаат поголем дел од внатрешната површина на цевката обложен со рефлексен слој (слика 7.4.10). На тој начин се постигнува сијалицата да зрачи светлина само во просторот ограничен со две рамнини што зафаќаат агол од 130° . Поради тоа, овие сијалици се погодни за употреба таму каде најголем дел од произведената светлина треба да се насочи во определен правец. Тоа е случај кај: училишни табли, витрини, панои, излози, монтажни ленти во индустријата и др. Во однос на другите флуоресцентни сијалици, овој вид има предност за осветление на високи индустриски хали и/или хали со многу прав. Ако флуоресцентната сијалица се постави така што нејзината подолжна оска да биде хоризонтална (што е најчеста положба на поставување), тогаш правот, главно, се собира на горната половина од површината на цевката. Кај флуоресцентните сијалици без рефлексен слој тој прав го апсорбира делот на светлинскиот флукс што сијалицата би го зрачела во горниот полупростор. Затоа е потребно сијалиците повремено да се чистат. Периодот на чистење е зависен од брзината на таложењето на правот. Меѓутоа, флуоресцентните сијалици со рефлексен слој се поставуваат така правот да се таложи врз површината низ која сијалицата не зрачи светлина. Така е намалено влијанието на правот врз ефикасноста на осветлението, а периодот на чистење може да биде подолг, со што се постигнуваат определени заштеди.



Слика 7.4.10 Пресек на флуоресцентна сијалица со рефлексен слој [38] 1. стакло; 2. рефлексен слој; 3. луминофор

б) Флуоресцентни сијалици во боја (ознака FcB) зрачат светлина само во една од боите: сина, зелена, жолта или црвена. Наменети се за декоративно осветление на излози, за илуминација при разни свечености и за сценско осветление.

в) Флуоресцентни сијалици за брзо палење (ознака FcRS) се предвидени да се запалат во моментот на приклучувањето на напонот, независно од температурата на околината. Овие сијалици користат специјална придушница и не им е потребен starter. Со примена на соодветен електронски уред, кај нив е можна регулација на светлинскиот флукс во опсег од 0 до 100%. Наменети се за сценско и декоративно осветление, како и за осветление на кино-сали, театарски сали и определени болнички простории. На сликата 7.4.11 е прикажана шемата на поврзување на флуоресцентната сијалица за брзо палење со моќност од 40 W. Да забележиме дека шемите на поврзување на сијалиците со моќности 20 и 65 W не се идентични со шемата прикажана на сликата 7.4.11.



Слика 7.4.11 Шема на поврзување на флуоресцентна сијалица за брзо палење со моќност 40 W [58]

г) Сигурносни флуоресцентни сијалици (ознака FcX) се со посебна изведба и имаат поинакви приклучоци отколку другите флуоресцентни сијалици. Сигурносните флуоресцентни сијалици се палат без starter и се вградуваат само во сигурносни светилки. Наменети се за осветление на рудници, бензински станици и други погони каде постои опасност од експлозивни гасови и пари.

д) Флуоресцентни сијалици за копирање (ознака FcK) се користат во апаратите за копирање на нацрти на озолит хартија. Посебен вид лумининатор придонесува овие сијалици да даваат светлина со интензивно фотоактивно дејство врз сите видови хартија која се користи за копирање на нацрти.

ѓ) Флуоресцентни сијалици со име HORTILUX се направени со посебен флуоресцентен прав што овозможува овие сијалици да емитираат светлина која придонесува растенија и цвеќе да се развиваат и да цветаат и во простории во кои директно не допира сончевата светлина. Овие сијалици се користат за забрзување на развојот на растенија и цве-

ќе во стаклени бавчи, за осветление на продавници за цвеќе и за осветление на аквариуми.

е) Флуоресцентни сијалици за стерилизација на воздух (т.н. бактерицидни флуоресцентни сијалици, ознака FcBAK) немаат флуоресцентен прав и се изработени од стакло што пропушта ултравиолетово зрачење со бранова должина 253,7 nm. Наменети се за употреба во болници, амбуланти, диспанзери, операциони сали, витрини за медицински прибор, медицински и прехранбени институти, фармацевтска индустрија, прехранбена индустрија, индустрија на преработка на месо, пиварска индустрија, ладилници и клима-уреди. При примена на флуоресцентни сијалици за стерилизација мораат да се почитуваат мерките на сигурност и заштита од ултравиолетовото зрачење.

ж) Флуоресцентни сијалици што зрачат црна светлина (ознака FCI-911 CS) најголемиот дел од енергијата ја зрачат во подрачјето со бранови должини 320-400 nm, со максимум кај 356 nm. Овие сијалици се применуваат: во минералогиската за идентификација на минерали, за криминалистички испитувања, за воени цели, за утврдување оригинални резервни делови, за контрола на метални одливки, во текстилната индустрија за контрола на влакна, за контрола на проток на течности, за привлекување на инсекти што летаат ноќе, за сценски ефекти во театри, во ресторан-бавчи, во марини, во паркови за забава, во мотели и базени. Доколку не е преинтензивно, зрачењето од овие сијалици не е штетно за просечно здрав човек.

7.4.4. Поважни одлики на флуоресцентните сијалици

Добри особини на флуоресцентните сијалици се:

- релативно големо специфично производство;
- релативно ниска температура на површината на сијалицата (околу 40 °C);
- релативно мала сјајност (од 6000 до 11100 cd/m², што овозможува користење поедноставни светилки);
- можност за широк избор на боја на светлина;
- релативно мала зависност на светлинскиот флукс, електричната моќност и специфичното производство од погонскиот напон;
- можат да работат во која и да било положба.

Како лоши особини на флуоресцентните сијалици можат да се наведат следниве:

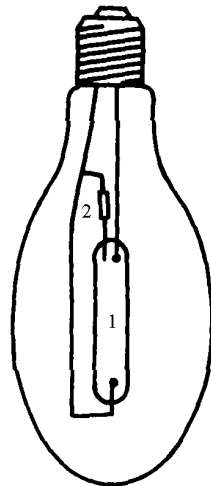
- траењето битно се скусува при зголемен број вклучувања на ден и при скратување на времето на предгревање;
- можна е појава на стробоскопскиот ефект;
- неопходни се стартерот и придрушницата (со тоа цената се зголемува, а тие елементи можат да бидат предизвикувачи на дополнителни грешки и шумови);

- не можат да работат на ниски температури (освен специјалните видови).

7.5. Живини сијалици со висок притисок

Овие сијалици се состојат од елипсоиден стаклен балон во чија внатрешност се наоѓа цевка од кварцно стакло наречена брениер (означен со 1 на сликата 7.5.1). Во внатрешноста на брениерот се наоѓа аргон и живина пара под висок притисок. Низ оваа мешавина од гасови се врши електрично празнење, при кое значителен дел од израчената енергија е во вид на ултравиолетови зраци. За да се претворат и тие зраци во видлива светлина, на внатрешната страна на стаклениот балон е нанесен слој на итриум ванадат со додаток на еуропиум.

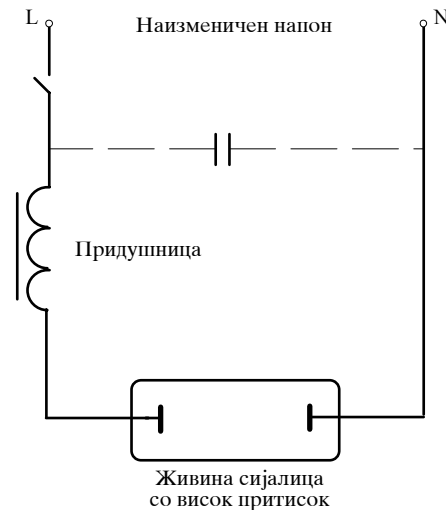
Како што се гледа од сликата 7.5.1, покрај две главни електроди поставени на краиштата на брениерот, во брениерот постои и помошна електрода, поврзана преку отпорник со отпорност од 10 до 30 k Ω , (означен со 2 на сликата 7.5.1). Задачата на помошната електрода е да обезбеди услови за создавање почетно количество јони за настанување на главното празнење.



Слика 7.5.1 Конструктивен изглед на живина сијалица со висок притисок

И кај овие сијалици за работа е потребна придушница. Но, не за создавање напонски импулс за запалување, туку само за ограничување на струјата низ сијалицата.

Најчестата шема на поврзувањето на живината сијалица со висок притисок е индуктивната, односно компензираната (слика 7.5.2). Капацитивната врска ретко се применува бидејќи со неа времето на запалување е околу два пати подолго [8].



Слика 7.5.2 Шема на поврзување на живина сијалица со висок притисок

Времето од започнување на електричното празнење низ гасот на сијалицата до моментот кога таа ќе достигне 80% од крајниот флукс се нарекува време на запалување на сијалицата. Според [40] за живините сијалици со висок притисок времето на запалување е од 3 до 6 минути и покусо е кај сијалиците со поголеми моќности. Во каталогот на фирмата Philips [47] е наведено дека за живините сијалици со висок притисок времето на запалување е 4 минути.

Ако погонскиот напон е еднаков на номиналниот, живините сијалици со висок притисок сигурно стартуваат дури и при температурата на околината од $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ [40].

Ако сијалицата е во погон, притисокот во брениерот е неколку стотини илјади паскали. Кога сијалицата што светела се исклучи и веднаш потоа повторно се вклучи на мрежниот напон, таа нема да засвети, бидејќи во затоплениот брениер притисокот е висок и за запалување при тие услови е потребен напон од неколку киловолти. Но, по оладувањето на брениерот до температура под $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ мрежниот напон е доволен да предизвика повторно запалување на сијалицата. Ако се изгасне сијалицата што светела и веднаш повторно се приклучи на напон, таа ќе започне да свети дури по 3 до 5 минути, зависно од температурата на околината, шемата на поврзувањето, моќноста на сијалицата и начинот како таа се лади.

Трајноста на овие сијалици зависи од должината на времето на горење по секое запалување. Според [40], ако циклусите на горење траат по пет саати, трајноста на живините сијалици со висок притисок е околу 6000 саати. Но, по 6000 саати горење светлинскиот флукс опаѓа на околу 70% од флуксот што сијалицата го имала по првите 100 саати на горење.

Не се ретки случаите некоја сијалица од овој вид да свети и значително подолго, но со значително намален флуks.

Некои податоци за живини сијалици со висок притисок и флуоресцентна облога (тип VTFE), за номинален напон 220 V, се дадени во табелата 7.5.1.

Табела 7.5.1 Податоци за живини сијалици со висок притисок и флуоресцентна облога (тип VTFE)

Номинална моќност W	Моќност со придушница W	Работна струја A	Почетна струја A	Номинален светлински флуks lm	Специфично производство lm/W	Сјајност cd/m ²
80	89	0,80	1,2	3600	40	
125	137	1,15	1,8	6200	45	
250	266	2,15	3,2	13000	49	
400	419	3,32	5,2	23000	55	
700	730	5,40	8,5-10	40000	55	120000
1000	1060	7,50	11-12,5	55000	52	140000

Забелешка:

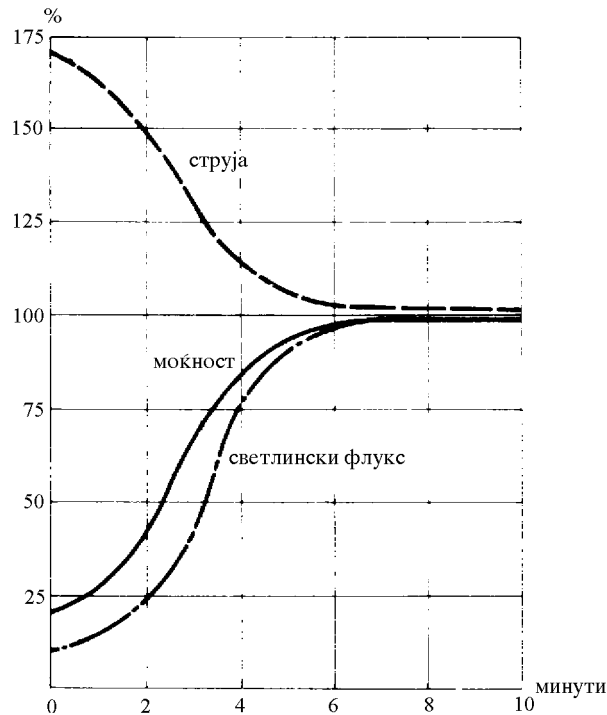
1. Податоците за номиналниот светлински флуks се однесуваат на вертикалната положба на горење по првите 100 саати горење. Во хоризонталната положба на горење флуksот е до 7% помал.
2. Податоците за сијалиците со номинална моќност до 400 W се земени од [46], а за сијалиците со номинална моќност 700 и 1000 W се земени од [40].

Од табелата 7.5.1 произлегува дека почетната струја е за 50 до 90% поголема од струјата на стационарниот погон (т.е. работната струја). Типични релативни дијаграми на промена на светлинскиот флуks Φ , струјата I , и моќноста на колото P , за една сијалица од типот VTFE во првите 10 минути од запалувањето, се прикажани на сликата 7.5.3.

Кај живините сијалици со висок притисок од типот VTFE светлинскиот флуks Φ , струјата I , и моќноста на колото P , практично линеарно зависат од напонот. Тоа убаво се гледа на дијаграмите на релативните големини, прикажани на сликата 7.5.4.

Поради особината изгаснатите живини сијалици со висок притисок (од типот VTFE) да не можат брзо повторно да се запалат, се препорачува покрај овие сијалици да се предвидат и определен број сијалици со метално влакно, кои би обезбедиле неопходна осветленост до запалувањето на живините сијалици. Препоракава, главно, се однесува на случаите кога со живините сијалици со висок притисок се изведува осветление во индустриски погони.

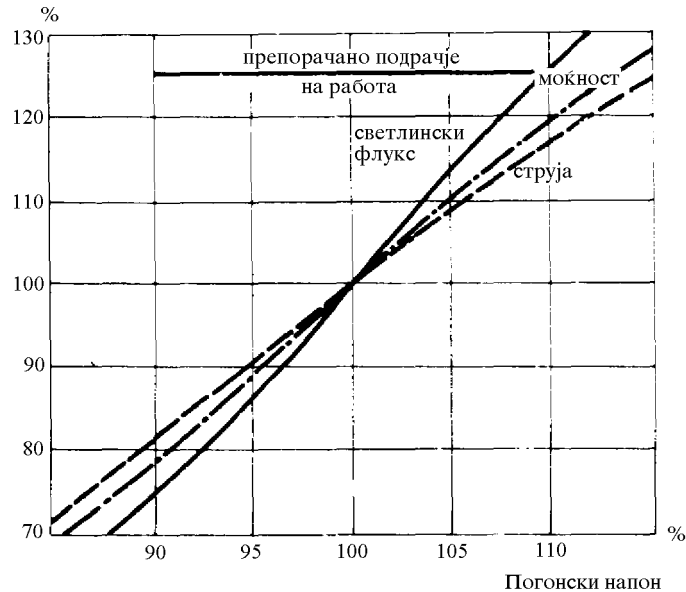
Живините сијалици од типот VTFE даваат бела светлина која се разликува од дневната. Температурата на бојата на таа светлина е околу 4300 °K, а индексот на репродукција на бојата е $Ra=40$. Поради тоа, овие сијалици се применуваат таму каде не е неопходно добро распознавање на боите (улицы, плоштади, патишта, паркови, паркиралишта, складишни простори, индустриски објекти, железнички станици, пристаништа, градилишта и слично).



Слика 7.5.3 Релативни погонски големина на сијалиците од типот VTFE во првите 10 минути од вклучувањето на напон [40]

Освен досега опишаните живини сијалици со висок притисок производителите нудат и живини сијалици со висок притисок кои во стаклениот балон имаат вградено волфрамово спирално влакно, на ред врзано со брнерот. Во каталогот [40] таквите сијалици ги означуваат со ознаката VTFW (табела 7.5.2). За тие сијалици не е потребна придушница и директно можат да се поставуваат во инсталациите наместо соодветни стандардни сијалици со метално влакно. Присуството на усвитеното волфрамово влакно и поинаков флуоресцентен прав на внатрешната страна на балонот придонесуваат спектарот на израчената светлина доста да се разликува од спектарот на сијалиците од типот VTFE. Особено е побогат црвениот дел од спектарот. За светлината на сијалиците од типот VTFW индексот на репродукција на боја е $Ra=52$. Карактеристично за сијалиците од типот VTFW е да се запалуваат веднаш по приклучувањето на електричен напон, независно од тоа дали претходно гореле (и биле затоплени) или не. Бидејќи факторот на моќност не е низок, не е потребен кондензатор за подобрување на факторот на моќност. Како што се гледа од табелата 7.5.2, овие сијалици гаснат при напон понизок од 195 V. Живините сијалици од типот VTFW можат да се применуваат во текстилната индустрија (во предилници,

ткаечници, бојацилници и сл.), прехранбената индустрија, индустриските ладилници, трговијата и слично.



Слика 7.5.4 Релативни погонски големина на сијалиците од типот VTFE - во зависност од мрежниот напон [40]

Табела 7.5.2 Податоци за живини сијалици со висок притисок - тип VTFW [40]

Номинална моќност W	Напон на горење V	Номинален светлински флуке lm	Специфично производство lm/W	Сјајност cd/m ²
160	195	2900	18	80000
250	195	5200	21	90000
500	195	12500	25	120000

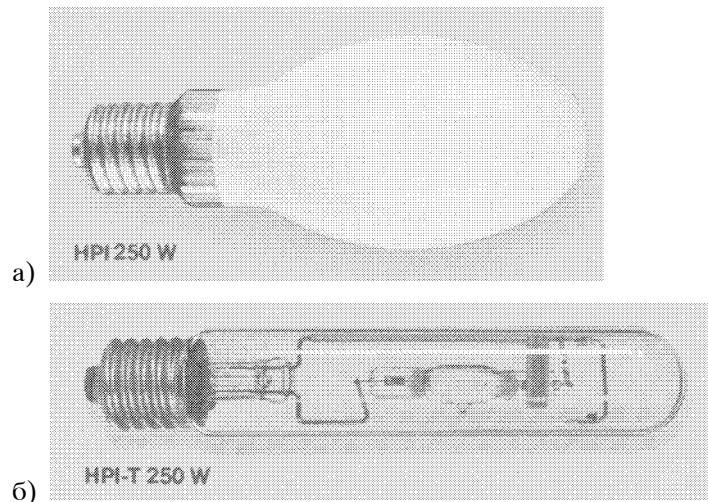
7.6. Металхалогени сијалици

Металхалогените сијалици се од категоријата на извори во кои светлината се произведува со празнење во гас под висок притисок. Принципот на работа им е сличен на тој кај живините сијалици со висок притисок. Разликата е во тоа што кај металхалогените сијалици во брнерот нема помошна електрода и во смесата од неон и аргон покрај живата се додадени халогенидите на некои метали или ретки земји. Со овие додатоци се добиваат сијалици чии карактеристики доста се разликуваат од карактеристиките на живината сијалица со висок притисок и флуоресцентна облога.

Според [43], ако се додадат халогенидите на натриум, талиум и индиум, ќе се добие сијалица што дава светлина со температура на бојата

4500-5000 °K и $Ra=65$. Ако, пак, се додадат халогенидите на диспрозиум, холмиум и тулиум се добива уште подобар спектрален состав на светлината, т.е. добиената светлина е со температура на бојата 5500-6000 °K и $Ra=90$.

Металхалогените сијалици се произведуваат со балони во вид на елипсоид (со флуоресцентен прав на внатрешната страна - слика 7.6.1а) или во вид на цевка (со бистар балон и без прав - слика 7.6.1б).

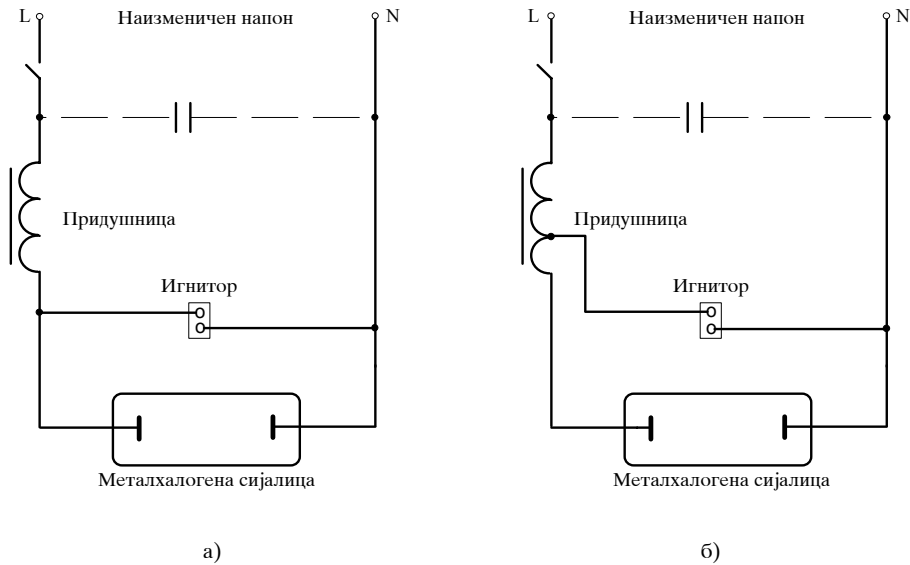


Слика 7.6.1 Металхалогени сијалици [50]

Според [50], поврзувањето на металхалогените сијалици е зависно од типот на сијалицата и од нејзината моќност. Така, сијалиците од типот HPI 250 BUS и HPI 400 BUS се поврзуваат на ист начин како и живините сијалици со висок притисок, односно според сликата 7.5.2. Шемата на поврзувањето на сијалиците од типот HPI 250 W, HPI 400 W BU, HPI 400 W, HPI-T 400 W и HPI-T 2000 W/380 е прикажана на сликата 7.6.2а. Сијалиците од типот HPI-T 1000 W се поврзуваат според сликата 7.6.2б, а истата шема се користи и за сијалиците од типот HPI-T 2000 W/220, само со две придушници (често нарекувани баласта) врзани паралелно.

На сликата 7.6.2 е присутен и електронски уред познат под името игнитор. Неговата задача е да учествува во создавање на напонски импулси потребни за запалување на сијалицата. Тој е активен од ставањето на колото под напон до запалувањето на сијалицата. Времето на запалување е околу три минути, а при повторно запалување е 5 до 10 минути.

Зависно од моќноста и типот на сијалицата, почетната струја е поголема од номиналната за 1,45 до 2,38 пати [50]. Ова треба да се има предвид при проектирање на соодветни електрични инсталации за напојување на металхалогените сијалици.



Слика 7.6.2 Поврзување на метал халогена сијалица [50]

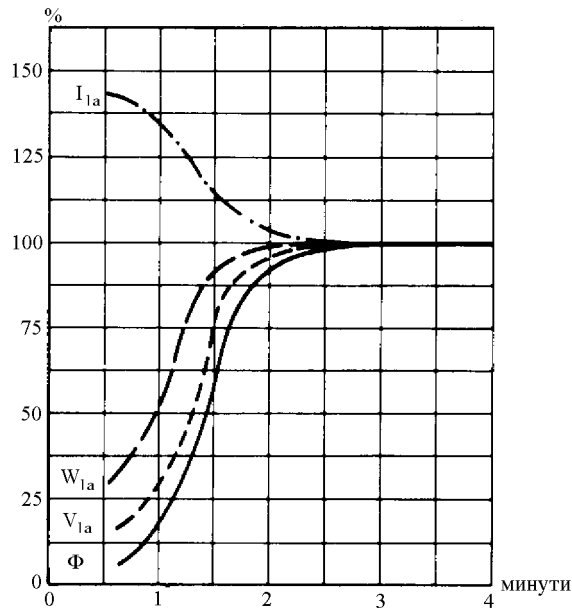
Освен наведеното, при проектирање на напојните електрични инсталации треба да се уважува дека факторот на моќност на струјните кола за напојување на металхалогените сијалици може да биде доста низок. Ако во тие кола не постои кондензатор за подобрување на факторот на моќност, за струјните кола на сите металхалогени сијалици, освен на таа за номинален напон 380 V, факторот на моќност изнесува 0,55. За струјните кола за напојување на металхалогената сијалица за номинален напон 380 V факторот на моќност изнесува 0,62.

Кондензаторите за подобрување на факторот на моќност (поврзани со испрекинати врски на сликите 7.6.2а и 7.6.2б) влијаат и врз значително намалување на интензитетот на струите, како во стационарниот погон така и при запалувањето (додека работи игнаторот). Така, на пример, ако во колото на металхалогената сијалица тип HPI-T 1000 W се инсталира кондензатор со капацитет од 65 μF , струјата на запалувањето ќе се намали од 13 A на 8 A, а струјата на стационарниот погон (работната струја) ќе се намали од 8,25 A на 5,30 A.

Типични релативни дијаграми на промена на светлинскиот флуks, Φ , струјата, I , и моќноста на колото на една металхалогена сијалица со бистар балон, во првите четири минути од приклучувањето на електричниот напон, се прикажани на сликата 7.6.3.

Според [50], во стационарен погон струјата, моќноста и светлинскиот флуks кај сите видови металхалогени сијалици практично линеарно зависат од погонскиот напон. Така, на пример, за сијалиците со бистар балон при напон за 5% понизок од номиналниот флуksот е за 20% помал од номиналниот, а при напон за 5% повисок од номиналниот флуks-

сот е за 20% поголем од номиналниот. Кај металхалогените сијалици со елипсоиден балон светлинскиот флукс е нешто помалку зависен од напонот: при $1,05U_{\text{ном.}}$ е $1,13\Phi_{\text{ном.}}$, а при $0,95U_{\text{ном.}}$ е $0,87\Phi_{\text{ном.}}$. Не се препорачува металхалогените сијалици да работат под напон што отстапува за повеќе од 5% од номиналниот.



Слика 7.6.3 Релативни погонски големина на металхалогена сијалица [50]
(I_{la} - струја, V_{la} - напон, W_{la} - моќност, Φ - светлински флукс)

По правило, за металхалогените сијалици не е дозволена производна положба на горење. За секој тип производителите пропишуваат во која положба е дозволено да се користи.

Според [43], трајноста на металхалогените сијалици е 6000 саати, сметајќи дека за тоа време светлинскиот флукс на сијалицата ќе опадне на половина од вредноста што ја имал по првите 100 саати од горењето.

