

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до організації самостійної роботи і проведення практичних занять
із навчальної дисципліни

**«РОЗРАХУНОК І КОНСТРУЮВАННЯ
СВІТЛОВИХ ПРИЛАДІВ»**

*(для студентів денної і заочної форм навчання
освітнього рівня «магістр» за спеціальністю
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2018

Методичні рекомендації до організації самостійної роботи і проведення практичних занять з навчальної дисципліни «Розрахунок і конструювання світлових приладів» (для студентів денної і заочної форм навчання освітнього рівня «магістр» за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : О. Л. Черкашина, Л. А. Назаренко, Г. О. Петченко, А. І. Колесник, Л. Г. Баландаєва. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 32 с.

Укладачі: канд. фіз.-мат. наук, доц. О. Л. Черкашина,
д-р техн. наук, проф. Л. А. Назаренко,
д-р фіз.-мат. наук, проф. Г. О. Петченко,
асист. А. І. Колесник,
асист. Л. Г. Баландаєва

Рецензент

Гуракова Л. Д., кандидат технічних наук, доцент кафедри світлотехніки і джерел світла Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою світлотехніки і джерел світла, протокол № 3 від 28.12.17.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП..... | 4 |
| 1 Теми лекційного курсу..... | 5 |
| 2 Основні положення курсу, які повинен опонувати студент..... | 6 |
| 3 Питання самостійної і практичної роботи..... | 7 |
| 3.1 Зовнішні фактори і врахування їх впливу в процесі конструювання..... | 7 |
| 3.1.1 Кліматичне виконання і ступінь захисту СП від впливу зовнішніх факторів..... | 7 |
| 3.1.2 Захист від кліматичних дій | 8 |
| 3.1.3 Захист від механічних навантажень..... | 9 |
| 3.2 Оптичні елементи..... | 10 |
| 3.2.1 Оптичні елементи, що відбивають..... | 10 |
| 3.2.2 Світлопропускаючі елементи..... | 14 |
| 3.2.3 Оптичні елементи, що заломлюють..... | 17 |
| 3.2.4 Комбіновані оптичні системи..... | 18 |
| 3.3 Тепловий режим і врахування його при конструюванні світлових приладів..... | 19 |
| 3.3.1 Розрахунок теплового режиму..... | 20 |
| 3.3.2 Теплотехнічний розрахунок СП з ЛЛ..... | 23 |
| СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 26 |
| ДОДАТОК А..... | 32 |

ВСТУП

Самостійна робота студентів передбачає поглиблене опрацювання питань лекційного матеріалу та вивчення додаткових тем, що не розглядалися на аудиторних заняттях.

В процесі вивчення дисципліни двічі проводиться контроль, результати котрого враховують відвідування занять, результати роботи на практичних заняттях, результати контрольних робіт, поточну успішність. Наприкінці дев'ятого семестру студенти здають і захищають курсовий проект, що містить конструкторську розробку СП. При розробці курсового проекту враховується якість конструкторської розробки СП, виробу в цілому, а також знання студентом основ проектно-конструкторської діяльності інженера-світлотехніка у рамках курсу, який вивчається.

Список рекомендованої літератури охоплює як основні, так і допоміжні літературні джерела, що окреслюють коло професійних кафедральних інтересів і безпосередньо стосується фундаментальних досліджень твердотільної фізики, фізики плазми і прикладної оптики і практичного застосування результатів цих досліджень у галузях, передбачених паспортом спеціальності 05.09.07 – світлотехніка та джерела світла, зокрема при розробці і конструюванні світлових приладів і систем на їх основі.

1 ТЕМИ ЛЕКЦІЙНОГО КУРСУ

Тема 1. Загальні принципи конструювання світлових приладів. Етапи і зміст ДКР. Види і комплектність технічної документації. Основні положення і розділи ТЗ. Розробка ТЗ на СП. Показники якості і параметри світлових приладів.

Тема 2. Патентні дослідження. Експертиза на патентну чистоту. Експертиза на новизну (патентоспроможність). Експертиза на конкурентоспроможність.

Тема 3. Принципи вибору оптичних систем: світлотехнічні вимоги (показники якості). Класифікація конструктивно-світлотехнічних схем СП. Врахування джерел світла і вимог щодо світлорозподілення при конструюванні СП.

Тема 4. Тепловий режим і врахування його при конструюванні світлових приладів. Методи розрахунку теплового режиму СП. Шляхи зниження теплонапруженості конструкцій СП.

Тема 5. Принципи конструювання типових вузлів та елементів СП. Особливості конструювання деталей корпусу, конструювання деталей світлоперерозподільчої системи. Конструювання захисних ковпаків і решіток. Вузли кріплення оптичних елементів і захисного скла. Конструкція ущільнювачів. Шарнірні пристрої СП. Електроустановлені вироби. Конструкції вводів проводів.

Тема 6. Фактори, що знижують технічний рівень світильників. Сучасні вимоги, що пред'являються до конструкцій СП.

2 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ КУРСУ, ЯКІ ПОВИНЕН ОПАНУВАТИ СТУДЕНТ

1. Основні технічні характеристики, конструкції типових вузлів і елементів СП та основи конструювання СП, що забезпечують виконання комплексу світлотехнічних, електротехнічних, монтажно-експлуатаційних вимог, вимог безпеки відповідних ДСТУ.

2. Принципи вибору оптичних систем; теорія конструювання типових вузлів і елементів СП та аналіз конструкторських рішень основних груп світильників. Керівні документи по розробці світлових приладів.

3. Методи розрахунку та аналізу теплового стану СП, а також шляхи його покращення. Сучасні вимоги та технічний рівень, що пред'являються до конструкцій СП.

3 ПИТАННЯ САМОСТІЙНОЇ І ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ

3.1 Зовнішні фактори і врахування їх впливу в процесі конструювання

Рішення задач захисту СП від дії зовнішніх факторів навколишнього середовища здійснюється в основному на етапі конструювання. Найважливішими зовнішніми факторами, що впливають на світлотехнічні характеристики СП є:

- кліматичні;
- механічні;
- радіаційні;
- термічні;
- біологічні;
- електромагнітні.

Спеціальні (або екстремальні) фактори, наприклад дія вакууму або води при роботі СП у цих середовищах.

Кліматичні умови впливають на СП при транспортуванні, зберіганні і експлуатації. Температура і вологість повітря, пил, агресивні середовища, біологічні об'єкти (грибки, бактерії, комахи, гризуни), сонячна радіація, сильно розряджена атмосфера або, навпаки, підвищений тиск повітря, наявність жорсткого випромінювання, вібрація, трясіння, удари та інші дії спричиняють істотний вплив на працездатність СП. Всі ці дії повинні враховуватися за допомогою цілеспрямованих конструкторських заходів щодо захисту СП і програм спеціальних випробувань базуватися на надійних даних про кліматичні та інші умови роботи СП.

3.1.1 Кліматичне виконання і ступінь захисту СП від впливу зовнішніх факторів

Ступінь захисту СП від впливу зовнішніх факторів є важливою характеристикою усіх СП, що визначає функціональну надійність та строк їхньої служби.

Класифікацію СП за кліматичними виконаннями і категоріями розміщення подано в таблицях А.1, А.2 Додатку А.

Класифікація таблиці А.3. (дод. А) охоплює одночасно ступінь захисту СП від проникнення твердих сторонніх частинок (включаючи пил), та ступінь захисту персоналу від стикання із струмопровідними частинами.

Захист від пилу, води, агресивних середовищ забезпечується вибором відповідних конструкційних та світлотехнічних матеріалів. Ступені захисту СП від води показано в таблиці А.4. Додатку А.

3.1.2 Захист від кліматичних дій

Кліматичні дії визначаються атмосферними умовами, до яких відносять температуру, вологість і тиск повітря, сонячне випромінювання, вітер, дощ, росу, сніг, лід, промислові гази, пісок, пил і т. п.

Світильники для виробничих будівель повинні конструюватися у кліматичних виконаннях і категоріях розміщення: П2, П3, ХЛ4, ХЛ5, світильники для житлових і громадських приміщень ХЛ4, копалень і шахт П2, ХЛ5, для зовнішнього освітлення П1, ХЛ1, ручні світильники ХЛ1.

Світильники призначені для роботи в промислових районах повинні витримувати дію сірчистих газів ($0,02\text{--}2\text{ мг/м}$), хлористих солей ($0,3\text{--}2\text{ мг/м}$ добу). Для морської атмосфери концентрація хлористих солей збільшується до $2\text{--}2000\text{ мг/(м добу)}$.

Хімічно агресивні середовища: у приміщення тваринництва дія аміаку ($0,03\text{ г/м}$), сірководню $0,003\text{ г/м}$) вуглекислого газу $7,8\text{ г/м}$).

При експлуатації наземних виробів верхнє значення атмосферного тиску 800 мм рт. ст.

Для СП не призначених для роботи у високогірних місцевостях (нормальна висота над рівнем моря 1000 м) нижнє робоче значення атмосферного тиску – 650 мм рт. ст. , нижнє граничне значення – 630 мм рт. ст.

Інтегральна поверхнева щільність потоку сонячного випромінювання (верхнє робоче значення) для висот до 15 км складає 1125 Вт/м .

У ультрафіолетовій області спектру ($280\text{--}400\text{ нм}$) 68 Вт/м .

Інтенсивність дощу(верхнє робоче значення) складає:

– У,ТУ,УХЛ(ХЛ),ТС – 3 мм/хв .

– ТВ,Т, М, ТМ,ОМ,В – 5 мм/хв .

Концентрація озону в приземному шарі (приводному) верхнє робоче значення 40 мкг/м .

Для виконань ТС,У, ТУ – 20 мкг/м .

Швидкість вітру верхнє граничне значення 50 м/с .

