

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»

ПРОМИСЛОВА СВІТЛОТЕХНІКА

КУРС ЛЕКЦІЙ

Навчальний посібник

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Електротехнічні пристрої та
електротехнологічні комплекси»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»,*

Укладач: Я. О. Гаран

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Рецензент

Пушкар М. В., кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Відповідальний
редактор

Троценко Є. О., кандидат технічних наук, доцент

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 6 від 24.06.2022 р.)
за поданням Вченої ради факультету електроенергетехніки та автоматики
(протокол № 10 від 20.06.2022 р.)*

Посібник «Промислова світлотехніка: Курс лекцій» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньо-професійної програми «Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси» призначений для поглибленого засвоєння студентами теорії будови електроосвітлювальної техніки та її експлуатації, одержання навичок розрахунку параметрів електроосвітлювальних установок на основі теоретичних знань, одержаних в лекційному курсі вивчення дисципліни «Промислова світлотехніка». Посібник розрахований на опанування студентами теоретичного матеріалу самостійно та під керівництвом викладачів кафедри теоретичної електротехніки КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Реєстр. № НП 21/22-835. Обсяг 11,9 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
Лекція 1	6
Електромагнітне випромінювання світлового діапазону	6
Лекція 2	21
Основні характеристики оптичного випромінювання	21
Лекція 3	33
Вимірювання характеристик оптичного випромінювання	33
Лекція 4	54
Перетворювачі електричної енергії в світлову	54
Лекція 5	65
Різновиди електроосвітлювальних пристроїв розжарювального типу	65
Лекція 6	81
Теорія газорозрядних ламп	81
Лекція 7	93
Люмінесцентні лампи	93
Лекція 8	113
Газорозрядні лампи високого тиску	113
Лекція 9	135
Газорозрядні лампи ультрафіолетового спектру	135
Лекція 10	148
Світлодіодні лампи	148
Лекція 11	161
Класифікація основних типів електроосвітлювальних пристроїв	161
Лекція 12	173
Види і системи освітлення	173
Лекція 13	181
Вибір типу світильників за призначенням	181
Лекція 14	193
Нормативна документація	193

Лекція 15	213
Методи розрахунку освітлення	213
Лекція 16	227
Проектування внутрішніх освітлювальних мереж	227
Лекція 17	241
Проектування зовнішніх освітлювальних мереж	241
Лекція 18	255
Експлуатація освітлювальних мереж	255
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	268

ВСТУП

Навчальним планом здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (освітньо-професійна програма «Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси») передбачено лекційний курс з кредитного модуля «Промислова світлотехніка», який присвячений теоретичним основам перетворення електричної енергії в оптичне випромінювання (як видимого спектру, так і інфрачервоної та ультрафіолетової складових), використанню оптичного випромінювання для потреб промисловості, сільського господарства, медицини, побуту тощо, будові, експлуатаційним характеристикам та керуванню роботою електроосвітлювальних установок, на основі теоретичних знань, отриманих протягом даного лекційного курсу даного кредитного модуля та пов'язаних з розрахунками параметрів електроосвітлювальних ламп різного типу, світильників, освітлювальних установок та параметрів мереж електроживлення.

Мета прослуховування лекційного курсу «Промислова світлотехніка» – закріплення основних теоретичних положень перетворення електричної енергії в світлову, ознайомлення студентів з методами розрахунків параметрів електроосвітлювальних ламп різних типів, які застосовуються в світильниках та освітлювальних установках різних типів внутрішнього та зовнішнього встановлення.

Курс лекцій складається з 18 лекційних занять загальним обсягом 36 академічних годин (по 2 академічні години на кожну лекцію). Кожна лекція містить необхідні розрахункові формули, табличні дані та графічні залежності, які дозволяють опанувати поданий матеріал. Також, кожна лекція містить перелік контрольних питань, які дозволяють визначити рівень опанування студентом змісту навчального матеріалу.

Лекція 1

Електромагнітне випромінювання світлового діапазону

Людське око є складним органом, призначеним для сприйняття інформації у вигляді частини спектру електромагнітних хвиль оптичного діапазону довжини хвиль. Протягом еволюційного процесу людське око набуло можливості розрізняти електромагнітні хвилі оптичного діапазону за інтенсивністю, довжиною хвилі, яку ми сприймаємо відтінком кольору, а також будувати оптичне зображення об'єктів спостереження шляхом фокусування світлових променів на ділянці світлочутливих клітин сітківки ока.

Людське око є парним органом, який забезпечує бінокулярний (стереоскопічний) зір у видимому спектрі електромагнітного випромінювання. Око є периферичним органом зорової системи людини і призначене для сприйняття і перетворення електромагнітного випромінювання видимого спектру в електричні сигнали нервової системи, які в подальшому передаються у відповідні відділи мозку і там обробляються.

Людське око має дуже складну будову (рис. 1.1). Очне яблуко розташовується у відповідних очних впадинах черепа, має можливості руху (часткового обертання у впадині) за допомогою відповідних м'язів.

Око поділяється на три основні області:

- зовнішня оболонка, яка відповідає за захист від механічних пошкоджень та за заломлення променів світла за допомогою рогівки;
- середня оболонка містить кровоносні судини в склистому тілі, райдужну оболонку, яка за допомогою кільцевих м'язів реагує на інтенсивність світла і його дозоване потрапляння в око, циліарне тіло, в якому розташований кришталік – еластична двоопукла лінза, яка за

допомогою кільцевих м'язів може змінювати кривину і фокусувати світлові промені на поверхні сітківки;

- внутрішня оболонка, яка перетворює енергію електромагнітних хвиль видимого діапазону в нервові імпульси – містить сітківку ока – складний нервовий вузол, що складається з світлочутливих клітин двох типів – палички і колбочки, які реагують на денне та нічне світло по-різному.

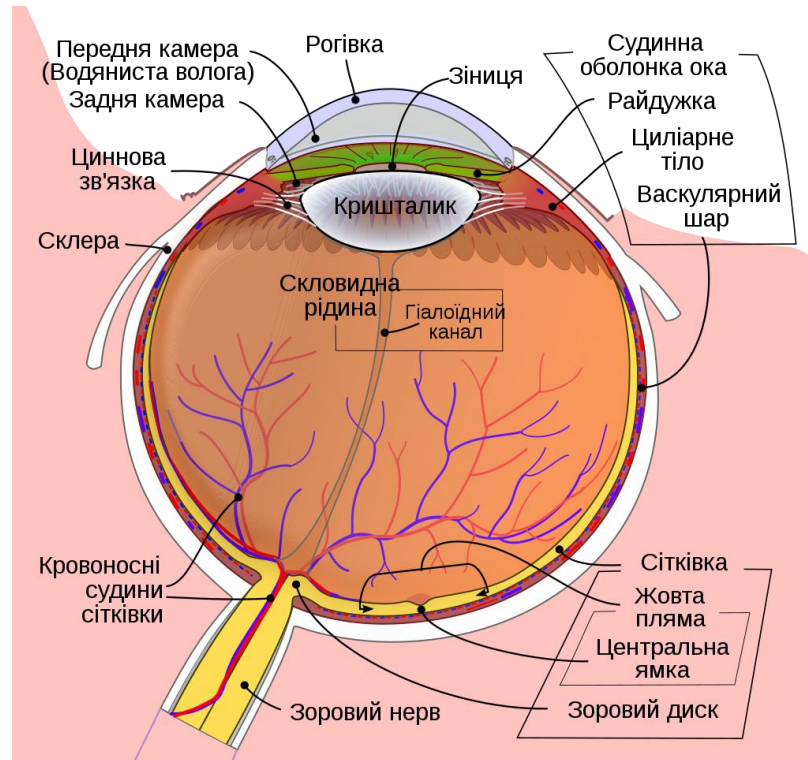


Рисунок 1.1 – Будова людського ока

Світловий потік проходить через рогівку, кришталик та інші складові ока, заломлюючись в їхніх середовищах за законами оптики. Заломлене світло розподіляється на світлочутливих клітинах сітківки і перетворюється у клітинах сітківки на комплекс нервових імпульсів, які передаються у мозок і сприймаються як зображення.

Світлочутливі клітини сітківки, так звані «колбочки», реагують не однаково на різні довжини хвиль: якась частина клітин більш чутлива до хвиль червоного діапазону кольору сприйняття, інша – до зеленого кольору,

інша – до синього кольору. Ці кольори є основними у сприйнятті людиною кольорових відтінків, які сприймаються як суміш основних кольорів різної інтенсивності.

За допомогою бінокулярного бачення людина здатна оцінювати форму, просторове положення предметів, ступінь їхньої рухливості. Процеси аналізу інформації, що надходить за допомогою ока, відбуваються в мозку і створюють відповідне зорове уявлення людини про світ, яке надає людині, за деякими оцінками, до 90% всієї інформації протягом життя.

Всі складові зорової системи людини є чутливими до шкідливих впливів, а робота ока в несприятливих умовах недостатньої або надлишкової інтенсивності світла, наявності небезпечних спектрів випромінювання, що потрапляють на сітківку, сфокусовані промені, навантаження на м'язи, що регулюють оптичну систему ока тощо, може призводити до передчасного погіршення зору людини.

Оптичне випромінювання по своїй природі відноситься до електромагнітних коливань. Коливання з довжиною хвилі від 1 нм до 1 мм називаються оптичним випромінюванням. Всі предмети (тіла), що оточують нас, випускають електромагнітні хвилі. Цей процес супроводжується виділенням накопиченої в них енергії. У загальному спектрі електромагнітних випромінювань оптична область складає лише невелику частину. Як і всякі інші хвильові процеси, випромінювання прийнято характеризувати довжиною хвилі (λ), під якою розуміється лінійна відстань (у напрямку розповсюдження випромінювання) між двома сусідніми точками з однаковою фазою коливань. Зі швидкістю світла c та частотою ν (число коливань в секунду) довжина хвилі зв'язана наступною залежністю:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}. \quad (1.1)$$

Коливання як світлові, так і електромагнітні характеризуються періодом T або зворотного йому величиною $\nu = 1/T$ – частотою. Довжини

електромагнітних хвиль лежать у дуже широкому діапазоні та мають відповідні назви для кожного діапазону. Так хвилі з періодами від 10^{-4} до 10^{-11} с називаються електричними або герцевськими хвилями, від 10^{-12} до $2,5 \cdot 10^{-15}$ – інфрачервоними, від $2,5 \cdot 10^{-15}$ до $1,3 \cdot 10^{-15}$ – світловими, від $1,3 \cdot 10^{-15}$ до $4 \cdot 10^{-18}$ – ультрафіолетовими і від $4 \cdot 10^{-18}$ до $2 \cdot 10^{-20}$ – рентгенівськими. У відповідності до (1.1), зазначеним періодам коливань відповідають хвилі з відповідними довжинами, представленими на рис. 1.2.

Як можна бачити з рис. 1.2, видима для людського ока частина хвиль електромагнітного випромінювання відноситься до доволі вузької частини його спектру з довжиною хвиль від 760 до 380 нм. Спектром називають всю сукупність випромінювань з монохроматичними (однаковими за довжиною хвилі) електромагнітними хвилями, які знаходяться в певному діапазоні цих довжин хвиль і є складовими загального складного потоку випромінювання. Крім спектру випромінювання також існує спектр відбиття, або спектр відбитого випромінювання, який залежить від характеристик об'єкта, який опромінюється. Електромагнітне випромінювання може бути як монохроматичним, так і спектральним, в якому спектр електромагнітних хвиль може бути суцільним, смугастим, лінійчатим, або таким, що має і суцільну, і лінійчасту складові. Кожен тип спектру може описуватись аналітичною залежністю (формулою), графіками, або даними таблиць.

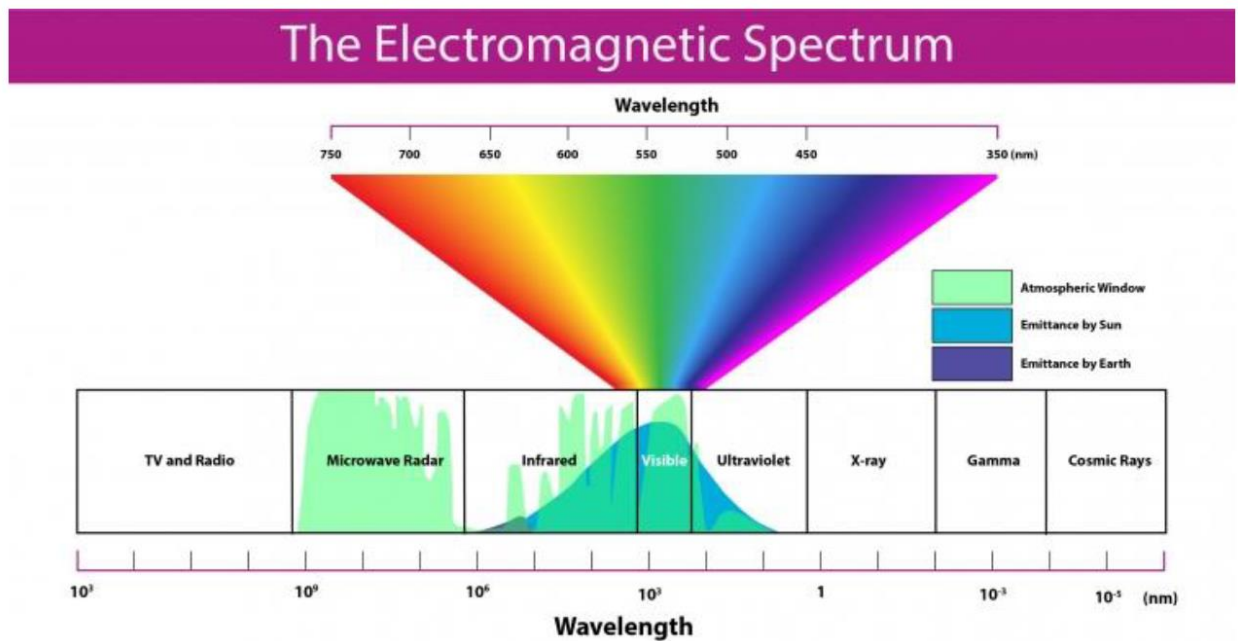


Рисунок 1.2 – Характеристики спектру електромагнітного випромінювання.

Оптична область спектра поділяється на 3 зони:

Ультрафіолетове (УФ) випромінювання – це невидиме для людського ока випромінювання (ультра – з латині «за»), тобто воно знаходиться за видимим випромінюванням в діапазоні довжини хвиль $1\text{ нм} - 380\text{ нм}$. Даний діапазон поділяється на групи:

- $1\text{ нм} - 200\text{ нм}$ – вакуумне ультрафіолетове випромінювання;
- $200\text{ нм} - 280\text{ нм}$ – короткохвильовий ультрафіолет;
- $280\text{ нм} - 315\text{ нм}$ – ультрафіолет середньої довжини хвиль;
- $315\text{ нм} - 380\text{ нм}$ – ультрафіолет довгих хвиль;

Видиме випромінювання, це таке, яке може викликати зорове відчуття людини і воно знаходиться в діапазоні довжини хвиль $380 - 760\text{ нм}$.

Інфрачервоне (ІЧ) випромінювання – це невидиме випромінювання (інфра – з латині «попереду»), тобто воно знаходиться попереду видимого випромінювання в діапазоні довжини хвиль $760\text{ нм} - 1\text{ мм}$. Даний діапазон поділяється на такі групи:

- $760\text{ нм} - 1400\text{ нм}$ – ближнє інфрачервоне випромінювання;

- 1400 нм – 3000 нм – середнє інфрачервоне випромінювання;
- 3000 нм – 1 мм – далеке інфрачервоне випромінювання.

За різними способами стандартизації діапазони спектрів оптичного випромінювання можуть відрізнятись.

Взаємодія світла з матеріальними об'єктами не обмежується властивостями електромагнітних хвиль. Світло може також чинити тиск на поверхні об'єктів (на цьому побудовані теорії конструювання сонячних вітрил), тобто, проявляє властивості частинок. Корпускулярну складову теорії світла обґрунтували та поєднали з хвильовою теорією електромагнітних коливань відомі вчені А. Ейнштейн та М. Планк. Згідно з цією теорією, електромагнітне випромінювання, в разі взаємодії з речовиною, виявляє одночасно і властивості електромагнітної хвилі, здатної огинати перешкоди певних розмірів, і частинки – ніби таке випромінювання розділене на частинки енергії, які отримали назву квантів. Кванти енергії оптичного випромінювання отримали назву фотонів. Фотони поводять себе подібно до частинок, наприклад, чинять тиск на поверхні об'єктів. Дуальну природу світла пояснює корпускулярно-хвильова теорія світла. Згідно цієї теорії, енергія частинки пов'язана з масою, частотою коливань і довжиною хвилі виразом:

$$E = m \cdot c^2 = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}, \quad (1.2)$$

де h – постійна Планка.

Енергія кожного окремого фотону є дуже малою, проте, в світловому потоці таких фотонів може бути велика кількість, відповідно, сумарна енергія, яку здатен передавати світловий потік, може бути значною, що використовується, наприклад, у фотоперетворювачах сонячної енергії в електричну. Крім того, потік фотонів можна сфокусувати на невеликій площі за допомогою оптичних лінз, або отримати вимушене квантове

монохроматичне випромінювання, яке використовується у пристроях, які отримали назву лазерів.

Умовно прийнято увесь спектр видимого випромінювання розділяти на вісім ділянок, що відповідають найбільш характерним кольорам. Орієнтовні межі цих ділянок наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Умовні кольори і орієнтовні довжини хвиль

Довжина хвилі, нм	Колір	Довжина хвилі, нм	Колір
380 ÷ 450	Фіолетовий	550 ÷ 575	Жовто-зелений
450 ÷ 480	Синій	575 ÷ 585	Жовтий
480 ÷ 510	Блакитний	585 ÷ 620	Помаранчевий
510 ÷ 550	Зелений	620 ÷ 670	Червоний

Кольори, що виникають під впливом однорідних потоків різних довжин хвиль, називаються спектральними кольорами. Додаючи до однорідного випромінювання складне, можна отримати багато відтінків цього кольору, які будуть відрізнятися один від одного співвідношенням білого (складного) і монохроматичного потоків. Складне випромінювання різних джерел може мати різну кольоровість. Кольоровість складного випромінювання визначається відносною наявністю його енергії, що припадає на різні довжини хвиль. Розподіл енергії по спектру – найважливіша характеристика неоднорідного випромінювання.

Очі людини можуть сприйняти мінімальну освітленість 0,1 лк (це місячне сяйво). Максимальна освітленість, до якої можуть пристосуватись очі, складає 100000 лк. При низькій освітленості очі працюють в режимі нічного зору за рахунок роботи паличкових елементів, при високій освітленості очі людини працюють в режимі денного зору за рахунок колбочкових елементів сітчастої оболонки ока. При переході освітленості з нічної на денну, або навпаки очі людини працюють в режимі сутінок.

Усереднена крива спектральної чутливості ока встановлена Міжнародною комісією по освітленості (МКО 1924 р.) і тепер використовується при всіх розрахунках світлової дії випромінювання (рис. 1.3 крива 1).

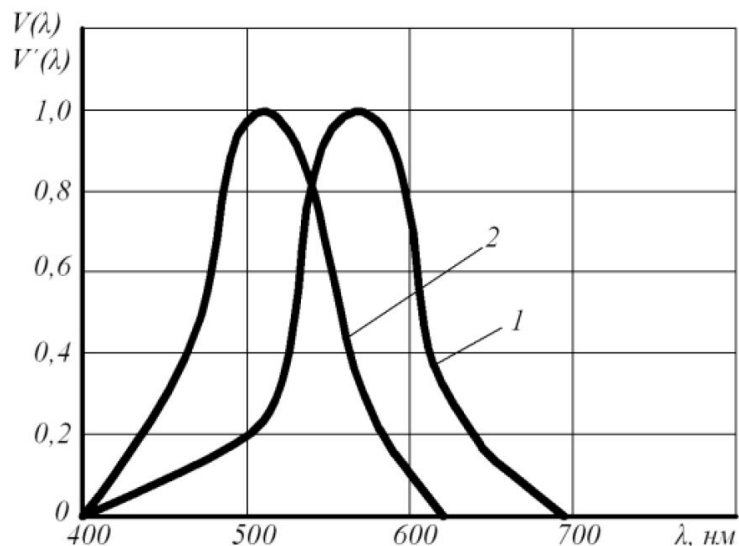


Рисунок 1.3 – Середні значення спектральної чутливості людського ока: 1 – усереднена крива спектральної чутливості ока; 2 – крива спектральної чутливості ока в умовах нічного зору.

Максимум цієї кривої умовно прийнятий за одиницю і припадає на довжину хвилі $\lambda = 555 \text{ нм}$. Крива 2 показує, що в умовах нічного зору око людини реагує на дуже малу освітленість і в цьому випадку спектральна чутливість ока буде зміщена в сторону більш коротких хвиль по відношенню до кривої денного зору. Максимум цієї кривої також прийнятий за одиницю і відповідає довжині хвилі $\lambda = 507 \text{ нм}$. Зіставляючи криві 1 і 2, треба мати на увазі те, що максимумами їх однакові тільки умовно. В дійсності апарат палички набагато чутливіший ніж колбочковий. Середні значення спектральної чутливості ока для денного і нічного зору, необхідні для використання в розрахунках світлотехніки.

Між умовами денного та нічного зору є перехідна область рівня освітленості, яку можна спостерігати в природних умовах кожен день після

заходу сонця, коли одночасно функціонують обидва апарати органу зору. У процесі такого переходу спостерігається і перехідна зміна спектральної чутливості очей, що приводить до деяких специфічних явищ. У цей період спостерігається так званий ефект Пуркінє. Суть цього ефекту в тому, що червона і синя поверхні об'єкту нагляду, які вдень здаються приблизно однаково світлими, вночі робляться цілком різними: синій предмет здається набагато світлішим ніж червоний. Останній бачиться вночі зовсім чорним.

Енергія оптичного випромінювання безпосередньо діє на людей, тварин, рослин, мікроорганізми та інші приймачі. Існують наступні основні види фотобіологічної дії.