Бидејќи обезбедуваат добра репродукција на бојата, овие сијалици често се применуваат за осветление на спортски објекти, театарски и телевизиски сцени, но можат да се користат и во стокровни куќи и индустриски хали. За осветление на спортски објекти се користат сијалиците со поголеми моќности (1000 и 2000 W). При проектирањето на осветление со металхалогени сијалици е потребно да се води сметка за големата сјајност на некои типови на овие сијалици, како и за намалување на стробоскопскиот ефект.

Некои податоци за металхалогените сијалици со халогенидите на натриумот, талиумот и индиумот, според [50], се дадени во табелата 7.6.1.

Како што се гледа од табелата 7.6.1, специфичното производство зависи од моќноста на сијалицата и се движи од 65 до 93 lm/W.

Табела 7.6.1 Номинални параметри на некои металхалогени сијалици [50]

Ознака	Моќност W	Светлински флукс lm	Специфично производство lm/W	Сјајност cd/m ²
HPI 250 W BUS	250	17500	65	37000
HPI-T 250 W	245	17000	65	7000000
HPI 400 W	390	27600	67	35000
HPI 400 W BU	400	30600	72	38000
HPI 400 W BUS	400	30600	72	38000
HPI-T 400 W	390	31500	76	7700000
HPI-T 1000 W	965	81000	80	9500000
HPI-T 2000 W/220	1960	189000	92	11000000
HPI-T 2000 W/380	1900	183000	93	8700000

Забелешка:

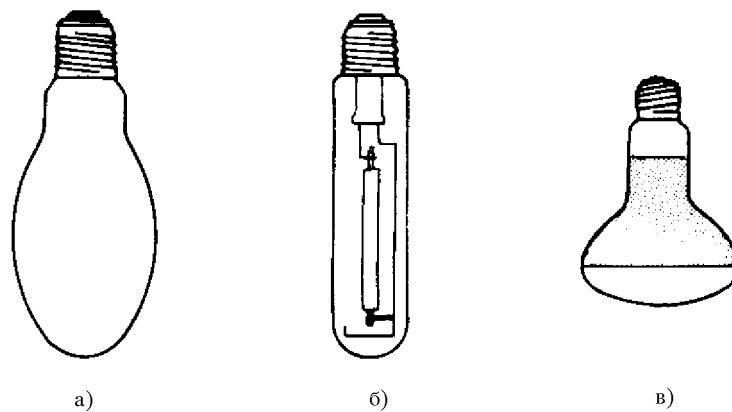
1. Наведените сијалици се за номинален напон 220 V, освен последната, која е за номинален напон 380 V.
2. Сијалиците чија ознака започнува со HPI имаат надворешен балон како на сликата 7.6.1а, а сијалиците чија ознака започнува со HPI-T имаат надворешен балон како на сликата 7.6.1б.

7.7. Натриумови сијалици со висок притисок

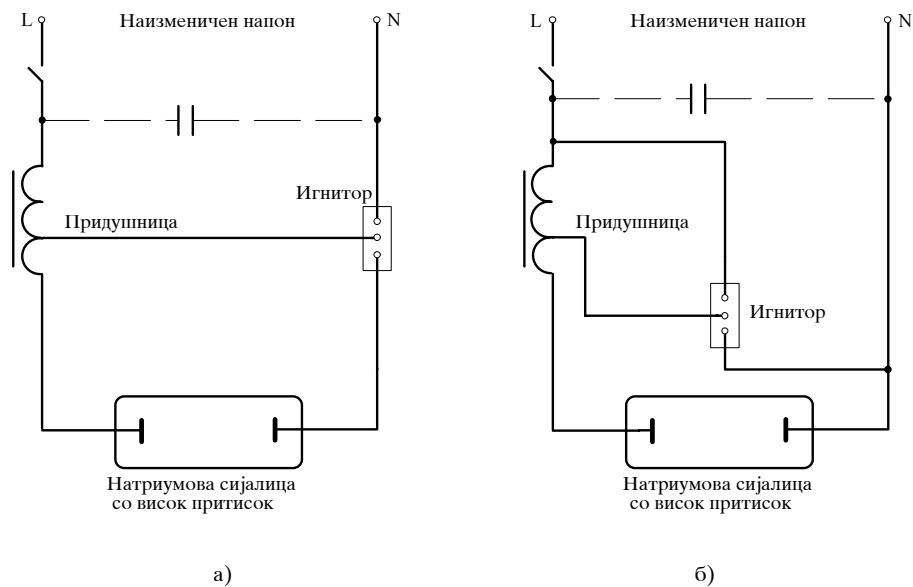
Според конструктивниот изглед, натриумовите сијалици со висок притисок се слични на живините сијалици под висок притисок и металхалогените сијалици. И тука електричното празнење се изведува во релативно мала стаклена цевка (наречена брениер), поставена во поголем стаклен балон. Освен натриумот, во внатрешноста на брениерот се наоѓа определено количество жива, која со натриумот создава амалгам и така го регулира притисокот во брениерот. За полесно стартување се додава ксенон. Надворешниот балон се изведува во облиците прикажани на сликата 7.7.1, и тоа: а) елипсоиден балон со флуоресцентен прав од внатрешната страна; б) цевкаст балон од провидно стакло (во ознаката е присутно -Т) и в) печуркаст балон со рефлексен слој на делот од внатрешната површина (во ознаката е присутно -R). Овие сијалици произведуваат златно-бела светлина чија температура на бојата е околу 2100 °K, а индексот на репродукцијата на бојата е $Ra=30$.

Две шема на поврзување на натриумовите сијалици со висок притисок се дадени на сликата 7.7.2. Заслужува да се истакне дека уредот за запалување (игнитор) прикажан на сликата 7.7.2а се разликува од соодветниот уред прикажан на сликата 7.7.2б. Додека е активен, игниторот во комбинација со специјална придупница (нарекувана баласт) дава напон со амплитуда 3000-4500 V. Како што се гледа од табелата 7.7.1, шемата на поврзување според сликата 7.7.2а има широка примена. Но, треба да се забележи дека со друг тип игнитор (поинаков од тој што се применува со шемата на сликата 7.7.2а) шемата на поврзување

според сликата 7.7.2б може да се примени за сите сијалици со натриумова пара под висок притисок чија номинална моќност е од 150 до 1000 W. Струјата при запалувањето на сијалицата со натриумова пара под висок притисок (т.е. кога работи игниторот), зависно од нејзиниот тип и моќност, е поголема од струјата на стационарниот погон за 1,3 до 1,76 пати [49]. Кај овие сијалици времето на запалување е од 3 до 4 минути. Кај сијалиците со екстерен игнитор времето на повторно запалување е покусо од две минути [49].



Слика 7.7.1 Натриумови сијалици со висок притисок [49]



Слика 7.7.2 Поврзување на натриумова сијалица со висок притисок

Некои технички податоци за натриумовите сијалици со висок притисок, за номинален напон 220 V, се дадени во табелата 7.7.1

Табела 7.7.1 Податоци за натриумови сијалици со висок притисок [49]

Ознака	Номинален напон на горење V	Номинален светлински флукс ⁺ lm	Номинално специфично производство lm/W	Номинална сјајност cd/m ²	Шема на поврзување	Облик на балонот
SON 50 W-I	85	3300*	57	45000	7.5.2	7.7.1a
SON 70 W-I	90	5800*	72	70000	7.5.2	7.7.1a
SON 70 W-E	90	5800*	72	70000	7.7.2a	7.7.1a
SON 100 W	100	9500*	86	150000	7.7.2a	7.7.1a
SON 150 W	100	13500*	79	100000	7.7.2a	7.7.1a
SON 250 W	100	25000*	89	190000	7.7.2a	7.7.1a
SON 400 W	105	47000*	108	240000	7.7.2a	7.7.1a
SON 1000 W	110	120000*	113	360000	7.7.2a	7.7.1a
SON-T 100 W	100	10000	90	3000000	7.7.2a	7.7.1б
SON-T 150 W	100	14000	82	3000000	7.7.2a	7.7.1б
SON-T 250 W	100	27000	96	3600000	7.7.2a	7.7.1б
SON-T 400 W	100	47000	108	5500000	7.7.2a	7.7.1б
SON-T 1000 W	100	125000	118	6500000	7.7.2a	7.7.1б
SON-H 210 W	104	18000		140000	7.5.2	7.7.1a
SON-H 350 W	117	34500		180000	7.5.2	7.7.1a
SON-R 250 W	100	23000			7.7.2a	7.7.1в

⁺По првите 100 саати горење.

*Светлински флукс при хоризонтална положба на горење.

За сите типови на натриумовите сијалици со висок притисок е дозволена произволна положба на горење. При пропишаните работни услови трајноста на овие сијалици е околу 6000 саати [42], при што светлинскиот флукс ќе опадне за околу 15%.

Се препорачува погонскиот напон да не биде повисок од номиналниот за повеќе од 5%, бидејќи при повисоките напони битно се скусува трајноста на сијалицата. Освен тоа, на скусување на трајноста влијае и зголемена температура на сијалицата, до која може да дојде поради неправилно поставување на сијалицата во светилка (односно рефлектор), при што топлинските зраци се фокусираат кон бренирот. Од друга страна, според [49], погонскиот напон не треба да биде понизок од 200 V, бидејќи тоа е најнискиот напон при кој се обезбедува стабилна работа на сите сијалици со натриумовата пара под висок притисок.

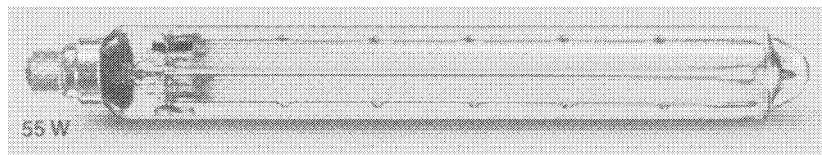
Сијалиците со ознаката SON-H 210 W се предвидени за директна замена на сијалиците со живината пара под висок притисок и моќност 250 W, додека сијалиците со ознаката SON-H 350 W можат директно да ги

заменуваат живините сијалици со висок притисок и моќност 400 W. Се разбира, при оваа замена на сијалиците не се изведува замена на придрушниците.

Сијалиците со натриумова пара под висок притисок се употребуваат за осветление на улици, автопатишта, паркиралишта, плоштади, пристаништа, аеродроми, железнички и автобуски станици, споменици, фасади, градилишта, спортски објекти (за тренинг) и индустриски објекти во кои доброто распознавање на бои не е од битно значење за одвивање на работите и каде постојат услови светилките да бидат високо поставени (на пример: леарници, железарници, цементарници и слично). Сијалиците со вграден рефлектор можат да се препорачат за простории со повеќе прав и/или таму каде чистењето на сијалиците е поврзано со тешкотии.

7.8. Натриумови сијалици со низок притисок

Овие сијалици имаат балон во вид на цевка од бистро стакло (слика 7.8.1). Електричниот приклучок се наоѓа на едниот крај на цевката. Во внатрешноста на балонот се наоѓа друга цевка, во вид на латинската буква U, направена од стакло што е отпорно на жешките натриумови пари. Во внатрешноста на цевката е мешавина од аргон и неон, на која е додадено прецизно определено количество натриум. На краиштата на внатрешната цевка се поставени електроди. На електродите се наоѓа активна маса која интензивно емитура електрони, кои се неопходни за електрично празнење низ натриумовата пара.



Слика 7.8.1 Натриумова сијалица со низок притисок [48]

За ефикасно работење на овие сијалици е нужно внатрешната цевка да има определена температура. Според [48], оптимална е температурата од 260 °C. За да се спречи одведувањето на топлина од внатрешната цевка (како со конвекција така и со кондукција), меѓу внатрешната цевка и надворешниот балон е вакуум. Освен тоа, за да се намали и пренесувањето на топлина по пат на зрачење, на внатрешната страна на ѕидовите на надворешниот балон е нанесен слој на индиум оксид, што има задача да ги одбива инфрацрвените зраци што ги емитура внатрешната цевка. Слојот на индиум оксидот, меѓутоа, ги пропушта видливите зраци. Електричното празнење низ натриумовата пара во внатрешната цевка произведува жолта светлина со бранова должина од 589,0 и 589,6 nm.

Основни податоци за натриумовите сијалици со низок притисок, според [48], се дадени во табелата 7.8.1. Сијалиците со номинална моќност од 18 до 55 W се предвидени да работат во положби во кои нивната оска зафаќа со вертикалата агол што не е поголем од 110°. За сијалиците со номинална моќност од 90 до 180 W се дозволени положбите во кои оската на сијалицата зафаќа со хоризонталата агол што не е поголем од 20°.

Табела 7.8.1 Номинални податоци за некои натриумови сијалици со низок притисок [48]

Ознака	Напон на горење V	Светлински флукс lm	Специфично производство lm/W	Сјајност cd/m ²
SOX 18 W	57	1800	68	100000
SOX 35 W	68	4500	96	100000
SOX 55 W	107	7400	103	100000
SOX 90 W	117	13000	116	100000
SOX 135 W	176	21500	135	100000
SOX 180 W	250	30500	143	100000

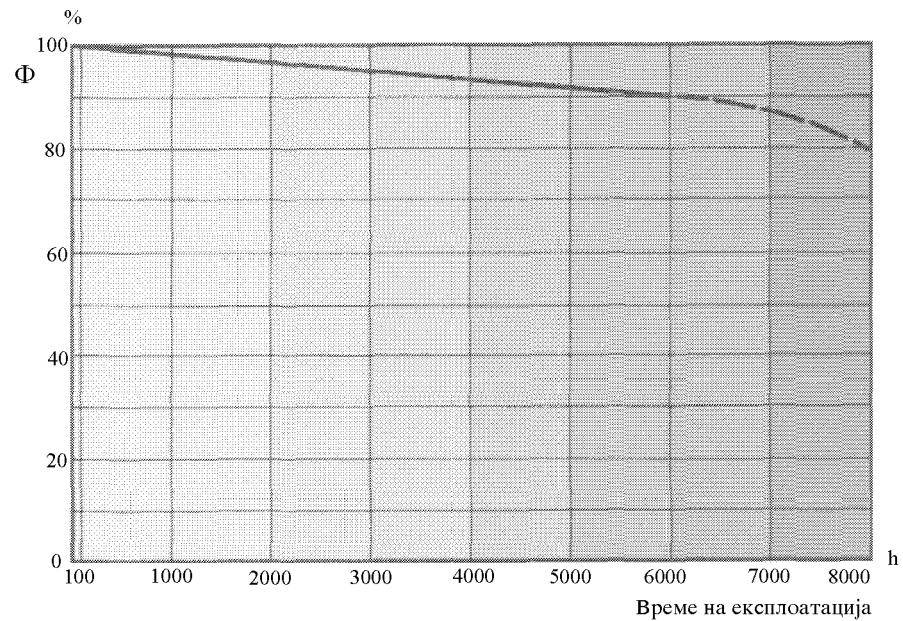
Во табелата 7.8.1, како и во претходните табели, под "напон на горење" е даден податокот за напонот на приклучоците на секоја од сијалиците, кога тие се во стационарен погон. Притоа треба да се уважува дека секоја од сијалиците, преку соодветен предспоен елемент (придушница, трансформатор или автотрансформатор), е приклучена на номинален напон, кој за сите сијалици од табелата 7.8.1 изнесува 220 V. За стабилна работа на натриумовите сијалици со низок притисок е неопходно погонскиот напон да не биде понизок од 200 V. Со соодветни приклучни апарати сијалицата може да се запали и стабилно да работи дури и при температура на околина од -40 °C. Таа особина, покрај големото специфично производство, ги прави натриумовите сијалици со низок притисок атрактивни за надворешна монтажа.

Од моментот на приклучувањето на номиналниот напон до моментот кога сијалицата започнува да дава 80% од крајниот флукс е потребно од 7 до 12 минути. Должината на тоа време е зависна од моќноста на сијалицата. Но, ако запалената сијалица се исклучи и веднаш повторно вклучи, потребни се околу две минути.

За приклучување на натриумова сијалица со низок притисок на мрежа се користи придушница или автотрансформатор. Во странската терминологија е вообичаено тие елементи да се нарекуваат со заедничко име баласт. Освен тоа, во повеќето случаи се користи и игнитор. Соодветните шеми на поврзување можат да се најдат во каталозите [41] и [48].

Според [41] трајноста е околу 5000 саати, но треба да се забележи дека во други извори можат да се најдат и поинакви податоци за трајноста. Опаѓањето на светлинскиот флукс во текот на експлоатацијата е прикажано на сликата 7.8.2.

Натриумовите сијалици со низок притисок даваат практично монохроматска (жолта) светлина, што не овозможува добро распознавање на боите. Поради тоа, иако овие сијалици имаат најголемо специфично производство, нивната примена е ограничена на местата каде распознавањето на боите не е пресудно за изведување на предвидените активности. Тие се користат главно за осветление на: автопатипшта, крстосници во градовите, опасни места на патиштата, пристаништа, товарни железнички станици, аеродроми, градилишта, челичарници, леарници, каменоломи, фабрики на бетонски производи, сепарации на јаглен или руда, фасади на згради и слично.



Слика 7.8.2 Зависност на светлинскиот флукс на натриумовите сијалици со низок притисок од времето на експлоатацијата [41]

8. СВЕТИЛКИ

Светилките служат за прераспределба на светлинскиот флуks на сијалиците во саканите правци, но и да ги заштитат сијалиците од дејствата што штетно влијаат врз нив. Освен тоа, светилките обезбедуваат механичко прицврстување на сијалиците и овозможуваат нивно поврзување на електричната инсталација. Во однос на барањата за прераспределба на светлинскиот флуks, од светилката може да се бара флуksот да го зрачи во мал просторен агол, во поголем просторен агол или во просторниот агол од 4π стерадијани. Од друга страна, условите во кои се поставуваат светилките можат да бидат најразлични: затворени суви и чисти простории, влажни простории, простории со агресивни гасови и пареи, простории со запаливи гасови, отворени простори итн. Поради непрактичноста да се направи светилка што би ги задоволувала сите услови, развиени се повеќе видови светилки, а секоја од нив е соодветна за определени услови на работа.

За да може да се одбере соодветен тип на светилка, при проектирање на електричното осветление е нужно да се знаат конкретните услови во кои ќе работи светилката. Несоодветно одбрана светилка не само што може да биде причина за лошо осветление или за намалена трајност на уредите за осветление, туку може да биде предизвикувач на пожар или експлозија со несогледиви последици.

Според условите за кои се предвидени, разликуваме: светилки за надворешна монтажа, светилки за суви простории, светилки за влажни простории, светилки за простории со експлозивни гасови и пареи, светилки за простории со агресивни гасови и пареи, светилки за простории со висок плафон, светилки за простории со многу прав итн.

За илустрација во Додатокот се прикажани некои примери на светилки за различни услови на поставување. Така, за поставување во суви простории се предвидени светилките дадени на сликите: Д.1, Д.2, Д.3, Д.4, Д.5, Д.6, Д.7, Д.8, Д.9, Д.10, Д.11, Д.12, Д.13, Д.14 и Д.17. Примери на светилки за поставување во влажна средина се прикажани на сликите: Д.15 и Д.18. Доколку светилката треба да се постави во средина во која има агресивни гасови, може да се користи светилка како на сликата Д.16.

Според тоа како го насочуваат светлинскиот флуks, разликуваме: светилки за директно осветление, светилки за полудиректно осветление, светилки за мешано осветление, светилки за полуиндиректно осветление и светилки за индиректно осветление.

Светилките за директно осветление се одликуваат со тоа што кога оптичката оска им е поставена вертикално, со насока надолу, тие најмалку 90% од израчениот светлински флуks го насочуваат во долниот полупростор. Такви се, на пример, светилките прикажани на сликите Д.17 и Д.19. Осветлението со таквите светилки се одликува со остри сенки и можна појава на директно и/или рефлексно блескотење, но спаѓа меѓу

најевтините. Таквите светилки најчесто се применуваат за осветление на: простории со стаклен покрив, простории со висок плафон, фабрички хали, магацини, спортски терени, патишта, улици, плоштади, фасади на згради и сл. Многу често се светилките за дополнително осветление на работните места од овој тип.

Кога оптичката оска на една светилка за полудиректно осветление е поставена вертикално, со насока надолу, таа емитува во долниот полупростор 60 до 90% од израчениот флуks. При примена на овие светилки сенките не се толку остри како кога би се примениле светилките за директно осветление. Светилките за полудиректно осветление се користат за осветление на: продавници, канцеларии, работилници, станови и сл.

Светилките за мешано осветление, при вертикално поставена оптичка оска, со насока надолу, 40 до 60% од израчениот флуks го насочуваат во долниот полупростор. При користење на овие светилки значителен дел од флуksот доаѓа до осветлуваната површина по претходно одбивање од плафонот и сидовите. Тоа придонесува сенките да не бидат остри и ја намалува можноста за појава на изразено рефлексно блескотење. Овој вид на светилки се користи за осветление на: предавални, канцеларии, продавници и сл. Треба да се забележи дека, во случаите кога се користат светилки за мешано осветление, добар коефициент на искористување на осветление не може да се постигне кај темен плафон и/или темни сидови.

Светилките за полуиндиректно осветление, кога оптичката оска им е поставена вертикално, со насока надолу, во долниот полупростор зрачат од 10 до 40% од вкупниот светлински флуks. Со примена на вакви светилки поголемиот дел од израчениот флуks се насочува кон плафонот (и/или сидовите), од каде дифузно се одбива и паѓа на осветлуваната рамнина, осветлувајќи ја прилично рамномерно. Притоа, сенките се многу слаби и без остри граници, блескотењето не се јавува, а степенот на искористувањето многу зависи од состојбата на плафонот и сидовите. Овие светилки се погодни за осветление на станови, канцеларии, музеи и слично.

Светилките за индиректно осветление, ако оптичката оска им е поставена вертикално, со насока надолу, директно зрачат во долниот полупростор најмногу 10% од својот флуks. Така, најголемиот дел од светлинскиот флуks што паѓа на осветлуваната рамнина е флуksот одбиен од плафонот и сидовите. Затоа на обработката на тие површини и на нивното одржување треба да се посвети посебно внимание. Ова осветление дава практично незабележливи сенки, а блескотењето не се јавува ниту како директно ниту како рефлексно. Просторот е рамномерно осветлен, што остава пријатен впечаток. Таквото осветление се смета за луксузно. Подобно е за кина, театри, сали за концерти, изложбени павилјони и слични објекти. Степенот на искористување на ова осветление е мал и многу зависи од состојбата на плафонот и сидо-

вите. Тоа е важна причина поради која индиректното осветление не се користи често.

Покрај чисто техничките аспекти, при изборот на светилка треба да се води сметка и за естетиката. Добро избраната светилка хармонично се вклопува во амбиентот и придонесува за негово оплеменување, и обратно. Затоа, изборот на соодветна светилка за еден објект претставува битен услов за изготвување добро светлотехничко решение.

9. СИСТЕМИ НА ОСВЕТЛЕНИЕ

9.1. Општо осветление

Ако во една просторија се постави определен број светилки и тие по можност симетрично се распределат, со цел да се постигне порамномерна осветленост, тогаш велиме дека во просторијата имаме општо осветление. Во тој случај електричната инсталација на која се приклучени светилките е едноставна и не зависи од распоредот на опремата во просторијата (т.е. од распоредот на работните места). За општото осветление може да се наведе дека ги има следниве добри особини:

- создава приближно рамномерна осветленост во целата просторија, а со тоа и пријатен амбиент за работа и
- овозможува флексибилен избор на локации за работните места и на тој начин придонесува за подобро искористување на површината на просторијата.

Но, овој систем има и лоша особина. Тој обезбедува поголема осветленост и во тие делови на просторијата каде тоа не е неопходно. Поради тоа вкупните трошоци за ангажираната електрична моќност и потрошената електрична енергија се поголеми, отколку кога се користи друг систем на осветление.

9.2. Дополнително осветление

Дополнително осветление се користи за локално подобрување на осветленоста што е постигната со општото осветление. Овој систем се користи за осветление на релативно мали површини и нивната околина, односно за осветление на објекти кои треба да бидат истакнати. Ова осветление најчесто се изведува со употреба на блиски светилки, а поретко со употреба на оддалечени рефлектори.

Создавање на повисока осветленост на помали површини има функционално и економско оправдание. Покрај другото, улогата на дополнителното осветление е да овозможи на секое осветлувано место потребната осветленост да се усогласи со карактерот на работните задачи, староста на корисниците на осветлението и карактеристиките на нивниот вид. Но, изворите на дополнителното осветление треба да бидат избрани и поставени така да не предизвикуваат блескотење ни кај еден од корисниците на осветлението во просторијата.

При примена на дополнителното осветление вообичаено е тоа да не биде многу поголемо од општото. Се препорачува со општото осветление да се обезбедува најмалку 20% од осветленоста што се постигнува со општото и дополнителното осветление.

Добри страни на системот со дополнително осветление се што тој овозможува:

- релативно едноставно обезбедување на потребната осветленост за квалитетно извршување одделни работни задачи, како и прилагодување на потребната осветленост кон карактеристиките на видот на работникот и
- заштеда на трошоците за електричната енергија и моќност.

Лоши страни на системот со дополнително осветление се во тоа што тој:

- бара посложена електрична инсталација, за чие проектирање и изведување е неопходно однапред да се знае распоредот на опремата и локациите на работните места и
- ги ограничува можностите за промена на локациите на работните места, т.е. ги ограничува можностите за флексибилно користење на површината на просторијата.

10. СТАНДАРДИ И ПРЕПОРАКИ ЗА НИВОТО НА ОСВЕТЛЕНОСТА

Потребната осветленост, главно, зависи од намената на осветлението, карактерот на поставените задачи и субјективните одлики на луѓето за кои е наменето осветлението. Бидејќи за постигнување на потребната осветленост се неопходни, најнапред, определени инвестициони средства, а потоа и средства за покривање на експлоатационите трошоци, сосема е разбирливо дека прашањето за големината на потребната осветленост не е чисто техничко прашање. Затоа, за разни случаи во одделни земји, зависно од степенот на нивната економска развиеност, постојат различни норми, стандарди или препораки за висината на минималната средна осветленост или за препорачаната средна осветленост.

На овој проблем му е посветен стандардот [66], но и препораките [15]. Во табелата 10.1.1 се наведени минималните средни осветлености за одделни барања (односно за различна сложеност и прецизност на предвидените активности) што ги предвидува стандардот [66], како и средните осветлености што за истите случаи ги сугерираат препораките [15].