Номінальні значення факторів зовнішнього середовища (нормальні кліматичні умови):

– температура $25\pm 10^\circ$;

– відносна вологість повітря $45\text{--}80\%$;

– атмосферний тиск $84\text{--}106,7\text{ кПа}$ ($630\text{--}800\text{ мм рт. ст.}$), якщо в стандартах на окремі групи СП не прийняті інші межі, обумовлені специфікою СП.

До заходів захисту від кліматичних дій відносять правильний вибір ступенів захисту, відповідних матеріалів і покриттів поверхонь СП.

Основну увагу при цьому необхідно приділяти захисту від корозії за допомогою забарвлення, хімічного або електрохімічного захисту поверхонь.

3.1.3 Захист від механічних навантажень

Призначення багатьох СП, доцільна область їхнього застосування у низці випадків не може бути визначена лише їх мірою захисту від дії навколишнього середовища, а також кліматичним виконанням і категорією розміщення.

Механічні навантаження, дії яких піддаються СП, обумовлені вібрацією будівель і споруд, динамічними діями на СП, закріплені на верстатах і самохідних пристроях (засобах транспорту, механізмах – кранах, екскаваторах, бурових вежах), вітровими навантаженнями тощо. Конструктивні заходи щодо захисту від дії механічних навантажень повинні забезпечити виконання приладами заданих функцій, підвищення надійності роботи СП, захист обслуговуючого персоналу від травмування, шуму і вібрацій. Разом із систематичними навантаженнями СП можуть піддаватися випадковим поодиноким або багаторазовим ударам у процесі експлуатації (наприклад, при роботі в приміщеннях, де спостерігається осколкове дроблення або в підземних приміщеннях).

Для раціональної розробки СП для транспортних засобів, верстатів, кранів, екскаваторів, бурильних веж і т.д. надзвичайно важливо знати *область можливих механічних дій*, яка визначає вид механічних факторів (вібраційні, удари одиночні і багаторазові, лінійні навантаження) і їх параметрами (діапазоном частот, максимальним прискоренням і тривалістю ударів). Для цих СП найважливішим показником призначення є ступень захищеності від механічних дій, що характеризується інтегральною характеристикою – мірою жорсткості механічних факторів від I до XX (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Діючі фактори

| Діючі факторі | | Параметри характеристик | | | Ступінь жорсткості |
|-------------------------|--------------|-------------------------|--|------------------|--------------------|
| | | Діапазон частот, Гц | Максимальне прискорення, $\frac{m}{c^2}$ | Тривалість удару | |
| Вібраційне навантаження | | 1-35 | 5 | | I |
| | | 1-60 | 20 | | III |
| | | | | | |
| | | 100-5000 | 400 | | XX |
| ударне навантаження | багаторазові | | 150 | 2-15 | I |
| | | | 1000 | 1-3 | |
| | одноразові | | 40 | 40-60 | I |
| | | | 30000 | 0,2-0,5 | VIII |
| Лінійне навантаження | | | 100 | | I |
| | | | | | II |
| | | 5000 | | VII | |

3.2 Оптичні елементи

Усе різноманіття оптичних елементів зводиться до:

- відбивачів;
- заломлювачів;
- розсіювачів;
- захисних стекол;
- ґрат і кілець, що екранують;
- світлофільтрів, поляроїдів;
- діафрагм;
- екранів;
- різних світловодів.

3.2.1 Оптичні системи, що відбивають

Відбивачі – елементи оптичних систем СП, що перерозподіляють світловий потік ламп на основі законів віддзеркалення світла. Розрізняють відбивачі дзеркальні, дифузні, матові і вони діють на основі законів дзеркального, дифузного і спрямовано–розсіяного віддзеркалення.

Дифузні відбивачі рівномірно перерозподіляють випромінювання джерел і забезпечують, як правило, свічення всієї поверхні з яскравістю, приблизно однаковою в різних напрямках і на порядок меншої, ніж у джерела випромінювання.

Матовані відбивачі відображають світло спрямовано-розсіянно. Розсіяння випромінювання відбувається на поверхні матеріалу і має проміжні характеристики у порівнянні із дзеркальними і дифузними пристроями. На своїй поверхні вони створюють розпливчасту пляму підвищеної яскравості (розмите зображення тіла джерела випромінювання, що світить).

За конструктивними особливостями відбивачі поділяють на:

Самостійні відбивачі – окремі вузли або деталі оптичної системи СП, основне призначення яких – перерозподіляти випромінювання ДС (рис. 3.1 а, б, в).

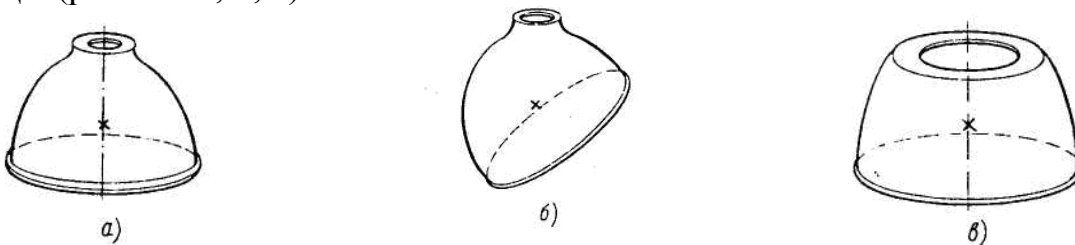


Рисунок 3.1 а – глибоковипромінювач; б – кососвіт; в – переважно прямого світла з двома вихідними отворами

Цілісні відбивачі – виконані у вигляді єдиної деталі з одного матеріалу за однією технологією з безперервною лінією перетину вихідного отвору.

Набірні відбивачі – складаються з різних не з'єднаних один з одним елементів, закріплених у корпусі або на панелі СП, але які працюють спільно (рис. 3.2 а, б, в).

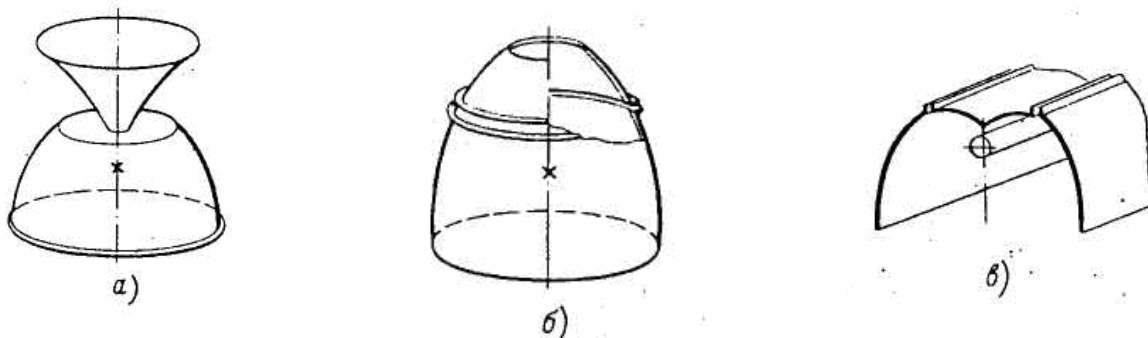


Рисунок 3.2 *а* – двохвідбиваючий широковиpromiнювач; *б* – набірний відбивач СП з ЛР або РЛВД; *в* – набірний відбивач СП з ЛЛ

Комбіновані відбивачі - відбивачі, одночасно виконуючі та інші функції (суміщені з іншими вузлами або елементами конструкції рисунка 3.3 *а, б, в*).

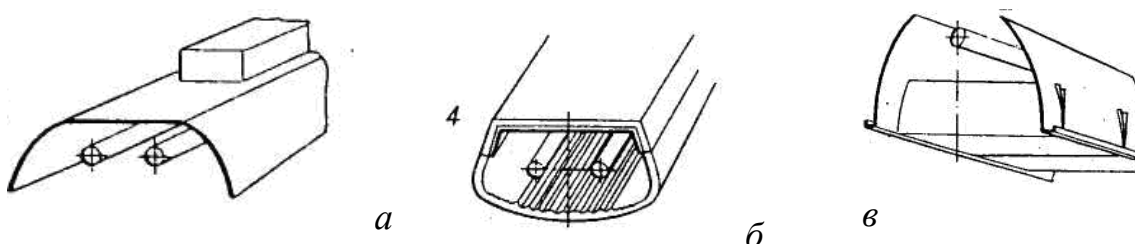


Рисунок 3.3 – *а* – корпус-відбивач; *б* – панель-відбивач; *в* – відбивач-екрануючі ґрати

Незамкнуті відбивачі

Цілісні циліндрові відбивачі використовуються в СП з лінійними лампами (ЛЛ, НЛВД, ксеноновими трубчастими, трубчастими ГЛН). Відбивачі з ЛЛ, що не несуть ніякого навантаження, виготовляються з тонколистової холоднокатаної сталі товщиною 0,5 мм (рис. 3.4). Для додання необхідної жорсткості великій поверхні відбивача з тонкого матеріалу потрібне вживання спеціальних заходів: виконання жорсткісного відгинання кінців повздовжніх поверхонь відбивача, витяжка поперечних ребер жорсткості тощо.

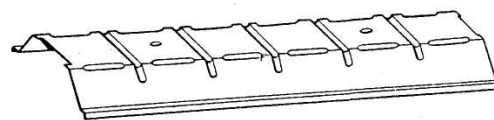


Рисунок 3.4 – Макет відбивача

В основних видах дзеркальних відбивачів використовуються оптичні властивості параболічних, еліптичних, гіперболічних, циліндрових і плоских дзеркальних поверхонь, а також поверхонь, що поєднують їх особливості (рис. 3.5).