- Світлова дія. Виражається в зоровому відчутті людини і дозволяє орієнтуватися в просторі. Його приймач – око людини або інші органи сприйняття у інших біологічних об'єктів. Еталонна крива спектральної чутливості ока людини, у порівнянні зі спектральними чутливостями органів сприйняття інших біологічних організмів, наведена на рис. 1.4 (крива 1).

- Фотосинтезна дія. Виражається в тому, що видиме і довгохвильове УФ випромінювання забезпечує процес, в результаті якого в зелених рослинах із мінеральних речовин синтезуються речовини органічні. Його приймач – зелений лист. Фотосинтез – найважливіший для життя на землі процес. Первинний процес утворення біологічної маси відбувається в листі рослини, при цьому поглинається вуглекислий газ з повітря і виділяється кисень. Енергетичною основою цього процесу служить фотосинтезний потік. Крива спектральної чутливості, за І. І. Свентицьким, наведена на рис.1.4 (крива 3).

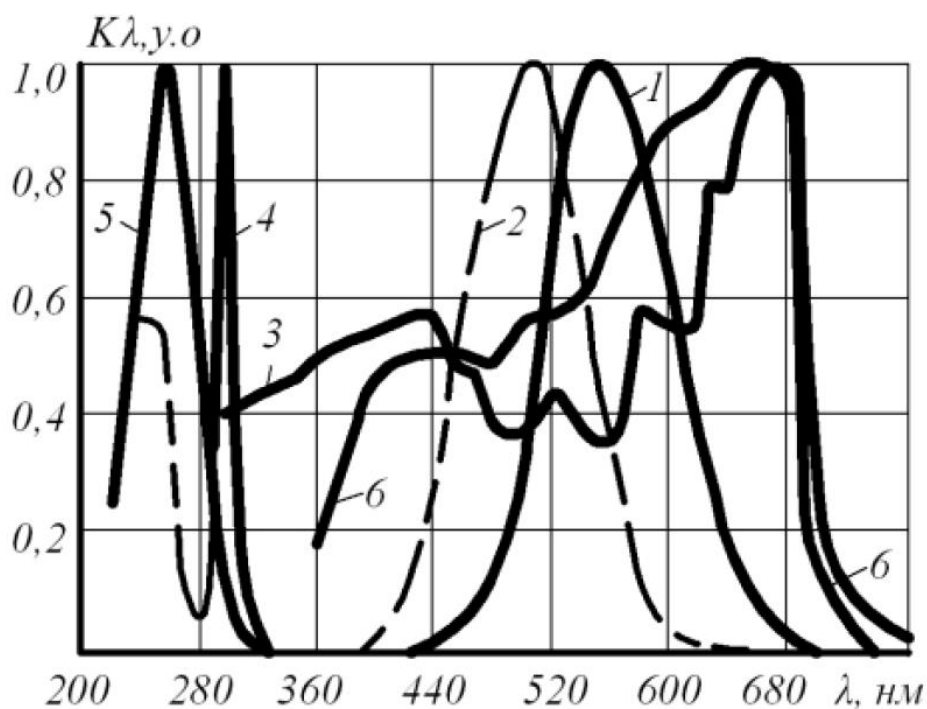


Рисунок 1.4 – Порівняльні криві залежностей спектральної чутливості людського ока та інших біологічних об'єктів в залежності від довжини хвилі:

- 1 – око людини вдень; 2 – око людини вночі; 3 – зеленого листа по І. І. Свентицькому (теоретична); 4 – шкіра тварини (вітальна); 5 – бактерій; 6 – фотосинтез по Мс. Срее (експериментальна).

- Фотоперіодична дія. Виражається в тому, що при різному чередуванні і тривалості періодів освітленості (опромінення) і темряви проявляється вплив на розвиток рослин, тварин, птиці.

- Терапевтична дія. Полягає в опроміненні людей, тварин, птиці дозованою кількістю УФ, видимого, ІЧ випромінювань з покращенням обміну речовин, підвищує опір організму до захворювань. Його приймачем є шкіра тварини, а також людини. Під дією цього випромінювання активізуються життєво важливі процеси в живому організмі, зокрема утворюється вітамін D. Вітальний (*Vita - lis*) – життєвий. Прийом випромінювання супроводжується почервонінням шкіри (еритема). Еталонна крива спектральної чутливості показана на рис 1.4 (крива 4).

- Бактерицидна дія. Полягає в тому, що опромінення УФ випромінюванням у великих кількостях видимим і ІЧ випромінюванням викликає загибель бактерій, рослин, комах. Його приймачем є бактерії, які гинуть під дією бактерицидного потоку. Еталонна крива спектральної чутливості показана на рис. 1.4 (крива 5).

- Мутагенна дія. Виражається в тому, що тривалий вплив на тварин і рослин УФ випромінювання призводить до спадкоємних змін, які можна використовувати для виведення рослин та інших організмів з новими властивостями. Мутагенна дія на людину є небезпечним фактором впливу відповідного спектру випромінювання і може призводити до важких генетичних змін в організмі.

Дія на людину найбільш біологічно активного ультрафіолетового випромінювання залежить від величини квантів випромінювання, опромінення і часу дії. Відома позитивна дія на людину ультрафіолетового сонячного випромінювання. Кванти УФ випромінювання, які поглинаються білковими колоїдами протоплазми клітин шкіри, розчіплюють молекули білка. Це супроводжується створенням нових біологічно активних речовин (вітамін D, гістамін і ін.) Поширюючись по організму дифузією або по шляху циркуляції рідин, ці речовини зумовлюють загально-фізіологічне зрушення терапевтичного та тонізуючого характеру. В результаті фотохімічних процесів у шкірі виникає ультрафіолетова еритема і пігментація. На відміну від теплової еритеми, що виникає відразу після нагрівання, ультрафіолетова еритема (почервоніння шкіри) з'являється через кілька годин після опромінення (від 2 до 6 годин). Мінімальна кількість опромінення, при якій вперше виникає еритема, називають пороговою дозою (біодозою). При не достатній дозі природного ультрафіолетового випромінювання взимку в середній смузі і особливо в північних районах використовують штучні джерела УФ випромінювання для опромінення людей задля здобуття позитивного ефекту.

Інфрачервоне випромінювання, маючи невелику енергію квантів, надає в основному теплову дію на людину. Завдяки хорошій проникаючій здатності інфрачервоне випромінювання здатне нагрівати глибинні шари тканин. Інфрачервоне випромінювання широко використовується у обігрівачах, які нагрівають не повітря у приміщеннях, а предмети.

Енергія квантів видимого випромінювання менша, ніж енергія квантів ультрафіолетового, тому позитивні фотохімічні реакції, не можуть відбуватися під дією видимого випромінювання. Це обмежує застосування видимого випромінювання для терапевтичних цілей.

Прояви впливу оптичного випромінювання на тварин і птицю дуже різні і залежать від спектрального складу випромінювань.

Ультрафіолетове випромінювання має сильну тонізуючу терапевтичну дію на організм тварин. Встановлено вплив УФ опромінення на обмін речовин, процеси дихання, активізацію кровообігу, збільшення вмісту гемоглобіну в крові, активізацію діяльності залоз внутрішньої секреції та інші функції організму тварини.

Спектр еритемних дії УФ випромінювання на тварин наведено на рис. 1.5. Максимум кривої приходить на довжину хвилі 297 нм. При розрахунках опромінюваних установок враховується лише частина кривої, яка знаходиться в діапазоні довжин хвиль 280-320 нм.

Ультрафіолетове опромінення позитивно впливає на тварин і птицю при дотриманні правильного режиму годування повноцінними, збалансованими по необхідності компонентів кормами і дотриманні необхідного дозування опромінення. Необхідно зазначити, що механізм дії ультрафіолетового випромінювання на живі організми вивчений не повною мірою.

Світлова дія випромінювання на тварин і птахів вивчено теж ще дуже мало. Вплив видимого випромінювання на тварин може виявлятися не тільки через органи зору, але і шляхом сприйняття його іншими органами.

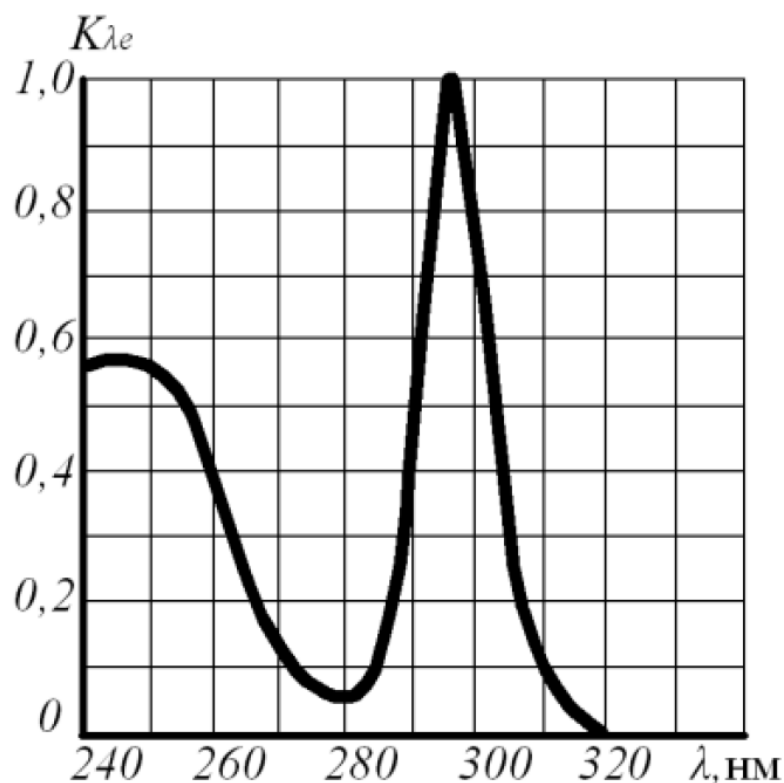


Рисунок 1.5 – Спектр еритемної дії УФ випромінювання на тварин.

Інфрачервоне випромінювання в порівнянні з короткохвильовим ультрафіолетовим та видимим випромінюваннями має велику проникаючу здатність у тканини тварин. Проникнення інфрачервоного випромінювання в тканини організму залежить від відбивної і поглинальної здатності верхнього покриву – шкіри. Будова і функції шкіри людини і тварин однакова, тому біологічна дія інфрачервоного випромінювання, який чиниться на людину, спостерігається і при дії на тварин.

Із всього спектру оптичного випромінювання на ріст і розвиток найбільше впливає випромінювання з довжиною хвилі від 300 до 1000 нм. Залежно від ролі окремих ділянок спектра в процесах життєдіяльності рослин із зазначеного діапазону можна виділити три умовні області: 1000-700 нм – ефект витягування стебла; 700-400 нм – основну для життєдіяльності; 400 - 300 нм – відповідальну за форматний ефект. Випромінювання в спектральному діапазоні 400-700 нм, що грає найважливішу роль в реакціях

фотосинтезу, отримало назву фотосинтезної активної радіації (ФАР). Інфрачервоне випромінювання з довжиною хвилі більше 1000 нм надає рослинам тільки теплову дію, а ультрафіолетове випромінювання з довжиною хвилі менше 300 нм шкідливо і згубно для рослин.

Вплив оптичного випромінювання на рослини багатосторонній. Не тільки фотосинтез, а й багато інших фізіологічних процесів рослин залежать від умов опромінення. Ріст і розвиток рослин, створення листків та інших органів в значній мірі залежить від опромінення. Проте основним, найбільш характерним процесом зелених рослин є фотосинтез. Цим процесом визначається врожай рослин.

Максимальну чутливість бактерії знаходять до однорідних випромінювань з довжиною хвилі $\lambda = 254 \text{ нм}$, тобто максимальна ефективність знищення бактерій має монохроматичне випромінювання при $\lambda = 254 \text{ нм}$. Слід зазначити, що окрім довжини хвилі для одержання бактерицидного ефекту важливим є також інтенсивність випромінювання, яка при малих значеннях замість бактерицидного ефекту може призводити до мутагенного ефекту та пристосовуваності організмів до відповідних чинників.

Контрольні запитання

1. Для чого призначена зорова система людини?
2. З яких основних частин складається око людини?
3. Які елементи людського ока відповідають за сприйняття енергії електромагнітних хвиль видимого спектру?
4. Як впливає на око людини випромінювання «невидимого» спектру електромагнітних хвиль?
5. Яка функція кришталика в людському оці?
6. Яке електромагнітне випромінювання називають оптичним?
7. Як пов'язана довжина електромагнітної хвилі з її частотою?

8. Назвіть основні типи електромагнітних хвиль та відповідні ним періоди коливань.
9. Що таке спектр випромінювання?
10. Назвіть різновиди спектрів та способи представлення їхніх залежностей від довжини хвилі.
11. Що називають квантом оптичного випромінювання?
12. Як визначити енергію фотону?
13. В чому сутність корпускулярно-хвильової теорії світла?
14. Визначте розподіл кольорового сприйняття людиною видимого спектру оптичного випромінювання за довжинами хвиль.
15. Визначте чутливість людського ока до різної освітленості.
16. Які види фотобіологічної дії електромагнітного випромінювання вам відомі?
17. Якій довжині хвиль відповідає найбільша чутливість людського ока?
18. Якій довжині хвиль відповідає найбільша фотосинтезна дія випромінювання?
19. Назвіть позитивні та негативні сторони мутагенної дії випромінювання.
20. До якої довжини хвиль електромагнітного випромінювання найбільш чутливими є бактерії?

Лекція 2

Основні характеристики оптичного випромінювання

Поверхні об'єктів, які випромінюють або відбивають електромагнітні хвилі, можуть бути охарактеризовані певними числовими показниками, так само, як і саме випромінювання, що виходить (відбивається) з цих поверхонь.

Визначимо основні світлотехнічні величини, які характеризують світлові випромінювачі. До них відносять: світловий потік Φ , світлову ефективність K_ω , світлову віддачу η , силу світла I , яскравість L , світність M та енергетичну світність M_e , колірну температуру T_K і коефіцієнт кольоропередачі (загальний індекс кольоропередачі) R_a .

Загалом, світловий потік характеризується потужністю випромінювання, яка є характеристикою джерела випромінювання. Частинки поверхні об'єкта постійно поглинають та випромінюють кванти енергії, тому у більшості випадків можна вважати, що такий процес відбувається безперервно, а густина фотонів у світловому потоці від джерела є рівномірно розподіленою в просторі (якщо інше не обумовлено особливостями конструкції джерела).

Енергія оптичного випромінювання має розмірність, властиву будь-якій формі енергії і вимірюється в джоулях. У практиці частіше потрібно знати не енергію випромінювання, а її потужність (потік випромінювання). Потоком випромінювання Φ називають енергію випромінювання, яка переноситься через якусь поверхню S в одиницю часу:

$$\Phi = \frac{dW}{dt}, \quad (1.3)$$

де dW – енергія, яка випромінюється протягом часу dt . При цьому, проміжок dt обирається таким чином, що можна вважати за цей проміжок часу потік енергії через задану поверхню рівномірним. Потік випромінювання вимірюється, як і потужність, у ватах.

Світловою ефективністю називають частку світлового потоку у повному потоці електромагнітного випромінювання, тобто відношення:

$$K_{\omega} = \frac{\Phi}{\Phi_e}. \quad (1.4)$$

Світловою віддачею називають відношення світлового потоку джерела випромінювання Φ (у люменах) до потужності P , яка споживається (у ватах), тобто:

$$\eta = \frac{\Phi}{P}. \quad (1.5)$$

Вживані на практиці джерела оптичного випромінювання дають складний потік, що складається з випромінювань з різними довжинами хвиль. Спектральний розподіл потоку випромінювання джерела із суцільним спектром можна зобразити у прямокутній системі координат з осями: потік випромінювання – довжина хвилі (рис. 1.2, а).

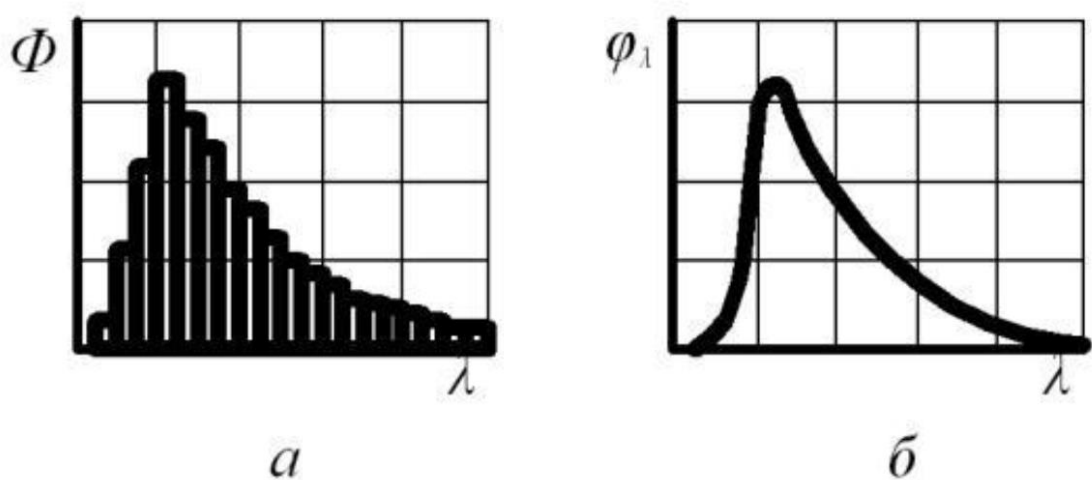


Рисунок 1.2 – Спектральний розподіл потоків випромінювання із загальним спектром (а) та спектральна щільність потоку випромінювання (б).

Значення потоку випромінювання відкладаються у вигляді прямокутників шириною $\Delta\lambda$ і висотою, що дорівнює в деякому масштабі однорідному потоку на цій ділянці. Однак таким графіком користуватися незручно, крім того, він є наближеним, умовним. На практиці розподілення випромінювання по спектру визначають значенням спектральної щільності

потіку випромінювання. Спектральна щільність $\phi\lambda$ ($\text{Вт}\cdot\text{нм}^{-1}$) чисельно дорівнює відношенню однорідного потоку Φ до ширини смуги спектру $\Delta\lambda$, на якій виміряно однорідний потік (рис. 1.2 (б)).

Функція спектральної щільності потоку випромінювання зазвичай будується в прямокутній системі координат (рис. 1.2, (б)). Інтегруючи задану функцію спектральної щільності в межах оптичної частини спектру, отримаємо значення потоку випромінювання (Вт) даного джерела.

Функція спектральної щільності потоку випромінювання є основною характеристикою джерела енергії випромінювання, тому що дозволяє оцінити і спектральний склад потоку випромінювання і його значення. Вона може бути представлена як у вигляді графіка, так і у вигляді таблиці, в якій дані спектральної щільності наводяться зазвичай з інтервалом в 10 нм. Значення потоку випромінювання може бути обчислено як площа, обмежена кривою $\phi(\lambda)$ та віссю абсцис при відомих масштабах по осях.

Джерело випромінювання випромінює потік в певному напрямку. Просторова щільність потоку випромінювання джерела називається силою випромінювання (Вт/ср) і визначається відношенням потоку випромінювання до тілесного кута, в якому він укладений і рівномірно розподілений:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}, \quad (1.6)$$

де $d\Phi$ – потік випромінювання; $d\omega$ – тілесний кут (у стерadianах), який визначається співвідношенням:

$$\omega = \frac{S}{R^2}, \quad (1.7)$$

де S – площа поверхні сфери радіусом R , яку вирізає на поверхні цієї сфери конус з вершиною в центрі цієї сфери. Тобто, один стерadian – це тілесний кут з вершиною, розташованою в центрі сфери, який вирізає на поверхні сфери площу, що чисельно дорівнює квадрату радіуса. Так, наприклад, тілесний кут у π стерadian відповідає куту при вершині відповідного перерізу конусу у 120 градусів.

Світловий потік – це потужність світлової енергії. Одиниця світлового потоку – люмен (лм). 1 лм відповідає світловому потоку, випромінюючого в одиничному тілесному куті точковим ізотропним джерелом з силою світла 1 кд. Одиницею сили світла є кандела. 1 кд = 1 лм/ср. 1 *кандела* – це сила світла, що випускається в перпендикулярному напрямку елементом поверхні чорного тіла, площею $1:600000 \text{ м}^2$ при температурі затвердіння платини.

Щільність випромінювання ($\text{Вт}/\text{м}^2$) являє собою відношення потоку випромінювання до площі випромінюючої поверхні:

$$R = \frac{d\Phi}{dS}, \quad (1.8)$$

де dS – площа поверхні випромінюючого тіла, в межах якої випромінювання можна вважати рівномірним. Важливою для розрахунків величиною є опроміненість (щільність опромінення). Вона визначається відношенням потоку випромінювання, що падає на опромінювану поверхню і рівномірно розподілений по ній, до площі цієї поверхні ($\text{Вт}/\text{м}^2$) і також визначається за формулою (1.8). Різниця між щільністю випромінювання і опроміненістю полягає лише в тому, що поняття щільності випромінювання належить до випромінювача і характеризує його, а поняття опромінення відноситься до опромінюваної поверхні.

Освітленість – це кількість світла або світлового потоку, що падає на одиницю площі поверхні. Вона позначається буквою E і вимірюється в люксах (лк). Один люкс дорівнює одному люмену на метр квадратний ($\text{лм}/\text{м}^2$). Освітленість можна визначити як щільність світлового потоку на освітлюваній поверхні: $E = \Phi/S$.

При практичному розрахунку освітлювальних установок дуже часто виникає потреба обчислювати освітленість поверхонь за відомою силою світла джерела випромінювання. Визначимо залежність між цими величинами. Розглянемо точкове джерело світла A (рис. 1.3), яке освітлює елементарну ділянку dS на поверхні q . Сила світла джерела в напрямку

освітлюваної ділянки становить I_d . Кут між нормаллю до елемента поверхні dS і напрямком сили світла становить β . Елементарний тілесний кут $d\omega$, в межах якого рівномірно розподілений світловий потік, що падає на ділянку dS , можна визначити виходячи з найпростіших геометричних співвідношень:

$$d\omega = \frac{dS \cdot \cos(\beta)}{l^2}, \quad (1.9)$$

де l – відстань від джерела світла до центру освітлюваної ділянки.