Табела 10.1.1 Минимални средни осветлености (според [66]) и препорачани средни осветлености (според [15])

Барања	Минимална средна осветленост во лукси според стандардот [66]						Средна осветленост во лукси според препораките [15]
	Само општо осветление		Општо со дополнително осветление				
			Општо Осветление		Дополнително осветление		
	СМВ	ФС	СМВ	ФС	СМВ	ФС	
Многу мали	30	50	-	-	-	-	60
Мали	50	80	-	-	-	-	120-250
Средни	80	150	30	50	150	300	250-500
Големи	150	300	50	80	300	600	500-1000
Многу големи	300	600	80	150	600	1000	1000-1500
Особено големи	-	-	150	300	повеќе од 1000		2000 и повеќе

Забелешка:

1. колоната означена со СМВ се однесува на осветление со сијалици со метално влакно,
2. колоната означена со ФС се однесува на осветление со флуоресцентни сијалици.

Накусо ќе бидат изнесени појаснувања во врска со барањата наведени во табелата 10.1.1.

Како многу мали барања се сметаат тие што се поставуваат пред осветлението во споредни простории, визби, простории без одделна

намена, складови за некурентна стока, споредни ходници, простор за публика во театри и слично.

Мали барања се оние барања што пред осветлението се поставуваат во просториите како што се: главни ходници, скали, складови, гаражи, санитарни простории, лифтови, котларници и слично. Таквите барања се поставуваат и пред општото осветление во спални и бањи.

Средни барања се оние барања што осветлението треба да ги задоволи во следниве објекти: чекални, простории за грубо сортирање на стока и работилници во кои не се поставуваат посебни барања во поглед на прецизност. Во таа категорија спаѓаат и барањата што треба да ги задоволи општото осветление во кујна, дневна и детска соба.

Под големи барања се подразбираат барањата што пред осветлението се поставуваат при следниве активности: сортирање на стока, читање на инструменти, лабораториски работи, монтажа на помали мотори, работа на сите машини за прецизна обработка, стенографски и дактилографски работи, сметководствени и книговодствени работи, училишно цртање и сите видови прецизна рачна работа. Тука спаѓаат и барањата што осветлението треба да ги задоволи пред тоалетно огледало, на местото за читање во дневна соба и над креветот во спална.

Во многу големи барања спаѓаат оние барања што пред осветлението се поставуваат при изведување на следниве активности: изработка на мерни инструменти, интарзија, резбарење, кроење и шиене на темен материјал, техничко цртање, саатчески работи и слично.

За особено големи барања се сметаат барањата што осветлението треба да ги задоволи во операционите сали и салите за обдукција, како и за гравирање, златарски работи и слично.

Веќе беше наведено дека стандардите за потребната средна осветленост за извршување на определен вид на работни задачи зависат од нивото на економската развиеност на односната земја. Може да се констатира дека во економски поразвиените земји, по правило, стандардите и препораките предвидуваат повисоки осветлености одошто за истиот вид работа е предвидено во регулативата на помалку развиените земји. За илустрација на претходното во табелата 10.1.2 се наведени некои податоци од британскиот стандард (според [9]).

Заслужува да се нагласи дека наведените нормативи (како и нормативите во другите земји) даваат глобални информации за избор на потребната средна осветленост. Меѓутоа, за секој одделен случај, *проектантот на осветлението е одговорен* за висината на средната осветленост што ја избира. Затоа на изборот треба да му претходи детално проучување на конкретните услови и барања во објектот.

10.1.2 Потребни средни осветлености според британскиот стандард*

Карактер на предвидените активности	Типични примери	Осветленост lx
Движење и повремен надзор	Простории за котли и пумпи. Санитарни простории.	150
Повремена работа без сложени задачи	Простории за генератори и турбини. Складови за мали предмети. Складови за хемиски суровини.	200
Груба работа (груби машини и делови, прости задачи со големи делови)	Челичарници - изработка на калани. Перални (прием, сортирање и перење). Кожарски работи. Општо осветление при миење на коли.	300
Рутинска работа (вообичаена работа со вообичаени детали)	Монтирање на машини и автомобили. Изработка и инспекција на авиони. Општо осветление во цртални и дактилобира. Осветление на работниот простор во кујни.	500
Работа со поголеми барања (посложени задачи со ситни детали)	Простории за печатарски машини. Простории за машинска обработка на дрво. Табли за цртање во цртални.	750
Многу сложени задачи со разликување бои и многу ситни детали	Преглед на телекомуникациони уреди. Преглед на печатени работи. Сликање.	1000
Особено сложени задачи со особено ситни детали	Полирање. Кројачки работи и тапацирање. Прецизно лемење и заварување.	1500
Исклучително сложени задачи со исклучително ситни детали	Преглед на мали инструменти. Изработка на накит. Поправкаа саати. Работа со луна.	3000

* Според [9], со одобрение на издавачот.

11. ПРЕСМЕТКА НА СРЕДНА ОСВЕТЛЕНОСТ СО ПОМОШ НА КОЕФИЦИЕНТОТ НА ИСКОРИСТУВАЊЕ НА ОСВЕТЛЕНИЕТО

11.1. Пресметка на потребниот светлински флуks

Во поглавјето 2.14 беше дадена општа дефиниција на коефициентот на искористување на осветлението, што го означивме со η . Тој е дефиниран како однос помеѓу светлинскиот флуks Φ' , што паѓа на мерната (осветлуваната) површина, и вкупниот светлински флуks Φ , што го произведуваат сите сијалици со кои се осветлува таа површина, т.е.

$$\eta = \frac{\Phi'}{\Phi}. \quad (11.1.1)$$

Тој коефициент ќе го искористиме за пресметка на средна осветленост на површините во затворени простории. Ќе претпоставиме дека осветлуваната просторија има облик на паралелопипед, со должина a , ширина b и висина h . Ако не се нагласи поинаку, обично се зема дека осветлуваната површина е рамна и се наоѓа на височина $h_3=0,85$ m од подот.

Ако на осветлуваната површина треба да се постигне средна осветленост $E_{\text{сред}}$, на неа треба да падне светлински флуks (приближно рамномерно распределен) определен со равенката (11.1.2):

$$\Phi' = a \cdot b \cdot E_{\text{сред}}. \quad (11.1.2)$$

За разгледуваниот случај, ако се познава и коефициентот на искористување на осветлението, вкупниот светлински флуks на сите инсталирани сијалици со кои се осветлува површината треба да изнесува:

$$\Phi = \frac{a \cdot b \cdot E_{\text{сред}}}{\eta}. \quad (11.1.3)$$

Со оглед на фактот дека со текот на времето сијалиците стареат и нивниот светлински флуks, зависно од типот на сијалицата, повеќе или помалку се намалува, вообичаено е да се воведат фактор преку кој се води сметка за намалувањето на светлинскиот флуks. Обично, тој фактор се означува со f_2 и се нарекува фактор на стареење. Покрај тоа, на промена се подложни и светлотехничките особини на светилките, сидовите, плафонот и осветлуваната површина (често нарекувана мерна рамнина). Обично, на тие површини е можно натрупување прав и друга нечистотија, а можна е и промена на нивната боја, односно промена на нивните одбивни својства, поради дејствување на ултравиолетовите и/или инфрацрвените зраци или други фактори. Поради тоа се воведува дополнителен фактор, f_1 , преку кој се води сметка за нечистотија. Производот на факторите f_1 и f_2 се означува со f и се нарекува фактор на стареење и нечистотија. Така може да се напише:

$$f = f_1 \cdot f_2. \quad (11.1.4)$$

Податоците за факторите на стареење можат да се најдат во прирачниците и каталозите на производителите на светлотехничката опрема. Вредностите на овој фактор според [63] се движат од 0,96 (за халогените сијалици) до 0,8 (за живините сијалици со висок притисок и за некои флуоресцентни сијалици). Факторот на нечистотија зависи од типот на светилката и од изложеноста на светилката, плафонот, сидовите и мерната рамнина на прав, чад и други нечистотии. Податоците за овој фактор, во зависност од типот на светилката и степенот на изложеноста на нечистотии во просторијата, можат да се најдат во прирачниците и каталозите на производителите на светлотехничката опрема.

Земањето предвид на факторот f уште во фазата на проектирање овозможува и со инсталацијата што не е нова да се постигне бараната осветленост. Во тој случај равенката (11.1.3) може да се напише во вид:

$$\Phi = \frac{a \cdot b \cdot E_{\text{сред}}}{f \cdot \eta}, \quad (11.1.5)$$

што е нејзиниот најчесто користен облик. Навистина, земајќи го предвид факторот на стареење и нечистотија, во почетниот период на експлоатација на осветлението ќе се добијат нешто повисоки осветлености од предвидените. Но, тоа е неопходно, ако се сака подоцна вредноста на средната осветленост да не падне под предвидената.

За одделни видови светилки, во услови кога тие се рамномерно распределени во просторијата што има облик на паралелопипед, коефициентот на искористување на осветлението, во зависност од димензиите на просторијата, висината на поставувањето на светилките, коефициентите на одбивање од плафонот, сидовите и мерната рамнина, обично се дава во прирачници и каталози на производители на светилки. За илустрација, во Додатокот на оваа книга е даден определен број податоци за некои типови светилки. Сосема е разбирливо дека, покрај таму наведените типови на светилки, постојат и многу други, што ги нудат производителите на овој вид светлотехничка опрема. При користење на табелите за коефициентот на искористување на осветлението, дадени во Додатокот, треба да се има предвид дека тие важат за светилка со онолкув број сијалици и за сијалици со таква моќност како што е наведено во описот на светилката. Но, во множеството податоци за светилките дадени во Додатокот се наоѓаат и податоците за флукс-кодовите (што се дефинирани во поглавјето 12).

Практично не е изводливо за сите можни димензии на простории да се дадат вредности за коефициентот на искористување на осветлението. Но, тоа не е ни потребно. Истражувањата покажаа дека за практични цели е доволно да се познаваат коефициентите на искористување на релативно мал број случаи, кои се карактеризираат со

определени вредности на еден параметар, наречен индекс на просторија, кој ќе го означуваме со k . Индексот на просторија зависи од димензиите на просторијата, висината на поставувањето на светилките и од нивниот тип. За просториите во вид на паралелошипед индексот на просторија се пресметува со емпириски формули (11.1.6) и (11.1.7). Ако употребените светилки се за директно, полудиректно или мешано осветление, индексот на просторија се пресметува според формулата:

$$k = \frac{a \cdot b}{h_1 \cdot (a + b)}, \quad (11.1.6)$$

а ако употребените светилки се за полуиндиректно или индиректно осветление, индексот на просторија се пресметува според формулата:

$$k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot h_2 \cdot (a + b)}. \quad (11.1.7)$$

Во формулите (11.1.6) и (11.1.7) се употребени ознаките чии значења се следниве:

- a - должина на просторијата;
- b - ширина на просторијата;
- h_1 - висина на светилките над осветлуваната површина (слика 11.1.1);
- h_2 - растојание од осветлуваната површина до плафонот (слика 11.1.1).

Најчесто, пресметаната вредност на индексот на просторија не се наоѓа во соодветните табели за коефициентот на искористување на осветлението, η . Во таквите случаи, со користење на вредностите за η за соседните вредности на k , по пат на линеарна апроксимација се наоѓа бараната вредност на η .

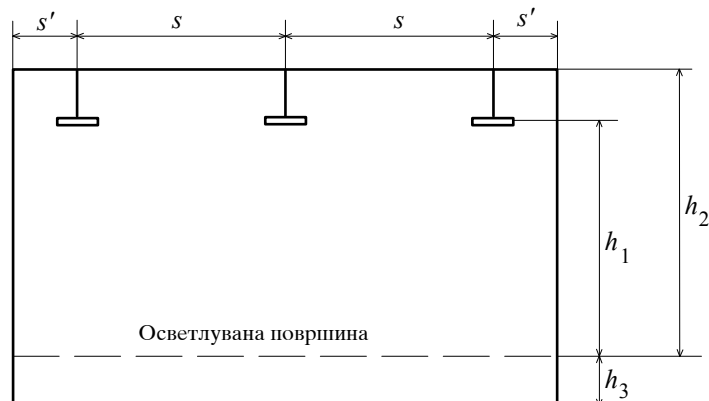
При определување на коефициентот на искористување на осветлението за познат индекс на просторија, потребно е да се знаат и коефициентите на одбивањето од плафонот (ρ_1), од ѕидовите (ρ_2) и од работната површина (ρ_4). За пракса е важно тие коефициенти добро да се проценат. Во таа смисла, ако нема попрецизни информации, можат да се користат податоците од табелата 11.1.1.

Табела 11.1.1 Ориентациони вредности на коефициенти на одбивање

Боја	Коефициент на одбивање
Бела боја и блиски до неа	0,7
Светла боја (жолта, златна и слични)	0,5
Слабо светла боја (црвена и слични)	0,3
Темна боја (темно црвена, темно сина)	0,1

Покрај наведеното во табелата 11.1.1, може да се додаде дека за светло дрво е соодветно да се земе коефициент на одбивање еднаков на

0,3. Додека за темно дрво, како и за прозорско стакло, може да се смета со коефициент на одбивање еднаков на 0,1.



Слика 11.1.1 Пресек на просторијата со назначени карактеристични големини

11.2. Определување на потребниот број на светилки и на нивниот распоред

Пред да се започне со пресметка на потребниот број светилки, треба да бидат познати сите параметри што влијаат на тој број. Тука, во прв ред, спаѓаат:

- димензиите на просторијата;
- боите на плафонот, ѕидовите и работната рамнина;
- намената на просторијата.

Врз основа на тие податоци треба да се одберат:

- потребната средна осветленост на мерната (осветлуваната) површина,
- соодветен тип на сијалица и светилка и
- висината на поставување на светилките.

Потоа, со познатите димензии на просторијата и со усвоената висина на поставување на светилките, имајќи го предвид типот на светилката, се пресметува индексот на просторијата. Врз основа на пресметаната вредност на индексот на просторијата и врз основа на информациите за одбивните својства на плафонот, ѕидовите и мерната рамнина, за усвоениот тип на светилка од соодветната табела (дадена од производителот на светилката, како што е, на пример, делумно прикажано во Додатокот) се определува коефициентот на искористување на осветлението.

Следува определување на факторите на стареење и нечистотија, за што, пак, се користат податоците од каталозите на производителите (делумно прикажани во Додатокот).

Кога се знаат сите големини потребни за пресметка на вкупниот светлински флуks, Φ , на сите сијалици со кои треба да се осветлува мерната рамнина, се пристапува кон пресметка на тој флуks, за што се користи равенката (11.1.5).

Светлинскиот флуks на сите сијалици инсталирани во една светлика ќе го означуваме со $\Phi_{\text{свет.}}$.

Ориентациониот број на светилки, $n'_{\text{свет.}}$, се пресметува како количник помеѓу пресметаниот вкупен светлински флуks на сите употребени сијалици, Φ , и светлинскиот флуks на сите сијалици инсталирани во една светилка, т.е. може да се напише:

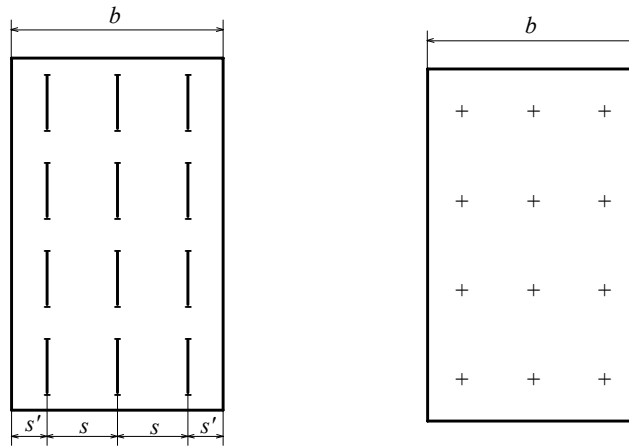
$$n'_{\text{свет.}} = \frac{\Phi}{\Phi_{\text{свет.}}}. \quad (11.2.1)$$

Ако бројот, пресметан со равенката (11.2.1), не е цел број или ако тој број на светилки не е подобен за симетрично поставување, се пристапува кон негово заокружување на соодветен цел број, $n_{\text{свет.}}$. По ова заокружување се врши проверка на постигнатата средна осветленост со усвоениот број на светилки. За таа цел се користи равенката:

$$E_{\text{сред}} = \frac{n_{\text{свет.}} \cdot \Phi_{\text{свет.}} \cdot \eta \cdot f}{a \cdot b}. \quad (11.2.2)$$

Светилките, чиј број е $n_{\text{свет.}}$, се распределуваат во просторијата, при што се настојува да се добие добра рамномерност на осветленоста. Практично тоа се постигнува со рамномерна распределба на светилките и со запазување на односите помеѓу средните растојанија помеѓу светилките, s , и растојанието помеѓу светилките и осветлуваната површина, h_1 . Ако светилките се поставени во низи (како на сликата 11.2.1), средното растојание, s , се зема еднакво на фактичкиот размак помеѓу низите. Ако растојанијата помеѓу одделните низи не се еднакви, се зема s да биде еднакво на средната вредност на растојанијата помеѓу низите. Кога светилките се поставени во низи, растојанието помеѓу соседните светилки од една низа е помало од растојанието помеѓу низите. Ако, пак, светилките се поставени поединечно (како на сликата 11.2.2), средното растојание помеѓу светилките се пресметува со формулата:

$$s = \sqrt{\frac{a \cdot b}{n_{\text{свет.}}}}. \quad (11.2.3)$$



Слика 11.2.1 Светилки поставени во низи Слика 11.2.2 Одделно поставени светилки

Вредноста на односот s/h_1 не треба да биде поголема од соодветната најголема вредност што за усвоениот тип на светилка ја дава нејзиниот производител. Кај светилките со флуоресцентни сијалици, прикажани во прилогот на сликите Д.1 до Д.11, најголемата вредност на тој однос се движи од 1,0 до 1,5. Кај индустриските светилки најголемата вредност на односот s/h_1 е најчесто во интервалот од 0,5 до 1,0. Во недостиг на конкретни информации, за ориентација може да се користи сугестијата тој однос да не биде поголем од 1,25. Ако тој однос е преголем, ќе се јават значителни разлики во осветленостите на одделни делови на осветлуваната површина, односно нема да биде добра рамномерноста на осветленоста. Тоа нема да биде случај ако вредноста на тој однос е значително помала од единица. Но, таквото решение содржи значителен број светилки и не само што може да биде економски понеповолно, туку може да остава впечаток дека просторијата е пренатрупана со светилки.

Доколку покрај сидовите на просторијата постои слободен простор наменет за поминување, растојанието на крајните светилки од сидовите (означено со s' на сликите 11.1.1 и 11.2.1) обично се зема да биде еднакво на:

$$s' = \frac{s}{2}. \quad (11.2.4)$$

Во случаите кога покрај сидовите не е предвиден простор за поминување, може да се земе:

$$s' = \frac{s}{3}. \quad (11.2.5)$$

Ако покрај сидовите се бара осветленост што не е помала од средната осветленост на осветлуваната површина, може да се земе s' да биде помало од $s/3$. Во таквите случаи светилките можат да се поставуваат дури и на самиот сид.

11.3. Примери

11.3.1 Училница е долга 12 m, широка 7 m и висока 4 m. Плафонот е бел, а ѕидовите се обоени со светло портокалова боја. Покрај ѕидовите се предвидува простор за поминување. Да се одбере:

- а) потребната средна осветленост и
- б) соодветен тип на сијалица и светилка.

Потоа да се пресмета:

- в) потребниот број на светилки,
- г) постигнатата средна осветленост со усвоениот број на светилки.

По завршувањето на пресметката да се нацрта шема на поставување на светилките и на неа да се назначат димензиите потребни за монтажа.

Решение:

а) Според карактерот на активностите што треба да се изведуваат во училницата, може да се смета дека барањата што треба да ги исполни осветлението спаѓаат во категоријата големи барања. Според табелата 10.1.1, за таквите барања општото осветление со флуоресцентни сијалици треба да обезбеди средна осветленост од најмалку 300 lx. Претпоставувајќи дека во училницата ќе се работи само со млади луѓе, но и дека таа може да служи како цртална, може да се усвои средна осветленост од 500 lx.

б) Со оглед на релативно високата средна осветленост и под претпоставка дека во училницата ќе се работи и во доцните попладневни и во вечерните часови, прикладно е да се одберат флуоресцентни сијалици. Ќе усвоиме флуоресцентни сијалици со топло бела боја, т.е. со температура на бојата 3500 °К. Според дијаграмот на Круитхоф (слика 6.5.1), извор со толкава температура на бојата се смета за соодветен за осветленост од 500 lx.

Може да се констатира дека во ваков вид простории погледот на корисниците на просторијата (ученици/студенти) не е доминантно свртен надолу, т.е. кон работните маси, туку добар дел од времето погледот на ученикот/студентот е свртен кон наставникот, односно кон таблата. Притоа, ако ученикот/студентот е подалеку од таблата, при гледање кон неа во видното поле ќе му се најдат и светилките, дури и да бидат поставени на самиот плафон. Како во училницата не смее да се дозволи да има блескотење, неопходно е да се изберат светилки со мала сјајност, кои нема да бидат причина за појава ниту на директното ниту на рефлексното блескотење. Во склад со наведеното може да се препорача светилка за надградба, со ниска носечка плоча и со опална капа. На почетокот ќе земеме дека во светилката се вградени две флуоресцентни сијалици, секоја со моќност од 40 (36) W, т.е. ќе ја избереме светилката прикажана на сликата Д.1 во Додатокот.

в) Сметајќи дека чистењето на светилките ќе се изведува на секои три години и дека во училищата онечистувањето може да се смета за нормално, од табелата што е дадена под сликата Д.1, за факторот на нечистотија за усвоениот тип светилка следува дека тој изнесува:

$$f_1 = 0,72.$$

Бидејќи флуоресцентните сијалици ќе се користат сè додека не прегорат, може да се смета со време на користење од 6000 саати, за што, од табелата дадена под сликата Д.1, за факторот на стареење следува:

$$f_2 = 0,80.$$

Според тоа, факторот на нечистотија и стареење е:

$$f = f_1 \cdot f_2 = 0,72 \cdot 0,80 = 0,58.$$

Просторијата не е многу висока за својата должина и светилките ќе бидат помалку упадливи доколку се постават директно на плафонот. Во тој случај, сметајќи дека работната рамнина е на височина $h_3=0,85$ m од подот, за растојанието од работната рамнина до светилките се добива:

$$h_1 = h - h_3 = 4 - 0,85 = 3,15.$$

Бидејќи светилката не е за индиректно или полуиндиректно осветление, за пресметување на индексот на просторијата ќе ја користиме равенката (11.1.6). Така добиваме:

$$k = \frac{12 \cdot 7}{3,15 \cdot (12 + 7)} = 1,40.$$

Со условите на задачата е дадено дека плафонот е бел и дека ѕидовите се обоени со светла боја. Според тоа, користејќи ја табелата 11.1.1, може да се земе дека коефициентот на одбивањето од плафонот е $\rho_1=0,7$, а од ѕидовите е $\rho_3=0,5$. Поради немање податок за одбивните својства на работната површина, како и поради сознанието од практиката дека работната површина во училиците, по правило, не е со висок коефициент на одбивање, ќе усвоиме дека коефициентот на одбивање од работната површина е $\rho_4=0,1$. За тие коефициенти на одбивање, во табелата дадена под сликата Д.1, ќе побараме колку изнесува коефициентот на искористување на осветлението ако индексот на просторија изнесува 1,40. Бидејќи за таа вредност на индексот на просторија во табелата не се дадени вредности за коефициентот на искористување, ќе ги искористиме вредностите што ги дава табелата за блиските вредности на индексот на просторијата и ќе ја примениме линеарната интерполација. Од наведената табела следува дека:

- за $k_1=1,25$ е $\eta_1=0,37$ и

- за $k_2=1,50$ е $\eta_2=0,41$.

Врз основа на тие податоци, со примена на линеарна интерполација, за $k=1,40$ се добива:

$$\eta = \eta_1 + \frac{\eta_2 - \eta_1}{k_2 - k_1} \cdot (k - k_1) = 0,37 + \frac{0,41 - 0,37}{1,50 - 1,25} \cdot (1,40 - 1,25) = 0,39.$$

Натаму, користејќи ја равенката (11.1.5), за вкупниот светлински флукс на сите сијалици инсталирани во училницата добиваме:

$$\Phi = \frac{12 \cdot 7 \cdot 500}{0,58 \cdot 0,39} = 185676 \text{ lm.}$$

Според табелата 7.4.1 одбраните флуоресцентни сијалици со температура на боја 3500 °К и со моќност 36 W имаат светлински флукс 2800 lm. Бидејќи на почетокот усвоивме светилка со две флуоресцентни сијалици од по 36 W, произлегува дека вкупниот светлински флукс на сијалиците во една светилка изнесува:

$$\Phi_{\text{свет.}} = 2 \cdot 2800 = 5600 \text{ lm.}$$

Со тоа, според равенката (11.2.1), за ориентационен број на светилките може да се пресмета:

$$n' = \frac{\Phi}{\Phi_{\text{свет.}}} = \frac{185676}{5600} = 33,16 \text{ светилки.}$$

Земајќи дека должината на една светилка е 1,27 m, за да се распоредат 32 светилки во две низи со по 16 светилки во секоја, би била потребна должина од најмалку 20,32 m. Бидејќи училницата е долга само 12 m, произлегува дека не е можно решение со две низи светилки од усвоениот тип. Поради тоа, треба да се побараат други решенија.

Кога би сакале светилките да ги распределиме во три еднакви низи, бројот на светилките во една низа би требало да биде 11. Со аналогно расудување, како и во случајот кога се разгледуваше низа од 16 светилки, може да се заклучи дека и таквата низа од светилки е подолга од 12 m, т.е. од зададената должина на училницата. Ни 10 светилки во низа не можат да се сместат во должина од 12 m. Навистина, во една низа можат да се сместат девет светилки, но, со три такви низи, т.е. со вкупно 27 светилки, би се постигнала средна осветленост:

$$E_{\text{сред}} = 500 \cdot \frac{27}{33,13} = 407 \text{ lx,}$$

што е значително пониско од усвоената вредност на средната осветленост во училницата.