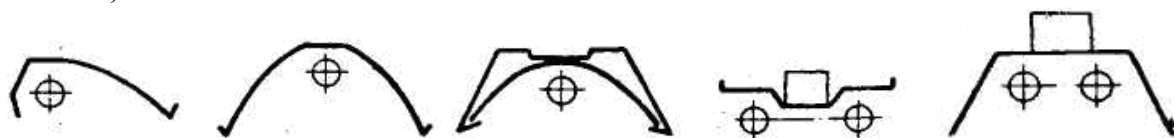
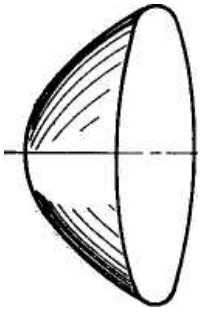


Рисунок 3.5 – Типи світлотехнічної арматури

Головною властивістю параболи є віддзеркалення всіх променів від джерела світла, розташованого у фокусі параболи, у напрямку її оптичної осі. Використання цієї властивості параболи дозволяє одержувати найбільшу



концентрацію випромінювання в необхідних напрямках простору.

Параболоїдні відбивачі створюють конічні світлові пучки з круговим контуром і найменшими можливими кутами випромінювання (рис. 3.6). Проте параболоїдні оптичні системи з відбивачами, що мають гладку поверхню жорсткими системами. Вони не можуть забезпечити плавне регулювання характеристик світлового пучка СП – сили світла, кута розсіяння, однорідності розподілу світлового потоку в пучку. Для зміни сили світла потрібна зміна геометричних розмірів відбивачів. Для варіювання кута розсіяння потрібна зміна кута обхвату відбивача.

Рисунок 3.6 –
Відбивач

Для еліпсоїдних відбивачів, поверхня яких утворена внаслідок обертання частини еліпса навколо його осі, заснована на властивості еліпса збирати в одному з фокусів всі відбиті промені, що вийшли з іншого фокусу. Еліпсоїд обертання забезпечує найбільшу концентрацію випромінювання джерела в одній точці (або області, якщо джерело випромінювання відрізняється від точки на осі СП).

Використання багатошарових покриттів дозволяє значно підвищити ККД СП (завдяки тому, що покриття можуть мати коефіцієнт віддзеркалення 0,96) і поліпшити їх тепловий режим, оскільки через багатошарове покриття може проходити до 80 % ІЧ – випромінювання, що випускається ДС і падає на відбивач. При цьому зменшується теплонадходження від СП в освітлюване приміщення, особливо при вбудовуванні їх у стелю. Застосування таких СП з «холодним пучком» (СП холодного світла) особливо бажано при освітленні картин у музеях і галереях, харчових продуктів та в інших випадках, коли при сильному освітленні треба знизити теплові навантаження.

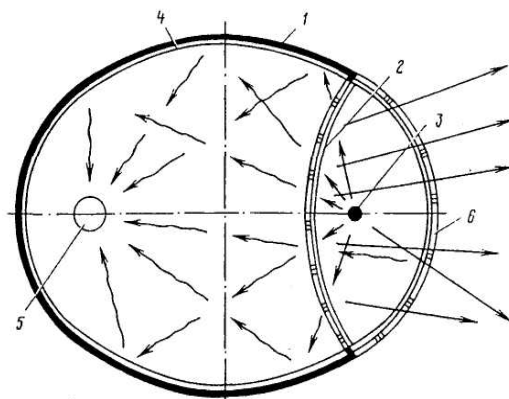


Рисунок 3.7 – Ефективна оптична система

Підвищення ефективності СП дає оптична система (рис. 3.7), що відбиває світло. Вона складається з еліптичного скляного відбивача 1 з багатошаровим покриттям 4, в одному з фокусів якого розташований ДС 3, а в другому – приймаюча і утилізуюча тепло труба 5 з рідким теплоносієм, і параболоїдного скляного відбивача 2 з багатошаровим покриттям з фокусом в точці розташування ДС. Світло лампи, що потрапило на параболоїдний відбивач 2,

посилається в заданому напрямку у вигляді концентрованого пучка. ІЧ складова випромінювання (хвилясті лінії), що падає на відбивач 2, проходить через нього і за допомогою відбивача 1 концентрується на трубі з теплоносієм і утилізує. Ефективність системи може бути ще вищою, якщо відповідне число шарів покриття нанести на скляну поверхню 6 еліпсоїда, вихідний отвір системи – з метою додаткового використання ІЧ –випромінювання, що впало на нього.

Для більшості СП з ДС, що мають концентроване тіло високої яскравості (ЛР, ГЛР, МГЛ, НЛВД), що світить, з метою виключення піків у КСС і створення рівномірного безблимного освітлення доцільне використання не чисто дзеркальних відбивачів з гладкою поверхнею, а відбивачів із слабкою матовою або фактурною поверхнею.

При використанні регулярного мікрорельєфу необхідно мати на увазі, що якщо для дзеркальних СП з ДРЛ він практично не впливає на світлотехнічні характеристики, то мікрорельєф на відбивачах СП з ДНаТ помітно покращує КСС, виключаючи провали в ній завдяки додатковому розсіянню потоку. Нанесення мікрорельєфу не зменшує ККД і практично не впливає на експлуатаційну стійкість відбивача до багатократного очищення. Разом із тим вид мікрорельєфу – крупний, середній або дрібний – впливає на форму КСС. Крупний і середній мікрорельєфи завжди «розмивають» КСС, дрібний же у низці випадків дещо концентрує світловий потік.

Контрвідбивачі

Певне місце в оптичних системах СП займають контрвідбивачі, призначені для підвищення концентрації світлового потоку (збільшення сили світла в необхідних напрямках) СП прожекторного типу за рахунок екранування прямого світла лампи, що знижує якість освітлення (рис. 3.8).

Контрвідбивачі найчастіше є сферичними відбивачами малого діаметру, що встановлюються в безпосередній близькості від лампи. Світловий потік лампи, що перехоплюється контрвідбивачем, потрапляє на основний відбивач, збільшуючи частину потоку в корисному світловому пучку і покращуючи рівномірність освітлення. Роль контрвідбивача може грати дзеркалізований купол лампи.

Для прожекторів дальньої дії вимоги до рівномірності пучка диктують необхідність застосування плоских відбивачів з малими кутами охоплення. В інших випадках, наприклад для маяків, рівномірність розподілу світлового потоку в пучку не тільки не потрібна, але й небажана, і тоді техніко-економічно значно вигідніше застосовувати в оптичній системі глибокі відбивачі з великими кутами охоплення. Як найкраща рівномірність розподілу світлового потоку в пучку забезпечується при плоских відбивачах з кутами охоплення близько 120° . При кутах охоплення близько 240° захоплений оптичною системою потік значно зростає і розподіляється навколо незмінної центральної частини світлового пучка, причому загальний тілесний кут випромінювання СП

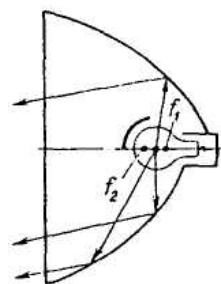


Рисунок 3.8 –
Контрвідбивач

збільшується в 3 рази, а рівномірність розподілу потоку помітно погіршується.

У разі потреби різкого збільшення використання потоку тіла лампи, що світить, при забезпеченні високої концентрації випромінювання по оптичній осі можливе використання оптичної системи, що складається з дзеркального параболоїда і сферичного контрвідбивача з центральним вихідним отвором.

Оптичні системи, які відбивають і концентрують світловий потік в об'ємі на деякій ділянці оптичної осі, дозволяють створити високу щільність випромінювання. Такі системи застосовуються в проєкційних СП, оптичних печах та інших технологічних концентраторах.

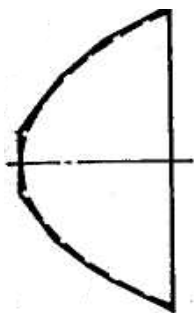


Рисунок 3.9 –
Фіацетний
відбивач

Висока рівномірність освітлення забезпечується при роботі оптичних систем на основі *пластинчастих (фацетних) дзеркальних відбивачів*. Шляхом зміни розміру пластин можна отримати різні необхідні кути розсіювання СП. Кожна пластина такого відбивача створює повне зображення тіла, що світить, при цьому освітленість від кожної пластини змінюється так само плавно, як безпосередньо від ДС (без відбивача). Відомо, що при використанні для освітлення безпосередньо ДС із будь-якою нерівномірністю розподілу яскравості жодної плямистості не виходить (рис. 3.9).

В основному застосовуються пластинчасті параболоїдні відбивачі, які створюють коефіцієнт посилення від одного десятка до декількох, забезпечують кути розсіювання в декілька десятків градусів. За вказаними параметрами СП з пластинчастими параболоїдними відбивачами посіють проміжне місце між СП з суцільними (гладкими) параболоїдними відбивачами і дзеркальними СП.

На рисунку 3.10 показано дзеркальний параболоїдний сферичний контрвідбивач із центральним вихідним отвором, який дає збільшення використання світлового потоку тіла, що світиться, при високій концентрації випромінювання по оптичній осі.

Перевага дзеркальних відбивачів полягає в тому, що вони забезпечують вищі коефіцієнти використання, але, залежність їхніх характеристик від умов експлуатації та відносно вище вимоги, до якості їх обслуговування теж значно вищі, ніж при використанні дифузних СП.

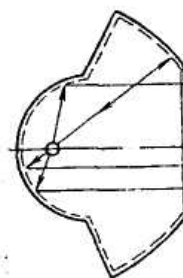


Рисунок 3.10 –
Відбивач з
центральним
вихідним
отвором

3.2.2 Світлопропускаючи елементи

Світлопропускаючи елементи оптичних приладів підрозділяють на:

- розсіювачі;
- заломлювачі;
- захисні і декоративні елементи;
- світловоди.

Для побутових світильників декоративне скло – світлопропускаючий елемент, виконує тільки декоративну функцію.

Декороване скло – скло, поверхня якого з метою покращення світлотехнічних або декоративних параметрів частково матована або пофарбована і має малюнки.

Рифлене скло – скло, поверхня якого має рифлення, грані.

Матеріали, які використовують зазвичай: скло, пластмаса, тканини.