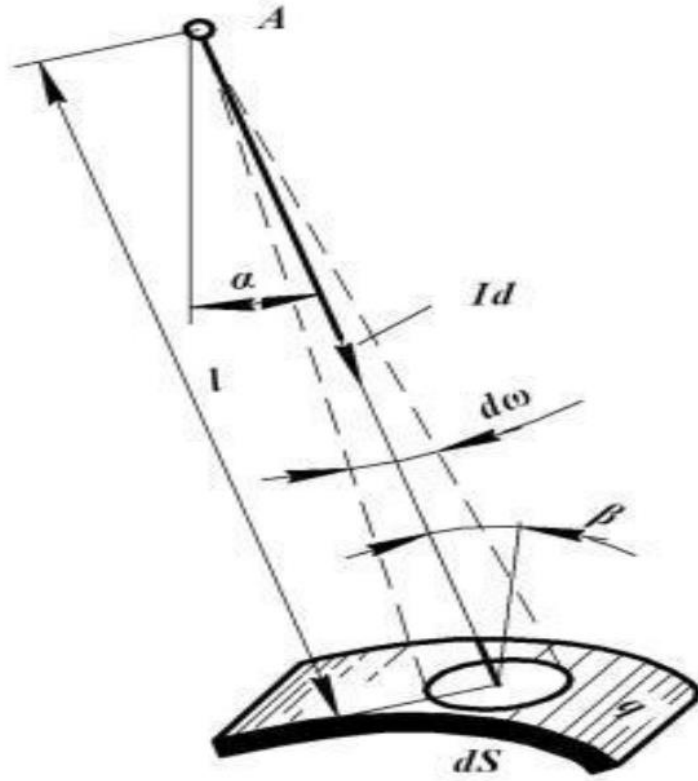


Рисунок 1.3 – До визначення залежності між силою світла та освітленістю поверхні.

Тоді світловий потік, що падає на ділянку dS , розрахуємо за формулою:

$$d\Phi = I_d \cdot d\omega = \frac{I_d \cdot dS \cdot \cos(\beta)}{l^2}. \quad (1.10)$$

Відповідно, освітленість ділянки dS отримаємо з виразу:

$$E = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{I_d \cdot \cos(\beta)}{l^2}. \quad (1.11)$$

Таким чином, освітленість поверхні в даній точці прямо пропорційна силі світла і косинусу кута між вектором сили світла і нормаллю до

освітлюваної поверхні і обернено пропорційна квадрату відстані від джерела світла до даної точки.

Для характеристики поверхонь, що світяться за рахунок світлового потоку, який проходить через них або відбивається від них, служить відношення світлового потоку, який випромінює елементом поверхні, до площі цього елемента. Ця величина називається світністю:

$$M = \frac{d\Phi}{dS}. \quad (1.12)$$

Світність – це щільність світлового потоку, що випускається світловою поверхнею. Одиницею світності служить люмен на метр квадратний світлової поверхні, що відповідає поверхні площею 1 м^2 , яка рівномірно випромінює світловий потік 1 лм . У разі загального електромагнітного випромінювання вводиться поняття енергетичної світності випромінюючого тіла (M_e). Одиниця енергетичної світності – Вт/м^2 . Для порівняльної оцінки наводимо світності та енергетичні світності деяких поверхонь:

- Поверхня сонця – $M_e = 6 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$;
- Нитка лампи розжарювання – $M_e = 2 \cdot 10^5 \text{ Вт/м}^2$;
- Поверхня сонця в zenіті – $M = 3,1 \cdot 10^9 \text{ лм/м}^2$;
- Колба люмінесцентної лампи – $M = 22 \cdot 10^3 \text{ лм/м}^2$.

Яскравість поверхні випромінювача світла – це фізична величина, яка дорівнює світловому потоку з одиниці площі видимої поверхні випромінювача в одиниці тілесного кута. Яскравість елементарної поверхні dS у будь-якому напрямку визначається виразом:

$$L_\alpha = \frac{dI_\alpha}{dS \cdot \cos \alpha}, \quad (1.13)$$

де α – кут між обраним напрямком та нормаллю до виділеної ділянки поверхні. Таким чином, яскравість світловипромінюючої поверхні джерела світла залежить від кута, під яким видно цю поверхню. Для вибраного кута вона дорівнює відношенню сили світла ділянки світловипромінюючої

поверхні площиною dS у визначеному напрямку до проекції цієї поверхні на площину, перпендикулярну вибраному напрямку. Одиницею вимірювання яскравості є кандела, поділена на квадратний метр ($\text{кд}/\text{м}^2$). Вона має також назву ніт (нт).

Яскравості деяких джерел випромінювання наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Середні яскравості поверхонь, що випромінюють або відбивають світло

Об'єкт	Яскравість, $\text{кд}/\text{м}^2$
Поверхня Сонця	$2 \cdot 10^9$
Люмінесцентні лампи	$5000 \div 15000$
Поверхня повного Місяця	2500
Штучне освітлення дороги (30 лк)	2

Колірна температура T_K – це температура абсолютно чорного тіла за шкалою Кельвіна, при якій це тіло створює випромінювання такого самого кольору, як і випромінювач світла, що розглядається. Вона є мірою об'єктивного кольорового враження про випромінювання. На колірному графіку колірна температура джерела світла визначається положенням точки, яка відповідає кольору його випромінювання на лінії чорного тіла. Коли ж кольоровість джерела випромінювання відтворюється точкою, яка не лежить на лінії чорного тіла, то вона оцінюється корельованою колірною температурою $T_{K,k}$, значення якої визначається за найближчою точкою лінії чорного тіла на рівноконтрастному колірному графіку рис. 1.4.

Коефіцієнт кольоропередачі (загальний індекс кольоропередачі) R_a оцінює достовірність сприйняття кольорових об'єктів зором при освітленні їх даним світловим випромінювачем порівняно з освітленням їх еталонним джерелом (найчастіше, сонячним світлом). Максимальне його значення $R_{a_{max}} = 100$ (сонячне світло). Значенням $R_a = 91 \dots 100$ відповідає дуже добра кольоропередача, $R_a = 81 \dots 89$ – добра, $R_a = 51 \dots 81$ – середня, а $R_a < 51$ – слабка.

Загальний індекс кольоропередачі випромінювачів світла іноді доповнюють спеціальними індексами R_i , які характеризують передачу кольорів більшої насиченості (червоного, жовтого, зеленого, синього), а також кольорів шкіри людей та зеленого листя.

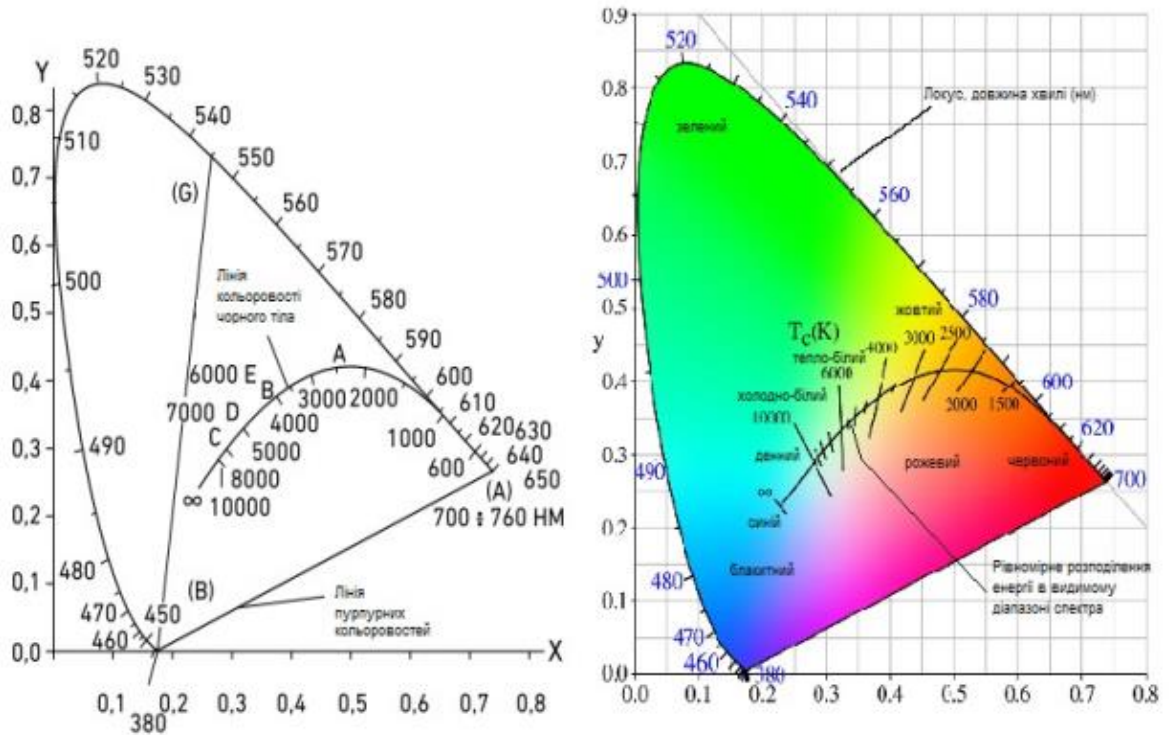


Рисунок 1.4 – Колірний графік та принципи визначення корельованої колірної температури

Зазвичай колір джерел світла (рис. 1.5) поділяють на три основні групи: теплий ($T_K \leq 3000$ K), нейтральний ($T_K = 3000...5000$ K) та холодний ($T_K > 5000$ K). Колір випромінювання джерел світла з колірною температурою $T_K = 2700$ K називають надтеплим, з $T_K = 3000$ K – теплим, з $T_K = 4000$ K – натуральним білим або просто білим, а з $T_K > 5000$ K – холодним білим або денним. Коли, наприклад, $T_K = 2500...2700$ K, то у видимому випромінюванні переважають помаранчево–червоні промені. При освітленні предметів джерелом світла з цими значеннями колірної температури підсилюються теплі кольорові тони (червоні, помаранчеві, коричневі) і слабшають холодні

(зелені, блакитні, фіолетові), через що подібні джерела світла мають невисоку достовірність кольоропередачі. Вона може бути поліпшена (до $T_K = 3500...4000\text{ K}$) за рахунок використання світлофільтрів та кольорових колб, які частково поглинають помаранчево–червоні промені. Проте при цьому одночасно на 30-35 % зменшується світловий потік, який випромінюється джерелом світла.

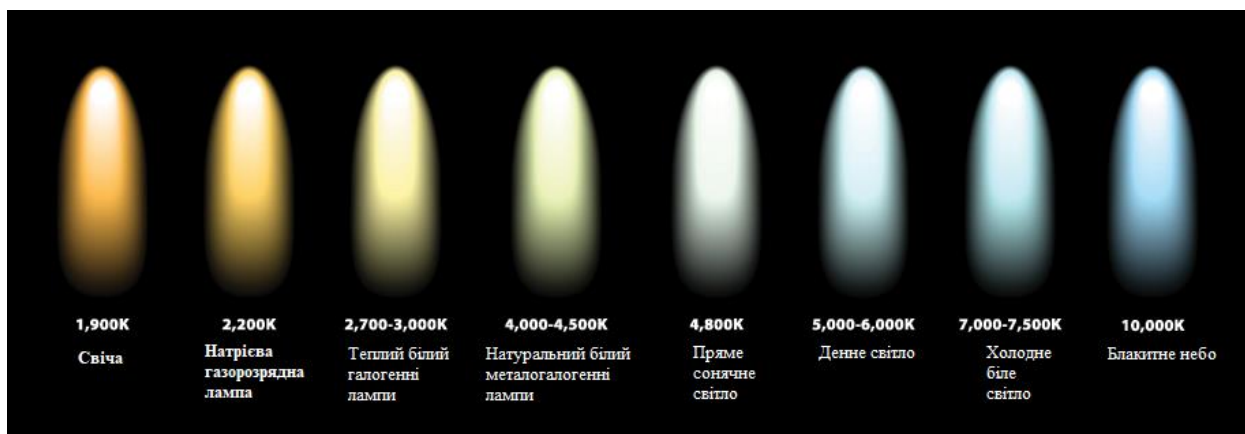


Рисунок 1.5 – Кольори джерел світла

Випромінювання Сонця і штучних джерел, які застосовуються на практиці, неоднорідні і складаються з випромінювань різних довжин хвиль. Якщо видиму частину складного випромінювання, що створює відчуття білого світла, розкласти за допомогою призми на однорідні потоки, то кожен з них буде мати свій характерний колір. Око людини здатне розрізняти більше 150 кольорових відтінків, відповідних випромінювань різних довжин хвиль. Кольорові відтінки плавно переходять одне в одне.

Численними дослідженнями встановлені залежності функцій зору від умов штучного освітлення. Ними керуються при нормуванні кількісних і якісних характеристик промислових освітлювальних установок і при розробленні рекомендацій з вибору джерел світла, систем і способів штучного освітлення. Збільшення освітленості у виробничих приміщеннях і в місцях виробництва зовнішніх робіт позитивно впливає на такі функції зору,

як гострота, стійкість ясного бачення, швидкість розрізнення, контрастна чутливість.

При підвищенні контрасту між об'єктом розрізнення та фоном, на якому об'єкт розглядається, зорова працездатність збільшується. Вона також залежить від співвідношення яскравості робочої зони та навколишнього фону, що потрапляє в поле зору працюючого: зі збільшенням цього співвідношення працездатність знижується. Більш сприятливе співвідношення яскравостей має місце при системі загального освітлення, менш сприятливе – при комбінованому освітленні. В останньому випадку умови зорової роботи поліпшуються при підвищенні яскравості фону, що досягається підвищенням коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщень (стін, стелі, підлоги) і виробничого обладнання. Однак занадто світлі поверхні стін, підлоги та обладнання можуть впливати негативно, а в ряді випадків неприпустимі.

Багато виробничих операцій вимагають певного напрямку світла, при якому на робочій поверхні створюються найбільш сприятливі умови зорової роботи – наприклад, краще виявляються деталі, зникають або з'являються мікротіні, усувається дзеркальне відбиття джерел світла, що потрапляє в поле зору, і т. ін. Зазначені умови досягаються застосуванням систем загального або комбінованого освітлення, вибором найбільш доцільних для даних умов освітлювальних приладів (ОП) загального та місцевого освітлення і їх розташування по відношенню до робочих місць.

Погіршення функцій зору викликають пряма блискість, тобто надмірна яскравість джерел світла і освітлювальних установок, і відбита блискість – дзеркальне відбиття світлового потоку від робочої поверхні в напрямку очей працюючих. Властивість великих яскравостей створювати засліпленість – це блискість. Негативна дія блискоті на зір тим більша, чим точніша, напруженіша і триваліша зорова робота. За наявності блискоті знижується продуктивність праці, підвищуються зорова і загальна втома.

Обмеження прямої блискоті досягається вибором ОП з оптимальними для даних умов світлотехнічними характеристиками і їх правильним розміщенням. Важче усувати відбиту блискість.

Негативний вплив на зір чинять також пульсації освітленості при живленні розрядних ламп струмом промислової частоти (50 Гц), які не тільки викликають стомлення зору, а й можуть призводити до виникнення небезпечного стробоскопічного ефекту – явища перекручення зорового сприйняття об'єктів, що обертаються, рухаються або змінюються в мигаючому світлі. Воно виникає при збігу кратності частотних характеристик руху об'єктів і зміні світлового потоку в часі в освітлювальних установках з газорозрядними джерелами світла, які живляться змінним струмом. У такому разі рухома деталь може спостерігатися працівником нерухомою. Це значно підвищує небезпеку травматизму. Тому в освітлювальних установках повинні вживатися заходи щодо зниження пульсації до рівня, встановленого нормами, наприклад використання місцевого освітлення з застосуванням ламп розжарювання.

Контрольні запитання

1. Перелічіть основні світлотехнічні величини.
2. Чим характеризується світловий потік джерела випромінювання?
3. Що називають потоком випромінювання?
4. Чим відрізняються світловий потік і потік випромінювання?
5. Як визначити світлову ефективність джерела випромінювання?
6. Що називають світловою віддачею джерела випромінювання?
7. Як побудований графік спектральної щільності потоку?
8. Що називають силою випромінювання джерела і в яких одиницях вона вимірюється?
9. Чим відрізняються щільність випромінювання і щільність опромінення?

10. Що називають освітленістю і в яких одиницях вона вимірюється?
11. Поясніть залежність між силою світла та освітленістю поверхні.
12. Що таке світність, в яких одиницях вона вимірюється і чим відрізняється від енергетичної світності?
13. Як визначити яскравість поверхні і в яких одиницях вона вимірюється?
14. Поясніть термін «колірна температура».
15. Що характеризує коефіцієнт кольоропередачі? Наведіть приклади.
16. На які групи поділяють температурні кольори джерел світла?
17. На які зорові функції впливає рівень освітленості у виробничих приміщеннях?
18. Як впливає контраст між яскравістю об'єкту розрізнення і фону, на якому він розташований, на зорові функції людини?
19. Як надмірна яскравість джерел світла впливає на зорові функції людини?
20. Чим є небезпечними пульсації освітлення для зорової системи людини?

Лекція 3

Вимірювання характеристик оптичного випромінювання

Всі характеристики оптичного випромінювання, які є важливими для врахування при розробці та використанні освітлювальної техніки, мають вимірюватись (кількісно оцінюватись). Джерелами світла можуть бути як випромінюючі поверхні, так і поверхні, крізь які світло проходить, поглинаючись, заломлюючись, відбиваючись або розсіюючись при цьому.

В установках і приладах для освітлення і опромінення для вимірювання оптичного випромінювання застосовують різноманітні матеріали, як прозорі, так і непрозорі. При проектуванні та експлуатації освітлювальних і опромінювальних установок необхідно знати основні оптичні (світлотехнічні) властивості матеріалів.

Потік випромінювання, що падає на тіло з непрозорого матеріалу, частково поглинається ним, а частково відбивається. Якщо тіло прозоре, то, крім відбиття і поглинання, частину потоку випромінювання воно пропускає крізь себе. Для кількісної оцінки відбиття, розсіювання, поглинання і пропускання користуються відповідними коефіцієнтами.

В залежності від властивостей поверхні тіла і внутрішньої структури відбитий і пропущений тілом потік випромінювання може по-різному розподілятися у просторі. Розрізняють три види відбиття і пропускання: 1) спрямоване, 2) розсіяне (дифузне) і 3) направлено-розсіяне (рис. 3.1).

Спрямоване (дзеркальне) відбиття характерне гладким поверхням, у яких розміри нерівностей малі в порівнянні з довжиною хвилі падаючого випромінювання (полірований метал, дзеркальне скло). При направленому (спрямованому) відбитті кут відбиття дорівнює куту падіння, а відбитий промінь перебуває в одній площині з падаючим променем і перпендикуляром до поверхні, що відбиває промінь в точці падіння. Ідеальні дзеркала мають яскравість тільки в напрямку відбитого променя, а у всіх інших напрямках їх

яскравість дорівнює нулю. При направленому пропусканні значення тілесного кута, в межах якого поширюється пройдений потік, також залишається незмінним.

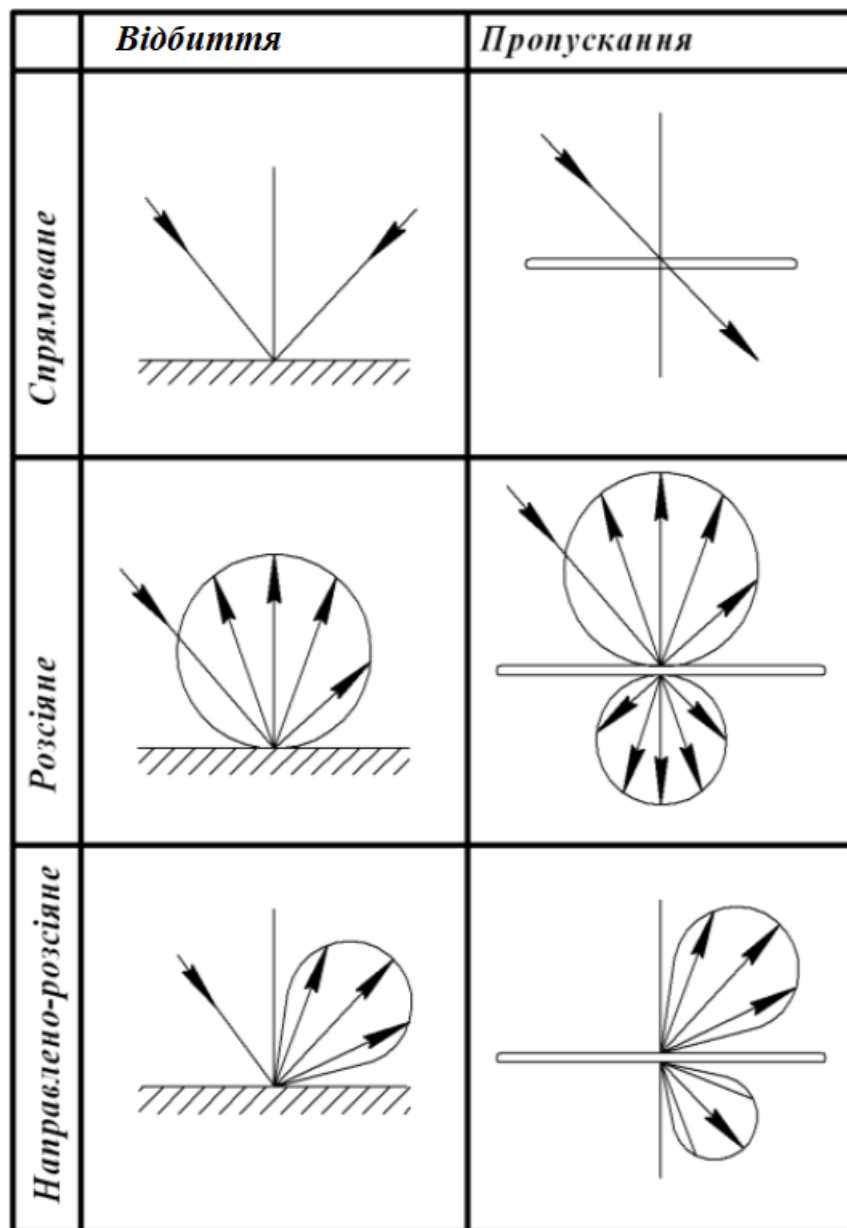


Рисунок 3.1 – Види відбиття і пропускання потоку випромінювання.