Доколку би се усвоиле четири низи со по осум светилки, растојанието помеѓу низите би било:

$$s = \frac{b}{4} = \frac{7}{4} = 1,75.$$

Тоа би условило:

$$\frac{s}{h_1} = \frac{1,75}{3,15} = 0,56,$$

што може да се смета за премала вредност. Со други зборови, во предлогот со 32 светилки распределени во четири еднакви низи, растојанијата помеѓу низите би биле премали, а тоа би создавало впечаток на пренатрупаност со светилки. Освен тоа, преголемиот број на светилки го поскапува решението.

Поради тоа е потребно да се усвои друга светилка. Како една од можностите се наметнува светилка од ист тип, но со три сијалици од по 36 W, како што е прикажано на сликата Д.2. Ако се усвои таква светилка и ако избраните сијалици бидат со иста температура на боја како и во претходниот случај, ќе биде:

$$\Phi_{\text{свет.}} = 3 \cdot 2800 = 8400 \text{ lm.}$$

За овој случај, од табелата под сликата Д.2, може да се прочита дека:

$$\text{- за } k_1=1,25 \text{ е } \eta_1=0,34 \text{ и}$$

$$\text{- за } k_2=1,50 \text{ е } \eta_2=0,37.$$

Врз основа на тие податоци, со помош на линеарната интерполација, за $k=1,40$, добиваме:

$$\eta = \eta_1 + \frac{\eta_2 - \eta_1}{k_2 - k_1} \cdot (k - k_1) = 0,34 + \frac{0,37 - 0,34}{1,50 - 1,25} \cdot (1,40 - 1,25) = 0,36.$$

Потоа, од равенката (11.1.5), може да се пресмета:

$$\Phi = \frac{12 \cdot 7 \cdot 500}{0,58 \cdot 0,36} = 201149 \text{ lm.}$$

Следува определување на ориентациониот број на светилки. Со помош на равенката (11.2.1), пресметуваме:

$$n' = \frac{201149}{8400} = 23,95 \text{ светилки.}$$

Прво што се наметнува е прашањето дали може да се усвои бројот на светилките да биде 24, т.е. во две низи да се постават по 12 светилки. Одговорот е негативен, бидејќи и новоусвоената светилка е со иста должина како и претходната, а за низа од 11 такви светилки веќе утврдивме дека не може да се постави во просторија што е долга само 12 m. Од истите причини не би можело да се реализира ни решението со две низи, во кои би имало по 10 светилки. Проблеми со сместувањето на светилки со таква должина нема да има ако светилките се распределат во три низи, со по осум светилки во секоја од низите. Во тој случај растојанието помеѓу низите ќе биде:

$$s = \frac{7}{3} = 2,33 \text{ m,}$$

што е почитуван условот покрај сидовите да биде оставен простор за поминување, т.е. растојанието помеѓу крајната низа и сидот да биде:

$$s' = \frac{s}{2} = 1,17 \text{ m.}$$

Во овој случај ќе биде:

$$\frac{s}{h_1} = \frac{2,33}{3,15} = 0,74,$$

што, исто така, може да се смета за премала вредност. Односно, тоа значи дека бројот на светилките е сèуште голем.

Бројот на светилките може да биде помал ако се усвои светилка со уште поголем флукс. Во случајов, тоа може да биде светилка од ист тип, но со три флуоресцентни сијалици од по 65 W (односно 58 W) и со температура на боја 3500 °К. Ако такви светилки се усвојат, согласно податоците од табелата 6.4.1, флуксот на сите сијалици во една светилка ќе изнесува:

$$\Phi_{\text{свет.}} = 3 \cdot 4600 = 13800 \text{ lm.}$$

Со тоа, според равенката (11.2.1), ориентациониот број на светилки ќе изнесува:

$$n' = \frac{201149}{13800} = 14,58 \text{ светилки.}$$

Должината на една од овие светилки е 1,57 m. Ако усвоиме светилките да бидат распределени во две низи со по 7 светилки, потребната должина за нивното сместување ќе изнесува 10,99 m, што е помалку од расположивата должина, која изнесува 12 m. Натаму ќе биде:

$$s = \frac{7}{2} = 3,50 \text{ m,}$$

$$s' = \frac{s}{2} = 1,75 \text{ m}$$

и

$$\frac{s}{h_1} = \frac{3,50}{3,15} = 1,11.$$

Добиената вредност за односот s/h_1 може да се смета за прифатлива. Тоа значи дека бројот на светилките не е ни премногу мал ни премногу голем. Во овој случај, растојанијата помеѓу средиштата на соседните светилки во низите ќе бидат:

$$d = \frac{a}{7} = \frac{12}{7} = 1,71 \text{ m,}$$

а растојанието помеѓу крајните светилки на низите и ѕидовите изнесува:

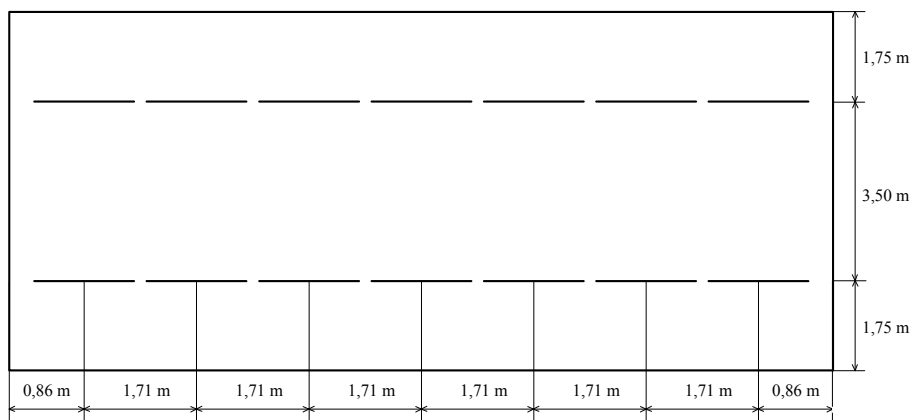
$$d' = \frac{d}{2} = \frac{1,71}{2} \approx 0,86 \text{ m.}$$

Со 14 светилки, секоја со по три флуоресцентни сијалици со моќност 58(65) W и температура на боја 3500 °K, според равенката (11.2.2) се постигнува средна осветленост:

$$E_{\text{сред}} = \frac{14 \cdot 13800 \cdot 0,36 \cdot 0,58}{12 \cdot 7} = 480 \text{ lx,}$$

што е само за 4% помала вредност од усвоената и може да се смета за прифатлива.

Шемата на поставувањето на светилките е прикажана на сликата 11.3.1.



Слика 11.3.1 Распоред на светилките за примерот 11.3.1

Доколку беше зададено дека и покрај ѕидовите треба да се постигне осветленост што не е помала од средната осветленост во просторијата, растојанието помеѓу крајните низи на светилките и ѕидовите може да се земе да биде еднакво на една четвртина од растојанието помеѓу низите (т.е. $s' = s/4$). Во тој случај, како што понапред беше пресметано, ако се усвојат светилките со по три флуоресцентни сијалици, секоја со моќност 36 W, за обезбедување на усвоената средна осветленост би биле потребни 22,10 светилки. Ако се усвои решението со три низи, со по седум светилки во секоја од низите, за растојанието помеѓу низите може да се пресмета:

$$s = \frac{b}{\frac{10}{4}} = \frac{7}{2,5} = 2,8 \text{ m.}$$

Со тоа се постигнува:

$$\frac{s}{h_1} = \frac{2,80}{3,15} = 0,89,$$

што би можело да се смета за задоволителна вредност. Во тој случај, постигнатата средна осветленост би била:

$$E_{\text{сред}} = 500 \cdot \frac{21}{22,1} = 475 \text{ lx.}$$

Таа вредност е само за 5% пониска од усвоената осветленост и може да се смета за прифатлива.

Примеров може да послужи како илустрација дека при разни услови е природно различни решенија да бидат конкурентни.

11.4. Задачи

11.4.1. Хала во вид на паралелопипед има должина 15 m, ширина 10 m и висина 4,5 m. Во халата се предвидува изработка на конфекција. Да се одбере:

- а) потребната средна осветленост од општото осветление;
- б) соодветниот тип на сијалица и светилка;
- в) висината на поставувањето на светилките.

Потоа да се определи:

- г) потребниот број на светилки и сијалици;
- д) постигнатата средна осветленост со усвоениот број на светилки;
- ѓ) распоредот на светилките, со специфицирање на сите растојанија потребни за утврдување на локацијата на секоја светилка.

11.4.2. Склад за порцелански производи има димензии: должина 9 m, ширина 14 m и висина 4 m. Со соодветно образложение да се одбере:

- а) потребната средна осветленост од општото осветление;
- б) соодветниот тип на сијалица и светилка;
- в) висината на поставувањето на светилките.

Потоа да се определи:

- г) потребниот број на светилки и сијалици;
- д) постигнатата средна осветленост со усвоениот број на светилки;
- ѓ) распоредот на светилките.

На крајот да се нацрта шема на поставување на светилките, на која ќе бидат назначени сите димензии неопходни за нивната монтажа.

11.4.3. Продавница за месо има должина 10 m, ширина 6 m и висина 3,5 m. Продавницата се наоѓа во сутерен. Едниот од подолгите ѕидови е од стакло. Да се одбере:

- а) потребната средна осветленост од општото осветление;
- б) соодветниот тип на сијалица и светилка;
- в) висината на поставувањето на светилките.

Потоа да се определи:

- г) потребниот број на светилки и сијалици;
- д) постигнатата средна осветленост со усвоениот број на светилки;
- ѓ) распоредот на светилките, со специфицирање на сите растојанија потребни за утврдување на локацијата на секоја светилка.

11.4.4. Хала има облик на паралелопипед со следниве димензии: должина 24 m, ширина 12 m и висина 4,1 m. Во халата се предвидува изработка на кабли и изолирани спроводници. Да се одбере:

- а) потребната средна осветленост од општото осветление;
- б) соодветниот тип на сијалица и светилка;
- в) висината на поставувањето на светилките.

Потоа да се определи:

- г) потребниот број на светилки и сијалици;
- д) постигнатата средна осветленост со усвоениот број на светилки;
- ѓ) распоредот на светилките, со специфицирање на сите растојанија потребни за утврдување на локацијата на секоја светилка.

Што треба да се преземе за да не се создадат услови за појава на стробоскопскиот ефект?

11.4.5. Хала има облик на паралелопипед со следниве димензии: должина 19 m, ширина 10 m и висина 4,1 m. Халата е наменета за изработка на придушници за живини сијалици со висок притисок. Ако во халата се предвидува само општо осветление, да се одбере:

- а) потребната средна осветленост;
- б) соодветниот тип на сијалица и светилка;
- в) висината на поставувањето на светилките.

Со така избраните елементи да се определи:

- г) потребниот број на светилки и сијалици;
- д) постигнатата средна осветленост со усвоениот број на светилки;
- ѓ) распоредот на светилките, со специфицирање на сите растојанија потребни за утврдување на локацијата на секоја светилка.

Што треба да се преземе за да не се создадат услови за појава на стробоскопскиот ефект?

11.4.6. Хала за производство на мали трансформатори (со моќност до 500 VA) има должина 20 m, ширина 9 m и висина 4,8 m. Со соодветно образложение да се одбере:

- а) потребната средна осветленост од општото осветление;

- б) соодветниот тип на сијалица и светилка;
 - в) висината на поставувањето на светилките.
- Со така избраните елементи да се определи:
- г) потребниот број на светилки и сијалици;
 - д) постигнатата средна осветленост со усвоениот број на светилки;
 - ѓ) распоредот на светилките.
- На крајот да се нацрта шема на поставување на светилките, на која ќе бидат назначени сите димензии неопходни за нивната монтажа.

12. ПРЕСМЕТКА НА СРЕДНА ОСВЕТЛЕНОСТ СО ПОМОШ НА КУМУЛАТИВНИ ЗОНАЛНИ ФЛУКСОВИ

12.1. Основно за методот

Методот на пресметка на средната осветленост со помош на кумулативни зонални флуксони е, всушност, основен метод на Меѓународната комисија за осветление (CIE), изложен во публикацијата [31]. Во основа, методот е наменет за пресметка на средна осветленост во затворени простори. При развивање на методот е земено дека за употребените светилки се познати кумулативните зонални флуксони. Да појасниме за кои флуксони станува збор. Нека набљудуваме четири конуси, кои имаат заеднички врв и заедничка оска. На првиот, вториот, третиот и четвртиот конус нека им соодветствуваат просторните агли од $\pi/2$, π , $3\pi/2$ и 2π стерадијани, соодветно. Или, поинаку кажано, полу-аголот при врвот на првиот конус е $41,4^\circ$, на вториот конус е 60° , на третиот конус е $75,5^\circ$ и на четвртиот конус е 90° . Ако светилката се постави во заедничкиот врв на тие конуси и ако нејзината оптичка оска се поклопува со заедничката оска на конусите, во секој од нив светилката ќе зрачи определен светлински флукс. Флуксоните израчени во првиот, вториот, третиот и четвртиот конус ќе ги означуваме со FC_1 , FC_2 , FC_3 и FC_4 , соодветно. Тие флуксони се нарекуваат кумулативни зонални флуксони. Вообичаено е за секој тип на светилка производителот да даде пет константи, и тоа:

$$N_1 = \frac{FC_1}{FC_4},$$

$$N_2 = \frac{FC_2}{FC_4},$$

$$N_3 = \frac{FC_3}{FC_4},$$

$$N_4 = \frac{FC_4}{\Phi_{\text{св.}}},$$

$$N_5 = \frac{F_{\text{св.}}}{\Phi_{\text{св.}}}.$$

Во претходните релации со $F_{\text{св.}}$ е означен флуксот што го зрачи светилката, а со $\Phi_{\text{св.}}$ е означен флуксот на сите сијалици инсталирани во светилката. Големините N_1 , N_2 , N_3 , N_4 и N_5 се наречени *флукс-кодови за светилката*, односно CIE флукс кодови (CIE flux code). Како примери за илустрација, во Додатокот на книгата, покрај другите податоци, за одбраните светилки се дадени и флукс-кодовите.

Освен наведеното, при развивање на овој метод е земено дека се прифатливи следниве претпоставки:

а) внатрешноста на разгледуваниот објект има облик на правоаголен паралелолипед (слика 12.1.1);

б) работната површина е рамна и може да се смета како да е материјализирана површина, која ќе биде третирана како една од граничните површини на просторијата (термините работна рамнина и работна површина тука имаат исто значење);

в) површините на просторијата одбиваат светлина униформно дифузно (т.е. според Ламбертовиот закон), при што коефициентот на одбивањето од плафонот е ρ_1 , од горниот појас е ρ_2 , од сидовите е ρ_3 и од работната површина е ρ_4 ;

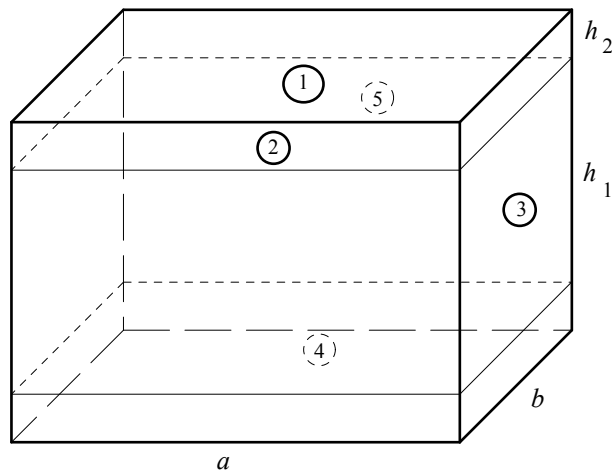
г) употребените светилки се со таква карактеристика што, кога оската на светилката е нормална на работната рамнина, флуksот што директно паѓа врз работната рамнина не се менува значително ако светилката се заврти за произволен агол околу нејзината оска;

д) светлинскиот флуks на светилката, во долниот полупростор, во конус чија оска се совпаѓа со оската на светилката, може да биде изразен како функција од просторниот агол на конусот, и тоа со полином од четврти степен, без константниот член;

ѓ) секоја светилка зрачи во долниот полупростор најмалку 80% од нејзиниот вкупен израчен светлински флуks.

Со терминот *горен појас* (англиски frieze) се именуваат оние делови на вертикалните површини на просторијата што се наоѓаат помеѓу плафонот и рамнината во која се поставени светилките. Под терминот *сидови* се подразбираат делови на вертикалните површини на просторијата што се наоѓаат помеѓу рамнината во која се поставени светилките и работната рамнина.

На сликата 12.1.1 е прикажан изгледот на просторијата и на неа се означени површините на кои ќе се пресметува средна осветленост. Така, со 1 е означен плафонот, со 2 горниот појас, со 3 сидовите, со 4 работната рамнина и со 5 рамнината во која се поставени светилките. Освен тоа, на сликата 12.1.1, со h_1 е означено растојанието помеѓу работната рамнина и рамнината во која се поставени светилките, а со h_2 е означено растојанието помеѓу плафонот и рамнината во која се поставени светилките.



Слика 12.1.1 Обликот на просторијата што се осветлува

12.2. Пресметка на директниот флукс врз работната рамнина

Нека набљудуваме конус чија оска се поклопува со оската на набљудуваната светилка. Просторниот агол на конусот нека е Ω , а половината на аголот при врвот на конусот нека е γ . При тие услови, тргнувајќи од дефиницијата на просторниот агол, не е тешко да се покаже дека важи равенката:

$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot (1 - \cos \gamma). \quad (12.2.1)$$

Според претпоставката д) (од претходното потпоглавје), флуксот што набљудуваната светилка го зрачи во конусот определен со просторниот агол Ω може да биде изразен со равенката:

$$F(\Omega) = \frac{1}{2\pi} \cdot (p_1 \cdot \Omega + p_2 \cdot \Omega^2 + p_3 \cdot \Omega^3 + p_4 \cdot \Omega^4), \quad (12.2.2)$$

при што оската на конусот се поклопува со оската на светилката.

Од равенката (12.2.1) по делењето со 2π , следува:

$$u = \frac{\Omega}{2\pi} = 1 - \cos \gamma. \quad (12.2.3)$$

Кога во равенката (12.2.2) се замени u , од равенката (12.2.3), добиваме:

$$F(u) = p_1 \cdot u + p_2 \cdot u^2 + p_3 \cdot u^3 + p_4 \cdot u^4. \quad (12.2.4)$$

Коефициентите p_1 , p_2 , p_3 и p_4 можат еднозначно да се определат со помош на познатите кумулативни зонални флуКСови на дадената

светилка, т.е. флуковите FC_1 , FC_2 , FC_3 и FC_4 . Но, како што ќе се види подоцна, тоа не е неопходно да се направи експлицитно.

Ако во равенката (12.2.4), наместо u , sukcesивно се заменат вредностите $1/4$, $1/2$, $3/4$ и 1 , се добива систем линеарни равенки, со чие решавање можат да се определат непознатите коефициенти p_1 , p_2 , p_3 и p_4 . Ако тој систем се напише во матричен облик, ќе се добие:

$$\begin{bmatrix} FC_1 \\ FC_2 \\ FC_3 \\ FC_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/4 & 1/16 & 1/64 & 1/256 \\ 1/2 & 1/4 & 1/8 & 1/16 \\ 3/4 & 9/16 & 27/64 & 81/256 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \end{bmatrix}. \quad (12.2.5)$$

Ако се воведат матриците:

$$FC = [FC_1 \quad FC_2 \quad FC_3 \quad FC_4]^t, \quad (12.2.6)$$

$$P = [p_1 \quad p_2 \quad p_3 \quad p_4]^t \quad (12.2.7)$$

и

$$A = \begin{bmatrix} 1/4 & 1/16 & 1/64 & 1/256 \\ 1/2 & 1/4 & 1/8 & 1/16 \\ 3/4 & 9/16 & 27/64 & 81/256 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad (12.2.8)$$

равенката (12.2.5) може да се напише во вид:

$$FC = A \cdot P. \quad (12.2.9)$$

Познатата распределба на светлинскиот флукс на дадената светилка овозможува да се определи светлинската јачина I_γ во правец што со оската на светилката зафаќа агол γ . Така, од равенката (12.2.4) следува:

$$I_\gamma = \frac{dF(\Omega)}{d\Omega} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{dF(u)}{du} = \frac{1}{2\pi} \cdot (p_1 + 2 \cdot p_2 \cdot u + 3 \cdot p_3 \cdot u^2 + 4 \cdot p_4 \cdot u^3). \quad (12.2.10)$$

Имајќи ја предвид равенката (12.2.3), со средување на равенката (12.2.10) ќе се добие:

$$I_\gamma = \frac{1}{2\pi} \cdot [p_1 + 2 \cdot p_2 + 3 \cdot p_3 + 4 \cdot p_4 - (2 \cdot p_2 + 6 \cdot p_3 + 12 \cdot p_4) \cdot \cos \gamma + (3 \cdot p_3 + 12 \cdot p_4) \cdot \cos^2 \gamma - 4 \cdot p_4 \cdot \cos^3 \gamma]. \quad (12.2.11)$$

Практично е да се воведат: матрицата колона Q и квадратната матрица D . Елементите на матрицата Q се:

$$\begin{aligned}
q_1 &= \frac{1}{2\pi} \cdot (p_1 + 2 \cdot p_2 + 3 \cdot p_3 + 4 \cdot p_4) \\
q_2 &= -\frac{1}{2\pi} \cdot (2 \cdot p_2 + 6 \cdot p_3 + 12 \cdot p_4) \\
q_3 &= \frac{1}{2\pi} \cdot (3 \cdot p_3 + 12 \cdot p_4) \\
q_4 &= -\frac{1}{2\pi} \cdot 4 \cdot p_4,
\end{aligned} \tag{12.2.12}$$

т.е. може да се напише:

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{2\pi} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 0 & -2 & -6 & -12 \\ 0 & 0 & 3 & 12 \\ 0 & 0 & 0 & -4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \end{bmatrix} = \mathbf{D} \cdot \mathbf{P}, \tag{12.2.13}$$

кадешто е:

$$\mathbf{D} = \frac{1}{2\pi} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 0 & -2 & -6 & -12 \\ 0 & 0 & 3 & 12 \\ 0 & 0 & 0 & -4 \end{bmatrix}. \tag{12.2.14}$$

Бидејќи елементите на матриците \mathbf{D} и \mathbf{A} се константни, погодно е да се воведат матрица на трансформација:

$$\mathbf{D} \cdot \mathbf{A}^{-1} = \frac{1}{6\pi} \cdot \begin{bmatrix} -16 & 36 & -48 & 25 \\ 224 & -456 & 416 & -140 \\ -672 & 1152 & -864 & 240 \\ 512 & -768 & 512 & -128 \end{bmatrix}. \tag{12.2.15}$$

Матрицата \mathbf{A} е несингуларна и од равенката (12.2.9) може да се определи матрицата \mathbf{P} . Со тоа, равенката (12.2.13) може да се напише во вид:

$$\mathbf{Q} = \mathbf{D} \cdot \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{F}\mathbf{C}. \tag{12.2.16}$$

Користејќи ги елементите на матрицата \mathbf{Q} , дефинирани со равенките (12.2.12), равенката (12.2.11) станува:

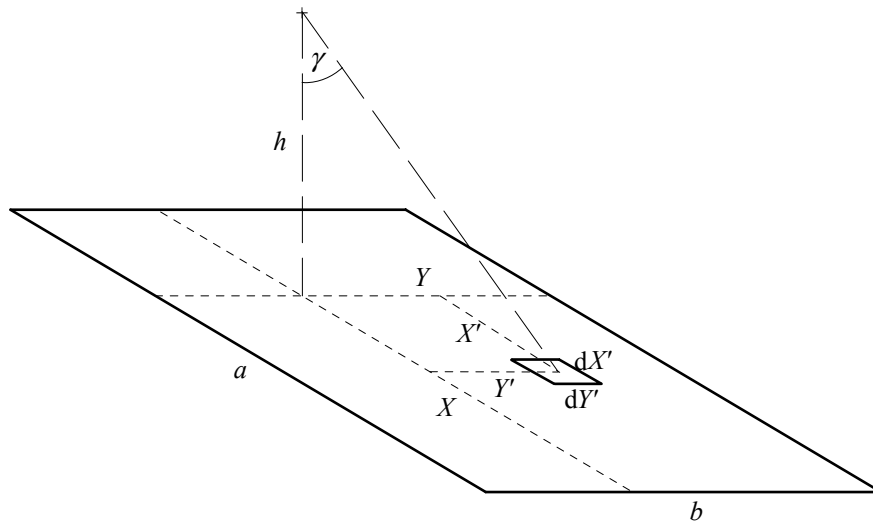
$$I_\gamma = q_1 + q_2 \cdot \cos \gamma + q_3 \cdot \cos^2 \gamma + q_4 \cdot \cos^3 \gamma. \tag{12.2.17}$$

Бидејќи за една светилка елементите на матрицата \mathbf{Q} се константи, од равенката (12.2.17) произлегува дека светлинската јачина во правец што со оската на светилката зафаќа агол γ е составена од четири компоненти. Првата од нив не зависи од аголот γ , втората е пропорционална на $\cos \gamma$, третата е пропорционална на $\cos^2 \gamma$ и четвртата е пропор-

ционална на $\cos^3 \gamma$. Последното ќе го користиме при пресметка на светлинскиот флуks што набљудуваната светилка директно го зрачи врз еден правоаголник, при што оската на светилката се поклопува со нормалата на рамнината во која лежи правоаголникот (слика 12.2.1). Растојанието на светилката k од рамнината на правоаголникот нека е h . Најчест е случајот кога целата осветлувана површина е во вид на правоаголник и кога проекцијата на светилката врз рамнината во која лежи правоаголникот е во внатрешноста на тој правоаголник. Во тој случај осветлуваниот правоаголник може да се подели на четири помали правоаголници, како што е прикажано на сликата 12.2.1. На таа слика помалите правоаголници ќе ги нарекуваме компонентни правоаголници. Ако целиот осветлуван правоаголник има должина a и ширина b , компонентните правоаголници ќе бидат со следниве димензии:

- должина X и ширина Y ,
- должина $a-X$ и ширина Y ,
- должина X и ширина $b-Y$,
- должина $a-X$ и ширина $b-Y$.

Во општ случај, за осветление нека се користат n светилки. Во однос на површината што директно ја осветлуваат, положбата на која и да било од тие светилки е како на сликата 12.2.1.