Розсіювачі і захисні елементи з силікатного скла

Ці елементи характеризуються високою нагрівостійкістю, крихкістю, великою масою і крихкістю, застосовуються в основному у відносно малогабаритних і теплонапружених конструкціях СП з достатньо могутніми концентрованими високотемпературними ДС.

Типові форми розсіювачів і захисних елементів із силікатного скла показано на рисунку 3.11.

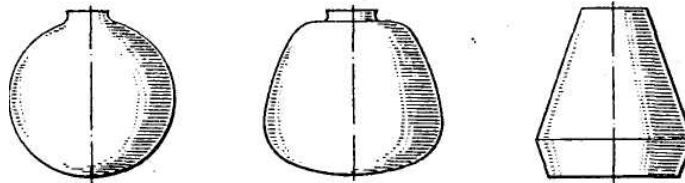
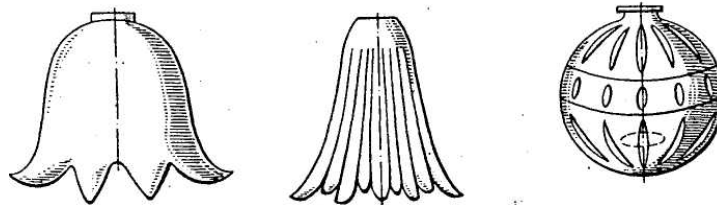
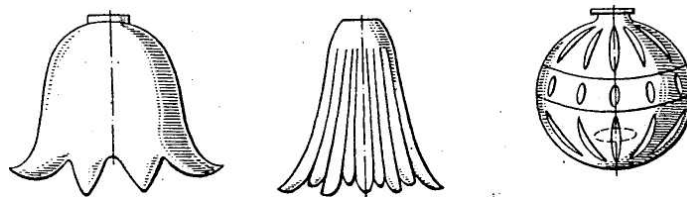


Рисунок 3.11, а – видувні елементи



б – пресовані елементи



в – пресовидувні елементи

Типи скла та інтегральні коефіцієнти пропускання повинні відповідати приведеним у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Типи скла і інтегральні коефіцієнти пропускання

| Позначення типу скла | Найменування | Інтегральний коефіцієнт пропускання % | |
|----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------|
| | | Не менше | Не більше |
| П | Безбарвне прозоре | 80 | - |
| Ц | Кольорове | 50 | - |
| Про | Опалове | 65 | 80 |
| М | Молочне | 40 | 75 |
| Н | Накладне молочне | 50 | 75 |
| Т | Накладне молочне кольорове | 30 | 60 |
| Г | Глушене газоповітряними включеннями | 40 | 75 |
| У | Інші види | 40 | 80 |

Причому для виробів з декорованого скла, кольорового рифленого скла, сульфідного скла інтегральний коефіцієнт пропускання повинен бути не менш 30 %. Для виробів з безбарвного прозорого рифленого скла – не менше 50 %

Основні умовні позначення силікатних стекол по ДСТУ:

- 1) «Розсіювач», «Захисне скло», «Декоративне скло»;
- 2) тип скла за таблицею;
- 3) числа, що характеризують вміст свинцю % у склі (не вказуються для захисного і декоративного скла і для розсіювачів із сортового скла);
- 4) вид обробки поверхні виробу (Б – без обробки, Д – декоративні стекла, Р – рифлене скло, З – змішана обробка поверхні);
- 5) літера і дві цифри, що позначають тип кріплення.

Розсіювачі і захисні елементи з пластмаси

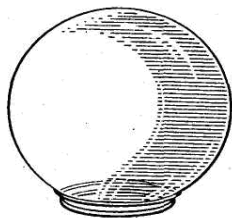
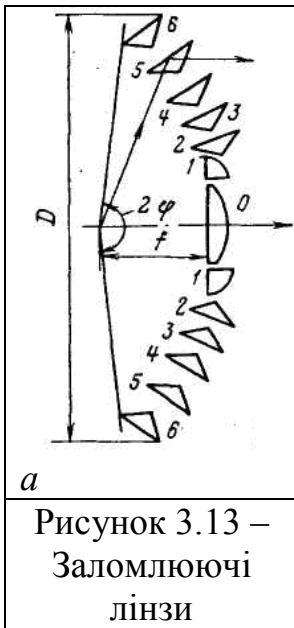


Рисунок 3.12 –
Полімерні
елементи

Розсіювачі і захисне полімерне скло використовують в СП з низькотемпературними ДС (рис. 3.12). Розсіювачі з термопластичних матеріалів для СП з ЛЛ виготовляються з листового матеріалу (поліметилметакрилату і полівінілхлориду).

Полікарбонат – найбільш нагрівостійка світлопропускаюча високоміцна, стійка до ударів пластмаса. Може використовуватися з високотемпературними ДС (ЛР, ГЛР, ДРЛ, МГЛ). Замкнуті розсіювачі або захисні стекла з полікарбонату кульової, кубічної, еліпсоїдної форми використовують в СП для зовнішнього освітлення.

3.2.3 Оптичні системи, що заломлюють



Заломлюючі (лінзи і призми) оптичні системи в прожекторах для кіностудій, театрів, телебачення і в інших подібних СП не дають провалів яскравості в центральній частині освітлюваної на близьких відстанях поверхні, дозволяють плавно змінювати світловий пучок від вузького до широкого без погіршення рівномірності розподілу світлового потоку при розфокусуванні ДС (рис. 4.13); у СП з круглосиметричними ДС можливо добитися коефіцієнта посилення під великими кутами до вертикальної осі $80 - 85^\circ$; можна створювати несиметричне в екваторіальних площинах світлорозподілення; забезпечувати уніфікацію конструкцій СП (з одним і тим же корпусом і відбивачем) при заміні лише заломлювача різко змінювати характер світлорозподілення.

Лінзові оптичні системи

Дискові лінзи – результат обертання плоско-опуклої лінзи навколо оптичної осі.

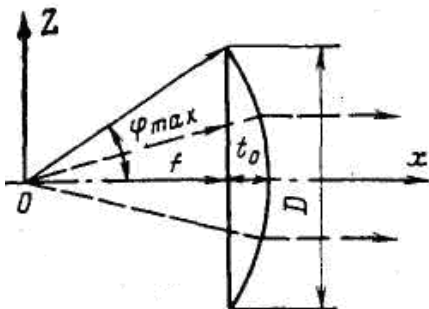


Рисунок 3.14 – D – діаметр; t_0 – товщина; f – фокусна відстань; φ_{\max} – кут охоплення

Плоско-опуклу лінзу показано на рисунку 3.14.

Промені джерела світла, вміщеного у фокус плоско-ввігнутої лінзи, після заломлення спрямовані вздовж осі лінзи (найбільша концентрація світла вздовж осі).

Однак при $2\varphi_{\max} > 30^\circ$ збільшується сферична і хроматична аберація, зростають втрати світла в лінзі.

Лінзові оптичні системи дозволяють отримати декілька світлових пучків від СП з одним ДС і декількома лінзами або однією циліндровою лінзою в установках світлової сигналізації (у морських і авіаційних маяках, сигнальних вогнях злітно-посадочних смуг аеродромів). У багатолінзових оптичних системах можна добитися значного підвищення значень коефіцієнтів використання системи.

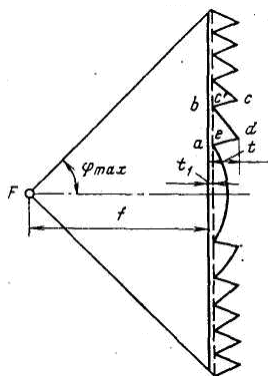


Рисунок 3.15 –
Френелівські
лінзи

Френелівські лінзи забезпечують більший кут охоплення при малій товщині. Складаються з елементів, симетричних відносно плоско-опуклої лінзи (рис. 3.15).

Кут обхвату 45° – втрати складають 16 %, 60° – втрати – 40%.

Циліндрові лінзи Френеля застосовуються у загороджувальних вогнях кругового огляду світлосигнального обладнання, дискові лінзи – у прожекторах.

Оптичні системи з використанням заломлюючих систем забезпечують високий ККД, однак, висока яскравість, що приводить до підвищеної сліпучої дії обмежує область їхнього застосування.

Призматичні розсіювачі і заломлювачі

Використання призматичних заломлювачів для світильників громадських будівель замість молочних розсіювачів підвищує ККД до 6–12 %, підвищує коефіцієнт використання, знижує яскравість світлового отвору в зоні захисних кутів, покращує зовнішній вигляд світильника.

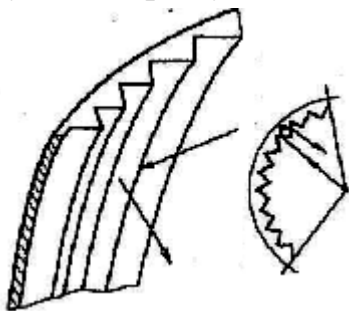


Рисунок 3.16 –
Призматичні
заломлювачі

Проте, через порушення експлуатаційних вимог використання СП із призматичними заломлювачами для виробництва вулиць не тільки на зовнішній, але і на внутрішніх гранях не допустиме. У світильниках цього призначення застосовують здвоєні заломлювачі, на звернених один до одного поверхнях яких, наносять поперечні та повздовжні призми.

У поєднанні із заломлювачем (або без нього) застосовуються призматичні відбивачі з елементами, що працюють на основі повного внутрішнього віддзеркалення (рис. 3.16).

3.2.4 Комбіновані оптичні системи

Для різкого зниження сліпучої дії зустрічних машин конструюють дзеркально-призматичні лампи – фари із спеціальною оптичною системою, що перетворює структуру випромінювання.

Фару поляризованого світла показано на рисунку 3.17. Поляризатор 4 розташований між двома скляними тілами 2 і 3, під кутом Брюстера до оптичної осі відбивача, і світло, що пройшло через нього, лінійно поляризоване у площині падіння. Відбите від поляризатора світло, поляризоване перпендикулярно до площини падіння, також використовується за допомогою дзеркала 1, що не змінює площини поляризації.