У випадку розсіяного або дифузного відбиття і пропускання від плоскої поверхні тілесний кут, в межах якого поширюється відбитий або пройдений тілом потік випромінювання, дорівнює 2π . Відбите активне

випромінювання при цьому поширюється рівномірно по всіх напрямках півсфери. Яскравість такої поверхні у всіх напрямках практично однакова.

У поверхонь з розсіяним відбиттям (гіпс, фарба) нерівності значно перевищують довжину хвилі падаючого випромінювання. Дифузні пропускання має «молочне» скло. Об'ємне розсіювання випромінювання обумовлено наявністю в складі тіл частинок речовин з різними показниками заломлення.

Матеріалів з ідеально дзеркальним, ідеально дифузним відбиттям або пропусканням в природі немає. У існуючих матеріалів є обидві різновиди відбиття або пропускання одночасно. У опромінюючих і освітлювальних приладах застосовують матеріали з направлено-розсіяним відбиттям і пропусканням.

Відношення потоку випромінювання Φ_ρ , який відбився від поверхні тіла до потоку випромінювання Φ_0 , який падає на цю поверхню, називають коефіцієнтом відбиття:

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi_0}. \quad (3.1)$$

Відношення потоку випромінювання Φ_σ , який розсіяний поверхнею тіла до потоку випромінювання Φ_0 , який падає на цю поверхню, називають коефіцієнтом розсіювання:

$$\sigma = \frac{\Phi_\sigma}{\Phi_0}. \quad (3.2)$$

Відношення потоку випромінювання Φ_α , який поглинутий поверхнею тіла, до потоку випромінювання Φ_0 , який падає на цю поверхню, називають коефіцієнтом поглинання:

$$\alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi_0}. \quad (3.3)$$

Відношення потоку випромінювання Φ_τ , який пройшов крізь середовище, до потоку випромінювання Φ_0 , який падає на поверхню цього середовища, називають коефіцієнтом пропускання:

$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi_0}. \quad (3.4)$$

Коефіцієнти відбиття, розсіювання, поглинання і пропускання можуть ставитися до інтегрального потоку випромінювання, потоків випромінювання окремих ділянок оптичного спектру (видимий, ультрафіолетовий, інфрачервоний) або до ефективних потоків (світловий, бактерицидний і т. ін.). Відповідно до закону збереження енергії у всіх випадках:

$$\Phi = \Phi_\rho + \Phi_\sigma + \Phi_\alpha + \Phi_\tau. \quad (3.5)$$

Слід зазначити, що потік розсіяного від поверхні тіла потоку випромінювання також відноситься до відбитого випромінювання, тому часто у формулі (3.5) можна зустріти лише 3 складові потоків, в яких відбиті дзеркальні та розсіяні складові випромінювання поєднані одним коефіцієнтом ρ .

Відповідно, для одного й того самого потоку, що падає на поверхню тіла, можна записати:

$$\rho + \sigma + \alpha + \tau = 1. \quad (3.6)$$

Різні тіла по-різному пропускають, відбивають, поглинають чи розсіюють монохроматичні потоки випромінювання з різними довжинами хвиль. При відбитті та розсіюванні відповідні коефіцієнти залежать від співвідношень розмірів нерівностей на поверхнях тіл до відповідних довжин хвиль. Властивості атомів речовини тіла впливають на залежність коефіцієнту поглинання випромінювання від довжини електромагнітної хвилі. Будова речовини тіла (наприклад, кристалічної ґратки) впливає на здатність пропускати через середовище електромагнітні хвилі. Ця здатність також є залежною від довжини хвилі випромінювання, при цьому,

електромагнітні хвилі, які проходять крізь середовище, зазнають заломлення на границі двох середовищ з різними оптичними характеристиками. З цієї причини, при визначенні відповідних складових загального потоку Φ або відповідних коефіцієнтів користуються поняттями спектральних потоків та спектральних коефіцієнтів. При визначенні цих потоків та коефіцієнтів користуються значеннями які відповідають монохроматичним потокам відповідних довжин хвиль у складі загального випромінювання і відповідним цим монохроматичним потокам коефіцієнтам:

$$\rho_\lambda = \frac{\Phi_{\lambda\rho}}{\Phi_\lambda}; \sigma_\lambda = \frac{\Phi_{\lambda\sigma}}{\Phi_\lambda}; \alpha_\lambda = \frac{\Phi_{\lambda\alpha}}{\Phi_\lambda}; \tau_\lambda = \frac{\Phi_{\lambda\tau}}{\Phi_\lambda}, \quad (3.7)$$

де Φ_λ – монохроматичний потік, що падає на поверхню об'єкта; $\Phi_{\lambda\rho}$, $\Phi_{\lambda\sigma}$, $\Phi_{\lambda\alpha}$, $\Phi_{\lambda\tau}$ – відповідно, відбитий, розсіяний, поглинутий та пропущений монохроматичні потоки такої самої довжини хвилі λ , що й падаючий на поверхню тіла монохроматичний потік випромінювання.

Якщо відомий спектральний склад падаючого випромінювання і залежності спектральних коефіцієнтів від довжини хвилі λ , то інтегральні коефіцієнти відбивання, розсіювання, поглинання і пропускання можна обчислити, користуючись формулами:

$$\rho = \frac{\int_0^\infty \Phi_\lambda(\lambda) \cdot \rho_\lambda(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^\infty \Phi_\lambda(\lambda) \cdot d\lambda}; \quad (3.8)$$

$$\sigma = \frac{\int_0^\infty \Phi_\lambda(\lambda) \cdot \sigma_\lambda(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^\infty \Phi_\lambda(\lambda) \cdot d\lambda}; \quad (3.9)$$

$$\alpha = \frac{\int_0^\infty \Phi_\lambda(\lambda) \cdot \alpha_\lambda(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^\infty \Phi_\lambda(\lambda) \cdot d\lambda}; \quad (3.10)$$

$$\tau = \frac{\int_0^\infty \Phi_\lambda(\lambda) \cdot \tau_\lambda(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^\infty \Phi_\lambda(\lambda) \cdot d\lambda}; \quad (3.11)$$

При визначенні сумарних коефіцієнтів для ефективних потоків у підінтегральних виразів кількість чисельників і знаменників виразів (3.8) – (3.11) повинна входити в якості множника величина $K(\lambda)$ – відносна спектральна чутливість (див. рис. 1.3 лекції 1, застаріла назва – видність,

яка подається на сучасних графіках у вигляді множників $K(\lambda) = K_{max} \cdot V(\lambda)$), за якою визначається ефективний потік випромінювання. Наприклад, при визначенні сумарного коефіцієнта відбиття світлового потоку розрахункова формула буде мати такий вигляд:

$$\rho_{\Sigma} = \frac{\int_0^{\infty} \Phi_{\lambda}(\lambda) \cdot K(\lambda)_{\Sigma} \cdot \rho_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_{\lambda}(\lambda) \cdot K(\lambda)_{\Sigma} \cdot d\lambda}; \quad (3.12)$$

Для видимого спектру випромінювання межі інтегрувань будуть від 380 до 760 нм, відповідно.

Для того, щоб оцінювати кількісно характеристики джерел випромінювання, а також поверхонь тіл, які відбивають (розсіюють) випромінювання чи пропускають крізь себе, використовують ряд вимірювальних пристроїв, які називають вимірювальними приймачами оптичного випромінювання. Окрім вимірювальних приймачів оптичного випромінювання існують також приймачі, наприклад, мікрохвильового або рентгенівського випромінювань.

В залежності від фізичних явищ, які визначають принцип дії, приймачі оптичного випромінювання поділяються на три групи: фотоелектричні, фотоелектронні і теплові.

Фотоелектричні приймачі оптичного випромінювання побудовані на явищі внутрішнього (або вентильного) фотоефекту, яке спостерігається у напівпровідникових матеріалах та використовується у фоторезисторах, фотодіодах, фототранзисторах тощо, в яких енергія електромагнітного випромінювання оптичного діапазону довжин хвиль призводить до зміни провідності напівпровідникових ділянок електричного кола або до збудження електрорушійної сили на межах напівпровідників і металів (напівпровідників різного типу провідності). Принципова будова фотоелектричного приймача оптичного випромінювання показана на рис. 3.2.

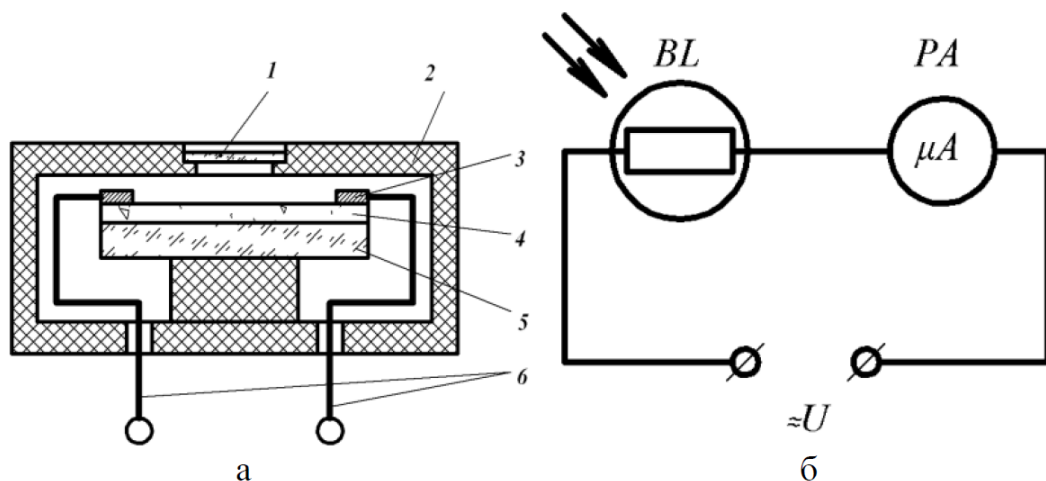


Рисунок 3.2 – Конструкція (а) і схема включення фоторезистора (б):

1 – захисний прозорий шар; 2 – корпус; 3 – електрод; 4 – шар напівпровідника; 5 – підкладка (ізолятор); 6 – відводи.

Фотоелектронні приймачі на основі фоторезисторів можуть бути використані як на постійному, так і на змінному струмі. Під дією оптичного випромінювання провідність фоторезистора збільшується, і струм в колі зростає. Характеристика деяких фоторезисторів наведено в табл. 3.1, а деякі спектральні характеристики – на рис. 3.3.

Таблиця 3.1

Основні характеристики деяких фоторезисторів

Марка	Спектральна характеристика за рис. 3.3	Робоча напруга, В	Інтегральна чутливість, мкА/лм	Габарити, мм
ФС-А1	-	40	500	24
ФС-К1	2	220	1200	28
ФС-К2	3	220	6000	28
ФС-КМ1	4	150	30000	28
ФС-КМ2	5	150	20000	20
СФ2-1	6	15	10	12
СФ3-1	7	15	20	20

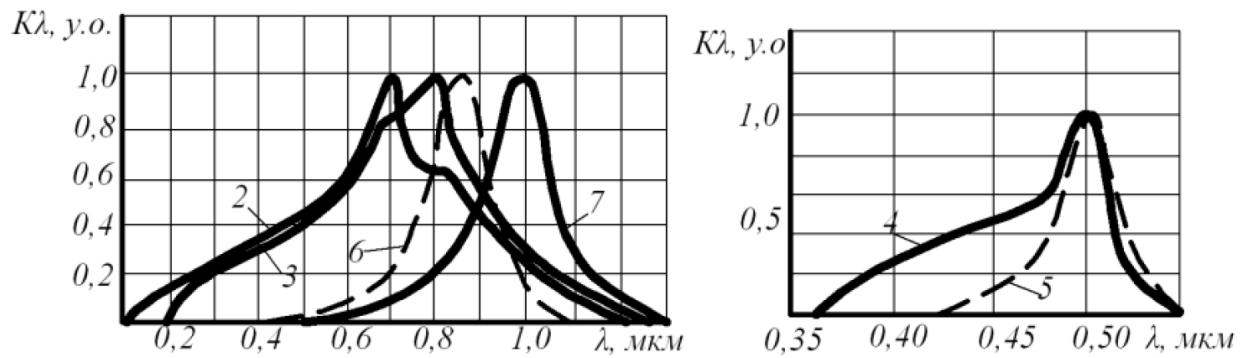


Рисунок 3.3 – Спектральні чутливості фоторезисторів.

Маркування фоторезисторів, що виготовлялись (виготовляються) за стандартами колишнього СРСР, формуються наступним чином. Літери **ФС** (у оновлених стандартах – **СФ**) означають фоточутливий опір (фоточувствительное сопротивление, рос.). Наступною позначкою у маркуванні є літера, яка означає фоточутливий матеріал і за старими стандартами означає: **А** – сірчистий свинець; **К** – сірчистий кадмій; **Д** – селенистий кадмій, а за новими стандартами замість літери використовують цифри: **1** – сірчистий свинець; **2** – сірчистий кадмій; **3** – селенистий кадмій; **4** – селенистий свинець. Третім елементом маркування є цифра, що означає конструктивне виконання фоторезистора. Іноді у старих маркуваннях замість цифри, що означає конструктивне виконання, можна зустріти літеру: **Г** – герметизований; **П** – плівковий.

Важливою характеристикою фоторезисторів є постійна часу τ , яка характеризує інерційність фоторезисторів.

Також під впливом випромінювання оптичного діапазону хвиль в області $p-n$ переходів діодів та транзисторів збільшується зворотній струм у цих переходах, який також може бути виміряний. При цьому, на відміну від фоторезисторів, фотодіоди та фототранзистори застосовуються в колах постійного струму зі зворотним включенням $p-n$ переходів. Приклад схеми вимірювання оптичного випромінювання за допомогою фотодіоду представлено на рис. 3.4.

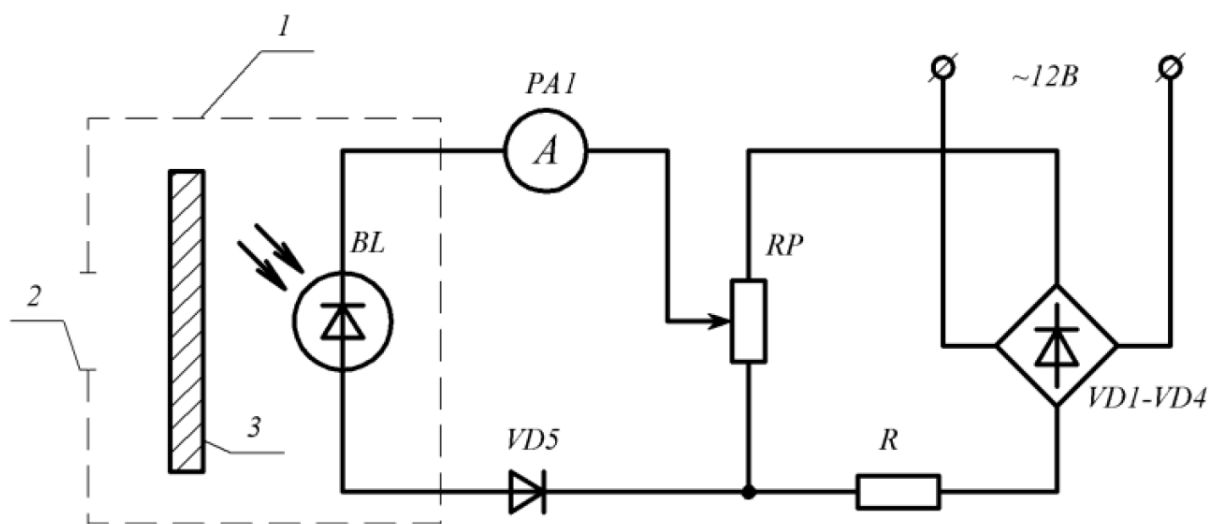


Рисунок 3.4 – Схема вимірювача опроміненості з фотодіодом: BL – фотодіод ФД-6Г; RP – потенціометр; PA1 – мікроамперметр; R – обмежувач опір; VD1...VD4 – випрямний міст; VD5 – блокуючий діод; 1 – корпус вимірювача; 2 – вікно; 3 – світлофільтр.

Деякі характеристики поширених фотодіодів наведено в табл. 3.2, а спектральні характеристики чутливості фотодіодів, виготовлених на основі кремнію та германію, наведені на рис. 3.5.

Таблиця 3.2

Основні характеристики фотодіодів поширених типів

Марка	Матеріал фотошару	Коефіцієнт струму, мА/лм	Робоча напруга, В	Площа фотошару, мм ²	Діапазон температур, °С
ФД-1	Германій	20	15	5,0	-60...+40
ФД-2	Германій	10...20	30	1,1	-40...+45
ФД-3	Германій	20	10	2,5	-60...+60
ФД-К1	Кремній	3	20	1,0	-50...+80
ФД-СК	Кремній	20	20	1,0	-100...+100
КФДМ	Кремній	15	20	10,0	-60...+75

При літерно-цифровому маркуванні фотодіодів, що виготовлялись (виготовляються) за стандартами колишнього СРСР, використовуються наступні символи. Перша літера – означає матеріал напівпровіднику

(наприклад, **К** – кремній, **Г** – германій, **А** – галій, **И** – індій), а в старих маркуваннях першою літерою є літера **Ф**, яка означає принцип дії – фотоперетворювач. Друга літера означає тип (підклас) напівпровідникового приладу (**Д** – випрямні та імпульсні діоди, **В** – варикапи, **И** – тунельні діоди, **С** – стабілітрони, **А** – СВЧ-діоди, **Ц** – випрямні блоки, **Г** – генератори шуму, **Л** – випромінюючі прилади, **О** – оптоелектронні пари). Для типу діодів (друга літера **Д**) третім символом є цифра, що позначає: **1** – випрямні діоди із середнім значенням прямого струму до 0,3 А; **2** – випрямні діоди із середнім значенням прямого струму від 0,3 до 10 А; **4** – імпульсні діоди з часом відновлення зворотного пору більше 500 нс; **5** – імпульсні діоди з часом відновлення зворотного пору від 150 до 500 нс; **6** – імпульсні діоди з часом відновлення зворотного пору від 30 до 150 нс; **7** – імпульсні діоди з часом відновлення зворотного пору від 5 до 30 нс; **8** – імпульсні діоди з часом відновлення зворотного пору від 1 до 5 нс; **9** – імпульсні діоди з часом відновлення зворотного пору менше 1 нс. Наступна літера або цифра може визначати різновид приладу.

За європейським маркуванням перша літера в маркуванні фотодіоду визначає матеріал напівпровіднику (**А** – германій, **В** – кремній, **С** – арсенід галію, **Р** – сульфід кадмію). Друга літера означає тип напівпровідникового приладу (**Р** – фотодіод або фототранзистор). Третій елемент – цифровий код, що означає серійний номер приладу (від 100 до 999 для приладів загального застосування; від Z10 до A99 для приладів спеціального застосування). Четвертий елемент – літера, що означає модифікацію приладу.

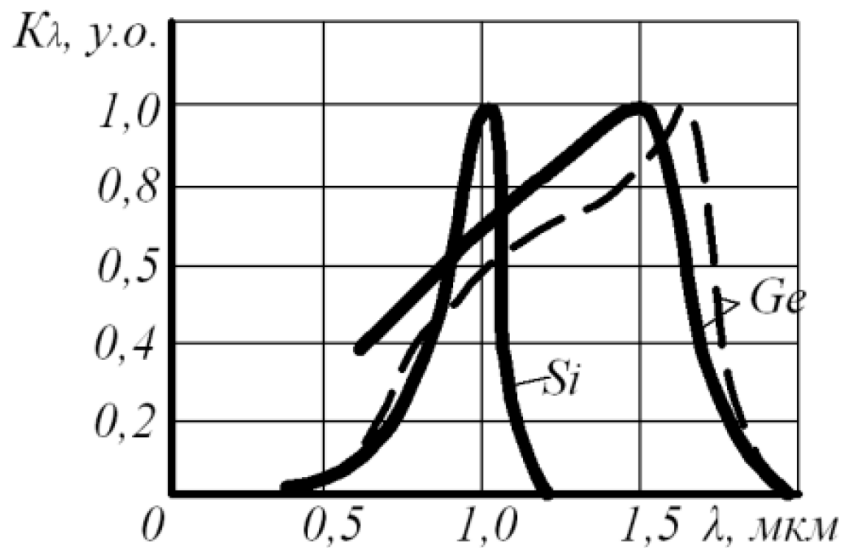


Рисунок 3.5 – Спектральні чутливості світлодіодів на основі германію та кремнію.

За японською системою маркування фотодіоди позначаються наступним маркуванням. Перший символ – цифра **0**, що означає фотодіод (якщо цифра більша за 0 – це напівпровідникові прилади, в яких цифра означає кількість p - n переходів). Другий символ – завжди літера **S** (означає напівпровідниковий прилад – semiconductor). Третій символ – літера, що означає тип напівпровідникового приладу (наприклад, **R** – випрямний діод; **T** – лавинний діод). Наступні 2-4 цифри визначають серійний номер приладу (від 10 до 9999). Наступні 1 або 2 літери визначають модифікацію приладу.

Дія фотоелементів із запираючим шаром заснована на явищі виникнення електрорушійної сили на електродах приладу при впливі на нього оптичного випромінювання. Вентильний фотоелемент (рис. 3.6) являє собою струмопровідну підкладку 1, на яку нанесено шар напівпровідника 2 (окис міді, селен, сірчисте срібло) і тонкий прозорий електрод 3 з срібла, золота або платини.