Слика 12.2.1 Кон пресметката на директниот флуks

Имајќи ги предвид ознаките на сликата 12.2.1, за флуksот што од набљудуваната светилка k директно паѓа врз елементарната површина, која е дел на еден од компонентните правоаголници означен со j , може да се напише:

$$df_{k,j} = I_\gamma \cdot d\Omega = (q_1 + q_2 \cdot \cos \gamma + q_3 \cdot \cos^2 \gamma + q_4 \cdot \cos^3 \gamma) \cdot \frac{\cos \gamma \cdot dX' \cdot dY'}{H^2 + X'^2 + Y'^2}.$$

(12.2.18)

Практично е да се воведат:

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{X}{h} \\
 x' &= \frac{X'}{h} \\
 y &= \frac{Y}{h} \\
 y' &= \frac{Y'}{h} \\
 dx' &= \frac{dX'}{h} \\
 dy' &= \frac{dY'}{h}
 \end{aligned}
 \tag{12.2.19}$$

Тогаш е:

$$\cos \gamma = \frac{1}{\sqrt{1+x'^2+y'^2}}
 \tag{12.2.20}$$

и равенката (12.2.18) станува:

$$df_{k,j} = (q_1 \cdot \cos^3 \gamma + q_2 \cdot \cos^4 \gamma + q_3 \cdot \cos^5 \gamma + q_4 \cdot \cos^6 \gamma) \cdot dx' \cdot dy'. \tag{12.2.21}$$

Вкупниот флуks, што набљудуваната светилка k директно го зрачи врз површината на компонентниот правоаголник j , ќе го означиме со $f_{k,j}$. Релативната должина на покусата страна на тој правоаголник е означена со x , а релативната должина на неговата подолга страна е означена со y . Флуksот $f_{k,j}$ ќе се добие со двојна интеграција на равенката (12.2.21), при што границите на интеграцијата за x' се нулата и x , а за y' се нулата и y . Ако уште се воведат:

$$c_{1,k,j} = \int_0^x \int_0^y \frac{dx' \cdot dy'}{\sqrt{(1+x'^2+y'^2)^3}} = \operatorname{arctg} \frac{x \cdot y}{\sqrt{1+x^2+y^2}}, \tag{12.2.22}$$

$$\begin{aligned}
 c_{2,k,j} &= \int_0^x \int_0^y \frac{dx' \cdot dy'}{(1+x'^2+y'^2)^2} \\
 &= \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{x}{\sqrt{1+x^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{y}{\sqrt{1+x^2}} + \frac{y}{\sqrt{1+y^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{x}{\sqrt{1+y^2}} \right), \tag{12.2.23}
 \end{aligned}$$

$$c_{3,k,j} = \int_0^x \int_0^y \frac{dx' \cdot dy'}{\sqrt{(1+x'^2+y'^2)^5}}$$

$$= \frac{1}{3} \left[c_{1,k,j} + \frac{x \cdot y}{\sqrt{1+x^2+y^2}} \cdot \left(\frac{1}{1+x^2} + \frac{1}{1+y^2} \right) \right], \quad (12.2.24)$$

$$\begin{aligned} c_{4,k,j} &= \int_0^x \int_0^y \frac{dx' \cdot dy'}{(1+x'^2+y'^2)^3} = \\ &= \frac{1}{4} \left[2 \cdot c_{2,k,j} + \frac{x}{2 \cdot \sqrt{(1+x^2)^3}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{y}{\sqrt{1+x^2}} \right. \\ &\quad \left. + \frac{y}{2 \cdot \sqrt{(1+y^2)^3}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{x}{\sqrt{1+y^2}} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{1+x^2} + \frac{1}{1+y^2} \right) \cdot \frac{x \cdot y}{1+x^2+y^2} \right], \quad (12.2.25) \end{aligned}$$

добиваме:

$$f_{k,j} = q_1 \cdot c_{1,k,j} + q_2 \cdot c_{2,k,j} + q_3 \cdot c_{3,k,j} + q_4 \cdot c_{4,k,j}, \quad (12.2.26)$$

т.е.

$$f_{k,j} = \sum_{i=1}^4 q_i \cdot c_{i,k,j}. \quad (12.2.27)$$

На тој начин се пресметува директниот флуks од светилката k врз површината на секој од четирите компонентни правоаголници. Со сумирање на тие флуksови се определува директниот флуks од светилката k врз површината на целиот осветлуван правоаголник, т.е.

$$f_k = \sum_{j=1}^4 f_{k,j}. \quad (12.2.28)$$

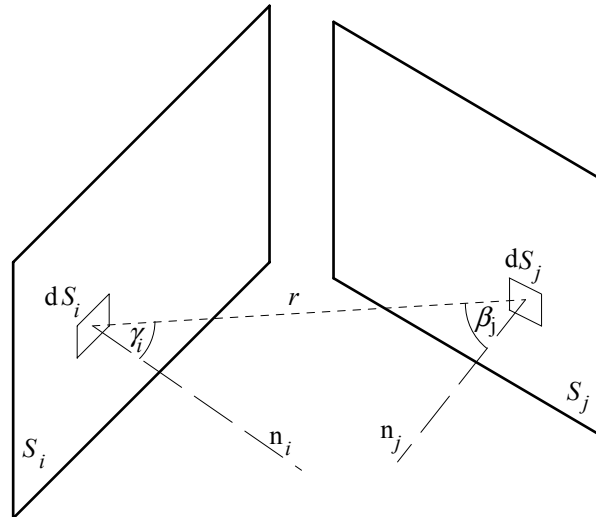
Конечно, вкупниот директен флуks на осветлуваната правоаголна површина од сите n светилки се пресметува со сумирање на директните флуksови на одделните светилки, т.е.

$$f = \sum_{k=1}^n f_k. \quad (12.2.29)$$

12.3. Коефициенти на меѓусебна размена

Нека набљудуваме две површини i и j , што одбиваат светлина униформно дифузно. Плоштината, сјајноста и светлинската емисија на

првата површина нека се S_i , L_i и M_i , а на втората површина нека се S_j , L_j и M_j , соодветно. Да го определиме флуksот што елементот на втората површина, со плоштина dS_j , го прима од елементот на првата површина, со плоштина dS_i (слика 12.3.1), при што растојанието помеѓу тие елементи е r .



Слика 12.3.1 Кон пресметка на коефициенти на меѓусебна размена

Кон елементот со плоштина dS_j светлината од елементот со плоштина dS_i е со светлинска јачина $L_i dS_i \cos \gamma_i$, додека осветленоста на елементот со плоштина dS_j е $L_i dS_i \cos \gamma_i \cos \beta_j / r^2$. Од тука произлегува дека делот од светлинскиот флуks емитуван од елементот со плоштина dS_i , што паѓа врз елементот со плоштината dS_j , е определен со равенката:

$$d\Phi_{ji} = \frac{L_i \cdot dS_i \cdot dS_j \cdot \cos \gamma_i \cdot \cos \beta_j}{r^2}. \quad (12.3.1)$$

Бидејќи двете површини одбиваат униформно дифузно, според равенката (2.7.7) е: $M_i = \pi L_i$ и $M_j = \pi L_j$. Имајќи го тоа предвид, од равенката (12.3.1) добиваме:

$$\frac{d\Phi_{ji}}{M_i} = \frac{\cos \gamma_i \cdot \cos \beta_j \cdot dS_i \cdot dS_j}{\pi \cdot r^2}. \quad (12.3.2)$$

Кога ќе се изврши интеграцијата по двете површини, од равенката (12.3.2) се добива:

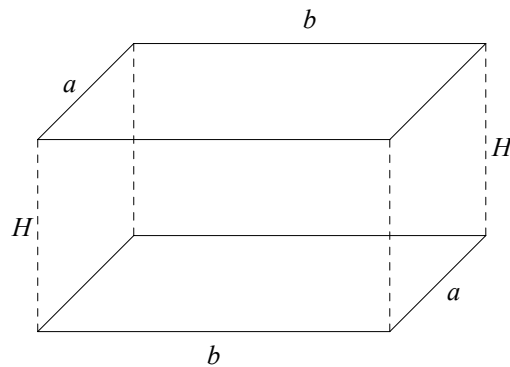
$$g_{ij} = \frac{\Phi_{ji}}{M_i} = \iint_{S_i S_j} \frac{\cos \gamma_i \cdot \cos \beta_j}{\pi \cdot r^2} dS_i \cdot dS_j. \quad (12.3.3)$$

Коефициентот g_{ij} , определен со равенката (12.3.3), се нарекува *коефициент на меѓусебна размена* на површините i и j . Не е тешко да се утврди дека е:

$$g_{ij} = g_{ji}. \quad (12.3.5)$$

Од посебен интерес е случајот кога набљудуваните површини i и j се во вид на складни правоаголници, со страници a и b , и кога тие претставуваат две паралелни страни на еден правоаглен паралелошипед (слика 12.3.2). Нека растојанието помеѓу тие правоаголни површини е означено со H . За тој случај, од равенката (12.3.3), следува:

$$g_{ij} = \frac{2 \cdot a \cdot b}{\pi} \cdot \left[\frac{\sqrt{b^2 + H^2}}{b} \cdot \operatorname{arctg} \frac{a}{\sqrt{b^2 + H^2}} + \frac{\sqrt{a^2 + H^2}}{a} \cdot \operatorname{arctg} \frac{b}{\sqrt{a^2 + H^2}} - \frac{H}{b} \cdot \operatorname{arctg} \frac{a}{H} - \frac{H}{a} \cdot \operatorname{arctg} \frac{b}{H} + \frac{H^2}{2 \cdot a \cdot b} \cdot \ln \frac{(a^2 + H^2) \cdot (b^2 + H^2)}{H^2 \cdot (a^2 + b^2 + H^2)} \right]. \quad (12.3.7)$$



Слика 12.3.2 Случај на складни паралелни правоаголни површини

Сосема е разбирливо дека, ако се работи за површината i која е рамна, сиот флукс што таа го зрачи ќе паѓа само на другите површини, од каде произлегува дека, во тој случај, ќе биде:

$$g_{ii} = 0. \quad (12.3.8)$$

Но, ако се работи за затворена површина, ситуацијата ќе биде поинаква. На пример, да разгледаме една затворена површина, составена од n компонентни рамни површини. Флуксот што го емитува внатрешната страна на едната од компонентните површини паѓа врз сите компонентни површини. Така, ако набљудуваната компонентна површина се означи со i , и ако нејзината плоштина се означи со S_i , може да се напише:

$$S_i \cdot M_i = \sum_{j=1}^n g_{ij} \cdot M_j, \quad (12.3.9)$$

од каде што следува:

$$S_i = \sum_{j=1}^n g_{ij}. \quad (12.3.10)$$

Потребно е да се определат коефициентите на меѓусебна размена на деловите од затворената површина претставена на сликата 12.1.1. Нека правоаголникот, во кој лежат светилките, го земеме како помошна површина, што ќе биде означена со индексот 5. Плоштината на таа површина, како и плоштината на плафонот и плоштината на работната површина, е еднаква на $a \cdot b$. Плоштината на горниот појас е еднаква на $2 \cdot h_2 \cdot (a+b)$, а плоштината на сидовите е еднаква на $2 \cdot h_1 \cdot (a+b)$. Плафонот, горниот слој, сидовите и работната рамнина нека бидат означени со индексите 1, 2, 3 и 4, соодветно.

Со помош на равенката (12.3.7) можат да се пресметаат коефициентите:

$$g_{14} - \text{земајќи } H = h_1 + h_2;$$

$$g_{15} - \text{земајќи } H = h_2 \text{ и}$$

$$g_{45} - \text{земајќи } H = h_1.$$

Согласно равенката (12.3.8), коефициентите g_{11} , g_{44} и g_{55} се еднакви на нула, бидејќи површините означени со 1, 4 и 5 се рамни. Останатите коефициенти ќе ги определиме со помош на равенката (12.3.10).

Најнапред, во затворената површина што ја образуваат плафонот, горниот појас и помошната површина, ја избираме површината на плафонот и за неа ја пишуваме равенката (12.3.10), т.е.

$$g_{11} + g_{12} + g_{15} = a \cdot b,$$

од каде следува:

$$g_{12} = g_{21} = a \cdot b - g_{15}. \quad (12.3.11)$$

За да го определиме коефициентот g_{13} , ќе тргнеме од равенката (12.3.10) напишана за плафонот како дел на затворената површина во чиј состав, покрај плафонот, влегуваат и: горниот појас, сидовите и работната рамнина. Така добиваме:

$$g_{11} + g_{12} + g_{13} + g_{14} = a \cdot b,$$

од каде следува:

$$g_{13} = g_{31} = g_{15} - g_{14}. \quad (12.3.12)$$

Коефициентот g_{43} ќе го определиме со помош на равенката (12.3.10), напишана за работната површина, сметана како дел на затворена површина образувана од: работната површина, помошната површина и сидовите. Така е:

$$g_{43} + g_{44} + g_{45} = a \cdot b,$$

од каде се добива:

$$g_{43} = g_{34} = a \cdot b - g_{45}. \quad (12.3.13)$$

За определување на коефициентот g_{42} ќе тргнеме од равенката (12.3.10) напишана за работната површина, сметана како дел на затворената површина во чиј состав, покрај неа, влегуваат и: плафонот, сидовите и горниот појас. Така добиваме:

$$g_{41} + g_{42} + g_{43} + g_{44} = a \cdot b,$$

од каде следува:

$$g_{42} = g_{24} = a \cdot b - g_{41} - g_{43} = g_{45} - g_{41}. \quad (12.3.14)$$

Коефициентот g_{52} може да се определи на тој начин што, најнапред, ќе се напише равенката (12.3.10) за помошната површина, која со плафонот и горниот појас формира затворена површина. На тој начин се добива:

$$g_{51} + g_{52} + g_{55} = a \cdot b,$$

од каде е:

$$g_{52} = g_{25} = a \cdot b - g_{55}. \quad (12.3.15)$$

За да го определиме коефициентот g_{22} , равенката (12.3.10) ќе ја напишеме за горниот појас како дел на затворената површина во која, покрај него, влегуваат плафонот и помошната површина. Така се добива:

$$g_{21} + g_{22} + g_{25} = 2 \cdot h_2 \cdot (a + b),$$

од каде следува:

$$g_{22} = 2 \cdot [h_2 \cdot (a + b) - a \cdot b + g_{15}]. \quad (12.3.16)$$

Коефициентот g_{23} ќе го определиме тргнуваќи од равенката (12.3.10) напишана за горниот појас, кој формира затворена површина со плафонот, сидовите и работната површина. На тој начин се добива:

$$g_{21} + g_{22} + g_{23} + g_{24} = 2 \cdot h_2 \cdot (a + b),$$

од каде следува:

$$g_{23} = g_{32} = a \cdot b + g_{14} - g_{15} - g_{45}. \quad (12.3.17)$$

На крајот, коефициентот g_{33} ќе го определиме од равенката (12.3.10), напишана за сидовите, кои формираат затворена површина заедно со плафонот, горниот појас и работната површина. Така добиваме:

$$g_{31} + g_{32} + g_{33} + g_{34} = 2 \cdot h_1 \cdot (a + b),$$

од каде следува:

$$g_{33} = 2 \cdot [h_1 \cdot (a + b) - a \cdot b + g_{45}]. \quad (12.3.18)$$

На тој начин определените коефициенти на меѓусебна размена формираат матрица, што ќе ја означуваме со \mathbf{G} .

12.4. Пресметка на индиректниот флуks

Флуksот што од светлинскиот извор директно доаѓа до една површина се нарекува директен флуks. Флуksот што до една површина доаѓа по еднократно или повеќекратно одбивање се нарекува индиректен флуks. Вкупен флуks што паѓа врз една површина е еднаков на сумата на директниот и индиректниот флуks.

Нека со F_1, F_2, F_3 и $F_4=f$ ги означиме директните флуkсови врз плафонот, горниот појас, сидовите и работната рамнина, соодветно. Нека со Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 и Ψ_4 ги означиме индиректните флуkсови врз плафонот, горниот појас, сидовите и работната рамнина, соодветно, и нека со Φ_1, Φ_2, Φ_3 и Φ_4 ги означиме вкупните флуkсови врз плафонот, горниот појас, сидовите и работната рамнина, соодветно. Со тие ознаки може да се напише:

$$\Phi_j = F_j + \Psi_j; \quad j = 1, 2, 3, 4. \quad (12.4.1)$$

Индиректниот флуks се пресметува според равенката:

$$\Psi_j = \sum_{i=1}^4 \frac{g_{ij} \cdot \rho_i}{S_i} \cdot \Phi_i, \quad (12.4.2)$$

кадешто е:

g_{ij} - коефициент на размена помеѓу површините i и j ;

ρ_i - коефициент на одбивање на површината i ;

S_i - плоштина на површината i .

Погодно е да се воведат матриците:

$$\Phi = [\Phi_1 \quad \Phi_2 \quad \Phi_3 \quad \Phi_4]^t, \quad (12.4.3)$$

$$F = [F_1 \quad F_2 \quad F_3 \quad F_4]^t, \quad (12.4.4)$$

$$G = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} \end{bmatrix}, \quad (12.4.5)$$

$$R = \text{diag}\{\rho_1 \quad \rho_2 \quad \rho_3 \quad \rho_4\}, \quad (12.4.6)$$

$$S = \text{diag}\{S_1 \quad S_2 \quad S_3 \quad S_4\}. \quad (12.4.7)$$

Со тоа, од равенките (12.4.1) и (12.4.2), следува матричната равенка:

$$\Phi = F + G \cdot R \cdot S^{-1} \cdot \Phi. \quad (12.4.8)$$

Најчесто, наместо одделно познавање на флуковите F_1 и F_2 , е доволно да се познава нивната сума:

$$F_{12} = F_1 + F_2. \quad (12.4.9)$$

Со тоа бројот на директните флукови со кои се работи се намалува од четири на три.

Од друга страна, може да се претпостави дека резултантниот флукс:

$$\Phi_{12} = \Phi_1 + \Phi_2 \quad (12.4.10)$$

е рамномерно распределен врз површината на плафонот и на горниот појас. Односно, дека средната осветленост на плафонот, E_1 , е еднаква на средната осветленост на горниот појас, E_2 .

Ако се дефинираат матриците:

$$F'' = [F_{12} \quad F_3 \quad F_4]^t \quad (12.4.11)$$

и

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (12.4.12)$$

имајќи ја предвид равенката (12.4.4), следува:

$$F'' = T \cdot F. \quad (12.4.13)$$

Аналогно, ако се воведат матриците:

$$\mathbf{E}' = [E_1 \ E_2 \ E_3 \ E_4]^t, \quad (12.4.14)$$

$$\mathbf{E} = [E_1 \ E_3 \ E_4]^t \quad (12.4.15)$$

и

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (12.4.16)$$

уважувајќи дека е $E_1 = E_2$, може да се напише:

$$\mathbf{E}' = \mathbf{U} \cdot \mathbf{E}. \quad (12.4.17)$$

Ако се искористат матриците (12.4.7) и (12.4.14), за матрицата (12.4.3) следува:

$$\Phi = \mathbf{S} \cdot \mathbf{E}', \quad (12.4.18)$$

од каде, имајќи ја предвид равенката (12.4.17), добиваме:

$$\Phi = \mathbf{S} \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{E}. \quad (12.4.19)$$

Кога равенката (12.4.8) се реши по F , и во така добиената равенка, наместо Φ , се замени соодветниот израз од равенката (12.4.19), ќе се добие:

$$F = \Phi - \mathbf{G} \cdot \mathbf{R} \cdot \mathbf{S}^{-1} \cdot \Phi = (\mathbf{S} - \mathbf{G} \cdot \mathbf{R}) \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{E}. \quad (12.4.20)$$

Натаму, од равенките (12.4.13) и (12.4.20) следува:

$$F'' = \mathbf{T} \cdot (\mathbf{S} - \mathbf{G} \cdot \mathbf{R}) \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{E}. \quad (12.4.21)$$

Може да се констатира дека за една просторија со дефинирана висина на поставување на светилките и определени коефициенти на одбивање од плафонот, горниот појас, сидовите и работната површина, матриците \mathbf{S} , \mathbf{G} и \mathbf{R} се со константни елементи, додека елементите на матриците \mathbf{T} и \mathbf{U} се секогаш константи. Значи, во матричната равенка (12.4.21) директните флуksови F_{12} , F_3 и F_4 се изразени преку средните осветлености $E_1 = E_2$, E_3 и E_4 .

Меѓутоа, наместо да се работи со директните флуksови F_{12} , F_3 и F_4 , попрактично е да се работи со нивните линеарни комбинации, дефинирани на следниов начин:

$$F_1' = F_{12} + F_3 + F_4 = n \cdot F_{\text{св.}} \quad (12.4.22)$$

$$F_2' = F_3 + F_4 = n \cdot FC_4 \quad (12.4.23)$$

$$F_3' = F_4 = f. \quad (12.4.24)$$

Во равенките (12.4.22) и (12.4.23) со n е означен бројот на светилките, а со $F_{\text{св.}}$ е означен флуksот што го зрачи една светилка. Значи, со F_1' е означен вкупниот флуks што го зрачат сите светилки во просторијата. Бидејќи со FC_4 е означен флуksот што една светилка го зрачи во долниот полупростор, од равенката (12.4.23) произлегува дека со F_2' е означен вкупниот флуks што сите светилки го зрачат во долниот полупростор. Како што произлегува од равенката (12.4.24), со F_3' е означена сумата на флуksовите што од сите n светилки директно паѓаат врз работната површина.

Ако се воведат матриците:

$$F' = [F_1' \quad F_2' \quad F_3']^t \quad (12.4.25)$$

и

$$V = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (12.4.26)$$

имајќи ја предвид равенката (12.4.11), може да се напише:

$$F' = V \cdot F'' \quad (12.4.27)$$

Со помош на равенката (12.4.21), равенката (12.4.27) го добива обликот:

$$F' = V \cdot T \cdot (S - G \cdot R) \cdot U \cdot E. \quad (12.4.28)$$

Практично е да се воведат матриците:

$$W = V \cdot T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (12.4.29)$$

и

$$S' = W \cdot (S - G \cdot R) \cdot U, \quad (12.4.30)$$

со што равенката (12.4.28) станува:

$$F' = S' \cdot E. \quad (12.4.31)$$

Според равенката (12.4.30) за пресметување на елементите на матрицата S' е потребно да се познати геометриските параметри на

просторијата, положбата на работната и помошната рамнина и коефициентите на одбивањето од сите површини на просторијата. Со зададените средни осветлености E_1 , E_3 и E_4 и со пресметаните елементи на матрицата S' , користејќи ја равенката (12.4.31), можат да се пресметаат флуковите F'_1 , F'_2 и F'_3 , односно, потребниот вкупен флукс на сите светилки, флуксот што сите светилки треба да го зрачат во долниот полупростор и вкупниот флукс што директно паѓа врз работната површина, соодветно. Тие вредности можат да послужат за соодветен избор на светилки и за определување на нивниот број.

Но, проблемот може да биде поставен и поинаку: за избрана сијалица и зададен број на светилките да се пресметаат средните осветлености на работната површина, на ѕидовите и на плафонот. За тој случај, од равенката (12.4.31) следува:

$$E = (S')^{-1} \cdot F' \quad (12.4.32)$$

Ако се воведе:

$$M = (S')^{-1}, \quad (12.4.33)$$

равенката (12.4.32) станува:

$$E = M \cdot F' \quad (12.4.34)$$

или во развиен облик:

$$E_1 = M_{11} \cdot n \cdot F_{\text{св.}} + M_{12} \cdot n \cdot FC_4 + M_{13} \cdot f \quad (12.4.35)$$

$$E_3 = M_{21} \cdot n \cdot F_{\text{св.}} + M_{22} \cdot n \cdot FC_4 + M_{23} \cdot f \quad (12.4.36)$$

$$E_4 = M_{31} \cdot n \cdot F_{\text{св.}} + M_{32} \cdot n \cdot FC_4 + M_{33} \cdot f \quad (12.4.37)$$

Од равенките (12.4.35), (12.4.36) и (12.4.37) се гледа дека за избраниот број на светилки со познати карактеристики е потребно да се пресмета вкупниот директен флукс од сите светилки врз работната површина. За пресметка на тој флукс може да се користи постапката опишана во потпоглавјето 12.2.

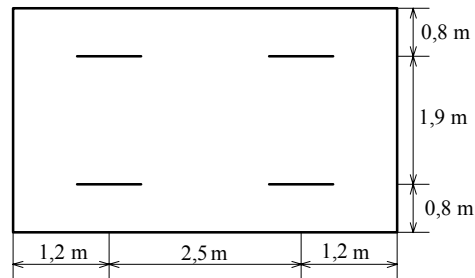
Сосема е разбирливо дека, во случаите кога со претпоставениот број на избрани светилки не се добиваат задоволувачки вредности на средните осветлености, постапката на пресметување на средните осветлености може да се повтори со променет број на светилките и/или со светилки што имаат поинакви карактеристики.

12.5. Пример

12.5.1. Просторија во вид на правоаголен паралелопипед има должина 4,9 m, ширина 3,5 m и висина 3,6 m. Коefициентите на одбивање од плафонот ѕидовите и работната површина се 0,7, 0,5 и 0,1, соодветно. За осветление се употребени четири светилки како на сликата Д.1. Во секоја од светилките се по две флуоресцентни сијалици од 36 W, 3500°K. Светилките се поставени на растојание 0,75 m под плафонот. Да се пресметаат средните осветлености на плафонот (и горниот појас), ѕидовите и работната површина.

Решение:

Распоред на светилките нека биде како на сликата 12.5.1.



Слика 12.5.1

Бидејќи светилките се поставени симетрично во однос на работната површина нивните директни флуксони се меѓусебно еднакви. За пресметување на директниот флукс од една светилка, согласно на изложеното во потпоглавјето 12.2, работната површина ја разделуваме на четири компонентни правоаголници. Во овој случај, компонентните правоаголници се со еднакви димензии за секоја од светилките. Растојанието од рамнината во која се поставени светилките до рамнината во која лежат компонентните правоаголници е $h=3,6-0,75=2,85$ m. Од сликата 12.5.1 и со помош на равенките (12.2.19) за релативните димензии на тие правоаголници следува:

- за првиот $x=1,2/2=0,6$ и $y=0,8/2=0,4$;
- за вториот $x=3,7/2=1,85$ и $y=0,8/2=0,4$;
- за третиот $x=1,2/2=0,6$ и $y=2,7/2=1,35$;
- за четвртиот $x=3,7/2=1,85$ и $y=2,7/2=1,35$.