На лобовому склі автомобілів при їх зустрічному роз'їзді площини поляризації розсіювачів фар автомобілів будуть взаємно перпендикулярні, пряме світло фар не буде пропущене лобовим склом (оскільки поляроїд пропускає тільки складові поперечних коливань, паралельні його площині поляризації) і засліплення водія буде виключено. Пластинки 5 «в півхвилі» повертають площину поляризації на 45° до збігу.

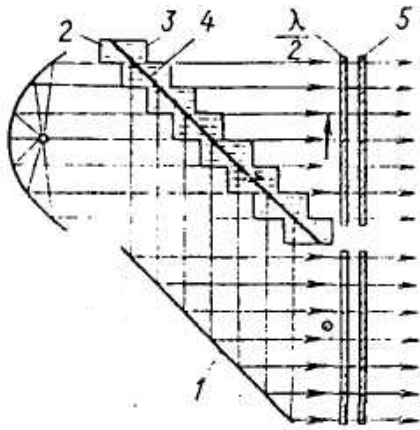


Рисунок 3.17 – Фара

3.3 Тепловий режим і врахування його при конструюванні світлових приладів

Надійність і безпека роботи СП, їхні світлотехнічні та електротехнічні характеристики залежать від теплового режиму. При невідповідності теплового режиму приладів і температурних характеристик застосованих у них комплектуючих виробів і матеріалів скорочується

термін служби СП внаслідок висихання ізоляції монтажних дротів, обгорання пластмасових патронів, виходу з ладу ПРА, пробивання конденсаторів і т. д. При високій температурі покриття, що відбивають, жовтіють, а захисні плівки втрачають прозорість внаслідок чого погіршуються світлотехнічні характеристики СП (зменшується ККД, деформується КСС). Тепловий режим СП є одним з найважливіших факторів при виборі габаритних розмірів світильників. Враховуючи те, що основна частина електричної енергії, що підводиться до джерел світла, безпосередньо переходить у тепло, а менша випромінюється у вигляді світлового потоку, проблема теплового режиму СП стає однією із провідних проблем при конструюванні.

Таблиця 3.3 – Розподіл енергії для різних джерел світла

| Вид енергії | ЛР 300-500 Вт | ЛЛ 40 Вт | ДРЛ 400 Вт | МГЛ 400 Вт | НЛВТ 400 Вт |
|---|----------------------------|----------------|---------------|----------------------------|----------------|
| Світлове випромінювання % | 10,0-12,0 | 19,0 | 13,9 | 23,0 | 29,5 |
| Теплота, яка передається теплопровідністю і конвекцією, % | 20,2-17,7 | 36,1 | 72,4 | 14,7 | 14,0 |
| Теплове ІЧ – випромінювання, % | 68,7-70,3 (0,7 – 5 мкм) | 30,7 | 72,4 | 62,2 | 56,0 |
| УФ – випромінювання | – | 0,4 | 1,6 | - | 0,5 |
| Втрати в ПРА, % | – | 13,8 | 12,1 | Без урахування втрат в ПРА | |

Примітки: *Теплообмін* – мимовільний незворотній процес передачі енергії від більш нагрітих тіл (або ділянок тіла) до менш нагрітих без здійснення роботи. Якщо декілька тіл із різними температурами привести в зіткнення, то між ними здійснюється теплообмін (за рахунок обміну енергіями хаотично рухомих молекул), внаслідок якого відбувається вирівнювання температур.

Теплообмін здійснюється шляхом *теплопровідності, конвекції і температурним випромінюванням (поглинанням)*.

Теплопровідність – передача енергії від більш нагрітих частин тіла до менш нагрітих, що призводить до вирівнювання температур. У процесі теплопровідності енергія атомів і молекул більш нагрітих ділянок речовини передається сусіднім, холоднішим. З часом, унаслідок зіткнення молекул, відбувається вирівнювання їхніх середніх кінетичних енергій, а значить, і температури

Конвекція – обмін енергією між рухомими нерівномірно нагрітими частинами газів або рідин.

Температурне випромінювання (поглинання) – передача енергії без безпосереднього контакту тіл, що обмінюються енергією. Полягає у випромінюванні (поглинанні) тілами електромагнітних хвиль за наявності різниці температур між будь-якими тілами і всередині кожного тіла.

Енергію, передану термодинамічній системі зовнішніми тілами шляхом теплообміну, називають *теплотою (кількістю теплоти)*, одержуваною системою від зовнішнього середовища.

3.3.1 Розрахунок теплового режиму

В основі теплотехнічних розрахунків СП лежить складання і розв'язання рівнянь енергетичного балансу для СП в цілому і для основних його елементів.

При складанні рівнянь приймаються такі положення:

1. Вся енергія, що підводиться до ламп, розсіюється СП в навколишньому просторі у вигляді теплового потоку і потоку випромінювання, при цьому теплові потоки, які передаються за допомогою теплопровідності повітря, нехтовно малі;

2. Нагрів елементів СП відбувається на їхніх внутрішніх поверхнях за рахунок поглинання теплових потоків і потоків випромінювання.

3. Охолодження у всіх випадках (крім примусового) відбувається тільки із зовнішньої поверхні шляхом конвекції і випромінювання.

4. Елементи оболонок ізометричні $T = const$, їх температура в основному трохи змінюється по поверхні.

На рисунку 3.18 показано спрощену схему СП з точним джерелом світла – И та конічним відбивачем – О та розсіювачем – Р.

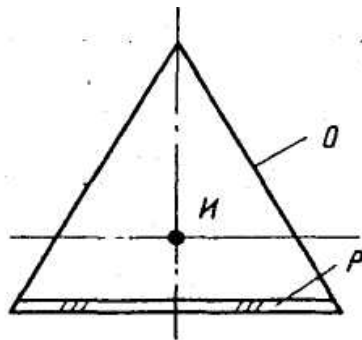


Рисунок 3.18 – И – джерело світла, О – відбивач, Р – розсіювач

Підведена до СП енергія споживається джерелом випромінювання і розсіюється в навколишнє СП середовище в основному за допомогою випромінювання і конвекції

$$P_L = Q_H + Q_K$$

де P_L – потужність, споживана лампою, $Вт$;

Q_K – тепловий потік, що втрачається СП конвекцією, $Вт$

Q_H – тепловий потік, що втрачається СП випромінюванням ІЧ хвиль.

$$Q_H = Q_{H.вид} + Q_{H.ИК} = Q_{H.вид} + Q_{H.O.} + Q_{H.P.}$$

де $Q_{H.вид}$ – тепловий потік, що виділяється СП випромінюванням у видимій і ІЧ – областях спектру, $Вт$;

$Q_{H.O.}$ – тепловий потік, переданий випромінюванням в ІЧ - області відбивачем і розсіювачем, $Вт$.

$$Q_K = Q_{K.O.} + Q_{K.P.},$$

де $Q_{K.O.}$ – тепловий потік, переданий конвекцією від відбивача і розсіювача, $Вт$

$$Q_{H.вид} = \eta_C P_{H.вид},$$

де η_C – світловий ККД СП;

$P_{H.вид}$ – потужність лампи, що витрачається на випромінювання у видимій області, $Вт$.

Закон Стефана-Больцмана затверджує пропорційність 4-й ступені абсолютної температури T і повною випромінюючою здатністю тіла. На підставі закону Стефана-Больцмана вираз для теплового потоку, що випромінюється відбивачем:

$$Q_{H.O.} = \varepsilon_0 \sigma \left[\left(\frac{t_0}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_B}{100} \right)^4 \right] S_0$$

де ε_0 – приведений коефіцієнт випромінювання (ступінь чорноти);

σ – постійна Стефана-Больцмана $5,67 \cdot 10^{-8} \frac{Вт}{м^2 \cdot C^4}$;

t_0, t_B – абсолютні температури відбивача і навколишнього повітря, $К$;

S_0 – площа зовнішньої поверхні відбивача $м^2$.

Тепловий потік, що віддається відбивачем конвекцією:

$$Q_{K.O.} = \alpha_0 (t_0 - t_B) S_0,$$

де α_0 – коефіцієнт тепловіддачі відбивача $\frac{Вт}{м^2 \cdot C}$.

Коефіцієнт α_0 рівний $C\Delta t^N$ (C і N – сталі для даних умов теплообміну). Звідси видно, що перепад температур Δt є рушійною силою будь-якого конвекційного теплообміну.

Рівняння теплового балансу: сума енергій, що виділяються світильником у видимій області спектру, відбивачем і розсіювачем:

$$P_L = \eta_C P_{\text{и.вид}} + S_0 \left\{ \sigma \varepsilon_0 \left[\left(\frac{t_0}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_B}{100} \right)^4 \right] + \alpha_0 (t_0 - t_B) \right\} + S_P \left\{ \sigma \varepsilon_P \left[\left(\frac{t_P}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_B}{100} \right)^4 \right] + \alpha_P (t_P - t_B) \right\},$$

де α_P – коефіцієнт тепловіддачі розсіювача.

Шукані значення температур відбивача t_0 і t_P розсіювача пов'язані з постійними для вибраної конструктивної схеми, джерела випромінювання і матеріалів значеннями $P_{\text{и.вид}}$.

Для визначення t_0, t_B складають рівняння енергетичного балансу відбивача СП, що одержує тепло від лампи і що віддає його в зовнішній простір:

$$Q_{\text{и.о.}} + Q_{\text{к.о.}} = Q_{\text{и.л.}}^0 + Q_{\text{к.л.}}^0,$$

де $Q_{\text{и.л.}}^0, Q_{\text{и.л.}}$ – тепловий потік, що відноситься від лампи випромінюванням і отримуванні поверхнею відбивача;

$Q_{\text{к.л.}}^0$ – тепловий потік, що відноситься від лампи конвекцією і надається відбивачу.