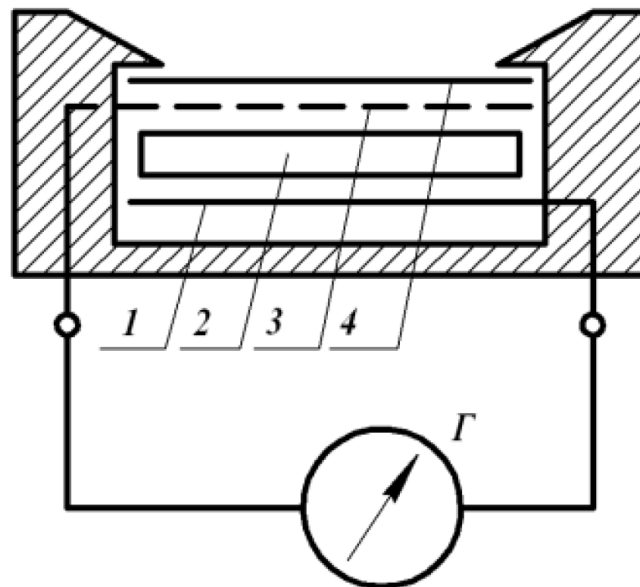


Рисунок 3.6 – Принцип використання вентильного фотоелементу.

Для захисту напівпровідника від впливу навколишнього середовища фотоелемент поміщений в пластмасовий корпус і покритий шаром прозорого захисного лаку 4. При опроміненні фотоелемента електрони долають замикаючий шар, що утворився на границі напівпровідника 2 і електрода 3, причому зворотний перехід електронів за рахунок вентильних властивостей запираючого шару неможливий. Накопичення зарядів протилежного знаку на електродах створює різницю потенціалу, під дією якої в зовнішньому колі із вимірювальним приладом Γ тече струм.

У практиці вимірювання частіше за все використовуються селенові фотоелементи, спектральна чутливість яких до видимого випромінювання близька до чутливості очей людини.

Вентильні фотоелементи не потребують додаткового джерела живлення, мають значну чутливість, струм короткого замикання фотоелементів в певних межах майже пропорційний опроміненості і становить декілька десятків мікроампер, що дозволяє підключати їх безпосередньо до вимірювального приладу без попереднього підсилювача.

Наступний вид приймачів оптичного випромінювання – фотоелектронні приймачі. Дія фотоелектронних приймачів заснована на явищі зовнішнього фотоефекту – емісії електронів з поверхонь матеріалів під дією зовнішнього випромінювання.

Катоди фотоелементів виготовляють з матеріалів, що мають властивість поглинати оптичне випромінювання необхідного діапазону хвиль і випускати електрони під дією цього випромінювання.

Фотоелементи можуть бути вакуумними і газонаповненими. У вакуумних елементах фотострум визначається потоком електронів, які залишили катод під дією випромінювання. У газонаповнених фотоелементах фотострум підсилюється за рахунок іонізації інертних газів порожнини колби фотоелементу під дією потоку електронів, які залишили катод при його опроміненні.

На рис. 3.7 зображено фотоелемент із зовнішнім фотоефектом і його схема включення.

Ефективний квант, що володіє певним рівнем енергії, «вибиває» з катода K електрон, який в електричному полі балона направляється до анода A , викликаючи фотострум в зовнішньому колі. Фотострум пропорційний числу ефективних квантів. Для отримання такого ж струму від сусідніх (активних) квантів потрібно більшу їх кількість. Кванти, частота яких знаходиться за межами чутливості фотоелемента, фотоструму не викликають незалежно від їх енергій. Катоди фотоелементів виконуються з різних з'єднань срібла, цезію, сурми і кисню, що мають малу роботу виходу електронів. Реакція фотоелементу на випромінювання оцінюється фотострумом тому його інтегральна чутливість K_ϕ до джерела A вимірюється в $A/лм$. Чутливість фотоелементу можна значно підвищити, наповнивши його балон інертним газом. Електрон, прискорений електричним полем міжелектродного простору, вибиває з нейтральної молекули інертного газу додаткові електрони, збільшуючи фотострум.

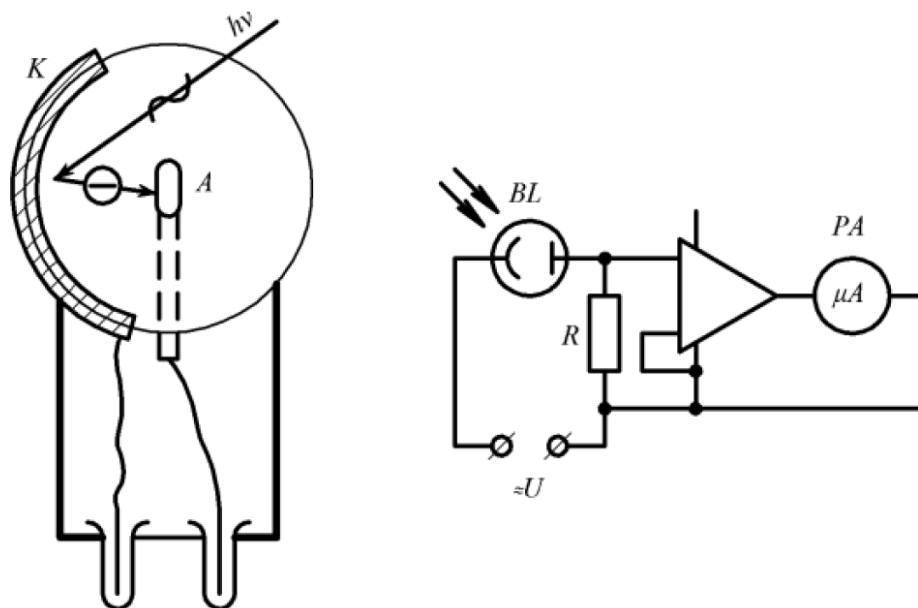


Рисунок 3.7 – Будова і принципова схема дії фотоелементу, що базується на зовнішньому фотоефекті.

Чутливість може бути ще більш збільшена, якщо в балоні фотоелементу встановити кілька додаткових електродів з поступовим зниженням потенціалу від аноду до катоду. Такі фотоелементи називаються фотопомножувачами (фотоелектронними помножувачами). На рис. 3.8 представлено спрощену схему фотопомножувача.

Фотон вхідного оптичного сигналу поглинається напівпрозорим фотокатодом, нанесеним на внутрішню поверхню вікна ФЕП. Енергія фотона передається електрону і, якщо набута електроном енергія більша за роботу виходу матеріалу фотокатоду, то електрон вилітає з матеріалу всередину ФЕП. Утворений таким чином фотоелектрон потрапляє в електричне поле електростатичної лінзи, яка збирає всі фотоелектрони на першому диноді E1. Диноди E1–E4 – це емітери вторинних електронів, які у разі попадання на них одного первинного електрона випускають декілька вторинних електронів (коефіцієнт вторинної емісії $\sigma_e = 3 \div 10$). За допомогою подільника напруги (резисторів R1–R5) напруга високовольтного джерела живлення ($U = 1 \div 2$ кВ) розподіляється між динодами, утворюючи для електронів таке

прискорювальне поле, за якого вони послідовно рухаються від одного динода до іншого, набуваючи потрібної енергії (приблизно 100 еВ) і лавиноподібно збільшуючи кількість електронів у фотострумі.

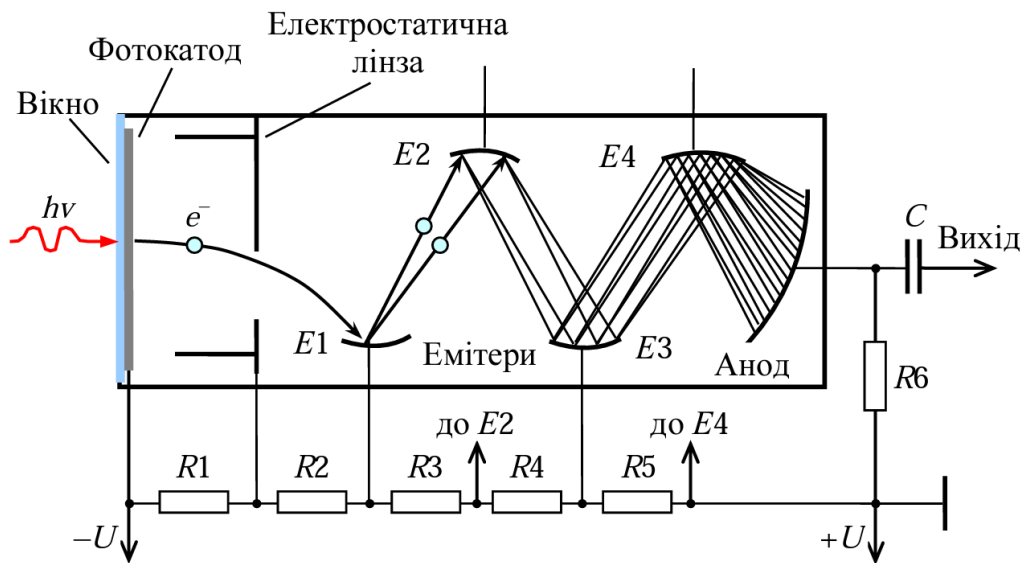


Рисунок 3.8 – Спрощена принципова схема фотопомножувача.

На рис. 3.9 приведено спектри чутливості фотоелементів із зовнішнім фотоелементом, а у таблиці 3.3 приведено характеристики деяких фотоелементів:

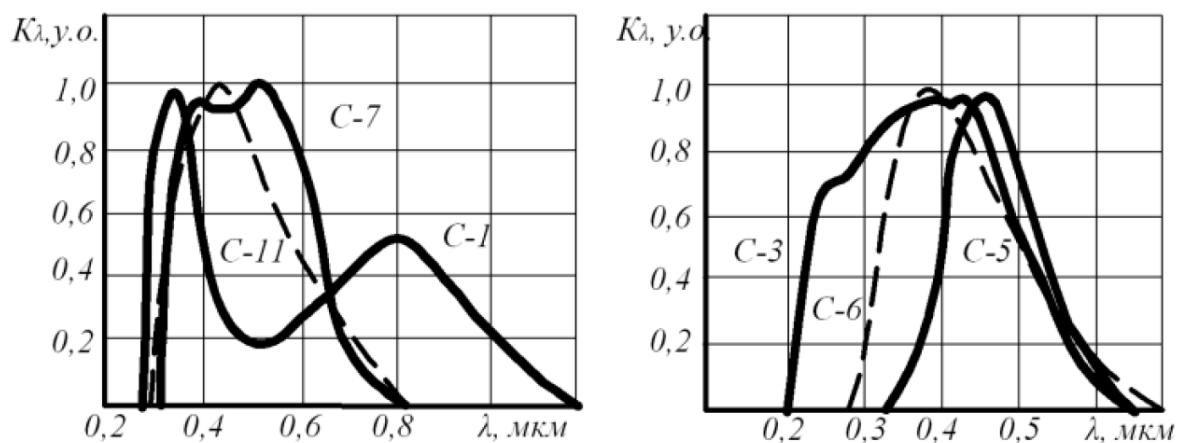


Рисунок 3.9 – Спектральні чутливості фотоелементів із зовнішнім фотоелементом.

Таблиця 3.3

Характеристики фотоелементів, в яких застосовується зовнішній фотоэффект

Марка	Тип спектральної характеристики	Робоча напруга, В	Інтегральна чутливість, мкА/лм	Габарити, мм
Вакуумні фотоелементи				
СЦВ-4	С-2	240	100	35
СЦУ-51	С-2	240	100	25
Ф-1	С-3	100	100	20
Ф-2	С-6	100	30	20
Ф-3	С-7	100	70	20
Ф-9	С-11	150	100	20
Газополий фотоелемент				
ЦГ-4	С-2	240	200	35
Фотоелектронні помножувачі				
ФЭУ-27	С-7	1100	1000	25
ФЭУ-31	С-6	1400	20000	18
ФЭУ-51	С-11	2300	100000	25
ФЭУ-64	С-6	1500	1000000	5

Теплові приймачі оптичного випромінювання призначені для перетворення енергії електромагнітного випромінювання в тепло у відповідних теплочутливих елементах. Сутність вимірювань зводиться до вимірювання різниці температури теплочутливого елементу та перерахунку у відповідні значення потужності потоку випромінювання. Теплові приймачі розрізняються за способом перетворення енергії, яка поступила на чутливий елемент, в електричний сигнал.

За принципом дії теплові приймачі можна розділити на три групи: болометри, в яких використовується залежність опору металу або напівпровідника від температури; термоелектричні термометри (термоелементи), засновані на виникненні при нагріванні між двома провідниками з різних сплавів термо-ЕРС, оптико-акустичні (пневматичні) приймачі, в яких для реєстрації випромінювання використовується теплове розширення газу.

Чутливий елемент болометра представляє собою поглинаючу поверхню, у вигляді плівки, смужки або нитки. Конструктивно болометр, звичайно, виконують у вигляді двох однакових чутливих елементів, включених в плечі мостової схеми або в схему з навантажувальним опором (рис. 3.10).

У мостовій схемі один із елементів R_B служить приймачем випромінювання, а другий R_K компенсує зміни температури навколишнього середовища. Живлення схеми здійснюється від джерел постійного або змінного струму. Зміна опору в цьому колі внаслідок поглинання чутливим елементом падаючого випромінювання реєструється як зміна напруги на виході схеми, що виникає при розбалансі мосту. Як правило, ці зміни невеликі ($10^{-7} \div 10^{-9}$ В), тому необхідно застосовувати різні способи підсилення сигналу. Найчастіше для цих цілей використовують резонансні підсилювачі, налаштовані на частоту модуляції.

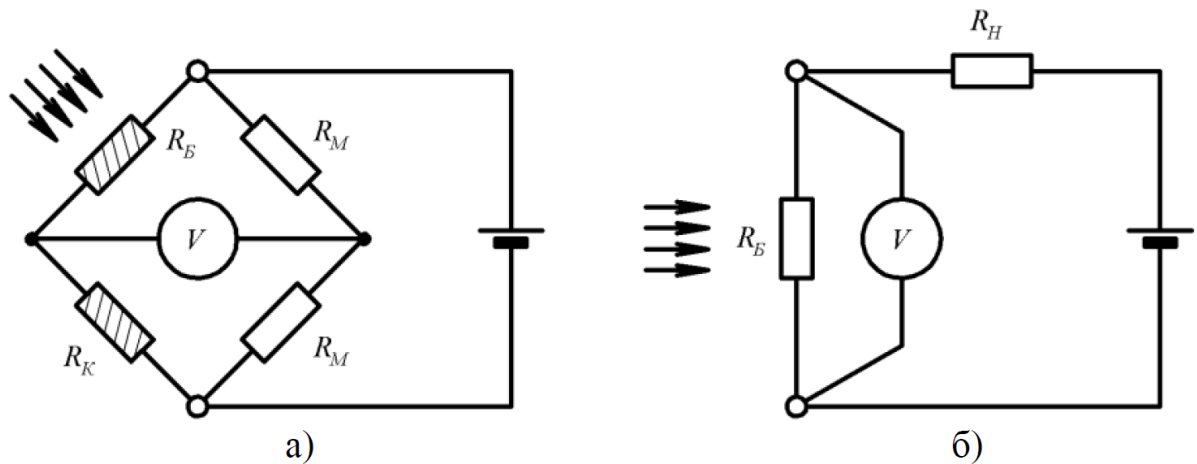


Рисунок 3.10 – Схеми включення болометрів: а) мостова; б) схема з навантажувальним опором.

До теперішнього часу широко застосовується для вимірювання температур випромінювання радіаційний термоелектричний термометр. Термопара складається з спаю двох металів, які вибираються таким чином, щоб при нагріванні спаю між холодними і гарячими кінцями провідників

виникала достатньо висока термо-ЕРС. При цьому температура холодних кінців термопар підтримується постійною. Схема включення термоелектричного термометра показана на рис. 3.11.

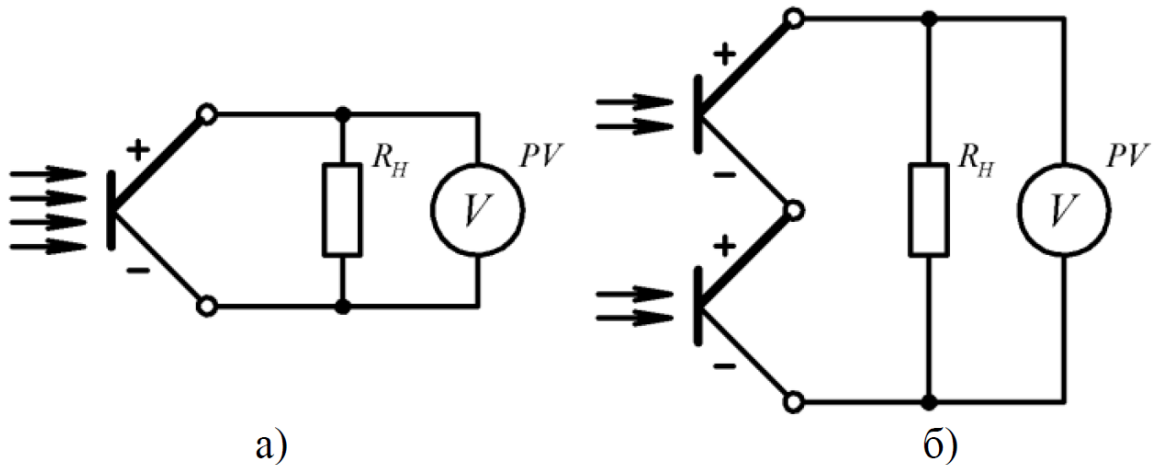


Рисунок 3.11 – Схема включення термоелектричних приймачів: а) термопара; б) термоелемент.

Неселективні радіаційні термоелементи представляють собою одну або декілька термопар, гарячі спаї яких з'єднані з зачерненими площадками. Випромінювання змінює температуру приймальної площадки і знаходяться з нею в тепловому контакті термоспаїв. Виникаюча при цьому ЕРС реєструється чутливим гальванометром.

Принцип роботи оптико-акустичних приймачів заснований на тому, що випромінювання змінює температуру розміщеного в спеціальній камері газу. Зміна об'єму газу викликає деформацію мембрани, яка реєструється оптичним або електричним способом. Оптико-акустичні приймачі – високочутливі, але дуже крихкі прилади.

Для вимірювання освітленості використовують спеціальні прилади, які називають люксметрами. Найбільш широке розповсюдження отримали переносні люксметри, що складаються з селенового фотоелемента і чутливого електровимірювального приладу.

Селеновий фотоелемент – це напівпровідниковий прилад з запираючим шаром. Принцип його дії заснований на фотоелектричному ефекті: під дією світла виникає електричний струм. Сила електричного струму, що проходить по фотоелементу, прямо пропорційна його освітленості.

Селеновий фотоелемент має криву спектральної чутливості, яка наближається до кривої чутливості ока. На рис. 3.12 показано спектри чутливості селенових фотоелементів.

Завдяки цьому за допомогою спеціальних кольорових світлофільтрів вдається отримати спектральну чутливість селенового фотоелементу, дуже близьку до спектральної чутливості ока. Застосування такого світлофільтру знижує чутливість фотоелементу.

Оскільки селеновий фотоелемент – недостатньо стійкий вимірювальний прилад і його покази можуть коливатися через зміну температури, тривалості освітлення і т. ін., для отримання більш точних результатів треба вимірювати освітленість кілька разів і усереднювати дані.

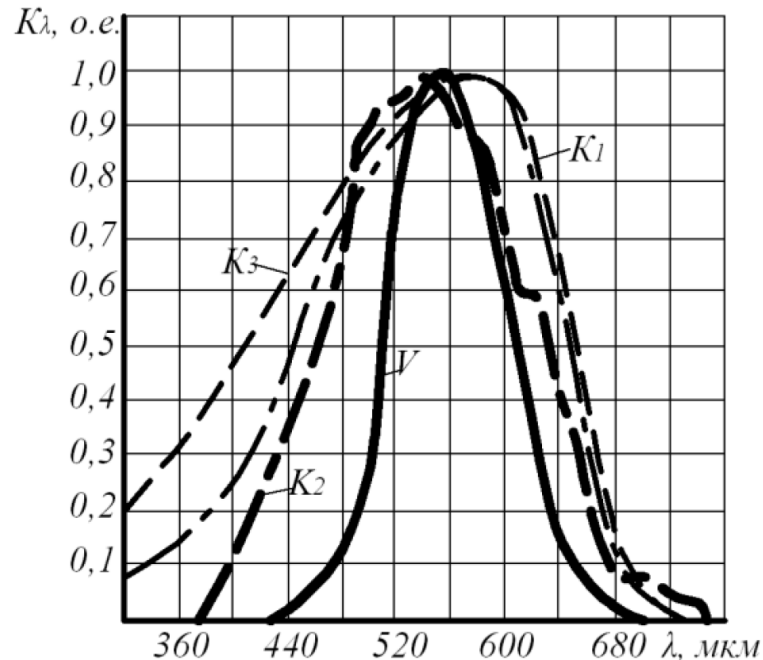


Рисунок 3.12 – Спектри чутливості селенових фотоелементів: K1 – фотоелементу люксметра Ю-117; K2 – теж з насадками КС; K3 – не коригованого фотоелементу; V – крива світності.

Промисловість випускає люксметри типу Ю-116 і Ю-117. Люксметри всіх типів містять селенові фотоелементи, вмонтовані в оправу з ручкою, і мікроамперметр, шкала якого проградуйована в люксах.

Люксметр Ю-116 проградуйований по лампі розжарювання в основних діапазонах без світлофільтрів і дає похибку вимірювань $\pm 10\%$. При переході на додаткові діапазони вимірювань похибка зростає не більше ніж на $\pm 5\%$. Час зупинки стрілки показу приладу менше 4 с.

Люксметр Ю-117 за конструктивним виконанням аналогічний люксметру Ю-116, відрізняється тільки тим, що має один основний (від 2 до 10 лк) і три неосновних ($0,1 \div 0,2$; $0,2 \div 1$; $0,5 \div 3,9$ лк) діапазону вимірювання. Тому в корпус люксметра вмонтований підсилювач на одній мікросхемі.