Со помош на равенките (12.2.22) до (12.2.25), за првиот компонентен правоаголник пресметуваме:

$$c_{1,1,1} = \arctg \frac{0,6 \cdot 0,4}{\sqrt{1+0,6^2+0,4^2}} = 0,192261$$

$$c_{2,1,1} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{0,6}{\sqrt{1+0,6^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{0,4}{\sqrt{1+0,6^2}} + \frac{0,4}{\sqrt{1+0,4^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{0,6}{\sqrt{1+0,4^2}} \right)$$

$$= 0,179383$$

$$c_{3,1,1} = \frac{1}{3} \left[0,192261 + \frac{0,6 \cdot 0,4}{\sqrt{1+0,6^2+0,4^2}} \left(\frac{1}{1+0,6^2} + \frac{1}{1+0,4^2} \right) \right] = 0,167738$$

$$c_{4,1,1} = \frac{1}{4} \left[2 \cdot 0,179383 + \frac{0,6}{2\sqrt{(1+0,6^2)^3}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{0,4}{\sqrt{1+0,6^2}} \right. \\ \left. + \frac{0,4}{2\sqrt{(1+0,4^2)^3}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{0,6}{\sqrt{1+0,4^2}} \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{1+0,6^2} + \frac{1}{1+0,4^2} \right) \cdot \frac{0,6 \cdot 0,4}{1+0,6^2+0,4^2} \right] = 0,157185.$$

На ист начин за вториот, третиот и четвртиот компонентен правоаголник добиваме:

$$c_{1,1,2} = 0,332826$$

$$c_{2,1,2} = 0,276464$$

$$c_{3,1,2} = 0,236332$$

$$c_{4,1,2} = 0,206636$$

$$c_{1,1,3} = 0,426214$$

$$c_{2,1,3} = 0,358618$$

$$c_{3,1,3} = 0,306980$$

$$c_{4,1,3} = 0,266770$$

$$c_{1,1,4} = 0,785098$$

$$c_{2,1,4} = 0,585909$$

$$c_{3,1,4} = 0,455054$$

$$c_{4,1,4} = 0,365821$$

За да можеме да го пресметаме директниот флуks, најнапред е потребно да ги пресметаме елементите на матрицата \underline{Q} . За таа цел ќе ги

користиме равенките (12.2.15) и (12.2.16), како и податоците за флукс-кодовите за избраната светилка. Од најдолната табела под сликата Д.1 е: $N_1=0,38$, $N_2=0,68$, $N_3=0,88$, $N_4=0,76$ и $N_5=0,63$.

Според табелата 7.4.1 флуksот на дадената сијалица е 2800 lm. Бидејќи во избраната светилка се инсталирани две флуоресцентни сијалици следува:

$$\Phi_{\text{св.}} = 2 \cdot 2800 = 5600 \text{ lm.}$$

Флуksот што го зрачи светилката е:

$$F_{\text{св.}} = N_5 \cdot \Phi_{\text{св.}} = 0,63 \cdot 5600 = 3528 \text{ lm,}$$

а флуksот на светилката во долниот полупростор изнесува:

$$F_{C_4} = N_4 \cdot F_{\text{св.}} = N_4 \cdot N_5 \cdot \Phi_{\text{св.}} = 0,76 \cdot 0,63 \cdot 5600 = 2681 \text{ lm.}$$

Натаму е:

$$FC = \begin{bmatrix} FC_1 \\ FC_2 \\ FC_3 \\ FC_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,38 \\ 0,68 \\ 0,88 \\ 1 \end{bmatrix} FC_4$$

и според равенката (12.2.16) добиваме:

$$Q = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 164,9885 \\ 159,2992 \\ 1092,3377 \\ -728,2251 \end{bmatrix} \text{ lm.}$$

Според равенките (12.2.27) и (12.2.28) директниот флуks од првата светилка врз првиот, вториот, третиот и четвртиот компонентен правоаголник е:

$$f_1 = \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^4 q_i \cdot c_{i,1,j} = 1058 \text{ lm.}$$

Директниот флуks од сите четири светилки изнесува:

$$f = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 = 4 \cdot f_1 = 4 \cdot 1058 = 4232 \text{ lm.}$$

Според дадените податоци е:

$$R = \begin{bmatrix} 0,7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,1 \end{bmatrix}.$$

Плоштините на плафонот и на работната површина се еднакви и изнесуваат:

$$S_1 = S_4 = 4,9 \cdot 3,5 = 17,15 \text{ m}^2.$$

Бидејќи светилките се поставени на растојание 0,75 m под плафонот, за плоштините на горниот појас и ѕидовите следува соодветно:

$$S_2 = 2 \cdot (4,9 + 3,5) \cdot 0,75 = 12,6 \text{ m}^2$$

и

$$S_3 = 2 \cdot (4,9 + 3,5) \cdot 2 = 33,6 \text{ m}^2.$$

Со тоа може да се напише:

$$S = \begin{bmatrix} 17,15 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 12,6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 33,6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 17,15 \end{bmatrix}.$$

Следува пресметување на коефициентите на меѓусебна размена. Најнапред, со помош на равенката (12.3.7) земајќи $H=0,75$ m пресметуваме:

$$g_{15} = 12,180435.$$

Со истата равенка за $H=2$ m се пресметува:

$$g_{45} = 7,240097$$

и за $H=2,75$ m се пресметува:

$$g_{14} = 5,442983.$$

Бидејќи е:

$$g_{11} = g_{44} = g_{55} = 0$$

според равенките (12.3.11) до (12.3.18) ги пресметуваме останатите елементи на матрицата G и добиваме:

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 4,969565 & 6,737452 & 5,442983 \\ 4,969565 & 2,660870 & 3,172451 & 1,797114 \\ 6,737452 & 3,172451 & 13,78019 & 9,909903 \\ 5,442983 & 1,797114 & 9,909903 & 0 \end{bmatrix}.$$

Натаму, имајќи ги предвид равенките (12.4.16) и (12.4.29), пресметуваме:

$$\mathbf{S}' = \mathbf{W} \cdot (\mathbf{S} - \mathbf{G} \cdot \mathbf{R}) \cdot \mathbf{U} = \begin{bmatrix} 11,445 & 16,800 & 15,435 \\ -11,011 & 21,755 & 16,159 \\ -4,7086 & -4,955 & 17,15 \end{bmatrix}$$

Со инверзија на матрицата \mathbf{S}' се добива:

$$\mathbf{M} = (\mathbf{S}')^{-1} = \begin{bmatrix} 0,04768 & -0,03836 & -0,006767 \\ 0,01186 & 0,02830 & -0,037342 \\ 0,01652 & -0,002356 & 0,045662 \end{bmatrix}$$

Потоа со помош на равенките (12.4.22), (12.4.23) и (12.4.24) добиваме:

$$F_1' = 4 \cdot 3528 = 14112 \text{ lm}$$

$$F_2' = 4 \cdot 2681 = 10724 \text{ lm}$$

$$F_3' = f = 4232 \text{ lm.}$$

Конечно, со помош на равенката (12.4.34) за бараните осветлености пресметуваме:

$$\mathbf{E} = \mathbf{M} \cdot \mathbf{F}' = \begin{bmatrix} 233 \\ 313 \\ 401 \end{bmatrix} \text{ lx.}$$

13. ОСНОВНО ЗА ОДРЖУВАЊЕ НА УРЕДИТЕ ЗА ЕЛЕКТРИЧНО ОСВЕТЛЕНИЕ

Во текот на експлоатацијата, уредите за електрично осветление ги менуваат своите светлотехнички карактеристики. Промените се последица на влијанието на разни фактори, како што се: висината на погонскиот напон, режимот на користење, начинот на поставување, загаденоста на средината, условите при запалување, квалитетот на одржувањето и друго.

За електричните сијалици е многу важно погонскиот напон многу да не отстапува од номиналниот. Покачувањето на погонскиот напон над неговата номинална вредност навистина условува поголем светлински флукс од номиналниот (и поголемо специфично производство), но предизвикува забрзано стареење на сијалиците, т.е. намалување на нивната трајност. Од друга страна, ако погонскиот напон е понизок од номиналниот, стареењето се успорува, но сијалиците даваат помал светлински флукс од номиналниот и нивното специфично производство е помало.

За сијалиците со празнење во гас или пареа е значајно да имаат што е можно поконтинуиран режим на работа, т.е. да работат со што е можно поретки прекини. Кај тие извори скратувањето на времето на работа по секое вклучување има за последица скусување на трајноста на сијалицата. Покрај претходното, кај флуоресцентните сијалици и недоволното предгревање на електродите е причина за намалување на трајноста.

За сите сијалици, особено за тие со поголеми моќности, е важно да не се поставуваат во услови во кои е можно нивно прегревавање, бидејќи и тоа може да биде причина трајноста значајно да се намали.

За некои видови сијалици (како што се одделни видови на халогените, металхалогените и натриумовите со низок притисок) е специфицирана положбата на горење, т.е. не е дозволено да работат во произволна положба. Доколку на тоа не се внимава, трајноста на сијалицата може драстично да се намали.

Покрај тоа, на сијалиците и на светилките се натрупува прав, а во некои простории чад, мрснотија и друго. Сето тоа влијае врз влошувањето на светлотехнички карактеристики како на сијалицата така и на светилката. Поради тоа, ако се настојува осветлението да го задржи проектираниот квалитет и во текот на експлоатацијата, неопходно е не само обезбедување на соодветни услови на погонот туку и соодветно одржување. Како критериум за тоа дали се стекнати услови за преземање некои мерки на одржувањето, може да послужи податокот за најмалата измерена осветленост на работните места.

Меѓу зафатите за подобрување на намалениот квалитет на осветлението спаѓаат: замена на прегорените сијалици, замена (односно поправка) на општетените светилки, чистење (миење) на светилките и сијалиците и чистење на одбивните површини. Во принцип, одржувањето може да се изведува на два начина: периодично и аperiodично. Во двата случаја одржувањето се изведува во време кога тоа најмалку му пречи на технолошкиот процес. Кај периодичното одржување наведените активности се изведуваат според однапред утврдена програма, во зависност од: видот на работите што се одвиваат во секој од разгледуваните простори, типот на светилките, видот на сијалиците, должината на употребното време на осветлението и локалните услови (присуство на чад, прав, пареа, мрснотии и друго).

Еден од критериумите за определување на должината на периодот помеѓу две чистења на светилките може да биде споредбата помеѓу штетата што ја условува намаленото осветление во текот на периодот и цената на едно чистење на светилките.

Што се однесува до замена на сијалиците, нема единствен став дали е подобро тие да се заменуваат групно (т.е. сите наеднаш) или поединечно. Се чини дека во секој конкретен случај треба да се направи детална анализа на сите влијателни фактори пред да се одлучи на кој начин да се врши замената на сијалиците. За илустрација, според [9], ако осветлението е со сијалици со метално влакно или со халогени сијалици, групна замена на сијалиците се препорачува кога ќе прегорат 5% од инсталираните сијалици. За другите видови сијалици критериумите се поинакви. Меѓутоа, можат да се сретнат и поинакви мислења.

При замена на светлотехничката опрема треба да се внимава да не дојде до несоодветна замена. На тој начин се избегнува не само скратување на трајноста на одделни видови опрема туку и промена на карактеристиките на осветлението и појава на непредвидени опасности и штети.

14. НЕКОИ АСПЕКТИ НА РАБОТНОТО ОСВЕТЛЕНИЕ

При проектирање на осветлението во производствените погони и другите работни простории треба да се има предвид дека во нив луѓето ќе претстојуваат релативно долго време и дека сите фактори што битно влијаат врз карактеристиките на светлотехничките решенија треба да се сметаат како важни компоненти на обезбедувањето потребни услови за ефикасно, квалитетно и економично работење. Широка е лепената на условите во кои луѓето работат, но во секој конкретен случај треба да се настојува избраното светлотехничко решение оптимално да соодветствува на карактеристиките на видот на работникот и на особеностите на неговата работа. Притоа, не смее да се заборава дека светлотехничкото решение треба студиозно да се усогласува со карактеристиките на самиот објект, при што треба да се решат и евентуалните проблеми со одржувањето и замената на светлотехничката опрема.

Обезбедување на поквалитетно осветление во еден производствен погон е еден од битните услови за создавање пријатен амбиент и расположение за работа. Во услови на квалитетно осветление работникот поспоро се заморува, а како последица на тоа се постигнува поголема производност и подобар квалитет на производите, при што се намалува шкартот, односно се намалува нерационалното трошење на материјалите и енергијата. Од друга страна, ведрото расположение на работниците и одржувањето на нивната внимателност на потребното ниво придонесуваат за намалување на бројот на повредите при работа и за подобрување на работниот морал, односно за подобрување на односот кон работата и кон претпријатието. Тоа има за последица намалување на отсутната од работа, што придонесува, покрај другото, за намалување на проблемите околу замена на отсутните работници. Освен тоа, лошите услови при работа можат да бидат причина за поголема флукуација на работниците, што повлекува зголемување на трошоците за прифаќање и обука на нови работници. Конечно, добро расположените работници се со повисок работен елан, со чувство дека управата се грижи за нив и тие многу повнимателно ги користат и одржуваат средствата за работа, што, исто така, влијае врз намалувањето на трошоците на работењето. Во кондензирана форма претходните констатации се прикажани на сликата 1.1.2.

Со технолошкиот развој сè почест е случајот индустрискиот работник да управува со скап и сложен уред или да врши надзор над неговата работа. Во таквите услови од работникот не се бара голем физички напор, но оптоварувањето на неговиот вид е големо. Затоа во таквите услови е неопходно да се обезбеди и квалитетно осветление, што ќе му овозможи на работникот успешно да ги извршува предвидените активности, а притоа да не биде загрошено ниту неговото здравје ниту неговата сигурност. Сосема е разбирливо дека со натамошниот развој ќе

се јавуваат работни места со потешки задачи за очите, а за успешно решавање на таквите задачи е неопходно осветление со соодветен квалитет.

За комплетна оценка на едно светлотехничко решение е неопходно определување на редица негови карактеристики. Не ретко секоја од карактеристиките се утврдува одделно. Понекогаш тие карактеристики се делат на квантитативни и квалитативни. Таквата поделба треба да се смета за условна. Секоја од карактеристиките на осветлението може да биде изразена количински, односно бројно, но, едновременно, таа е компонента и на квалитетот на осветлението. Освен тоа, сите тие карактеристики тесно се поврзани една со друга. Така, на пример, една иста осветленост произведува различен ефект при различен спектрален состав на светлината, при различна сјајност на околните површини и така натаму.

Едно светлотехничко решение се одликува со повеќе карактеристики, од кои најчесто се предмет на анализа следниве:

- ниво на осветленоста,
- рамномерност на осветленоста,
- распределба на сјајностите,
- ограничување на блескотењето,
- обликување на сенките,
- боите на површините, бојата на светлината и репродукција на боите.

Во светлотехничката литература често се наведуваат резултати од истражувањата на влијанието на висината на осветленоста врз работниот ефект на работниците. Така, на пример, во [14] е констатирано дека при промена на осветленоста од 100 на 1000 лукси бројот на грешките се намалил шест пати, а производноста се зголемила за 5,6%. Слични резултати наведуваат и други извори.

При изборот на потребната осветленост за работното осветление, согласно на наведеното во поглавјето 9, неопходно е да се уважува редица специфичности кои ја карактеризираат работната задача. Поважните од нив се:

- а) прецизноста на работата, односно видниот агол под кој се гледаат деталите со кои се работи;
- б) коефициентот на одбивањето на светлината од подлогата на која треба да се разликуваат деталите (при дадена осветленост тој коефициент ја определува сјајноста на подлогата);
- в) контрастот помеѓу деталите и подлогата;
- г) потребата од барање на детали (во случаите кога не е определено местото на нивната појава);
- д) подвижноста на работната површина, што отежнува да се разликуваат деталите;
- ѓ) релативната должина на видниот напор во текот на работното време.

Покрај наведените белези на видниот процес, врз определувањето на нивото на осветленоста можат да влијаат и следниве фактори:

1. опасноста од допир на предмети што се наоѓаат во работната зона (на пример, машини за режење, спроводници под напон и слично);
2. присуството на светлечки површини во видното поле, при што нивната сјајност значително се разликува од сјајноста на подлогата (т.е. поблиската околина);
3. зголемувањето на санитарно-хигиенските барања при работа;
4. отсуството на природно осветление или недоволното природно осветление;
5. возраста на работниците;
6. состојбата на видниот орган на работниците и така натаму.

За влијанието на возраста ќе ги наведеме резултатите од едно истражување (објавени во списанието Philips-Techn. No.3, 1962 и цитирани во [1]). Според нив, за читање на определен текст од луѓе на различна возраст еднаков ефект се постигнува при релативни вредности на осветленоста наведени во табелата 14.1.1.

Табела 14.1.1 Потребни релативни осветлености за читање на ист текст од луѓе на различна возраст

Возраст	Релативна осветленост
10 години	1/3
20 години	1/2
30 години	2/3
40 години	1
50 години	2
60 години	5

Но, зголемувањето на осветленоста, по правило, повлекува зголемување на трошоците за осветлението. Тие трошоци се собираат со останатите трошоци поврзани со производствениот процес. Од економска гледна точка, зголемените трошоци за осветлението се оправдани доколку тие придонесуваат за намалување на вкупните трошоци по единица производ, односно доколку придонесуваат за зголемување на добивката.

За еден ист објект, со утврдени барања што се поставуваат пред електричното осветление, често е можно да се направат две или повеќе светлотехнички решенија. Доколку решенијата ги исполнуваат задаените технички барања на приближно еднаков начин, корисно е тие да се споредат од економски аспект. Притоа треба да се води сметка не само за трошоците за изградба на секое од решенијата што се споредува, туку и за трошоците поврзани со користењето и одржувањето. Во трошоците на изградба, кои често се нарекуваат инвестициони трошоци, главно спаѓаат трошоците за: сијалиците, светилките, монтажата на светилките,

монтажата на сијалиците, инсталцискиот материјал и изградба на електричната инсталација за светилките, придонесот за електричниот приклучок. Од друга страна, во секоја година од експлоатацијата се прават трошоци, кои често се нарекуваат годишни трошоци. Во основа тука спаѓаат трошоците за: амортизацијата, осигурувањето, чистењето на светилките и сијалиците, набавката и замена на сијалиците, поправката на светилките, ангажираната електрична моќност, потрошената електрична енергија.

15. СВЕТЛОТЕХНИЧКИ МЕРЕЊА

15.1. Општо

Под основни светлотехнички мерења обично се подразбира: мерење на светлинскиот флуks, мерење на светлинската јачина, мерење на сјајноста и мерење на осветленоста. Првите две мерења се изведуваат во лабораториски услови. Инструменти со кои се изведуваат наведените мерења со заедничко име се нарекуваат фотометри. Тука спаѓаат:

- гониофотометар (наменет за мерење на распределбата на светлинската јачина);
- интегрирен фотометар (наменет за непосредно мерење на светлинскиот флуks на светилка или сијалица);
- луксметар (наменет за мерење на осветленоста);
- мерач на сјајноста.

Секој од овие инструменти содржи фотоелектричен приемник, кој има задача определената светлинска големина да ја претвора во соодветна електрична големина. На тој начин, преку мерење на една електрична големина може да се добие информација за големината на соодветната светлинска големина. Таквите мерења спаѓаат во физикална фотометрија, за разлика од визуелната фотометрија кај која човечкото око служи како дел од мерниот систем.

Тука ќе стане збор за мерење на светлинскиот флуks и за мерење на осветленоста.

15.2. Мерење на светлинскиот флуks

Најчесто користениот уред за мерење на светлинскиот флуks е Улбрихтовата сфера. Нејзиниот дијаметар е релативно голем, но ѕидовите се тенки. Внатрешната површина на сферата е обично бела, со особина да одбива дифузно. Сијалицата или светилката, чиј светлински флуks се мери, се поставува во средината на сферата, како што е прикажано на сликата 15.2.1. На едно место на сферата се мери осветленоста постигната само од одбиената светлина. За таа цел служи фотоелемент. Бидејќи е потребно да се измери осветленоста што ја создава одбиената светлина, помеѓу светлинскиот извор и фотоелементот е поставен соодветен заклон.



Слика 15.2.1 Улбрихтова сфера

Нека во Улбрихтовата сфера е поставен извор, чиј светлински флуks Φ треба да се измери. Ако се изостави флуksот што паѓа директно од изворот и ако се води сметка за повеќекратното одбивање, за флуksот што паѓа на сферата добиваме:

$$\Phi' = \rho \cdot \Phi + \rho^2 \cdot \Phi + \rho^3 \cdot \Phi + \dots = \frac{\rho \cdot \Phi}{1 - \rho}. \quad (15.2.1)$$

Во равенката (15.2.1) со ρ е означен коефициентот на одбивањето од внатрешната површина на сферата.

Ако осветленоста, постигната со одбиениот флуks, се означи со E' и ако со S се означи плоштината на внатрешната површина на сферата, за одбиениот флуks, што паѓа на сферата, може да се напише:

$$\Phi' = E' \cdot S. \quad (15.2.2)$$

Израмнувајќи ги десните страни на равенките (15.2.1) и (15.2.2), за непознатиот светлински флуks на изворот добиваме:

$$\Phi = \frac{1 - \rho}{\rho} \cdot S \cdot E' = k \cdot E'. \quad (15.2.3)$$

Во равенката (15.2.3) е воведена константата k , што зависи само од особините на сферата. Всушност, големината k може да се менува доколку се менуваат одбивните карактеристики на внатрешната страна на сферата. Тоа е можно поради промената на бојата на таа површина и/или натрупување на прав на неа. Поради тоа е потребно, по определен број мерења, повторно да се утврди вредноста на k . За практично определување на оваа константата е потребно да се располага со извор чиј светлински флуks Φ_0 е познат. Ако при поставување на тој извор во сферата се измери осветленост од одбиената светлина E'_0 , тогаш е $k = \Phi_0 / E'_0$ и таа вредност треба да се замени во равенката (15.2.3).

15.3. Мерење на осветленоста

Вообичаено е инструментот за мерење на осветленоста да се нарекува луксметар. Главно, тој е составен од два дела. Едниот е фото-

електричен елемент, а другиот е електричен мерен инструмент, баждарен во лукси. Пракса е двата дела да се изработени како одделни делови, поврзани со електрични спроводници. Со тоа се овозможува лицето што го отчитува инструментот да биде на доволно растојание од местото на кое се мери осветленоста (т.е. од местото на кое е поставен фотоелементот) и со своето присуство да не влијае врз осветленоста што се мери.

Осветленоста се мери како кај новоизградените инсталации така и кај тие што се во погон подолго време. Во двата случаја, преку мерењата се настојува да се одговори на прашањата:

- колкава е средната осветленост и
- каква е рамномерноста на осветленоста.

Ако е во прашање работна просторија, мерењето на осветленоста се изведува на височина 0,85 m од подот, освен во случаите кога работните места се поинаку распределени. Пред да се започне со мерењата, на разгледуваната (т.е. осветлуваната) површина се дефинира мрежа и се означува средиштето на секое окце, како што е прикажано на сликата 15.3.1. Тие средишта се точки во кои ќе се мери осветленоста.

E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6
E_7	E_8	E_9	E_{10}	E_{11}	E_{12}
E_{13}	E_{14}	E_{15}	E_{16}	E_{17}	E_{18}
E_{19}	E_{20}	E_{21}	E_{22}	E_{23}	E_{24}

Слика 15.3.1 Шема на мерните места

По извршеното мерење на осветленоста во назначените точки, средната осветленост се пресметува со формулата:

$$E_{\text{сред}} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n}. \quad (15.3.1)$$

каде со n е означен бројот на точките во кои е мерена осветленоста (според сликата 15.3.1). Така добиената средна осветленост не треба да биде помала од минималната средна осветленост за односниот вид на просторија, односно за конкретните светлотехнички барања.

Потоа, користејќи ги измерените вредности, се утврдуваат најмалата измерена осветленост, $E_{\text{најм.}}$, и најголемата измерена осветленост, $E_{\text{најг.}}$, кои се користат за оценка на тоа колку е рамномерна осветленоста

на осветлуваната (работна) површина. Во таа смисла се пресметуваат два показателя:

$$\text{општа рамномерност на осветленоста} = \frac{E_{\text{најм.}}}{E_{\text{сред.}}} \quad (15.3.2)$$

и

$$\text{рамномерност на осветленоста} = \frac{E_{\text{најм.}}}{E_{\text{најг.}}} \quad (15.3.3)$$

Општата рамномерност на осветленоста не треба да има помала вредност од онаа што за односните услови е дадена во стандардот. За илустрација, во табелата 15.3.1 се наведени вредностите на односот $E_{\text{најм.}}/E_{\text{сред.}}$, определени со стандардот [66]. Да забележиме дека табелата 15.3.1 се однесува само на општо осветление.

Табела 15.3.1 Критериуми за општата рамномерност на осветленоста (според [66])

Барања	$E_{\text{најм.}}/E_{\text{сред.}}$
Многу мали	1:6 до 1:3
Мали	1:3
Средни и големи	1:2,5
Многу и особено големи	1:1,5

Кога се во прашање училишта, некои автори (на пример [22]) препорачуваат во училишните општата рамномерност на осветленоста да не биде помала од 0,8, односно 0,6 во просториите кои не се наменети за настава. Додека рамномерноста на осветленоста во училишните не би требала да биде помала од 0,5, односно 0,25, во останатите простории.

При мерење на осветленоста треба да се мери и напонот на кој се приклучени светлинските извори. Измерените вредности на погонскиот напон треба да се внесат во записникот од извршените мерења и треба да се земат предвид при анализа на резултатите добиени со светлотехничките мерења.

На крајот да наведеме дека со користење на уред за мерење на осветленост може приближно да се определи коефициент на одбивање од една површина во вид на квадрат, чија плоштина не е помала од 144 cm². Набљудуваната површина треба да биде рамномерно осветлена. Во таа смисла, најнапред се мери нејзината осветленост. Потоа фотоелементот се свртува кон површината и полака се оддалечува од неа. Оддалечувањето треба да запре кога луксметарот престане да покажува зголемување на осветленоста. Така добиената осветленост се дели со порано измерената осветленост на набљудуваната површина. Добиениот количник е приближната вредност на коефициентот на одбивањето од таа површина.