Внутрішня поверхня відбивача отримає $Q_{\text{и.л.}}^0$:

1. Від прямого опромінювання лампою.

2. Внаслідок багаточисленного відбиття випромінювання між розсіювачем і відбивачем у внутрішній порожнині СП:

$$Q_{\text{и.л.}}^0 = P_L q_{\text{и}} \varphi_{\text{и}}^0,$$

де $q_{\text{и}}$ – частка енергії лампи, що витрачається на випромінювання складається з енергії випромінювання тіла, що світить.

$$q_{\text{и}} = q_{\text{с.т.}} + q_{\text{и.к.}},$$

де $q_{\text{с.т.}}$ і $q_{\text{и.к.}}$ – енергії ІЧ – випромінювання нагрітої скляної колби лампи;

$\varphi_{\text{и}}^0$ – частка випромінюваною лампою енергії, що потрапляє на відбивач внаслідок прямого опромінювання і багаторазового відбиття.

Тепловий потік, що відноситься від лампи конвекцією, що передається відбивачу:

$$Q_{К.Л.}^0 = P_{Л} q_{К} \varphi_{К}^0$$

де $q_{К}$ – частка енергії лампи, що відноситься конвекційними потоками;

$\varphi_{К}^0$ – частка енергії лампи, що відноситься конвекційними потоками і що потрапляє на відбивач.

Баланс енергії, що підводиться і розсіюється, для відбивача:

$$S_0 \left\{ \sigma \varepsilon_0 \left[\left(\frac{t_0}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_B}{100} \right)^4 \right] + \alpha_0 (t_0 - t_B) \right\} = P_{Л} [(q_{С.Т.} + q_{И.К.}) \varphi_{И}^0 + q_{К} \varphi_{К}^0]$$

Сумісне розв'язання рівнянь теплового і енергетичного балансу дає значення температур відбивача і розсіювача.

Складові теплового потоку ламп, площі і середні значення температури колб, ламп і патронів наведено у таблиці 1 (дод. А).

На температури елементів СП впливають:

1. Розмір площі поверхонь СП, що беруть участь в теплообміні.
2. Параметри застосованих матеріалів.
3. Значення споживаної потужності лампи.
4. Світловий ККД лампи і його залежність від температури в СП.

3.3.2 Теплотехнічний розрахунок СП з ЛЛ

Розподіл енергії вбудовуваного СП з ЛЛ класу IV–B2 (рис. 4.19).

Теплові потоки, що надходять на технічний поверх внаслідок конвекції Q_K^T , випромінювання позначено як Q_K^T ; $Q_{И}^П$ – теплові потоки, що надходять в приміщення. Рівняння балансу енергії для СП з урахуванням зміни параметрів ЛЛ під впливом температури:

$$p(t_{Л}) P_0 n = Q_K^T + Q_{И}^T + Q_K^П + Q_{И}^П + Q_T$$

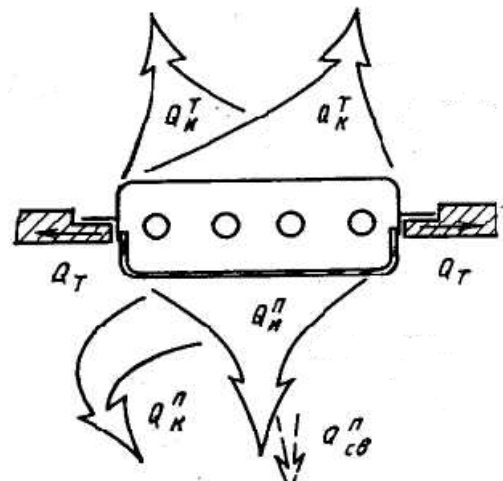


Рис. 4.19 – Теплові потоки

де $p(t_{Л}) P_0 n$ – енергія, споживана лампами при температурі $t_{Л}$ на лампах, Вт ($p(t)$ показує частку номінальної потужності ламп P_0 , споживану лампами при $t_{Л}$); n – число ламп в СП; Q_T – тепло, СП за рахунок теплопровідності будівельних конструкцій, що втрачається, Вт.

Випромінювання Q_{II}^n складається з потоку випромінювання $E'_{\text{л}}$ люмінофора ламп в діапазоні видимої області спектру і довгохвильового випромінювання $E_{\text{л}}$ нагрітої колби лампи

$$Q_{II}^n = E'_{\text{л}} + E_{\text{л}}, \quad E'_{\text{л}} = P_0 \eta_0 \Phi_{\text{л}}^m(t_{\text{л}}) n / S_{\text{л}}, \quad E_{\text{л}} = \alpha_{\text{л}} \sigma \left(\frac{t_{\text{л}}}{100} \right)^4$$

де $\Phi_{\text{л}}^m(t_{\text{л}})$ – частка максимального світлового потоку лампи при температурі колби $t_{\text{л}}$; η_0 – світловий ККД ЛЛ при оптимальній температурі колби.

Сумарна енергія випромінювання ламп:

$$E_{\text{л}}^{\Sigma} = \alpha_{\text{л}} \sigma \left(\frac{t_{\text{л}}}{100} \right)^4 + P_0 \eta_0 \Phi_{\text{л}}^m(t_{\text{л}}) \frac{n}{S_{\text{л}}}.$$

Кількість тепла, що відводиться від СП конвекцією:

$$Q_K^T = \alpha_T (t_O - t_{B.T.}) S_O = 1,46 \Delta t^{1/3} S_O,$$

$$Q_K^H = \alpha_H (t_P - t_{B.H.}) S_P = 1,46 \Delta t^{1/3} S_P,$$

де α_T – коефіцієнти конвекційного теплообміну для технічного поверху і приміщення $Bm / m^2 \cdot ^\circ C$;

t_O – середні температури відбивача і розсіювача $^\circ C$;

$t_{B.T.}$ – температури повітря на технічному поверсі і в приміщенні;

S_O – площі поверхонь відбивача і розсіювача, що беруть участь в теплообміні.

Кількість тепла, випромінюваного відбивачем СП на технічний поверх (теплообмін випромінюванням між відбивачем і захищаючими конструкціями технічного поверху розглядається як теплообмін між тілами замкнутої системи):

$$Q_{II}^T = \varepsilon \sigma \left[\left(\frac{t}{100} \right)^4 - \left(\frac{t'_T}{100} \right)^4 \right] S_O,$$

де t'_T – середня абсолютна температура захищаючих конструкцій технічного поверху.

Сумарний тепловий потік, що виділяється на технічному поверсі:

$$Q_T = Q_K^T + Q_{II}^T = \left\{ 1,46 \xi (t_O - t_{B.T.})^{4/3} + \varepsilon_O \sigma \left[\left(\frac{t_O}{100} \right)^4 - \left(\frac{t'_T}{100} \right)^4 \right] \right\} S,$$

де ξ – коефіцієнт, залежний від спрямованості теплового потоку

Тепловий потік, що передається від ДС відбивачу конвекцією:

$$Q_{K.L}^O = C \lambda (t_{\text{л}} - t_O)^{5/4} S_O.$$

Тепловий потік, що передається від ДС розсіювача теплопровідністю:

$$Q_{T.L}^o = \frac{\lambda}{\delta_1} (t_L - t_o) S_p, \quad ,$$

де λ – теплопровідність; δ_1 – відстань від ламп до розсіювача; C - постійна, залежна від товщини повітряного прошарку між лампами і відбивачем.

Тепловий баланс відбивача складається з тепла, що одержується випромінюванням та конвекцією і що розсівається на технічний поверх:

$$1,46\xi(t_o - t_{B.T})^{4/3} + \varepsilon\sigma\left[\left(\frac{t_K}{100}\right)^4 - \left(\frac{t'_T}{100}\right)^4\right] = \frac{1}{S_o} \sum Q_o + C\lambda(t_L - t_o)^{5/4}, \quad ,$$

де $\sum Q_o$ – сумарний тепловий потік, що прийнятий відбивачем.

Рівняння теплового балансу розсіювача:

$$\frac{1}{S} \sum Q_p + \frac{\lambda}{\delta_1} (t_L - t_p) = 1,46\xi_p(t_p - t_{B.П})^{4/3}, \quad ,$$

де $\sum Q_p$ – сумарний тепловий потік, що сприймається розсіювачем.

Рівняння теплового балансу СП в цілому (без урахування втрат на теплопровідність будівельних конструкцій):

$$p(t_L)P_o n \approx \left\{ 1,46\xi_o(t_K - t_{B.T})^{4/3} + \varepsilon\sigma\left[\left(\frac{t_o}{100}\right)^4 - \left(\frac{t'_T}{100}\right)^4\right] \right\} S_o + \\ + 1,46\xi(t_p - t_{B.П})^{4/3} S_p + \sum Q_c$$

На підставі одержаних даних роблять висновки щодо габаритних розмірів розроблених світильників:

1. Розрахункові значення t_i менші від допустимих температур на елементах СП (запас більше 30%) – можливий перерахунок габаритів основних елементів (корпусу, розсіювача, відбивача) у бік зменшення.

2. Температури на критичних до нагріву елементах в основному відповідають їхнім робочим режимам і лише на деяких з них перевищують допустимі значення в 1,2–1,3 рази – можливі зміни розташування цих елементів, додатковий тепловий захист, використання ПРА з термовідмикаючими елементами, теплотехнічне розділення зон розміщення патронів і ламп за допомогою тепловідбиваючих екранів, застосування теплофільтрів між лампами і розсіювачами або лампами і захисним склом, використання інтенсивної природної вентиляції теплонапружених порожнин.