Окрім розглянутих приладів існує велика кількість вимірювачів електромагнітного випромінювання оптичного діапазону, розраховані на різні спектри випромінювання і різну його інтенсивність (радіометри, дозиметри, спектрометри тощо). Як правило, такі прилади випускаються для відповідних галузей промисловості або сільського господарства і мають вузькоспрямовану специфікацію застосування.

Контрольні запитання

1. Які оптичні властивості матеріалів є важливими при розробці вимірювачів оптичного випромінювання?
2. Чим відрізняються дзеркальне та дифузне відбиття випромінювання?
3. Що називають коефіцієнтом розсіювання?
4. Що називають коефіцієнтом відбиття?
5. Що називають коефіцієнтом поглинання?
6. Що називають коефіцієнтом пропускання?

7. Як визначають спектральні коефіцієнти складових випромінювання?
8. На яких принципах дії побудовані основні приймачі оптичного випромінювання?
9. Який принцип дії фотоелектричного приймача на основі фоторезистора?
10. Чим відрізняються застосування фоторезистора і фотодіода в схемах вимірювання випромінювання оптичного діапазону?
11. Чим відрізняється використання $p-n$ переходу фотодіоду в схемах з амперметром та гальванометром?
12. Поясніть принцип дії фотоелектронного приймача.
13. Чим відрізняється принцип дії фотопомножувача від фотоелектронного приймача?
14. Які типи теплових приймачів випромінювання вам відомі?
15. Поясніть принцип дії та схеми включення болометрів.
16. На чому базується принцип дії оптико-акустичних приймачів електромагнітного випромінювання?
17. Поясніть принцип дії люксметра.
18. Для чого в люксметрах застосовують світлофільтри?

Лекція 4

Перетворювачі електричної енергії в світлову

Поширеність освітлювальної техніки у промисловості, побуті, транспорті та в інших сферах життя людини пов'язана з початком періоду освоєння людством електроенергії та перетворення електроенергії в інші форми енергії. Електроенергія виявилась набагато більш зручною у використанні, ніж енергія викопних вуглеводнів, що була в основі попередньої технічної революції людства.

Ще з часів первісної людини вогнище було не тільки джерелом тепла в часи льодовикового періоду, а й джерелом світла, яке дозволяло використовувати частину доби поза межами світлового дня для праці. І хоча функція освітлення печер, а пізніше – перших будівель за допомогою вогнища була скоріше вторинною по відношенню до обігріву, з часом люди помітили, що штучне освітлення помешкань збільшує продуктивність їхньої праці, покращує безпеку в оселі по відношенню до хижаків, що полюють вночі. Першими штучними джерелами світла місцевого освітлення були щепи багаття вогнища, які люди відносили від центрального вогнища, що виконувало роль системи загального освітлення. Термін служби таких місцевих джерел штучного освітлювання часто складав кілька хвилин або десятки хвилин (на відміну від головного вогнища, яке підтримувалось постійно), тому, з часом, для виконання робіт з індивідуальним освітленням люди навчились застосовувати просочення деревини різними видами тваринних жирів або мінеральних чи рослинних смол, які підтримували горіння деревини більш довго. Так з'явилися смолоскипи, які застосовувались доволі довго, поки цивілізаційний хід історії не підказав людству нові джерела штучного освітлення.

Поява смолоскипів дозволила людству більше часу приділяти праці, тому це стало наслідком еволюційного переходу людства від епохи

виживання в суворих природних умовах до епохи масового заселення територій. Пізніше почали виникати світильники побутового призначення, які були побудовані на горючій рідині в посуді та просоченому гніті (фітіль). Вони не мали потужності освітлення, притаманної смолоскипам, проте тривалість їхньої роботи могла бути майже безперервною за рахунок підливання або заміни рідини. Коли виникла потреба у зручному транспортуванні засобів освітлення, просочений гніт почали занурювати у рідини, що твердіють за температури навколишнього середовища (віск) – так з'явилися свічі, які у видозміненні з парафіновим наповнювачем дійшли і до наших часів. Здатність до зручного транспортування цих перших джерел штучного освітлення зробила їх товаром, що швидко поширювався ринками світу, сприяючи збільшенню продуктивності праці і новим технічним відкриттям (в тому числі, покращенню технологій створення штучних джерел світла).

Буде неправдивим твердження, що в ті давні часи людство користувалось виключно джерелами світла, побудованими на випромінюванні світлового діапазону відкритого вогню. В різних цивілізаціях зустрічались спроби використовувати в якості освітлення флуоресцентні властивості живих організмів, хімічні речовини, навіть існують теорії про можливе використання в давньому Єгипті електрики з метою отримання освітлення або світлових ефектів. Проте, технологічна складність та невисока ефективність згаданих джерел штучного освітлення не зробили їх поширеними і, нарешті, вони були забуті.

Коли людство почало не тільки освоювати викопні енергетичні ресурси, такі як вугілля, нафта, а й перероблювати їх, з'являються нові джерела енергії, що базуються на вуглеводневих природних ресурсах та продуктах їхнього перероблення. Так само, починають вдосконалюватись джерела штучного освітлення, побудовані на використанні відкритого вогню, ці штучні джерела стають більш потужними, більш поширеними і більш

зручними. Крім приватних осель починають освітлюватись навіть вулиці за допомогою газових ліхтарів, горіння газу використовують для нагрівання металу, світіння якого є набагато яскравішим за світіння самого полум'я.

Справжню революцію в освітлювальних пристроях зробили відкриття вчених в області електрики і магнетизму. До цього моменту джерелами штучного світла були виключно тіла або середовища, розігріті до високих температур. Після відкриття електричної дуги почали з'являтися електродугові лампи, в яких висока температура створювалась в каналі дуги електричним струмом. З'являються лампи розжарювання, в яких електричний струм також розігрівав до високих температур провідник з тугоплавкого матеріалу, змушуючи його випромінювати електромагнітні хвилі в оптичному діапазоні. Але вже у середині 19 сторіччя з'являються перші люмінесцентні лампи, які принципово замінили спосіб отримання випромінювання видимого діапазону оптичного спектру.

Першими успіхами в створенні джерел світла для цілей штучного освітлення можна вважати відкриття В. В. Петровим електричної дуги в 1802 р. і подібні досліди Г. Деві в 1810 р. Пізніше прообраз сучасних освітлювальних ламп був винайдений в 1872 р. А. Н. Ладигіним і в 1897 р. Т. А. Едісоном. До останніх досягнень освітлювальної техніки можна віднести люмінесцентні та світлодіодні лампи, різного роду лазерні освітлювачі.

У 1802 р. професор В. В. Петров публічно демонстрував явище електричної дуги, для якого потрібне було джерело постійного струму з ЕРС більше 2000 В. Це стало основою для розвитку двох головних напрямків у розробці джерел оптичного випромінювання: джерел, заснованих на тепловому випромінюванні і джерел, заснованих на електричному розряді, що супроводжується оптичним випромінюванням.

У 1872 р. А. Н. Ладигін подав заявку на привілей (патент), предметом якої була лампа з вугільним тілом розжарювання, укладеним в скляну колбу.

Однак широкого поширення вона не отримала. Перевагу віддавали в ті роки лампам П. Н. Яблочкова («свічка Яблочкова»), який представляв собою відкриту електричну дугу між двома, розташованими паралельно, вугільними стрижнями, розділеними легкою плавкою вставкою, що виключало необхідність в пристрої, що регулює відстань між кінцями вугільних електродів у міру їх згоряння. Тим не менш лампа А. Н. Ладигіна зіграла велику роль у подальшому вдосконаленні джерел світла, заснованих на тепловому випромінюванні. Вона стала вихідним зразком для обсяжних досліджень та організації промислового виробництва ламп розжарювання відомим американським винахідником Т. А. Едісоном (1847-1931 рр.), і в багатьох країнах світу до цього дня вважають його винахідником електричної лампи розжарювання. Слід зазначити, що велика кількість винахідників працювала в напрямку перетворення електричної енергії в світлову (наприклад, Н. Тесла та інші), тому неможна казати, що саме ці конкретні люди є єдиними винахідниками, проте, їх пріоритет в винаходах зафіксований відповідними патентами, тому їхні імена зафіксовано в історії.

Теплове випромінювання є результатом перетворення енергії теплового руху атомів і молекул тіла в енергію оптичного випромінювання. Температура випромінюючого тіла визначає як значення потоку випромінювання, так і його спектральний склад.

Основні закони теплового випромінювання сформульовані стосовно до абсолютно чорного тіла, під яким розуміється приймач оптичного випромінювання, який повністю поглинає падаюче на нього випромінювання незалежно від напрямку падіння, спектрального складу і поляризації. Існує й інше визначене поняття абсолютно чорного тіла: це тепловий випромінювач, здатний створювати при інших рівних умовах найбільший у порівнянні з іншими тепловими випромінювачами потік випромінювання.

Оскільки випромінювачів оптичного спектру, побудованих на випромінюванні нагрітого тіла, існує велика кількість різновидів, є важливим

розглянути основні фізичні закони, що описують взаємне перетворення внутрішньої енергії тіла, яка характеризується його температурою, в енергію електромагнітного випромінювання оптичного діапазону.

Закон Кірхгофа встановлює зв'язок між здатністю тіла випромінювати і поглинати випромінювання: відношення щільності випромінювання тіл з однаковою температурою дорівнює відношенню їх коефіцієнтів поглинання:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}, \quad (4.1)$$

де R_1, R_2 – щільності випромінювання двох тіл за однакової температури; α_1, α_2 – щільності поглинання цих тіл. Також можна зустріти інше формулювання даного закону:

$$\frac{R_1}{\alpha_1} = \frac{R_2}{\alpha_2} = \dots = \frac{R_n}{\alpha_n} = \text{const} = R_T, \quad (4.2)$$

де R_T – щільність випромінювання абсолютно чорного тіла при тій самій температурі, Вт/м². Тобто, відношення щільності випромінювання до коефіцієнта поглинання для всіх тіл, що мають однакову температуру – величина постійна, що дорівнює щільності випромінювання абсолютно чорного тіла при тій же температурі.

Закон Стефана-Больцмана встановлює зв'язок між щільністю випромінювання тіла і його температурою. Йозеф Стефан і Людвіг Больцман встановили, що щільність випромінювання абсолютно чорного тіла залежить тільки від його температури і пропорційна четвертій степені її:

$$R_T = \sigma \cdot T^4, \quad (4.3)$$

де T – температура абсолютно чорного тіла, К; σ – стала Стефана-Больцмана, Вт/(м²·К⁴) яку можна представити виразом:

$$\sigma = \frac{2 \cdot \pi^5 \cdot k^4}{15 \cdot h^3 \cdot c^2} \approx 5,6704 \cdot 10^{-8} \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)), \quad (4.4)$$

де $k = 1,380649 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – стала Больцмана; c – швидкість світла; $h = 6,62607015 \cdot 10^{-34}$ – постійна Планка.

Для практичних розрахунків важливо знати розподіл енергії в спектрі теплового випромінювання. Розподіл енергії в спектрі теплового випромінювання абсолютно чорного тіла описується формулою Планка:

$$R_{\lambda T} = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5 \cdot \left(e^{\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot k \cdot T}} - 1 \right)}, \quad (4.5)$$

де λ – довжина хвилі оптичного випромінювання, м; $R_{\lambda T}$ – спектральна щільність потоку випромінювання абсолютно чорного тіла, Вт/(м²·м). На практиці зручніше замінити відомі сталі відповідними коефіцієнтами, а довжини хвиль виразити в мікрометрах:

$$R_{\lambda T} = \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot \left(e^{\frac{C_2}{\lambda \cdot T}} - 1 \right)}, \quad (4.6)$$

де $C_1 \approx 3,742 \cdot 10^8$ Вт/(м²·мкм⁴); $C_2 \approx 1,439 \cdot 10^4$ мкм·К, а $R_{\lambda T}$ виражена в Вт/(м²·мкм).

Якщо виконати диференціювання (4.6) за змінною λ та прирівняти першу похідну нулю, отримуємо вираз для довжини хвилі, що відповідає максимуму кривої спектральної щільності потоку випромінювання, мкм:

$$\lambda_{max} \cdot T \approx 2898 \text{ мкм} \cdot \text{К}. \quad (4.7)$$

Закон зміщення Віна. Вираз (4.7) визначає положення максимуму кривої спектральної щільності потоку випромінювання абсолютно чорного тіла і виражає закон зміщення Віна: при підвищенні температури випромінюючого тіла максимум кривої спектральної щільності його потоку випромінювання зміщується в бік коротких довжин хвиль.

На рис. 4.1 Показана спектральна щільність випромінювання абсолютно чорного тіла при нагріванні його до різних температур.

У видимій частині спектру максимум знаходиться при температурі абсолютно чорного тіла в межах 3750-7800 К. Вільгельм Він, користуючись законом Стефана-Больцмана і законом зміщення, встановив, що максимальне значення спектральної щільності потоку випромінювання абсолютно чорного тіла зростає пропорційно п'ятому ступеню температури тіла, тобто:

$$R_{\lambda T_{max}} = C_3 \cdot T^5, \quad (4.8)$$

де $C_3 \approx 1,041 \cdot 10^{-11} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{мкм} \cdot \text{К}^5)$.

Основні закони теплового випромінювання дозволяють зробити наступні висновки:

- потік випромінювання абсолютно чорного тіла пропорційний четвертому ступеню температури нагріву;
- значення максимуму спектральної щільності потоку випромінювання абсолютно чорного тіла пропорційний п'ятому ступеню температури нагріву;
- з підвищенням температури нагріву абсолютно чорного тіла максимум кривої спектральної щільності його потоку випромінювання зміщується в бік більш коротких довжин хвиль.

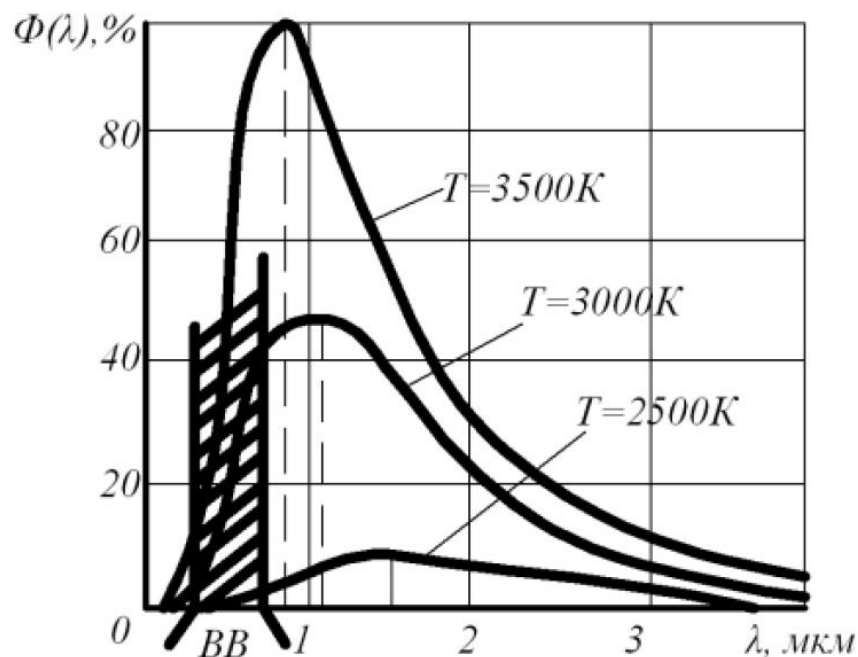


Рисунок 4.1 – Спектральна щільність випромінювання абсолютно чорного тіла при нагріванні його до різних температур.

Велике практичне значення має питання про характер залежності ефективної віддачі потоку випромінювання теплового випромінювача від температури нагріву.

Розглянемо це питання стосовно до теплового випромінювача, використовуваному в якості джерела видимого випромінювання. Ефективна віддача потоку випромінювання (світловий к. к. д.) в даному випадку становить:

$$\eta = \frac{\Phi}{\Phi_0} = \frac{\int_{380}^{760} \Phi_{\lambda}(\lambda) \cdot K(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_{\lambda}(\lambda) \cdot K(\lambda) \cdot d\lambda}, \quad (4.9)$$

де Φ – потік оптичного випромінювання видимого спектру, лм; Φ_0 – загальний потік випромінювання джерела, Вт; Φ_{λ} – монохроматичний потік з відповідною довжиною хвилі λ (в діапазоні інтегрування); $K(\lambda)$ – відносна спектральна чутливість людського ока. Отримане значення свідчить про частку видимого випромінювання у складі загального випромінювання джерела.

При визначенні світлової віддачі джерела у формулі (4.9) в знаменнику зазначається потужність, яку споживає джерело (P , Вт). В такому випадку отримують значення, що характеризує ефективність перетворення електричної (або іншої форми) енергії в світлову.

При підвищенні температури випромінювача світловий к. к. д. зростає, що пояснюється зміщенням максимуму кривої спектральної щільності потоку випромінювання в бік видимого випромінювання. Найбільшого значення (14,5%) світловий к. к. д. досягає при температурі абсолютно чорного тіла близько 6500 K. Максимум кривої спектральної щільності випромінювання при цьому знаходиться в зоні видимої частини спектру. Подальше збільшення температури випромінювача призводить до зміщення максимуму кривої $\varphi(\lambda)$ в короткохвильову частину спектру. Значення світлового ККД починає зменшуватися (рис. 4.2).

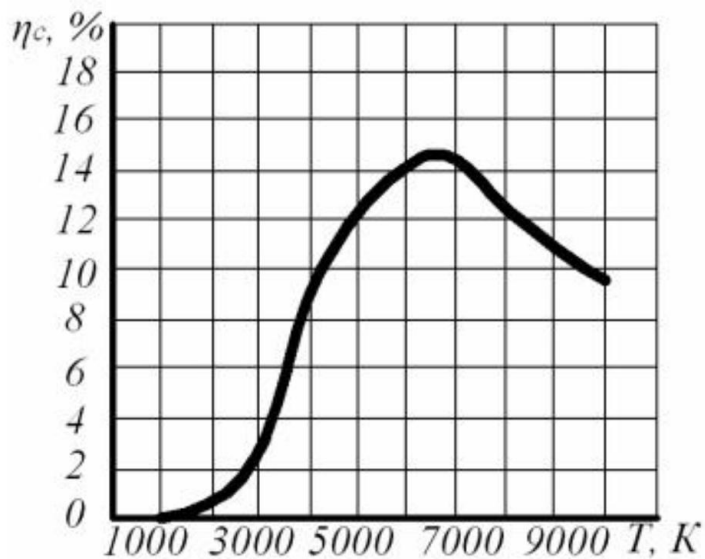


Рисунок 4.2 – Залежність світлового к. к. д. джерела випромінювання від температури абсолютно чорного тіла.

У таблиці 4.1 наведені максимальні значення світлового к. к. д. і світлової віддачі випромінювання для деяких характерних теплових випромінювачів.

Таблиця 4.1

Максимальні значення світлового к. к. д. і світлової віддачі випромінювання для деяких характерних теплових випромінювачів

Характер випромінювання або випромінювач	Температура, К	Світлова віддача, лм/Вт	Світловий к. к. д., %
Монохроматичне випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 555$ нм		683,002	100
Рівноенергетичне випромінювання (біле світло)		242	35,5
Випромінювач повного спектру	6500	99	14,5
Сонце в zenіті		94	13,8
Вольфрам за температури	3665	55	8,1

плавлення			
Лампа з вугільною ниткою	2135	3,54	0,52
Керосинова лампа	1850	0,27	0,04

Для інших джерел світла, в яких використовується полум'я, світлова ефективність та к. к. д. і світлової віддачі випромінювання є ще меншими, ніж для керосинової лампи, тому вони вже майже повністю вийшли з повсякденного використання.

Контрольні запитання

1. Опишіть історію використання людиною штучних джерел світла.
2. Як штучні джерела світла вплинули на еволюційний процес та розвиток техніки?
3. З якої причини одні види штучних джерел світла залишаються, а інші – виходять з користування людиною?
4. Які способи перетворення зовнішньої енергії в світловий потік вам відомі?
5. Назвіть основних розробників джерел штучного світла, досліді яких базуються на теорії електромагнетизму.
6. Що означає термін «абсолютно чорне тіло»?
7. Сформулюйте закон Кірхгофа для абсолютно чорного тіла.
8. Сформулюйте закон Стефана-Больцмана для абсолютно чорного тіла.
9. Як визначити розподіл енергії в спектрі теплового випромінювання абсолютно чорного тіла?
10. Як визначити максимум кривої спектральної щільності потоку випромінювання?
11. Сформулюйте закон зміщення Віна.
12. Як максимальне значення спектральної щільності потоку випромінювання абсолютно чорного тіла залежить від температури?

13. Сформулюйте висновки по основних законах теплового випромінювання.
14. Надайте визначення світлового к. к. д. потоку випромінювання.
15. Чим світловий к. к. д. відрізняється від світлової віддачі?
16. Якій довжині хвилі монохромного електромагнітного випромінювання відповідає максимальний світловий к. к. д.?
17. При якій температурі абсолютно чорного тіла спостерігається максимальний світловий к. к. д.?

Лекція 5

Різновиди електроосвітлювальних пристроїв розжарювального типу

Штучними джерелами оптичного випромінювання називають пристрій, що призначений для перетворення якого-небудь виду енергії в оптичне випромінювання. На даний момент електроенергія є найбільш зручною з усіх відомих людству форм енергії, яка дозволяє перетворювати її у електромагнітне випромінювання оптичного діапазону. Саме різноманітність способів такого перетворення електроенергії у оптичне випромінювання зробило електроосвітлювальні пристрої найбільш поширеними.

Джерела оптичного випромінювання різноманітні за призначенням, принципом дії, характером випромінюваного світла, часовими характеристиками, будовою і спектральною областю, для якої дане джерело призначено. Існують сотні різних типів джерел світла самого різного призначення. Для практики важливо проводити розрізнення джерел світла – за призначенням. В першу чергу, джерела світла використовуються для освітлення будівель, приміщень, вулиць, міст, транспорту і т. ін. Відповідно до цього, з часів винаходу освітлювальних ламп і до теперішнього часу науковці працюють над удосконаленням освітлювальної апаратури.