ЛИТЕРАТУРА

а) Книги

- [1] Н. В. Волоцкој, Г. М. Кноринг, М. С. Рјабов, А. С. Шајкевич, *Електрично осветление на производствени и комунални објекти*, "Енергија", Москва 1964. (Книга на руски).
- [2] М. М. Гуторов, *Зборник на задачи по основи на светлотехниката*, "Енергија", Москва 1977. (Книга на руски).
- [3] G. L. Dimić i F. Virag, *Osvetljenje I*, "Građevinska knjiga", Beograd 1972.
- [4] B. Jemrić, *Priručnik električne rasvjete*, ТЕР - Školska knjiga, Zagreb 1970.
- [5] Г. М. Кноринг, *Уреди за осветление*, Госенергоиздат, Ленинград 1981. (Книга на руски).
- [6] А. Ј. Коц, *Осветление на електрични централи и трансформаторски станици*, Енергоиздат, Москва 1981. (Книга на руски).
- [7] Ј. А. Кунгс, М. А. Фаермарк, *Економична употреба на уредите за осветление*, Енергоатомиздат, Москва 1984. (Книга на руски)
- [8] *Lamp and Lighting*, General editors: S. T. Henderson and A. M. Marsden, Second edition, Edward Arnold, London 1979.
- [9] S. L. Lyons, *Handbook of Industrial Lighting*, Butterworths 1981.
- [10] D. Matanović, *Tehnika rasvjete*, Nakladni zavod Hrvatske, Zagreb 1948.
- [11] В. В. Мешков, *Основи на светлотехниката*, "Енергија", Москва 1979. (Книга на руски).
- [12] B. Perme, *Razsvetljava*, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana 1971.
- [13] P. Podlipnik, A. Čop, *Svetlotehnički priručnik*, Elektrokovina Maribor.
- [14] H. Prochazka, *Praksa industrijske rasvjete*, Tehnička knjiga, Zagreb 1968.
- [15] *Preporuke za osvetljenje*, Jugoslovenski komitet za osvetljenje, 1964.
- [16] *Прирачник по светлотехника*, Енергоатомиздат, Москва 1983. (Книга на руски).
- [17] J. W. Favie, C. P. Damen, G. Hietbrink, N. J. Quaedflieg, *Eclairage*, Bibliotheque technique Philips, Dunod, Paris 1964.
- [18] Б. Ф. Федоров, *Опыт курс по светлотехника*, Госенергоиздат, Москва 1944. (Книга на руски).
- [19] E. Širola, *Javna rasvjeta - Preporuke*, Tehnička knjiga - Zagreb, Tvornica električnih proizvoda Zagreb, 1979.
- [20] R. H. Warring, *All about Home Lighting*, Argus Books Ltd. Watford Hertfordshire, 1977.

б) Зборници од советувања и семинари

- [21] Осветљење становања, Савјетовање у Будви 1976.
- [22] Osvjetljenje '84, Beograd 1984.
- [23] Rasvjeta '84, Sarajevo 1984.
- [24] Rasvjeta '85, Tuhejske Toplice 1985.
- [25] Осветление '87, Охрид 1987.
- [26] E. Širola, Preporuke za projektiranje rasvjete cesta i tunela, Nacrt br.1, 1987.
- [27] Uloga i značaj osvetljenja u turizmu, ugostiteljstvu i trgovini, ЈКО, Zagreb 1963.
- [28] Osvjetljenje u službi industrije i rudarstva, ЈКО, Zagreb 1968
- [29] Razsvjetljava zahtevnejših objektova, Bled 1980.

в) Други публикации

- [30] Закон за мерните единици и мерилата, Службен лист на СФРЈ бр. 13, од 1976 година.
- [31] Calculations for Interior Lighting, Basic Method, International Commission on Illumination, Publication CIE No.40 1978.
- [32] Calculations for Interior Lighting, Applied Method, International Commission on Illumination, Publication CIE No.52, 1982
- [33] M. Kotnik, "Utjecaj umjetne rasvjete na radne sposobnosti djece", Elektrotehnički vesnik, br.2/1983, Ljubljana.
- [34] Licht zum Leben, Heft 1-8, Fordergemeinschaft Gutes Licht, Frankfurt/M.
- [35] Gutes Licht zum Wohnen, Fordergemeinschaft Gutes Licht, Frankfurt/M
- [36] Žarulje za opću upotrebu, TEŽ-TESLA (stari katalog).
- [37] Sijalice za opštu upotrebu, TESLA-TEŽ.
- [38] Fluorescentne cijevi, TEŽ-TESLA.
- [39] Starteri za fluorescentne cijevi, TEŽ-TESLA.
- [40] Živine sijalice visokog pritiska, TESLA-TEŽ.
- [41] Natrijum sijalice niskog pritiska, TESLA-TEŽ.
- [42] Visokotlačne natrijske žarulje, TEŽ-TESLA.
- [43] Visokotlačne metalhalogene žarulje, TEŽ-TESLA.
- [44] Halogene sijalice, TESLA-TEŽ.
- [45] Нормални сијалици, "Селена".

- [46] Живини сијалици со висок притисок VTF-E, "Селена".
- [47] High-pressure Mercury Vapour Lamps, Philips.
- [48] Low-pressure Sodium Lamps, Philips.
- [49] High-pressure Sodium Lamps, Philips.
- [50] Metal-halide Gas-discharge Lamps, Philips.
- [51] Compact Lighting Catalog, Philips.
- [52] A Practical Guide to Westinghouse Incandescent Lamps.
- [53] Ugradne svetiljke, Elektrokovina.
- [54] Nadgradne svetiljke, Elektrokovina.
- [55] Tračne i vodotesne svetiljke, Elektrokovina.
- [56] Industriske svetiljke i reflektori, Elektrokovina.
- [57] Svetiljke za vanjsko osvetljenje, Elektrokovina.
- [58] Rapid start - Predspojne sprave, Elektrokovina.
- [59] Štednja električne energije sa regulacijom svetlosnog toka, Elektrokovina.
- [60] Svetiljke '89-1, Elektrokovina.
- [61] Nesalomljive svetiljke oblika kugle za vanjsko osvetljenje, tip UL, ULR - Elektrokovina.
- [62] Svetiljke, Elektrokovina.
- [63] Unutarnja rasvjeta, TEP.
- [64] Svetiljke, MINEL-ŠREDER.
- [65] Svetiljke i fluo cevi, FEP.
- [66] JUS U.C9.100
- [67] Податоци добиени од претставништвото на "Електроковина" во Скопје.

РЕЗУЛТАТИ И ОДГОВОРИ

Глава втора

- 2.16.1. $L=15000 \text{ cd/m}^2$.
- 2.16.2. $L=190000 \text{ cd/m}^2$.
- 2.16.3. $E=70000 \text{ lx}$; $M=42000 \text{ lm/m}^2$.
- 2.16.4. а) $L=100000 \text{ cd/m}^2$; $M=\pi L=314160 \text{ lm/m}^2$; б) $\Omega=2,6556 \text{ sr}$.
- 2.16.5. $I=3722 \text{ cd}$.
- 2.16.6. $E_N=205,6 \text{ lx}$.
- 2.16.7. а) $\Phi=\pi^2 I_m$; б) $L=5500 \text{ cd/m}^2$.
- 2.16.8. $\Phi=\pi I_m$.
- 2.16.9. а) $\Phi=2\pi I_m$; б) $L=7957,7 \text{ cd/m}^2$; в) Да.
- 2.16.10. а) $E_C=12,5 \text{ lx}$; б) $\Phi=2890 \text{ lm}$.
- 2.16.11. а) $E_B=50 \text{ lx}$; б) $\Phi=15708 \text{ lm}$; в) $E_{\text{сферна}} = \frac{I_A}{5 \cdot \sqrt{5}} = 17,9 \text{ lx}$; $E_{\text{цил.}}=20,4 \text{ lx}$.
- 2.16.12. а) Точките со максимална осветленост се наоѓаат на кружница чиј центар е проекција на центарот на светлинскиот извор врз хоризонталната рамнина, а радиусот на кружницата е $1,73 \text{ m}$; б) $E_{\text{сферна}}=541 \text{ lx}$; в) $E_{\text{цил.}}=457 \text{ lx}$.
- 2.16.13. а) $E_A=28,6 \text{ lx}$; б) $E_{\text{хориз.А}}=33,1 \text{ lx}$; в) $E_C=22,5 \text{ lx}$; г) $E_{\text{верт.А}}=0$; д) $E_{\text{верт.С1}}=20 \text{ lx}$; е) $E_{\text{сфер.С1}}=11,2 \text{ lx}$; $E_{\text{цил.С1}}=6,4 \text{ lx}$.
- 2.16.14. а) $E_M=106,7 \text{ lx}$; б) Исто како под а).
- 2.16.15. $E_A=E_B=0$; $E_C=5,66 \text{ lx}$; $E_D=5,7 \text{ lx}$.

Глава трета

- 3.7.1. $E_A=25,6 \text{ lx}$; $\gamma_C=17^\circ$; $E_C=19,5 \text{ lx}$; $E_{\text{цил.С}}=6,2 \text{ lx}$; $E_{\text{сфер.С}}=5,0 \text{ lx}$.
- 3.7.2. $\alpha_A=6^\circ$; $\beta_A=36^\circ$; $E_A=707 \text{ lx}$; $\alpha_D=\beta_D=16^\circ$; $E_D=83 \text{ lx}$.
- 3.7.3. $E_A=662 \text{ lx}$; $E_B=707 \text{ lx}$.
- 3.7.4. $E_A=92 \text{ lx}$; $E_B=133 \text{ lx}$; $E_C=184 \text{ lx}$; $E_{\text{цил.}}=25,7 \text{ lx}$.
- 3.7.5. а) $E_A=44 \text{ lx}$; $E_M=25 \text{ lx}$; $E_N=17 \text{ lx}$; б) $E'_N=26 \text{ lx}$.
- 3.7.6. $E_B=17,5 \text{ lx}$.

Глава четврта

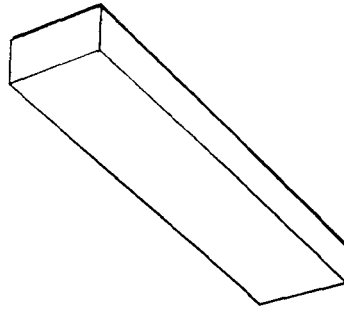
- 4.5.1. $E=94 \text{ lx}$.
- 4.5.2. а) $E_{\text{хор.}}=55 \text{ lx}$; б) $E_{\text{верт.}}=73 \text{ lx}$.
- 4.5.3. а) $E_{\text{В,хор.}}=110 \text{ lx}$; б) $E_{\text{О,хор.}}=261 \text{ lx}$; в) $E_{\text{О,верт.1}}=65 \text{ lx}$.
- 4.5.4. $E=476 \text{ lx}$.

- 4.5.5. $E=56$ lx. Напатствие: Да се тргне од равенката (4.2.1) и да се искористи равенството $\beta+\gamma=\pi/4$.
- 4.5.6. а) $E_T=34$ lx; б) $E_T=29$ lx; в) $E_T=39$ lx; г) $E_T=35$ lx. Напатствие: Да се искористи решението на задачата 2.16.1, според кое е $\Phi=\pi^2 I_m$.
- 4.5.7. а) $E_{XOY}=18$ lx; б) $E_{YOZ}=11$ lx; в) $E_{XOZ}=21$ lx.

Глава петта

- 5.7.1. а) $I_p=343$ cd; б) $\delta=40^\circ$; $I_p=343$ cd.
- 5.7.2. 47,2%.
- 5.7.3. $\rho=0,084$.
- 5.7.4. $L_{\text{внатр.}}=1900$ cd/m²; $L_{\text{надв.}}=950$ cd/m².

ДОДАТОК



Слика Д.1

Опис: Светилка за надградба со ниска носечка плоча и со опална капа, со две флуоресцентни сијалици. Сијалиците можат да бидат со моќност 20(18), 40(36) или 65(58) W при што должината на светилката е 0,66 m, 1,27 m или 1,57 m, соодветно.

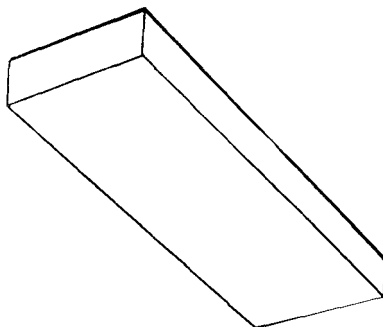
Намена: За суви простории со мали или средни светлотехнички барања.

Индекс на просторија	Коефициент на искористување на осветлението [54]							
	ρ_1	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0
	ρ_3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
	ρ_4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
0,60	0,35	0,25	0,24	0,22	0,18	0,17	0,12	
0,80	0,42	0,31	0,29	0,27	0,23	0,21	0,16	
1,00	0,47	0,36	0,33	0,31	0,27	0,25	0,19	
1,25	0,51	0,40	0,37	0,34	0,31	0,28	0,22	
1,50	0,55	0,44	0,41	0,37	0,34	0,31	0,25	
2,00	0,60	0,50	0,45	0,41	0,38	0,35	0,29	
2,50	0,63	0,53	0,48	0,44	0,41	0,38	0,32	
3,00	0,65	0,56	0,50	0,46	0,43	0,40	0,34	
4,00	0,68	0,59	0,52	0,48	0,46	0,42	0,36	
5,00	0,70	0,61	0,54	0,50	0,47	0,44	0,37	

Нечистотиј	Фактор на нечистотија, f_1 [54]		
	Период на чистење - години		
	Една	Две	Три
Мала	0,93	0,88	0,86
Нормална	0,83	0,77	0,72
Голема	0,72	0,64	0,59

Време на користење во саати	Фактор на стареење, f_2 [63]
4000	0,82
6000	0,80

Број и моќност на флуоресцентни сијалици	Флукс-кодови [54]				
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
2x40(36) W	0,38	0,68	0,88	0,76	0,63



Слика Д.2

Опис: Светилка за надградба со ниска носечка плоча и со опална капа, со три флуоресцентни сијалици. Сијалиците можат да бидат со моќност 20(18), 40(36) или 65(58) W, при што должината на светилката е 0,66 m, 1,27 m или 1,57 m, соодветно.

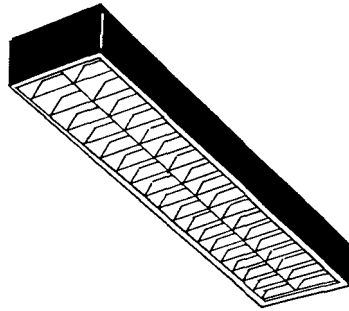
Намена: За суви простории со мали или средни светлотехнички барања.

Индекс на просторија	Коефициент на искористување на осветлението [54]							
	ρ_1	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0
	ρ_3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
	ρ_4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
0,60	0,32	0,23	0,22	0,20	0,17	0,16	0,12	
0,80	0,38	0,28	0,27	0,25	0,21	0,20	0,15	
1,00	0,42	0,33	0,30	0,28	0,24	0,23	0,18	
1,25	0,46	0,37	0,34	0,32	0,28	0,26	0,21	
1,50	0,50	0,40	0,37	0,34	0,31	0,29	0,23	
2,00	0,54	0,45	0,41	0,38	0,35	0,33	0,27	
2,50	0,57	0,48	0,43	0,40	0,38	0,35	0,30	
3,00	0,59	0,51	0,45	0,42	0,40	0,37	0,32	
4,00	0,61	0,54	0,47	0,44	0,42	0,39	0,34	
5,00	0,63	0,56	0,49	0,45	0,44	0,41	0,35	

Нечистотија	Фактор на нечистотија, f_1 [54]		
	Период на чистење - години		
	Една	Две	Три
Мала	0,93	0,88	0,86
Нормална	0,83	0,77	0,72
Голема	0,72	0,64	0,59

Време на користење во саати	Фактор на стареење, f_2 [63]
4000	0,82
6000	0,80

Број и моќност на флуоресцентни сијалици	Флукс-кодови [54]				
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
3x40(36) W	0,39	0,69	0,89	0,79	0,56



Слика Д.3

Опис: Светилка за надградба со куќиште и бел V-растер, со две флуоресцентни сијалици. Сијалиците можат да бидат со моќност 20(18), (36) или 65(58) W, при што, должината на светилката е 0,646 m, 1,267 m или 1,567 m, соодветно.

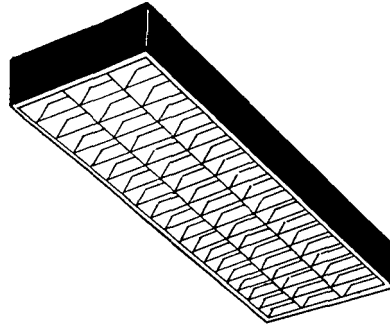
Намена: За суви простории со средни или големи светлотехнички барања, каде дополнително се бара ограничување на блескотење.

Индекс на просторија	Коефициент на искористување на осветлението [54]							
	ρ_1	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0
	ρ_3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
	ρ_4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
0,60	0,35	0,28	0,27	0,26	0,23	0,23	0,20	
0,80	0,40	0,33	0,31	0,31	0,28	0,27	0,24	
1,00	0,44	0,37	0,35	0,34	0,31	0,31	0,28	
1,25	0,48	0,41	0,38	0,37	0,35	0,34	0,31	
1,50	0,50	0,44	0,40	0,39	0,37	0,37	0,34	
2,00	0,54	0,48	0,44	0,43	0,41	0,40	0,37	
2,50	0,56	0,51	0,46	0,45	0,43	0,42	0,40	
3,00	0,58	0,53	0,47	0,46	0,45	0,44	0,41	
4,00	0,60	0,55	0,49	0,47	0,46	0,45	0,43	
5,00	0,61	0,56	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	

Нечистотиј	Фактор на нечистотија, f_1 [54]		
	Период на чистење - години		
	Една	Две	Три
Мала	0,96	0,89	0,86
Нормална	0,83	0,70	0,62
Голема	0,63	0,50	0,43

Време на користење во саати	Фактор на стареење, f_2 [63]
2000	0,87
4000	0,82
6000	0,80

Број и моќност на флуоресцентни сијалици	Флукс-кодови [54]				
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
2x40(36) W	0,61	0,89	0,98	0,98	0,50



Слика Д.4

Опис: Светилка за надградба со куќиште и бел V-растер, со три флуоресцентни сијалици. Сијалиците можат да бидат со моќност 20(18), (36) или 65(58) W, при што, должината на светилката е 0,646 m, 1,267 m или 1,567 m, соодветно.

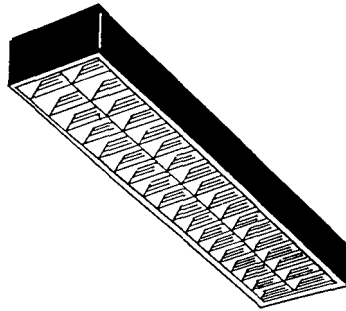
Намена: За суви простории со средни или големи светлотехнички барања, каде дополнително се бара ограничување на блескотење.

Индекс на просторија	Коефициент на искористување на осветлението [54]							
	ρ_1	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0
	ρ_3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
	ρ_4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
0,60	0,38	0,31	0,29	0,29	0,25	0,25	0,22	
0,80	0,44	0,36	0,34	0,34	0,30	0,30	0,27	
1,00	0,49	0,41	0,38	0,38	0,35	0,34	0,31	
1,25	0,53	0,45	0,42	0,41	0,38	0,38	0,35	
1,50	0,56	0,49	0,45	0,44	0,41	0,41	0,38	
2,00	0,60	0,53	0,48	0,47	0,45	0,45	0,42	
2,50	0,62	0,56	0,51	0,50	0,48	0,47	0,44	
3,00	0,64	0,58	0,52	0,51	0,49	0,49	0,46	
4,00	0,66	0,61	0,54	0,53	0,52	0,51	0,48	
5,00	0,67	0,63	0,55	0,54	0,53	0,52	0,50	

Нечистотиј	Фактор на нечистотија, f_1 [54]		
	Период на чистење - години		
	Една	Две	Три
Мала	0,96	0,89	0,86
Нормална	0,83	0,70	0,62
Голема	0,63	0,50	0,43

Време на користење во саати	Фактор на стареење, f_2 [63]
2000	0,87
4000	0,82
6000	0,80

Број и моќност на флуоресцентни сијалици	Флукс-кодови [54]				
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
3x40(36) W	0,60	0,89	0,98	1,00	0,55



Слика Д.5

Опис: Светилка за надградба со куќиште и огледален V-растер, со две, три или четири флуоресцентни сијалици. Сијалиците можат да бидат со моќност 20(18), 40(36) или 65(58) W, при што должината на светилката е 0,646, 1,267 или 1,567 m, соодветно.

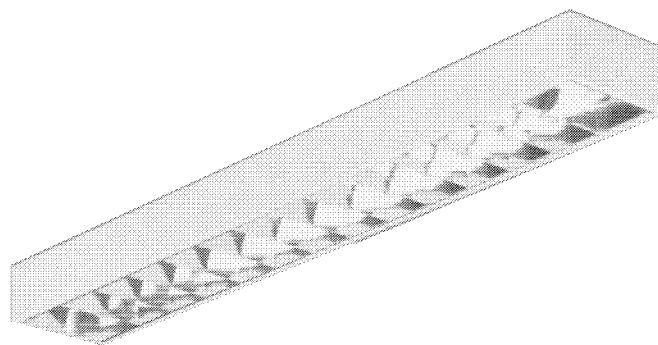
Намена: За суви простории со средни или големи светлотехнички барања, каде дополнително се бара ограничување на блескотење.

Индекс на просторија	Коефициент на искористување на осветлението [54]							
	ρ_1	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0
	ρ_3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
	ρ_4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
0,60	0,44	0,36	0,34	0,34	0,30	0,30	0,27	
0,80	0,50	0,42	0,40	0,39	0,36	0,35	0,32	
1,00	0,55	0,47	0,44	0,43	0,40	0,40	0,37	
1,25	0,59	0,52	0,48	0,47	0,44	0,44	0,41	
1,50	0,62	0,55	0,50	0,49	0,47	0,46	0,44	
2,00	0,66	0,60	0,54	0,53	0,51	0,50	0,48	
2,50	0,69	0,63	0,56	0,55	0,54	0,53	0,50	
3,00	0,70	0,65	0,58	0,57	0,55	0,54	0,52	
4,00	0,72	0,67	0,59	0,58	0,57	0,56	0,54	
5,00	0,73	0,69	0,60	0,59	0,58	0,57	0,55	

Нечистотиј	Фактор на нечистотија, f_1 [54]		
	Период на чистење - години		
	Една	Две	Три
Мала	0,96	0,89	0,86
Нормална	0,83	0,70	0,62
Голема	0,63	0,50	0,43

Време на користење во саати	Фактор на стареење, f_2 [63]
2000	0,87
4000	0,82
6000	0,80

Број и моќност на флуоресцентни сијалици	Флукс-кодови [54]				
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
2 или 4x20(18) W	0,67	0,95	0,99	1,00	0,60
2 или 4x40(36) W	0,67	0,95	0,99	1,00	0,60



Слика Д.6

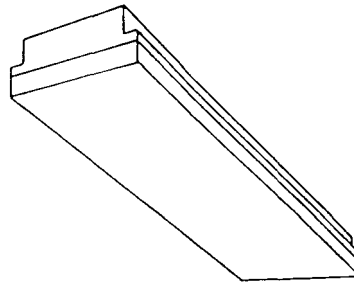
Опис: Светилка за надградба со куќипште и параболичен растер, со една или две флуоресцентни сијалици од 18, 36 или 58 W, односно со три флуоресцентни сијалици од 18 или 36 W.

Намена: За суви простории со големи видни барања, во кои се бара зголемена видливост на вертикалните површини и битно намалено блескотење во целиот простор.

Индекс на просторија	Коефициент на искористување на осветлението [60]							
	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	ρ_5	ρ_6	ρ_7	ρ_8
	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0	
	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0	
	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	
0,60	0,46	0,35	0,34	0,33	0,28	0,28	0,23	
0,80	0,55	0,44	0,42	0,41	0,36	0,36	0,31	
1,00	0,62	0,51	0,48	0,47	0,43	0,42	0,38	
1,25	0,68	0,58	0,53	0,52	0,49	0,48	0,44	
1,50	0,71	0,62	0,57	0,56	0,53	0,52	0,48	
2,00	0,77	0,69	0,62	0,61	0,58	0,57	0,54	
2,50	0,80	0,72	0,65	0,64	0,61	0,60	0,57	
3,00	0,82	0,75	0,67	0,65	0,63	0,62	0,59	
4,00	0,85	0,78	0,69	0,67	0,66	0,65	0,62	
5,00	0,86	0,80	0,70	0,69	0,67	0,66	0,63	

Нечистотиј	Фактор на нечистотија, f_1 [54]		
	Период на чистење - години		
	Една	Две	Три
Мала	0,96	0,89	0,86
Нормална	0,83	0,70	0,62
Голема	0,63	0,50	0,43

Време на користење во саати	Фактор на стареење, f_2 [63]
2000	0,87
4000	0,82
6000	0,80



Слика Д.7

Опис: Светилка за вградување со ниска опална капа, со две флуоресцентни сијалици од 20(18), 40(36) или 65(58) W, за касетирани плафони со модули 312 и 625 mm.

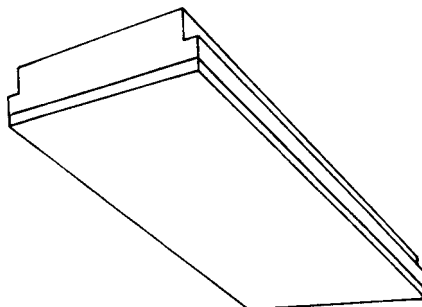
Намена: За суви простории со мали или средни светлотехнички барања.