3. Температура на окремих елементах СП більш ніж у 1,3 рази перевищує допустимі значення – необхідно переглянути вибрані конструктивно-світлотехнічну схему і матеріал, збільшити габарити основних вузлів, вжити спеціальні заходи за зниження теплонапруженості.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айзенберг Ю. Б. Основы конструирования световых приборов : учебное пособие для вузов / Ю. Б. Айзенберг. – М. : Энергоатомиздат, 1996. – 704 с.
2. Айзенберг Ю. Б. Световые приборы: учебник для электромеханических техникумов / Ю. Б. Айзенберг. – М. : Энергия, 1980. – 464 с.
3. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга; – М. : Знак, 2006. – 972 с.
4. Світлові прилади: навч. посібник для студентів вищих технічних навчальних закладів / А. С. Литвиненко, О. Л. Черкашина ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 125 с.
5. Баландаева Л. Г. Эффективная методика расчета формы зеркального отражателя светильника с требуемой КСС / Л. Г. Баландаева, Г. А. Петченко, А. И. Токмань // Коммунальное хозяйство городов. – № 53. – 2003. – С. 207–210.
6. Петченко Г. А. Решение обратной задачи применительно к нахождению оптимального профиля дзеркального круглосимметричного отражателя в рамках метода элементарных отображений / Г. А. Петченко, Л. Д. Гуракова, Л. Г. Баландаева, Т. А. Хихля, В. И. Степура // Світлотехніка та електроенергетика. – № 1(9). – 2007. – С. 40–44.
7. Дмитренко Т. В. Расчет световых приборов с экологически перспективными источниками света / Т. В. Дмитренко, Г. А. Петченко // Коммунальное хозяйство городов. – № 74. – 2006. – С. 381–384.
8. Петченко Г. А. Апробация методики решения обратной задачи применительно к нахождению оптимальных габаритов отражателя светильника с заданным светораспределением / Г. А. Петченко, Л. Д. Гуракова, Л. Г. Баландаева, В. И. Степура // Тези допов. на XXXIV науково-техн. конференції. – Харків: ХНАМГ. – 2008. – С. 40–41.
9. Г. О. Петченко. Технологія світлотехнічного виробництва / Г. О. Петченко, О. М. Ляшенко // Конспект лекцій для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання спец. 7.090605 / Харків: ХНАМГ, 2009. – 157 с.
10. Balandayeva L. G. Effective method for calculating the shape of specular reflector of the luminaire with the required luminous intensity distribution curve / L. G. Balandayeva, G. A. Petchenko, A. I. Tokman // Municipal services of cities. – № 53. – 2003. – P. 207–210.
11. Литвиненко А. С. Автономна система освітлення гібридного типу / А. С. Литвиненко, О. М. Діденко, Ю. О. Васильєва, Л. Д. Гуракова, К. І. Іоффе // Світлотехніка та електроенергетика. – 2016. – № 1 (45). – С. 12–18.
12. Литвиненко А. С. Забезпечення дозиметричного контролю лазерного випромінювання / А. С. Литвиненко, О. М. Ляшенко, В. М. Балабан, Є. П. Тимофеев // Український Метрологічний журнал. – 2017. – № 2 (45). – С. 27 – 32.

13. Литвиненко А. С. Обзор детекторов оптического излучения со 100% квантовой эффективностью / Матеріали допов. на VI Міжнар. науково-техн. конференції «Актуальні проблеми світлотехніки» // А.С. Литвиненко, Д. Н. Татяanko, Е. П. Тимофеев. – Харків: ХНУМГ.– 2017. – С. 27–28.
14. Литвиненко А. С. Світильники комбінованого освітлення / Матеріали допов. на VI Міжнар. науково–техн. конференції «Актуальні проблеми світлотехніки» // А.С. Литвиненко. – Харків: ХНУМГ.– 2017. – С. 81.
15. Литвиненко А.С. Альтернативные конструкции светодиодов / Матеріали допов. на VI Міжнар. науково–техн. конференції «Актуальні проблеми світлотехніки» // А. С. Литвиненко. – Харків: ХНУМГ.– 2017. – С. 82–83.
16. Балабан В. М. Забезпечення дозиметричного контролю лазерного випромінювання / В. М. Балабан, Є. П. Тимофеев, А. С. Литвиненко, О. М. Ляшенко // Метрологія та вимірювальна техніка : матеріали X Міжнарод. наук.-техн. конф., 5–7 жовтня 2016 р. / ННЦ «Інститут метрології». – Харків : ННЦ «Інститут метрології», 2016. – С. 122.
17. Назаренко Л. А. Світлотехнічні розрахунки. навч. посібник / Л. А. Назаренко, Т. В. Мажаровська, В. С. Чернець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 142 с.
18. Назаренко Л. А. Штучне зовнішнє освітлення : навч. посібник / Л. А. Назаренко, К. І. Іоффе ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 88 с.
19. Petchenko G. A. Phonon damping of dislocations in potassium bromide crystals at different dislocation density values / G. A. Petchenko // Functional Materials. – 2000. – V. 7, № 4(2). – P. 785–789.
20. Petchenko G. A. Study of ultrasound absorption by dislocations in KBr single crystals under low static stresses / G. A. Petchenko // Functional Materials. – 2001.–V. 8, № 3. – P. 483–487.
21. Petchenko A. M. Dynamic damping of dislocations with phonons in KBr single crystals / A. M. Petchenko, G. A. Petchenko // Functional Materials. – 2006. – V. 13, № 3. – P. 403–405.
22. Petchenko A. M. Features of resonance absorption of longitudinal ultrasound in strained crystals KBr at temperature variations / A. M. Petchenko, G. A. Petchenko // Functional Materials. – 2007. – V. 14, № 4. – P. 475–479.
23. Petchenko A. M. Effect of crystal pre-straining on phonon damping of dislocations / A. M. Petchenko, G. A. Petchenko // Functional Materials. – 2008. – V. 15, № 4. – P. 481–486.
24. Petchenko G. A. The dislocation resonance absorption of ultrasound in KBr crystals at low temperatures / G. A. Petchenko, A. M. Petchenko // Functional Materials. – 2009. – V. 16, № 3. – P. 253–257.
25. Петченко А. М. Особенности поглощения ультразвука в кристаллах LiF при варьировании плотности дислокаций / А. М. Петченко, Г. А. Петченко // Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна. Сер. «Фізика». – 2009. – Вип. 12, № 865. – С. 39–44.

26. Petchenko O. M. Phonon drag of dislocation in KCl crystals with various dislocation structure states / O. M. Petchenko, G. O. Petchenko // *Ukrainian journal of physics.* – 2010. – V. 55, № 6. – P. 716–721.
27. Petchenko G. A. The study of the dislocation resonance in LiF crystals under the influence of the low-dose X-irradiation / G. A. Petchenko, A. M. Petchenko // *Functional Materials.* – 2010. – V. 17, № 4. – P. 421–424.
28. Petchenko G. O. Acoustic studies of the effect of X-ray irradiation on the dynamic drag of dislocations in LiF crystals / G. O. Petchenko // *Ukrainian journal of physics.* – 2011. – V. 56, № 4. – P. 339–343.
29. Петченко Г. А. Исследование дислокационных потерь ультразвука в облученных монокристаллах LiF в интервале доз облучения 0...400 Р / Г. А. Петченко // *Вопросы атомной науки и техники.* – 2012. – № 2(78). – С. 36–39.
30. Методичні рекомендації до виконання лабораторних та контрольних робіт, самостійного вивчення курсу з навчальної дисципліни «Системи керування світлотехнічними пристроями» (для магістрів денної і заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка освітньо-професійної програми «Світлотехніка і джерела світла») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : К. І. Суворова, А. І. Колесник. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 27 с.
31. Petchenko G. A. Dynamic damping of dislocations in the irradiated LiF crystals / G. A. Petchenko // *Functional Materials.* – 2012. – V. 19, № 4. – P. 473–477.
32. Petchenko G. A. Research of the preliminary deformation and irradiation effect on the viscous damping of dislocation in LiF crystals / G. A. Petchenko // *Functional Materials.* – 2013. – V. 20, № 3. – P. 315–320.
33. Petchenko G. O. Research of the elastic wave velocity dispersion in X-ray-irradiated LiF crystals / G. O. Petchenko, O. M. Petchenko // *Ukrainian journal of physics.* – 2013. – V. 58, № 10. – P. 974–979.
34. Петченко Г. А. Изучение природы радиационных дефектов в облученных кристаллах LiF / Г. А. Петченко // *Вісник ХНУ ім. В. Н. Каразіна. Сер. «Фізика».* – 2013. – Вип. 18, № 1075. – С. 50–54.
35. Petchenko G. A. The effect of preliminary deformation and irradiation on the optical absorption in LiF crystals / G. A. Petchenko, S. S. Ovchinnikov // *Problems of atomic science and technology.* – 2014. – № 2(90). – P. 29–33.
36. Petchenko G. A. Dependence of electronic color center concentration on the state of irradiated LiF crystal dislocation structure / G. A. Petchenko, A. M. Petchenko // *Problems of atomic science and technology.* – 2015. – № 2(96). – P. 25–28.
37. Petchenko G. A. Influence of elastic stresses and temperature on the dislocation unpinning from the stoppers in KCl crystals / G. A. Petchenko, A. M. Petchenko // *Functional Materials.* – 2015. – № 3. – P. 293–298.