За характером випромінюваного спектру джерела світла можна розділити на джерела суцільного спектру і на джерела лінійного спектру. Суцільний спектр випромінюють нагріті тіла і газорозрядні джерела на вільно-зв'язаних переходах молекул. Лінійчатий спектр випромінюють всі джерела, в яких збуджуються атоми і молекули, що входять до складу навколишнього простору або до складу електродів, між якими здійснюється розряд. Серед джерел лінійного спектра слід виділити джерела з дуговим, тліючим, іскровим, і надвисокочастотним розрядами.

За часовими характеристиками джерела світла слід ділити на джерела постійного за часом випромінювання і імпульсні джерела. Джерела

постійного випромінювання призначені для тривалого використання, імпульсні джерела в основному використовуються в процесах, що залежать від часу – в стробоскопії, в дослідженнях плазмо-хімічних реакцій, в фото- і кінотехніці.

За конструктивним оформленням джерела світла пристосовуються до взаємодії з іншими технологічними елементами. У них, наприклад, може бути колба різної форми, може мати місце захисний футляр, може бути специфічний цоколь, може мати місце пристрій підпалу тощо.

За спектральною областю застосування поділ джерел випромінювання також є цілком зрозумілим. Наприклад, рентгенівські або ультрафіолетові джерела випромінювання радикально відрізняються від ламп, розрахованих на видимий діапазон тощо. Найсуттєвішим в цій проблемі є вибір оптичних матеріалів, з яких виготовляється колба лампи або вихідне вікно джерела, через яке виводиться випромінювання.

В області ближнього вакуумного ультрафіолету джерела суцільного спектру виконують у вигляді безелектродних газорозрядних трубок, наповнених інертними газами до тисків в кілька сотень мм рт. ст. Спектри збуджуються від НВЧ-генератора, який зазвичай працює на довжині хвилі або 10, або 3 см. Механізм утворення суцільного спектру в таких джерелах визначається процесами в нерівноважній плазмі НВЧ-розряду на основі ексимерних молекул інертних газів. Під ексимерною молекулою розуміється двотомна молекула, яка існує лише у збудженому стані.

Для отримання суцільного спектра в усій видимій області найбільш дослідженим є конденсований електричний розряд через капіляр з будь-якого діелектрика. Світіння виникає за рахунок великого числа спектральних ліній, розширених до такої міри, що утворюється практично суцільний спектр. На такий лінійчатий спектр накладається гальмівний спектр електронів і теплове випромінювання продуктів, які випаровуються зі стінок капіляру. Час спалаху імпульсного джерела може регулюватися підбором ємності і

індуктивності кола живлення розряду. Дослідження показали, що випромінювання імпульсного розряду відповідає температурі $T = 40\,000\text{ K}$ випромінювання чорного тіла.

При додаванні до пари ртуті, кадмію або цинку інертних газів і азоту і збудженні таких газових середовищ в імпульсно-періодичному бар'єрному розряді були створені ефективні лампи на переходах моногалогенідів ртуті, кадмію і цинку, які збуджувались в імпульсно-періодичному розряді. Вони представляють інтерес для використання в медицині, біотехнології і у рослинництві.

Історично найпершим способом перетворення електроенергії у світлову було нагрівання електричним струмом провідників до температури, за якої електромагнітне випромінювання оптичного діапазону ставало ефективним. Другим з найбільш поширених способів перетворення електроенергії в оптичне випромінювання стала іонізація газового середовища або парів металів, за якої відбувається люмінесценція (світіння) газу або парів металу. Найбільш сучасною до нас є технологія електролюмінесценції, за допомогою якої побудовано інформаційні панелі всіх сучасних обчислювальних та комунікаційних пристроїв. Ця технологія зробила прорив у виробленні економічних джерел штучного освітлення і є однією з передових на даний момент.

Деякі порівняльні характеристики найбільш поширених типів освітлювальних ламп наведено в табл. 5.1.

Для штучного освітлення приміщень найчастіше використовують джерела суцільного випромінювання, серед яких досі найпоширенішими можна вважати лампи розжарювання. Незважаючи на малий світловий к. к. д. такого типу ламп, вони ще досі займають значну частину ринку електроосвітлювальних приладів, оскільки мають достатньо просту будову і досліджені характеристики, серед яких – значна відповідність спектру випромінювання природному джерелу світла, Сонцю. Термін «лампи

розжарювання» походить від джерела випромінювання в таких лампах – розпеченого елемента (як правило, металевого провідника), який ще називають тіло розжарювання, розігрітого до температури, за якої поверхня розпеченого елемента випромінює в навколишній простір спектр електромагнітних хвиль, серед яких є хвилі видимого спектру оптичного діапазону. Матеріал та температуру розігріву тіла розжарювання обирають таким чином, щоб забезпечити відповідність спектрального складу випромінювання заданим критеріям.

Таблиця 5.1

Техніко-економічні показники джерел світла

Параметр	Тип лампи			
	Світлодіодна	Енергозберігаюча	Галогенна	Розжарювання
Ефективність, лм/Вт	120	65	20	10
Термін служби, год.	50000 ÷ 60000	6000 ÷ 8000	6000	1000 ÷ 1200
Кольорова температура, К	2100 ÷ 10000	5500 ÷ 6500	2100 ÷ 3000	2100 ÷ 3000
Мерехтіння	відсутнє	наявне	мінімальне	наявне
Нагрівання	незначне	середнє	значне	значне
Міцність	міцна	дуже крихка	крихка	дуже крихка

При перетворенні електричної енергії в світлову в лампах розжарювання для розігріву тіла розжарювання, найчастіше, через нього пропускають електричний струм, який розігріває тіло розжарювання до необхідної температури. Для зменшення впливу окисних процесів на роботу тіла розжарювання його розташовують в герметичній колбі, з якої відкачують повітря. Фіксація тіла розжарювання в колбі на відстані від елементів лампи, на які може вплинути температура розігріву, забезпечується відповідними тримачами з тугоплавких матеріалів.

Приклади виконання ламп розжарювання представлені на рис. 5.1. На рис. 5.1 позначені: 1 – тіло розжарювання; 2 – тримачі; 3 – колба; 4 – цоколь;

5 – дзеркальний відбивач на внутрішній поверхні колби; 6 – область нанесення світлофільтрових плівок; 7 – контактний відвід.

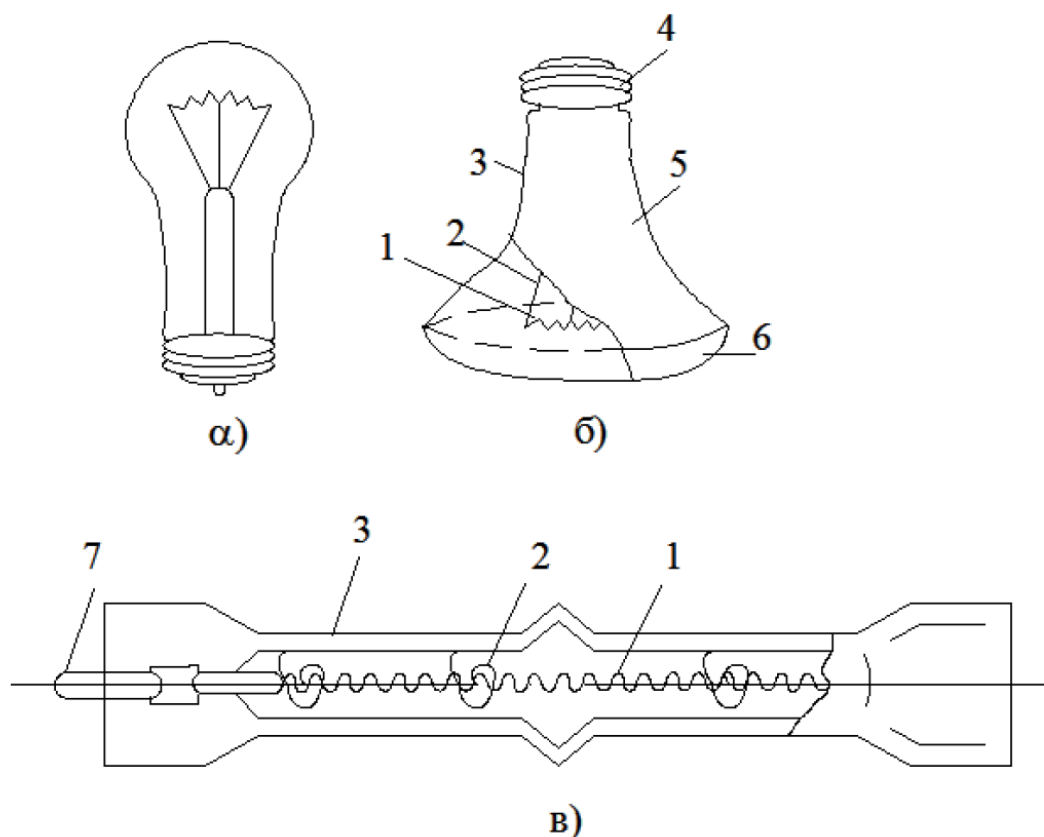


Рисунок 5.1 – Конструктивне виконання ламп розжарювання: а) – лампа розжарювання загального призначення; б) – інфрачервона дзеркальна лампа розжарювання; в) – лінійна галогенна лампа.

Форма колби ламп розжарювання може бути різною. Крім прозорих колб, освітлювальні лампи розжарювання можуть мати колби з матованого, опалового або «молочного» скла. Такі колби мають значно більший коефіцієнт поглинання в порівнянні з прозорими, але дозволяють позбавитися від сліпучої яскравості тіла розжарення. Якщо треба отримати від лампи спрямований світловий потік, частина внутрішньої поверхні колби покривають дзеркальним шаром зі срібла або алюмінію. Залежно від форми відбиваюча частина колби можна отримувати різний характер розподілу світлового потоку в просторі. Дзеркальні освітлювальні лампи розжарення

можуть виконувати одночасно функції джерела оптичного випромінювання та освітлювальної арматури.

Принцип дії: при проходженні електричного струму по вольфрамовій нитці розжарювання вона нагрівається до температури $2400 - 2700\text{ K}$ і випромінює світло.

Типова для лампи розжарювання світлова віддача становить $10 \div 22\text{ лм/Вт}$. Більша частина електроенергії в тілі розжарювання перетворюється в тепло. Причина в тому, що суцільний спектр ламп розжарювання має максимум в інфрачервоній області і плавно спадає із зменшенням довжини хвилі. Такий спектр визначає теплий тон випромінювання (кольорова температура становить $2400 \div 2700\text{ K}$ при кольоропередачі ($P_a \approx 100$)).

Лампи розжарювання відрізняються одна від одної електричними, світлотехнічними і експлуатаційними характеристиками. До електричних характеристик відносять номінальну напругу мережі живлення, номінальну електричну потужність, рід струму (постійний або змінний).

Основна світлотехнічна характеристика ламп розжарювання – світловий потік Φ_c . Світловий потік лампи розжарювання залежить від електричної потужності, напруги живлення і температури тіла розжарювання. Нормований в каталогах світловий потік лампи розжарювання повинен випромінювати в перші години роботи при її включенні в мережу на номінальну напругу, при цьому Державні стандарти допускають відхилення нормованого світлового потоку однотипних ламп на 5-10%. У процесі експлуатації лампи робоча температура тіла розжарювання і прозорість колби знижуються. Це відбувається внаслідок випаровування розпеченого матеріалу тіла розжарювання (наприклад, вольфрамової нитки). Той же стандарт для ламп, які пропрацювали 75% свого номінального терміну служби (середньої тривалості експлуатації), допускає зменшення світлового потоку до 72-85% від номінального в залежності від типу ламп, потужності і особливостей виготовлення.

Експлуатаційними характеристиками, які визначають економічні показники роботи ламп розжарювання, є світлова віддача і номінальний ресурс експлуатації. Світлова віддача сягає в даний час $7,5 \div 19,1$ лм/Вт. Під номінальним ресурсом експлуатації розуміють їх середню сумарну тривалість роботи (світіння) t_c , яка визначається як середньоарифметичний час повних термінів служби групи (не менше десяти) ламп. Номінальний ресурс ламп розжарювання дорівнює 1000 годин. В даний час відомі світові фірми, такі як польська фірма «Філіпс» випускає рефлекторні лампи, кольорові, трубчаті, які створюють приємну і спокійну атмосферу і в яких строк служби ламп доведено до $2000 \div 2500$ годин. Однак, існують режими роботи ламп розжарювання, за яких ресурс експлуатації збільшується суттєво (зменшується швидкість випаровування тіла розжарювання), проте, в таких режимах роботи тіла розжарювання не досягаються характеристики спектру випромінювання, які близькі до спектру сонячного випромінювання.

Відхилення напруги живлення від його номінального значення істотно впливає на характеристики ламп розжарювання (рис. 5.2).



Рисунок 5.2 – Залежність світлотехнічних, електричних і експлуатаційних параметрів ламп розжарювання загального призначення від зміни напруги мережі живлення: 1 – середній ресурс експлуатації; 2 – світловий потік; 3 – світлова віддача; 4 – споживана потужність; 5 – сила струму.

Якщо напруга живлення лампи вище номінальної, то зростає значення сили струму, потужності, світлового потоку і світлової віддачі, при цьому різко зменшується середній ресурс експлуатації.

У відповідності до ДСТУ ІЕС 60064:2008 лампи розжарювання загального призначення позначаються наступним чином (рис. 5.3).



Рисунок 5.3 – Позначення лампи розжарювання загального призначення

До переваг ламп розжарювання можна віднести простоту будови, низьку вартість серійного виробництва, надійність в роботі при зміні температури навколишнього середовища в широкому діапазоні.

Недоліки ламп розжарювання: надмірна зосереджена яскравість, низька світлова віддача (до 20 лм/Вт), низький світловий ККД (в середньому 3,5 %),

незадовільний спектральний склад випромінювання (в видимому спектрі, переважно, помаранчево-червоні випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 600\div 780$ нм. Синіх кольорів з довжиною хвилі $\lambda = 380\div 450$ нм $\approx$ в 10 разів менше. Такий спектральний склад не забезпечує адекватної кольоропередачі, малий ресурс роботи (близько 1000 годин).

Номенклатура та технічні параметри лампи розжарювання загального призначення наведені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Номенклатура та технічні параметри лампи розжарювання загального призначення

Тип лампи	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Середній ресурс, годин	Тип лампи	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Середній ресурс, годин
B220-230-15	15	97	1300	БК220-230-100	100	1335	1300
B230-240-15	15	79	2300	Б230-240-100	100	1050	2500
B220-230-25	25	212	1300	БК230-240-100	100	1127	2500
B230-240-25	25	177	2300	Б235-245-40	40	300	3400
B235-245-15	15	85	3400	Б235-245-100	100	900	3400
B235-245-25	25	165	3400	Б235-245-150	150	1500	3400
Б220-230-40	40	385	1300	Г220-230-150	150	1940	1300
БК220-230-40	40	424	1300	Г230-240-150	150	1625	2500
Б230-240-40	40	315	2500	Г235-245-150	150	1500	3400
БК230-240-40	40	355	2500	Г220-230-200	200	2715	1300
Б220-230-60	60	660	1300	Г230-240-200	200	2280	2500
БК220-230-60	60	728	1300	Г220-230-300	300	4250	1300
Б230-240-60	60	555	2500	Г230-240-300	300	3590	2500
БК230-240-60	60	610	2500	Г220-230-500	500	7650	1300
Б235-245-60	60	445	3400	Г230-240-500	500	6480	2500
Б220-230-75	75	875	1300	Г220-230-750	750	12080	1300
Б230-240-75	75	735	2500	Г220-230-1000	1000	17150	1300
Б220-230-100	100	1250	1300	Г230-240-1000	1000	14540	2500

Відомості по аналогічних лампах розжарювання закордонних виробників наведено у табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Номенклатура та технічні параметри лампи розжарювання закордонних виробників

Лампи Softone фірми Філіпс з колбою T55				Лампи Standart фірми Філіпс з колбою типу А			
Тип лампи	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Середній ресурс, годин	Тип лампи	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Середній ресурс, годин
Softone	25	195	1000	Standart	75	930	1000
Softone	40	370	1000	Standart	100	1340	1000
Softone	60	630	1000	Standart	150	2160	1000
Softone	75	840	1000	Standart	200	3040	1000
Softone	100	1200	1000	Standart	300	4850	1000

Досягти підвищення ефективності роботи ламп розжарювання шляхом підвищення температури не просто, так як нагрівання тіла розжарювання супроводжується розпиленням речовин нитки розжарювання і чим більша температура тим більше розпилювання. При підвищенні температури тіла розжарювання (2400÷2700 К) на 1 % швидкість розпилення збільшується в 2 рази, а отже строк служби лампи різко зменшується.

Для того, щоб позбутись негативного ефекту випаровування нитки розжарювання з вольфраму всередину колби лампи вводять дозовану кількість йоду. Такі лампи отримали назву галогенних.

При температурі 300...1200 °С пари йоду з'єднуються біля стінки колби з випаровуваними від спіралі частинками вольфраму та утворюють йодид вольфраму WI_2 , концентрація якого біля стінок колби підвищується.

Під впливом дифузії молекули йодиду вольфраму переміщуються знову до центру колби. Біля тіла розжарювання за температури 1400...1600 °С молекули йодиду вольфраму розпадаються та атоми вольфраму осідають на тілі розжарювання. В галогенних лампах з йодним циклом процес розпилення нитки розжарювання не усунено, проте знайдені надійні засоби боротьби з його наслідками, що дозволило значно покращити показники ресурсу ламп цього типу.

На рис. 5.4 показано лампу типу КГ 220-1000. Циліндрична колба 3 виготовлена з кварцового скла, що має температуру розм'якшення вище 1373 К. У колбу поміщена дозована кількість йоду і вона заповнена аргонем до тиску приблизно 800 ГПа. Тіло розжарення 4, виконане у вигляді моноспіралі з особливо чистого вольфраму, змонтовано по вісі трубки на вольфрамових тримачах 5. Ввід в лампу виконаний за допомогою молибденових електродів 2, впаяних в кварцові ніжки 1. У мережу живлення лампу включають контактними поверхнями 6. Лампа розрахована на роботу від мережі з напругою 220 В.

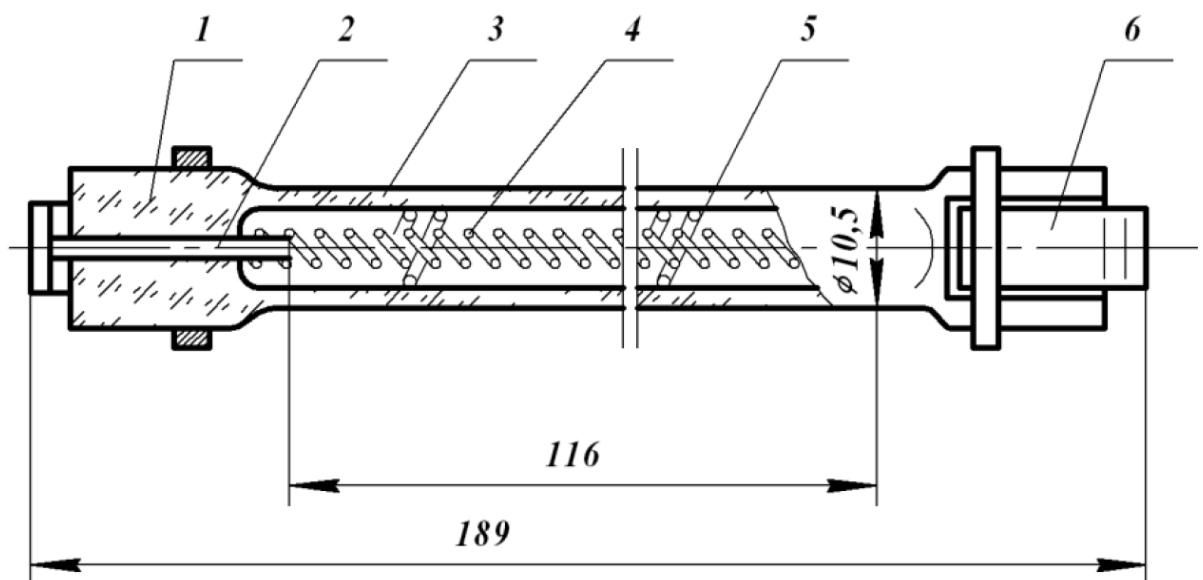


Рисунок 5.4 – Лампа кварцова галогенна КГ220-1000: 1 – пласко штамповані ніжки лампи; 2 – молибденовий електрод; 3 – кварцова колба; 4 – моноспіраль тіла розжарювання; 5 – вольфрамові тримачі; 6 – пласкі контактні поверхні.

Характерною особливістю галогенних ламп є можливість регулювання їх потоку випромінювання шляхом зміни напруги живлення, що підводиться до електродів. Підвищення напруги понад номінальне значення не призводить до такого різкого скорочення ресурсу, як це відбувається у звичайних лампах розжарювання.

Згідно з ДСТУ ІЕС 60357:2009 лампи розжарювання галогенні позначаються наступним чином (рис. 5.5).

До основних переваг ламп розжарювання з вольфрамово-галогенним циклом можна віднести:

- висока питома щільність випромінювання;
- стабільність потоку випромінювання протягом терміну служби;
- відносно малі габаритні розміри;
- здатність витримувати тривалі і великі перевантаження;
- можливість плавного регулювання потоку випромінювання в широких межах шляхом зміни напруги живлення.