Индекс на просторија	Коефициент на искористување на осветлението [53]							
	ρ_1	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0
	ρ_3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
	ρ_4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
0,60	0,27	0,20	0,19	0,18	0,15	0,15	0,12	
0,80	0,31	0,24	0,23	0,22	0,19	0,19	0,16	
1,00	0,35	0,28	0,26	0,25	0,22	0,22	0,19	
1,25	0,38	0,31	0,29	0,28	0,25	0,25	0,22	
1,50	0,41	0,34	0,31	0,30	0,28	0,27	0,24	
2,00	0,44	0,38	0,35	0,33	0,31	0,30	0,28	
2,50	0,46	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33	0,30	
3,00	0,48	0,43	0,38	0,37	0,35	0,34	0,32	
4,00	0,50	0,45	0,40	0,39	0,37	0,36	0,34	
5,00	0,51	0,47	0,41	0,40	0,38	0,37	0,35	

Нечистотиј	Фактор на нечистотија, f_1 [53]		
	Период на чистење - години		
	Една	Две	Три
Мала	0,93	0,88	0,86
Нормална	0,83	0,77	0,72
Голема	0,72	0,64	0,59

Време на користење во саати	Фактор на стареење, f_2 [63]
4000	0,82
6000	0,80

Број и моќност на флуоресцентни сијалици	Флукс-кодови [53]				
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
2x40(36) W	0,45	0,77	0,95	0,95	0,43



Слика Д.8

Опис: Светилка за вградување со ниска опална капа, со три флуоресцентни сијалици од 20(18), 40(36) или 65(58) W, за касетирани плафони со модули 312 и 625 mm.

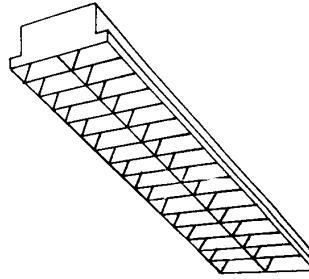
Намена: За суви простории со мали или средни светлотехнички барања.

Индекс на просторија	Коефициент на искористување на осветлението [53]							
	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	ρ_5	ρ_6	ρ_7	ρ_8
	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0	
	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0	
	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	
0,60	0,31	0,23	0,22	0,21	0,18	0,17	0,13	
0,80	0,37	0,28	0,27	0,25	0,22	0,21	0,17	
1,00	0,41	0,32	0,30	0,29	0,25	0,25	0,21	
1,25	0,45	0,36	0,34	0,32	0,29	0,28	0,24	
1,50	0,48	0,40	0,36	0,35	0,32	0,31	0,27	
2,00	0,52	0,45	0,40	0,39	0,36	0,35	0,31	
2,50	0,55	0,48	0,43	0,41	0,39	0,37	0,33	
3,00	0,56	0,50	0,45	0,43	0,41	0,39	0,35	
4,00	0,59	0,53	0,47	0,45	0,43	0,41	0,38	
5,00	0,60	0,55	0,48	0,46	0,44	0,43	0,39	

Нечистотиј	Фактор на нечистотија, f_1 [53]		
	Период на чистење - години		
	Една	Две	Три
Мала	0,93	0,88	0,86
Нормална	0,83	0,77	0,72
Голема	0,72	0,64	0,59

Време на користење во саати	Фактор на стареење, f_2 [63]
2000	0,87
4000	0,82
6000	0,80

Број и моќност на флуоресцентни сијалици	Флукс-кодови [53]				
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
3x40(36) W	0,44	0,75	0,93	0,91	0,52



Слика Д.9

Опис: Светилка за вградување со бел V-растер, со две флуоресцентни сијалици од 20(18), 40(36) или 65(58) W, за касетирани плафони со модули од 312 и 625 mm.

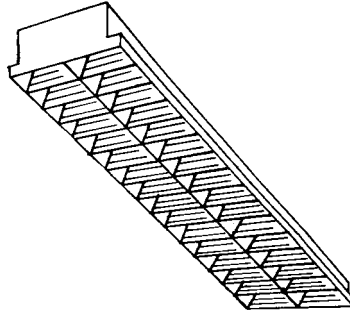
Намена: За суви простории со средни и големи светлотехнички барања, каде дополнително се бара ограничување на блескотењето.

Индекс на просторија	Коефициент на искористување на осветлението [53]							
	ρ_1	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0
	ρ_3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
	ρ_4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
0,60	0,30	0,25	0,23	0,23	0,21	0,21	0,18	
0,80	0,35	0,29	0,27	0,27	0,24	0,24	0,22	
1,00	0,38	0,32	0,30	0,30	0,27	0,27	0,25	
1,25	0,41	0,35	0,33	0,32	0,30	0,30	0,28	
1,50	0,43	0,38	0,35	0,34	0,32	0,32	0,30	
2,00	0,46	0,41	0,37	0,37	0,35	0,35	0,33	
2,50	0,48	0,43	0,39	0,38	0,37	0,37	0,35	
3,00	0,49	0,45	0,40	0,39	0,38	0,38	0,36	
4,00	0,51	0,47	0,41	0,40	0,40	0,39	0,37	
5,00	0,51	0,48	0,42	0,41	0,40	0,40	0,38	

Нечистотиј	Фактор на нечистотија, f_1 [53]		
	Период на чистење - години		
	Една	Две	Три
Мала	0,96	0,89	0,86
Нормална	0,83	0,70	0,62
Голема	0,63	0,50	0,43

Време на користење во саати	Фактор на стареење, f_2 [63]
2000	0,87
4000	0,82
6000	0,80

Број и моќност на флуоресцентни сијалици	Флукс-кодови [53]				
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
2x40(36) W	0,65	0,91	0,98	1,00	0,42



Слика Д.10

Опис: Светилка за вградување со огледален V-растер, со две флуоресцентни сијалици од 20(18), 40(36) или 65(58) W, за касетирани плафони со модули од 312 и 625 mm.

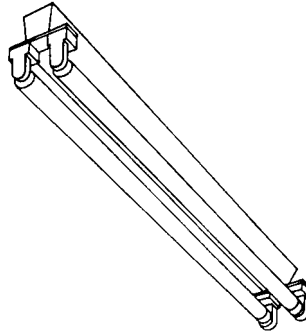
Намена: За суви простории со големи светлотехнички барања, каде дополнително се бара ограничување на блескотењето.

Индекс на просторија	Коефициент на искористување на осветлението[53]							
	ρ_1	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0
	ρ_3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
	ρ_4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
0,60	0,38	0,32	0,30	0,30	0,27	0,27	0,24	
0,80	0,44	0,37	0,35	0,34	0,32	0,31	0,29	
1,00	0,48	0,41	0,39	0,38	0,35	0,35	0,32	
1,25	0,51	0,45	0,42	0,41	0,39	0,38	0,36	
1,50	0,54	0,48	0,44	0,43	0,41	0,41	0,38	
2,00	0,58	0,52	0,47	0,46	0,45	0,44	0,42	
2,50	0,60	0,55	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	
3,00	0,61	0,56	0,50	0,49	0,48	0,47	0,45	
4,00	0,63	0,58	0,52	0,51	0,50	0,49	0,47	
5,00	0,64	0,60	0,52	0,51	0,51	0,50	0,48	

Нечистотиј	Фактор на нечистотија, f_1 [53]		
	Период на чистење - години		
	Една	Две	Три
Мала	0,96	0,89	0,86
Нормална	0,83	0,70	0,62
Голема	0,63	0,50	0,43

Време на користење во саати	Фактор на стареење, f_2 [63]
2000	0,87
4000	0,82
6000	0,80

Број и моќност на флуоресцентни сијалици	Флукс-кодови [53]				
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
2x40(36) W	0,69	0,94	0,99	1,00	0,52



Слика Д.11

Опис: Светилка за поставување во низи со две флуоресцентни сијалици. Сијалиците можат да бидат со моќност 20(18), 40(36) или 65(58) W при што должината на светилката е 0,618 m, 1,228 m или 1,528 m, соодветно.

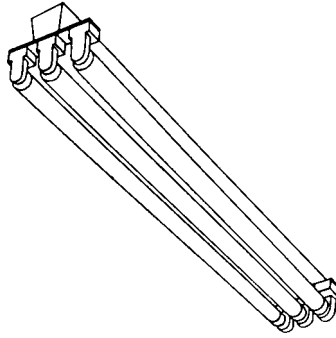
Намена: За ниски и средно високи суви простории.

Индекс на просторија	Коефициент на искористување на осветлението [55]							
	ρ_1	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0
	ρ_3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
	ρ_4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
0,60	0,51	0,35	0,34	0,29	0,24	0,21	0,13	
0,80	0,61	0,43	0,41	0,36	0,30	0,26	0,17	
1,00	0,68	0,50	0,47	0,41	0,35	0,31	0,21	
1,25	0,75	0,57	0,53	0,46	0,41	0,35	0,24	
1,50	0,80	0,62	0,57	0,50	0,45	0,39	0,27	
2,00	0,87	0,70	0,64	0,56	0,51	0,45	0,32	
2,50	0,92	0,76	0,68	0,60	0,55	0,49	0,36	
3,00	0,95	0,80	0,71	0,62	0,58	0,51	0,38	
4,00	0,99	0,84	0,74	0,65	0,62	0,54	0,41	
5,00	0,99	0,87	0,76	0,67	0,64	0,56	0,42	

Нечистотиј	Фактор на нечистотија, f_1 [55]		
	Период на чистење - години		
	Една	Две	Три
Мала	0,97	0,94	0,93
Нормална	0,89	0,85	0,80
Голема	0,72	0,61	0,55

Време на користење во саати	Фактор на стареење, f_2 [63]
2000	0,87
4000	0,82
6000	0,80

Број и моќност на флуоресцентни сијалици	Флукс-кодови [55]				
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
2x40(36) W	0,34	0,62	0,85	0,60	0,96



Слика Д.12

Опис: Светилка за поставување во низи со три флуоресцентни сијалици. Сијалиците можат да бидат со моќност 20(18), 40(36) или 65(58) W при што должината на светилката е 0,618 m, 1,228 m или 1,528 m, соодветно.

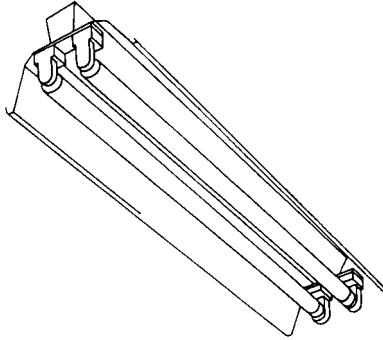
Намена: За ниски и средно високи суви простории.

Индекс на просторија	Коефициент на искористување на осветлението [55]							
	ρ_1	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0
	ρ_3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
	ρ_4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
0,60	0,50	0,35	0,33	0,29	0,24	0,21	0,13	
0,80	0,59	0,43	0,40	0,35	0,30	0,26	0,17	
1,00	0,66	0,49	0,46	0,41	0,35	0,31	0,21	
1,25	0,73	0,56	0,52	0,46	0,40	0,35	0,25	
1,50	0,78	0,61	0,56	0,49	0,45	0,39	0,28	
2,00	0,85	0,69	0,63	0,55	0,51	0,44	0,33	
2,50	0,90	0,74	0,67	0,59	0,55	0,48	0,36	
3,00	0,93	0,78	0,70	0,61	0,58	0,51	0,38	
4,00	0,97	0,83	0,73	0,64	0,61	0,53	0,40	
5,00	0,99	0,85	0,75	0,66	0,63	0,55	0,42	

Нечистотиј	Фактор на нечистотија, f_1 [55]		
	Период на чистење - години		
	Една	Две	Три
Мала	0,97	0,94	0,93
Нормална	0,89	0,85	0,80
Голема	0,72	0,61	0,55

Време на користење во саати	Фактор на стареење, f_2 [63]
2000	0,87
4000	0,82
6000	0,80

Број и моќност на флуоресцентни сијалици	Флукс-кодови [55]				
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
3x40(36) W	0,35	0,65	0,88	0,60	0,94



Слика Д.13

Опис: Светилка за поставување во низи, со рефлектор, со две флуоресцентни сијалици. Сијалиците можат да бидат со моќност 20(18), 40(36) или 65(58) W при што должината на светилката е 0,618 m, 1,228 m или 1,528 m, соодветно.

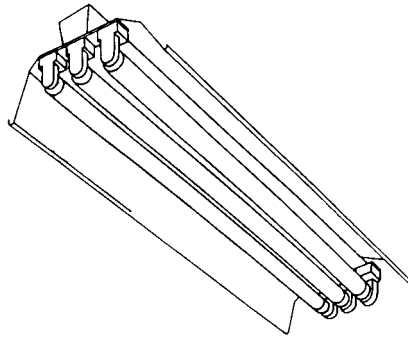
Намена: За ниски и средно високи суви простории.

Индекс на просторија	Коефициент на искористување на осветлението [55]							
	ρ_1	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0
	ρ_3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
	ρ_4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
0,60	0,50	0,37	0,35	0,34	0,29	0,28	0,23	
0,80	0,59	0,46	0,43	0,42	0,36	0,36	0,30	
1,00	0,66	0,53	0,49	0,48	0,42	0,42	0,36	
1,25	0,72	0,60	0,55	0,54	0,48	0,48	0,42	
1,50	0,77	0,65	0,60	0,58	0,53	0,52	0,47	
2,00	0,84	0,73	0,66	0,64	0,60	0,59	0,54	
2,50	0,89	0,78	0,70	0,68	0,65	0,64	0,59	
3,00	0,92	0,82	0,73	0,71	0,68	0,67	0,63	
4,00	0,96	0,87	0,77	0,75	0,72	0,71	0,67	
5,00	0,98	0,90	0,79	0,77	0,75	0,74	0,70	

Нечистотиј	Фактор на нечистотија, f_1 [55]		
	Период на чистење - години		
	Една	Две	Три
Мала	0,96	0,89	0,86
Нормална	0,83	0,70	0,62
Голема	0,63	0,50	0,43

Време на користење во саати	Фактор на стареење, f_2 [63]
2000	0,87
4000	0,82
6000	0,80

Број и моќност на флуоресцентни сијалици	Флукс-кодови [55]				
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
2x40(36) W	0,44	0,76	0,95	1,00	0,82



Слика Д.14

Опис: Светилка за поставување во низи, со рефлектор, со три флуоресцентни сијалици. Сијалиците можат да бидат со моќност 20(18), 40(36) или 65(58) W при што должината на светилката е 0,618 m, 1,228 m или 1,528 m, соодветно.

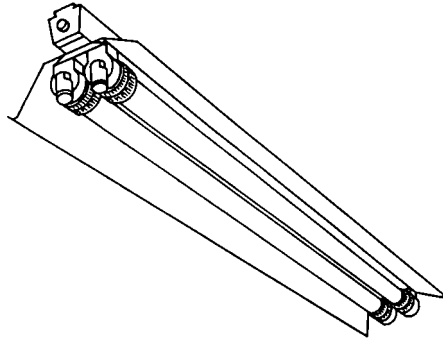
Намена: За ниски и средно високи суви простории.

Индекс на просторија	Коефициент на искористување на осветлението [55]							
	ρ_1	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0
	ρ_3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
	ρ_4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
0,60	0,49	0,37	0,35	0,34	0,28	0,28	0,23	
0,80	0,58	0,45	0,43	0,41	0,36	0,35	0,29	
1,00	0,65	0,52	0,49	0,47	0,42	0,41	0,35	
1,25	0,72	0,59	0,54	0,53	0,48	0,47	0,41	
1,50	0,76	0,64	0,59	0,57	0,52	0,52	0,46	
2,00	0,83	0,72	0,65	0,64	0,60	0,58	0,53	
2,50	0,88	0,77	0,69	0,68	0,64	0,63	0,58	
3,00	0,91	0,81	0,72	0,71	0,67	0,66	0,62	
4,00	0,95	0,86	0,76	0,74	0,72	0,70	0,66	
5,00	0,97	0,89	0,78	0,76	0,74	0,73	0,69	

Нечистотиј	Фактор на нечистотија, f_1 [55]		
	Период на чистење - години		
	Една	Две	Три
Мала	0,96	0,89	0,86
Нормална	0,83	0,70	0,62
Голема	0,63	0,50	0,43

Време на користење во саати	Фактор на стареење, f_2 [63]
2000	0,87
4000	0,82
6000	0,80

Број и моќност на флуоресцентни сијалици	Флукс-кодови [55]				
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
3x40(36) W	0,43	0,76	0,95	1,00	0,81



Слика Д.15

Опис: Светилка отпорна на влага и прав, со рефлектортор, со две флуоресцентни сијалици, секоја со моќност 40(36)W. Должината на светилката е 1,36 m.

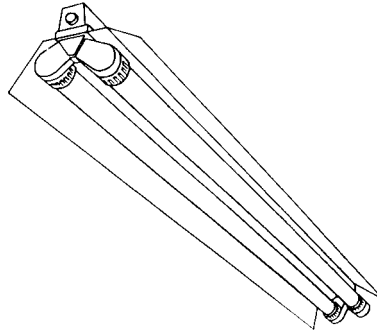
Намена: За влажни и/или простории со прав во занаетчиството, индустријата, живинарството, гаражите и слично, како и за покриени надворешни простори.

Индекс на просторија	Коефициент на искористување на осветлението [55]							
	ρ_1	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0
	ρ_3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
	ρ_4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
0,60	0,45	0,33	0,32	0,31	0,26	0,26	0,21	
0,80	0,53	0,41	0,39	0,38	0,32	0,32	0,27	
1,00	0,59	0,47	0,44	0,43	0,38	0,37	0,32	
1,25	0,65	0,53	0,49	0,48	0,43	0,43	0,37	
1,50	0,69	0,58	0,53	0,52	0,48	0,47	0,42	
2,00	0,76	0,66	0,59	0,58	0,54	0,53	0,48	
2,50	0,80	0,70	0,63	0,62	0,58	0,57	0,53	
3,00	0,82	0,74	0,66	0,64	0,61	0,60	0,56	
4,00	0,86	0,78	0,69	0,68	0,65	0,64	0,60	
5,00	0,88	0,81	0,71	0,70	0,68	0,66	0,63	

Нечистотиј	Фактор на нечистотија, f_1 [55]		
	Период на чистење - години		
	Една	Две	Три
Мала	0,96	0,89	0,86
Нормална	0,83	0,70	0,62
Голема	0,63	0,50	0,43

Време на користење во саати	Фактор на стареење, f_2 [63]
2000	0,87
4000	0,82
6000	0,80

Број и моќност на флуоресцентни сијалици	Флукс-кодови [55]				
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
2x40(36) W	0,34	0,63	0,86	0,59	0,85



Слика Д.16

Опис: Светилка за простории и покриени надворешни простори со влажна и агресивна атмосфера, со рефлектор и две флуоресцентни сијалици од 40(36) W. Должината на светилката е 1,26 m.

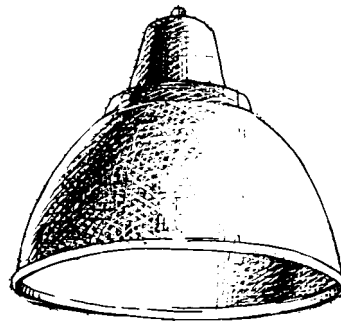
Намена: За атмосфера со најмногу 5%: H_2SO_4 , NH_4 , HCl и оцетна киселина; до 30% алкохол; до 2% натриумова база; сапун; нафта; CO и CO_2 ; $NaCl$; детергент; морска вода; етер; сулфурводород; глицерин; глизантин; бензин.

Индекс		Коефициент на искористување на осветлението [55]						
на просторија	ρ_1	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0
	ρ_3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
	ρ_4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
0,60		0,53	0,38	0,36	0,34	0,28	0,26	0,19
0,80		0,62	0,46	0,44	0,41	0,34	0,32	0,24
1,00		0,70	0,53	0,50	0,46	0,40	0,38	0,29
1,25		0,76	0,60	0,56	0,52	0,46	0,43	0,34
1,50		0,81	0,66	0,60	0,56	0,51	0,47	0,38
2,00		0,89	0,74	0,67	0,62	0,58	0,54	0,45
2,50		0,94	0,80	0,72	0,66	0,62	0,58	0,49
3,00		0,97	0,84	0,75	0,69	0,65	0,61	0,52
4,00		0,99	0,89	0,78	0,73	0,69	0,65	0,55
5,00		0,99	0,92	0,80	0,75	0,72	0,67	0,57

Нечистотиј	Фактор на нечистотија, f_1 [55]		
	Период на чистење - години		
	Една	Две	Три
Мала	0,96	0,89	0,86
Нормална	0,83	0,70	0,62
Голема	0,63	0,50	0,43

Време на користење во саати	Фактор на стареење, f_2 [63]
2000	0,87
4000	0,82
6000	0,80

Број и моќност на флуоресцентни сијалици	Флукс-кодови [55]				
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
2x40(36) W	0,39	0,68	0,89	0,79	0,93



Слика Д.17

Опис: Индустриска светилка со кукиште и дифузен рефлектор од алуминиум, за една живина сијалица со висок притисок и моќност 400 W.

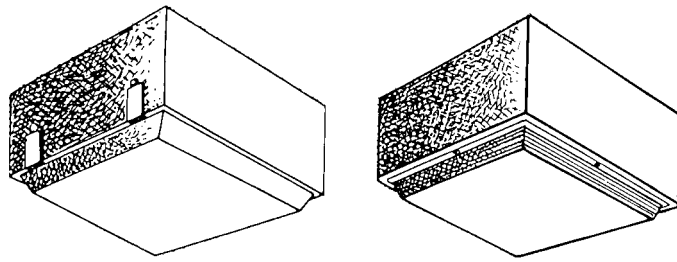
Намена: За ниски и средно високи суви простории во индустријата и занаетчиството.

Индекс		Коефициент на искористување на осветлението [56]						
на просторија	ρ_1	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0
	ρ_3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
	ρ_4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
0,60		0,53	0,39	0,38	0,37	0,30	0,30	0,24
0,80		0,63	0,48	0,46	0,44	0,38	0,38	0,32
1,00		0,70	0,56	0,52	0,51	0,45	0,44	0,38
1,25		0,77	0,63	0,59	0,57	0,51	0,51	0,44
1,50		0,82	0,69	0,63	0,62	0,56	0,55	0,50
2,00		0,90	0,78	0,70	0,68	0,64	0,63	0,58
2,50		0,94	0,83	0,75	0,73	0,69	0,68	0,63
3,00		0,98	0,88	0,78	0,76	0,73	0,71	0,67
4,00		0,99	0,93	0,82	0,80	0,77	0,76	0,72
5,00		0,99	0,96	0,84	0,82	0,80	0,79	0,75

Нечистотиј	Фактор на нечистотија, f_1 [56]		
	Период на чистење - години		
	Една	Две	Три
Мала	0,96	0,89	0,86
Нормална	0,83	0,70	0,62
Голема	0,63	0,50	0,43

Време на користење во саати	Фактор на стареење, f_2 [63]
4000	0,86
6000	0,85

Број и моќност на живини сијалици со висок притисок	Флуks-кодови [56]				
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
1x400 W	0,43	0,76	0,96	1,00	0,87



Слика Д.18

Опис: Индустриска светилка со куќиште и рефлектор од елоксиран алуминиум, со капа од призматичен поликарбонат (некршлив), за една живина сијалица со висок притисок и моќност 125 W.

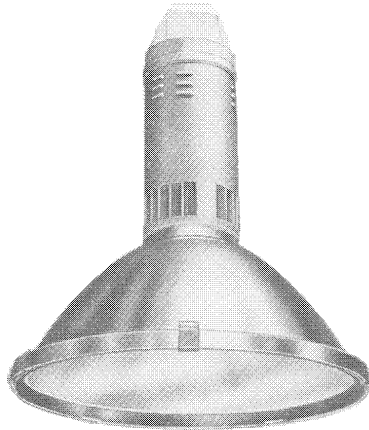
Намена: За средно високи и високи простории со влажна атмосфера.

Индекс		Коефициент на искористување на осветлението [56]						
на просторија	ρ_1	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0
	ρ_3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
	ρ_4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
0,60		0,54	0,42	0,41	0,40	0,35	0,35	0,30
0,80		0,63	0,51	0,48	0,47	0,43	0,42	0,37
1,00		0,70	0,58	0,54	0,53	0,49	0,48	0,43
1,25		0,76	0,65	0,60	0,59	0,55	0,54	0,49
1,50		0,80	0,70	0,64	0,62	0,59	0,58	0,54
2,00		0,86	0,77	0,69	0,68	0,65	0,64	0,60
2,50		0,90	0,81	0,73	0,71	0,69	0,68	0,64
3,00		0,92	0,84	0,75	0,73	0,71	0,70	0,67
4,00		0,95	0,88	0,78	0,76	0,74	0,73	0,70
5,00		0,97	0,90	0,79	0,78	0,76	0,75	0,72

Нечистотиј	Фактор на нечистотија, f_1 [56]		
	Период на чистење - години		
	Една	Две	Три
Мала	0,93	0,88	0,86
Нормална	0,83	0,77	0,72
Голема	0,72	0,64	0,59

Време на користење во саати	Фактор на стареење, f_2 [63]
2000	0,90
4000	0,86
6000	0,85

Број и моќност на живини сијалици со висок притисок	Флуks-кодови [56]				
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
1x125 W	0,58	0,89	0,99	1,00	0,79



Слика Д.19

Опис: Индустриска светилка со широк сноп, отворена, за една живина сијалица со висок притисок и моќност 400 W или за една натриумова сијалица со висок притисок и моќност 400 W.

Намена: За индустриски хали, спортски хали и друго.

Индекс на просторија	Коефициент на искористување на осветлението [63]							
	ρ_1	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0
	ρ_3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
	ρ_4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
0,60		0,55	0,52	0,55	0,52	0,50	0,52	0,50
1,00		0,67	0,64	0,67	0,64	0,62	0,63	0,62
1,50		0,74	0,71	0,74	0,71	0,67	0,70	0,67
2,00		0,77	0,75	0,77	0,74	0,73	0,74	0,73
2,50		0,90	0,77	0,78	0,77	0,75	0,76	0,75
3,00		0,92	0,79	0,79	0,78	0,77	0,77	0,76
4,00		0,95	0,80	0,80	0,79	0,79	0,79	0,78
5,00		0,97	0,82	0,82	0,80	0,79	0,80	0,79

Нечистотија	Фактор на нечистотија, f_1 [63]		
	Период на чистење - години		
	Една	Две	Три
Мала	0,94	0,90	0,86
Нормална	0,83	0,70	0,63
Голема	0,63	0,50	0,44

Време на користење во саати	Фактор на стареење, f_2 [63]	
	Живина сијалица со висок притисок	Натриумова сијалица со висок притисок
2000	0,90	0,91
4000	0,86	0,87
6000	0,85	0,86