38. Petchenko G. A. Thermal activation analysis of the dislocation unpinning from stoppers in KCl crystals / G. A. Petchenko, A. M. Petchenko // Вісник ХНУ ім. В. Н. Каразіна. Сер. «Фізика». – 2015. – Вип. 23. – С. 28–31.
39. Petchenko G. Color center concentration in irradiated and deformed functional materials / Матеріали допов. на VI Міжнар. науково-техн. конференції «Актуальні проблеми світлотехніки» // G. Petchenko. – Харків: ХНУМГ.– 2017. – С. 30–31.
40. Petchenko G. The optical absorption in functional materials / Матеріали допов. на VI Міжнар. науково-техн. конференції «Актуальні проблеми світлотехніки» // G. Petchenko, S. Ovchinnikov. – Харків: ХНУМГ.– 2017. – С. 32–33.
41. Петченко Г. О. Вплив механічної обробки на оптичні характеристики функціональних матеріалів / Матеріали 13-ї Міжнародної конференції «Фізичні явища в твердих тілах» // Г. О. Петченко, О. М. Петченко. – Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна (Україна). – 2017. – С. 162.
42. Petchenko G. O. Nonmonotonical deformation dependence of color center concentration in functional materials / G. O. Petchenko, O. M. Petchenko, M. Ya. Rokhmanov // Світлотехніка та електроенергетика. –2017. – № 2 (49). – С. 22–24.
43. Petchenko G. O. The optical absorption in irradiated by X-ray and deformed functional materials / G. O. Petchenko, O. M. Petchenko, S. S. Ovchinnikov, M. Ya. Rokhmanov // Світлотехніка та електроенергетика. – 2017. – № 2 (49). – С. 30–33.
44. Петченко Г. О. Вплив дислокаційної структури кристалів LiF на їх світлотехнічні і колориметричні характеристики / Г. О. Петченко, О. М. Петченко // Світлотехніка та електроенергетика. –2017. – № 3 (50). – С. 25–30.
45. Колесник А. І. Методики та результати експериментальних досліджень відводу тепла від світлодіодного приладу / А. І. Колесник, Д. О. Усиченко, Л. А. Назаренко // Світлотехніка та електроенергетика. – 2017. – № 49 (2). – С. 25–29.
46. Kolesnyk A. I. Investigation of thermal characteristics of light-emitting diodes / A. I. Kolesnyk, LA Nazarenko // Lighting engineering and power engineering. – 2016. – No. 46 (2). – P. 27–30.
47. Колесник А. І. Теплове дослідження профілю світлодіодного світильника в програмному середовищі Solidworks Simulation / А. І. Колесник, Д. О. Усиченко, Л. А. Назаренко // Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI Міжнарод. наук.-техн. конф., 4–6 жовтня 2017 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – С. 51–53.
48. Колесник А. І. Методики та результати експериментальних досліджень відводу тепла від світлодіодного приладу / А. І. Колесник, Л. А. Назаренко // Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI Міжнарод. наук.-техн. конф., 4–6 жовтня 2017 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – С. 71–72.

49. Колесник А. І. Особливості розрахунку тепловідводу для світлодіодних вуличних світильників / А. І. Колесник, Л. А. Назаренко // Метрологія та вимірювальна техніка : матеріали X Міжнарод. наук.-техн. конф., 5–7 жовтня 2016 р. / ННЦ «Інститут метрології». – Харків : ННЦ «Інститут метрології», 2016. – С. 116.

49. Колесник А. І. Результати дослідження розподілу температурних полів світильника / А. І. Колесник, Д. О. Усіченко // Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи: матеріали VI Міжнарод. наук.-техн. конф., 30 січня – 2 лютого 2018 р. / м. Тернопіль, м. Яремче (Україна). – Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2018. – С. 38.

50. Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI Міжнарод. наук.-техн. конф. в рамках форуму «LIGHT FORUM 2017», Харків, 4–6 жовтня 2017 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 180 с.

51. Пат. № 121594 Україна, U 201705779. Світлодіодний світильник / А. С. Литвиненко; заявл. 02.05.17; опубл. 01.07.17, Бюл. № 22. – 4 с.

52. Пат. № 121541 Україна, U 201705827. Фотометр двоканальний мезопічний / А. С. Литвиненко; заявл. 02.05.17; опубл. 02.07.17, Бюл. № 22. – 4 с.

53. Пат. № 109986 Україна. Світлодіодний світильник / А. С. Литвиненко; заявл. 02.09.15; опубл. 26.10.2015, Бюл. № 20. – 4 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Позначення клімату

| Індекс | Клімат |
|--------|----------------------------|
| У | Помірний |
| ХЛ | Холодний |
| ТВ | Тропічний вологий |
| ТС | Тропічний сухий |
| Т | Тропічний сухий та вологий |
| О | Будь-який на суші |
| В | Будь-який на суші та морі |

Таблиця А.2 Розміщення СП за категоріями приміщень

| Індекс категорії розміщення | Характеристика розміщення СП |
|-----------------------------|--|
| 1 | Для роботи у відкритому повітрі |
| 2 | Для роботи у приміщеннях, які мають вільний доступ зовнішнього повітря або під дахом (при відсутності опадів та радіації) |
| 3 | Для роботи у закритих приміщеннях з природною вентиляцією (коливання внутрішніх факторів набагато менш зовнішніх) |
| 4 | Для роботи у приміщеннях з кліматичними факторами, які частково регулюються, в тому разі: |
| 4.1 | Для роботи у приміщеннях з кліматичними факторами, які частково регулюються – кондиціонуванням повітря. |
| 4.2 | Для роботи у приміщеннях з кліматичними факторами, які частково регулюються – в житлових, лабораторіях. |
| 5 | Для роботи у приміщеннях з підвищеною вологістю (неопалювані, невентильовані, підземні, шахтні, судові, підвальні, на виробництві) |

Таблиця А.3 – Класи захисту СП від пилу

| Індекс | Клас СП | Підклас СП | Ступінь захисту СП |
|--------|----------------|--------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 2 | Пилонезахищені | Відкриті | Спеціальний захист від пилу відсутній; є захист до стикання пальцями |
| | | Перекриті | Спеціальний захист від пилу відсутній; проникнення пилу обмежено світлопрозорою оболонкою |
| 5 | Пилозахищені | Повністю пило-захищені | Захист від попадання пилу на струмоведучі частини та на колбу; допустиме незначне проникнення пилу; повний захист персоналу до можливого стикання пальцями |
| | | З обмеженим пилозахистом | Захист від попадання пилу на струмоведучі частини; допустиме незначне проникнення пилу; повний захист персоналу до можливого стикання пальцями |

Продовження таблиці А.3

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|----------------|-------------------------------|--|
| 6 | Пилонепроникні | Повністю пилонепроникні | Повний захист від пилу; Повний захист персоналу до можливого стикання пальцями |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | З обмеженою пилонепроникністю | Повний захист від попадання пилу на струмоведучі частини; Повний захист персоналу до можливого стикання пальцями |

Таблиця А.4 – Класи захисту СП від вологи

| Числовий індекс | Клас СП | Ступень захисту від води |
|-----------------|----------------|--|
| 0 | Водонезахисні | Захист відсутній |
| 2 | Каплезахисні | Захист від капель, які падають під кутом до вертикалі 15^0 |
| 3 | Дощезахисні | Захист від дощу, який падає під кутом до 60^0 |
| 4 | Бризкозахисні | Захист від бризок, які падають під будь-яким кутом |
| 5 | Струмоезахисні | Захист від струменів води, які падають під будь-яким кутом |
| 6 | Хвилезахисні | Захист від впливу морської води |
| 7 | Водонепроникні | Захист від попадання води при занурюванні на задані глибини на годину |
| 8 | Герметичні | Захист від попадання води при занурюванні на задані глибини на необмежений час |

Таблиця А.5 – Параметри ламп

| Потужність ламп, <i>Вт</i> | Середня температура, °C | | Площа поверхні, м² | | Складові теплового потоку ламп, % | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------|--------|--------------------|--------|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Колба | Патрон | Колба | Патрон | Джерело світла, | | Колба | | Патрон | | |
| | | | | | Q_4^H | Q_4^K | Q_3^H | Q_3^K | Q_1^H | Q_1^K | Q_1^T |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| ЛР | | | | | | | | | | | |
| 1000 | 146 | 73 | 0,0846 | 0,019 | 81 | 0,6 | 9,5 | 7,7 | 0,43 | 0,5 | 0,4 |
| 750 | 126 | 62 | 0,0846 | 0,019 | 80 | 0,6 | 9,8 | 8,4 | 0,43 | 0,67 | 0,5 |
| 500 | 140 | 68 | 0,0465 | 0,019 | 78 | 1,2 | 9,8 | 8,7 | 0,75 | 1,2 | 0,75 |
| 300 | 105 | 53 | 0,0465 | 0,019 | 77 | 1,3 | 9,9 | 9,3 | 0,8 | 1,3 | 1,1 |
| 200 | 120 | 80 | 0,0253 | 0,0075 | 75 | 1,7 | 10 | 10 | 1,5 | 1,8 | 1 |
| 100 | 101 | 70 | 0,016 | 0,0075 | 73 | 2,8 | 9,5 | 9,9 | 2,4 | 2,8 | 2 |
| 40 | 71 | 60 | 0,0123 | 0,0075 | 64 | 5,5 | 9,8 | 11,2 | 4,8 | 5,5 | 4 |
| ДРЛ | | | | | | | | | | | |
| 700 | 219 | 112 | 0,107 | 0,018 | 33 | 2 | 38 | 24 | 1,3 | 2 | 0,85 |
| 400 | 200 | 90 | 0,0714 | 0,018 | 33 | 2,4 | 36,8 | 24,6 | 1,6 | 2,45 | 1,35 |
| 250 | 210 | 92 | 0,039 | 0,018 | 33 | 4 | 35 | 23 | 2,7 | 3,7 | 2,3 |

Виробничо-практичне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до організації самостійної роботи і проведення практичних занять
із навчальної дисципліни

«РОЗРАХУНОК І КОНСТРУЮВАННЯ СВІТЛОВИХ ПРИЛАДІВ»

*(для студентів денної і заочної форм навчання
освітнього рівня «магістр» за спеціальністю
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Укладачі : **ЧЕРКАШИНА** Олена Леонідівна,
НАЗАРЕНКО Леонід Андрійович,
ПЕТЧЕНКО Гліб Олександрович,
КОЛЕСНИК Анастасія Ігорівна,
БАЛАНДАЄВА Людмила Георгіївна

Відповідальний за випуск *О. М. Ляшенко*

Редактор *Ю. Ц. Ільницька*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2018, поз. 265М

Підп. до друку 27.03.2018 Формат 60×84/16

Друк на різнографі. Ум. друк. арк. 0,9

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.