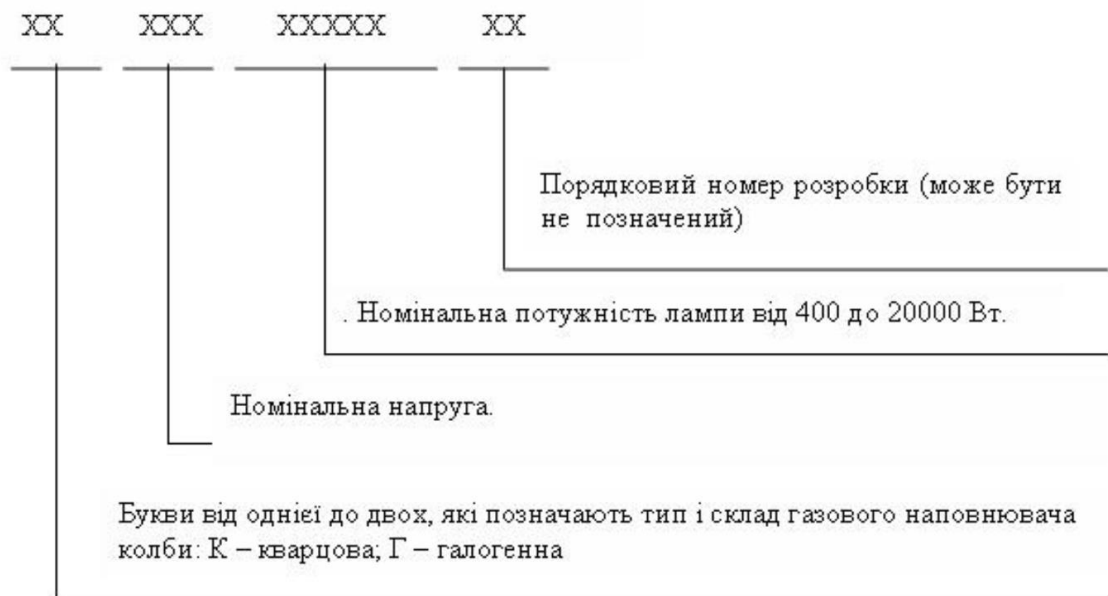


Рисунок 5.5 – Позначення галогенних ламп розжарювання систем загального освітлення.

Основні недоліки ламп розжарювання з вольфрамово-галогенним циклом загального призначення наступні:

- можливість роботи тільки в горизонтальному положенні, щоб уникнути деформацій тіла розжарювання під дією власної ваги і порушення вольфрамово-галогенного циклу;
- більш висока вартість у зв'язку з необхідністю використовувати кварцове скло і особливо чистий вольфрам.

Існує окремий тип ламп розжарювання – *інфрачервоні*. Хоча всі типи ламп розжарювання більшу частину енергії електричного струму (60÷80%) витрачають на випромінювання в інфрачервоному спектрі діапазону хвиль, існують лампи розжарювання, розраховані спеціально на випромінювання саме в інфрачервоному спектрі випромінювання. Як правило, такі лампи використовують для обігріву приміщень або для впливу на процеси росту та розвитку рослин або тварин. Ресурс таких ламп набагато вищий, ніж у звичайних ламп розжарювання або галогенних ламп, оскільки температуру тіла розжарювання знижено.

Інфрачервоні лампи розжарювання поділяють на так звані «*світлі*» та «*темні*» інфрачервоні лампи розжарювання. У «світлих» ламп температура нагріву тіла розжарювання знижена по відношенню до звичайних ламп розжарювання (для вольфраму – до 2270÷2770 К). Максимуми спектральної інтенсивності таких ламп перебувають, як правило в області довжин хвиль близько $\lambda = 1$ мкм. На рис. 5.6 показана конструкція трубчастого інфрачервоного випромінювача.

Інфрачервоні випромінювачі з вольфрамовими тілами розжарювання за конструкцією аналогічні трубчастим лампам розжарювання. Тіло розжарювання у вигляді вольфрамової спіралі розташоване вздовж вісі трубки і закріплено на молібденових тримачах, впаяних в скляний стрижень. Трубчастий випромінювач може бути виготовлений із зовнішнім або внутрішнім відбивачем (дзеркальною поверхнею), утвореним

випаровуванням срібла чи алюмінію у вакуумі. Спектральний розподіл випромінювання трубчастих випромінювачів близький до лампових. Температура розжарення складає 2100-2450 К. Для зменшення втрат енергії випромінювання у колбах інфрачервоних ламп використовують замість скла кварц, який має максимум проникності в області інфрачервоного спектру випромінювання. За необхідності подовження ресурсу інфрачервоних кварцових ламп у колбу додають йод, за аналогією зі звичайними лампами розжарювання.

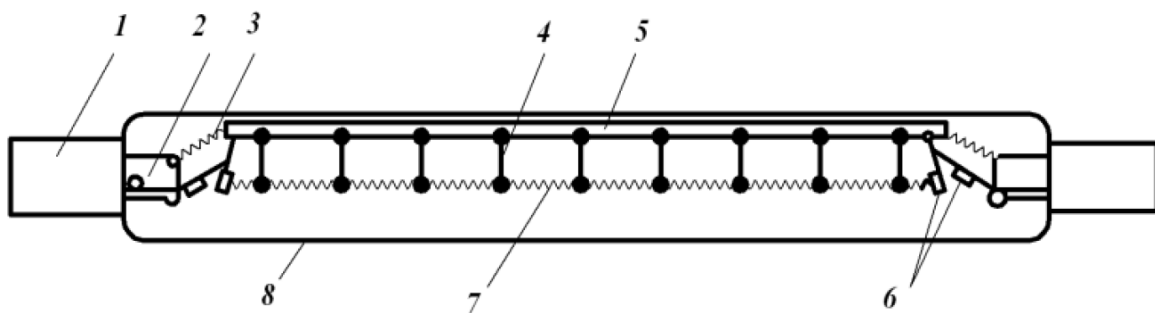


Рисунок 5.6 – Конструкція трубчастого інфрачервоного випромінювача: 1 – цоколь; 2 – штангель; 3 – пружина, яка підтримує стержень; 4 – молібденові тримачі; 5 – скляний стержень; 6 – електроди; 7 – вольфрамове тіло розжарювання; 8 – скляна трубка.

«Темні» інфрачервоні лампи розжарювання відносяться до джерел з кольоровою температурою в діапазоні $627 \div 1023$ К і являють собою герметизовану металеву трубку з термостійкою ізоляцією всередині, яка ізолює від трубки тіло розжарювання. За рахунок властивостей теплопровідності ізоляції температура тіла розжарювання передається на металеву трубку, яка одночасно є і корпусом, і тілом, поверхня якого випромінює у відповідному спектрі довжин хвиль. Такі трубчасті електронагрівачі (ТЕНи) поширені і в побуті, і в промисловості, і в сільському господарстві в якості перетворювачів електричної енергії в теплове (інфрачервоне) випромінювання.

До загальних переваг інфрачервоних ламп розжарювання слід віднести їх порівняну довговічність, розширений діапазон регулювання температури тіла розжарювання, який мало впливає на ресурс лампи, більшу, ніж у ламп розжарювання ефективність перетворення електричної енергії у випромінювання (близько 65% електроенергії перетворюється у випромінювання).

Серед недоліків – крихкість найбільш ефективних кварцових ламп, ускладнені технології виготовлення, залежність ресурсу лампи від просторового положення тіла розжарювання.

Контрольні запитання

1. Які джерела випромінювання називають штучними?
2. Чим імпульсні джерела випромінювання відрізняються від джерел з постійним у часі випромінюванням?
3. Що означає поділ джерел випромінювання за спектральною областю випромінювання?
4. Яким типам джерел випромінювання відповідають суцільні та лінійчасті спектри?
5. Які вам відомі способи перетворення електричної енергії в випромінювання оптичного діапазону довжини хвиль?
6. Поясніть походження терміну «лампа розжарювання».
7. Що називають тілом розжарювання?
8. Поясніть принципову будову електроосвітлювальної лампи розжарювання.
9. Поясніть принцип дії лампи розжарювання.
10. Якими характеристиками відрізняються лампи розжарювання?
11. Які експлуатаційні характеристики ламп розжарювання вам відомі?
12. Як впливає зміна напруги живлення лампи розжарювання на її ресурс?

13. Поясніть маркування ламп розжарювання у відповідності до діючих нормативних актів.
14. Які переваги та недоліки ламп розжарювання вам відомі?
15. Чим галогенні лампи відрізняються від звичайних ламп розжарювання?
16. Які переваги та недоліки галогенних ламп вам відомі?
17. Які лампи розжарювання називають інфрачервоними?
18. Що означає поділ інфрачервоних ламп розжарювання на «світлі» та «темні»?

Лекція 6

Теорія газорозрядних ламп

Лампи розжарювання є надзвичайно неекономічними з точки зору к. к. д. Вже на початку ери електроосвітлювальних приладів були відомі різні принципи отримання випромінювання видимого спектру оптичного діапазону. Оскільки у ламп розжарювання максимум спектру випромінювання приходить на область інфрачервоних хвиль, переважаюча кількість енергії в таких лампах розсіювалась у вигляді тепла. Ще у 19 сторіччі вчені звернули увагу на властивості газів до світіння під впливом електричних розрядів. Для того, щоб зрозуміти принцип дії сучасних газорозрядних ламп, необхідно розглянути основні принципи теорії електричного розряду в газах.

За звичайних умов молекули газу перебувають у врівноваженому стані. За появи деякого джерела збудження атомів (молекул) газу, енергія від такого джерела може бути передана атому (молекулі) газу і може призвести до іонізації – відриву електрону з зовнішніх орбіт від атому. При цьому атом, що залишився без електрону, набуває надлишкового позитивного заряду – стає позитивним іоном. Негативні іони – електрони – є більш рухливими, оскільки мають малу масу у порівнянні з більш масивними позитивними іонами. Під дією електромагнітного поля іони можуть рухатись в газі, при цьому рухливі електрони можуть розганятись електричним полем до швидкостей, за яких набуватимуть кінетичну енергію, пропорційну квадрату швидкості, співударятись з іншими нейтральними атомами і молекулами, передавати їм частину своєї енергії і також розбивати нейтральні частинки газу на іони. Таким чином, між двома електродами, між якими існує електричне поле, може утворюватися плазма – стан речовини, за якого значна частина атомів (молекул) перебуває у іонізованому стані, при цьому, сумарний заряд плазми є нульовим. Для існування речовини у стані плазми

необхідним є підведення енергії до області існування плазми, оскільки одночасно з процесами іонізації нейтральних атомів (молекул) речовини відбуваються зворотні процеси деіонізації – нейтралізації іонізованих частинок шляхом рекомбінації (утворення з іонів протилежного знаку нейтральної частинки з виділенням енергії у вигляді фотонів) або під час поглинання іонів на поверхнях електродів. Крім того, збуджені нейтральні частинки, в яких не відбулася іонізація внаслідок недостатнього рівня енергії збудження, через деякий час віддають цю енергію квантами випромінювання – фотонами. У врівноваженій плазмі процеси іонізації та деіонізації кількісно у часі є рівними, а інтенсивність випромінювання фотонів може суттєво відрізнятися, в залежності від умов існування плазми. На відміну від ламп розжарювання, плазма може бути «холодною», тобто, значна частина енергії, яка підводиться до системи електродів, які керують станом плазми, може бути перетворена саме в електромагнітне випромінювання оптичного діапазону. Така здатність випромінювання газів або парів речовин покладена в основу газорозрядних джерел оптичного випромінювання.

Газорозрядні джерела оптичного випромінювання мають значно більш високий к. к. д., ніж джерела, засновані на тепловому випромінюванні. Кольоровість випромінювання і характер розподілу його по спектру залежить від роду парів металу або газу і умов електричного розряду. Ці властивості відкрили для газорозрядних джерел широкі перспективи для різноманітних застосувань у всіх галузях промисловості і сільського господарства.

Процес світіння газів або пари металів в електричному полі пов'язаний з процесами іонізації та рекомбінації, а також випромінюванням атомами (молекулами) квантів енергії у вигляді фотонів у збудженому стані. При зменшенні тиску газу між електродами збільшується відстань між частинками, внаслідок чого збільшується довжина вільного пробігу електронів, що прискорюються електричним полем електродів, збільшується кінетична енергія електронів і здатність іонізувати нейтральні частинки.

При малому тиску газу неону в колбі між електродами, до яких прикладено порівняно невелику напругу, виникне струм тліючого розряду, пов'язаний з переносом заряду плазмою. Однак, струм цей незначний, тому інтенсивність випромінювання фотонів за низького тиску в газі також є малою, тому на практиці частіше застосовують газорозрядні лампи з газом, що перебувають при атмосферному тиску, або підвищеному тиску.

При підвищеному тиску газу між електродами запалення розряду є більш складним, ніж при пониженому тиску, однак при цьому отримують більшу густину струму, більшу температуру плазми – розряд переходить у фазу дугового розряду, при якому температура стовбуру електричної дуги сягає 6000 К, відбувається інтенсивне випромінювання фотонів. При цьому електричний опір між електродами, який для газу у незбудженому стані є дуже великим, спадає, практично, до нуля.

Принципово, газорозрядні лампи використовують пари ртуті для підтримання електричного розряду і поділяються на наступні типи:

- лампи низького тиску, в яких розряд відбувається при тиску до 0,01 МПа;
- лампи високого тиску, в яких розряд в робочому режимі складає 0,01÷1 МПа;
- лампи надвисокого тиску, в яких розряд здійснюється при тиску понад 1 МПа.

Кількість іонів в атмосфері дуже мало в порівнянні з кількістю нейтральних молекул. Можна штучно, наприклад, електромагнітним полем високої частоти, утворювати іони в газових проміжках і отримати струм, тобто розряд в газі. Такий розряд у газі називається несамостійним.

Якщо в ізольованому від атмосфери просторі відкачати газ до тиску нижче 10 Па, то ймовірність рекомбінації різко знижується, іони зберігаються більш тривалий час. Введемо в цей простір два електроди (рис. 6.1) і докладемо до них деяку різницю потенціалів.

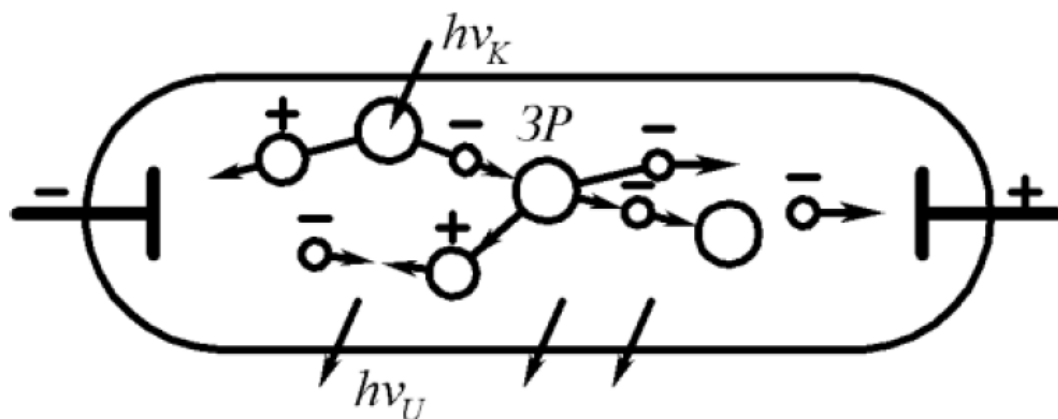


Рисунок 6.1 – Розряд в газі: $h\nu_K$ – зовнішній збудник; $h\nu_U$ – випромінювання розряду; $3P$ – збудження в розряді.

Виникає електричне поле, в якому іони починають рухатися до відповідних електродів. Швидкість руху іонів пропорційна різниці потенціалів електродів. Найбільшою рухливістю володіють «легкі» іони - електрони. Але швидкість руху електрона, як будь-якої частки, тобто її кінетична енергія - показник температури. Підвищення температури тіла виражається в підвищенні кінетичної енергії його молекул, їх рухливості. Тому можна говорити про електронну температуру, яка підвищується зі збільшенням напруженості електричного поля в міжелектродному проміжку. Напруженість оцінюється відношенням різниці потенціалів до відстані між електродами. Нейтральні молекули газу в міжелектродному проміжку не схильні до дії електричного поля і мають свій запас кінетичної енергії, тобто свою температуру. Таким чином, в розглянутому об'ємі два типи частинок мають різну температуру (рис. 6.2).

Звичайно, ці частинки зіштовхуються між собою. При малій кількості електронів їх кінетична енергія гаситься нейтральними важкими молекулами і електрони не досягають анода. Струму немає. При підвищенні напруженості кінетична енергія електронів може бути настільки високою, що її виявиться достатньо для іонізації нейтральної молекули (непружне

зіткнення), тобто утворення додаткових носіїв заряду, прискорюваних в електричному полі до електронної температури i , в свою чергу, іонізуючих нейтральні молекули. Настає пробій газового проміжку, «запалення» газового розряду. З'являється струм. Опір газового проміжку стає відмінним від нескінченності і при цьому швидко зменшується тихий (темновий) розряд (рис. 6.3), що переходить у тліючий, характерний тим, що частина іонів встигає рекомбінуватися з виділенням фотонів: з'являється світіння. Для отримання тліючого розряду необхідно мати малий тиск легко іонізуючого газу (неону) і відносно високу напругу, прикладену до електродів. На цьому принципі працюють газосвітні установки (напруга живлення $U_{жс} = 1 \div 20 \text{ кВ}$), індикатори напруги ($U_{жс} = 80 \div 1000 \text{ В}$), стартери люмінесцентних ламп.

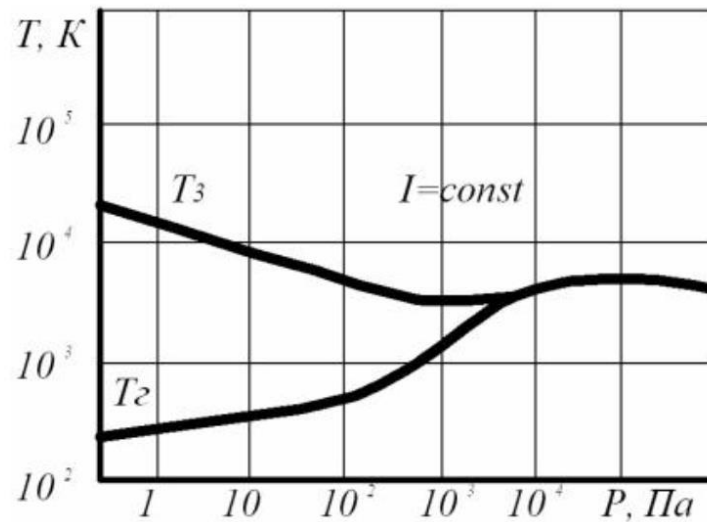


Рисунок 6.2 – Вимірювання температури газу T_2 і електронної температури T_3 при зміні тиску.

Інтенсивність випромінювання тліючого розряду мала, тому для освітлення ця область газового розряду не використовується. Струм, обмежений зовнішнім великим опором у індикаторах напруги, становить кілька мікроампер, тобто безпечний для персоналу.

Підвищення тиску всередині описаного вище ізолюваного простору (лампи) ускладнює запалювання розряду. Але при цьому можна отримати

більше носіїв електрики i , відповідно, великі щільності струму, а значить, і високу інтенсивність випромінювання. Цей процес – лавинний (рис. 6.3 зона 3), опір міжелектродного проміжку швидко спадає до нуля, і обмежує струм, а отже, уникнути короткого замикання можна тільки зовнішнім опором (рис. 6.4). Це дуговий розряд. Висока концентрація іонів в лампі забезпечить широку можливість рекомбінації їх і, відповідно, потужний потік фотонів. Принцип газового розряду – основний в РЛ (розрядних лампах).

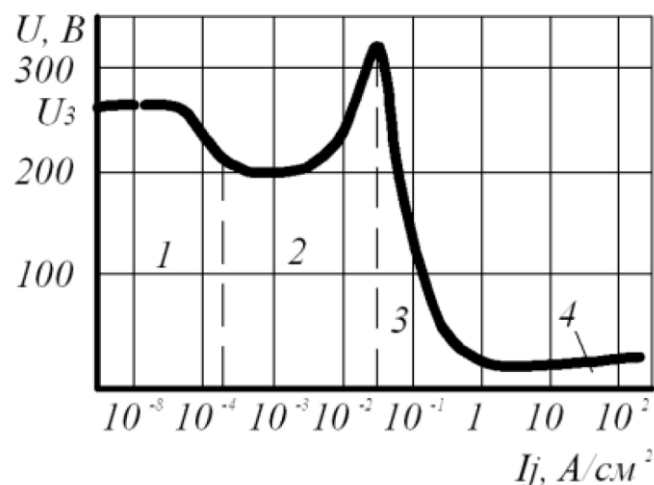


Рисунок 6.3 – Вольт-амперна характеристика газового розряду: 1 – темновий (тихий) розряд; 2 – тілючий розряд; 3 – дуговий розряд; 4 – зверх дуговий розряд.

На рис. 6.4 показано включення розрядних ламп на напругу мережи послідовно з балансним опором задля обмеження струмів, що протікають каналом електричної дуги.

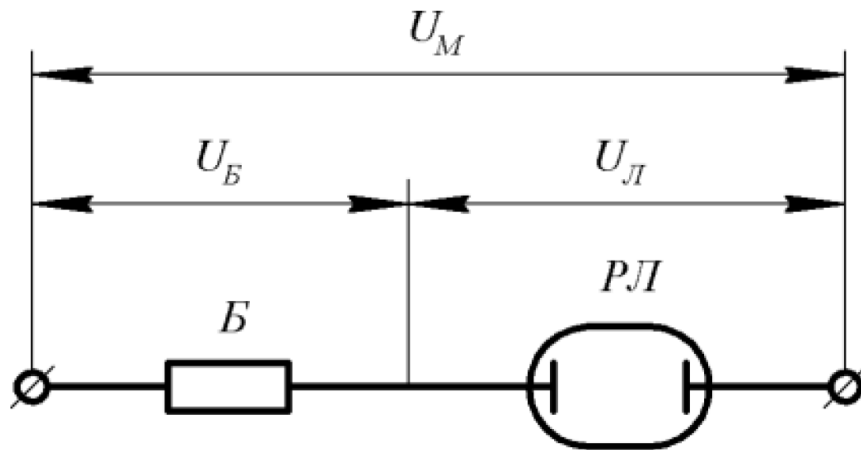


Рисунок 6.4 – Принцип включення розрядної лампи в мережу: Б – баласт; РЛ – розрядна лампа; U_M – напруга мережі.

Розглянемо стабілізацію газового розряду. Вольт-амперна характеристика газового розряду – спадаюча (рис. 6.5 Л), тому для обмеження струму в ланцюзі лампи послідовно з нею необхідно включити опір баласту U_B .

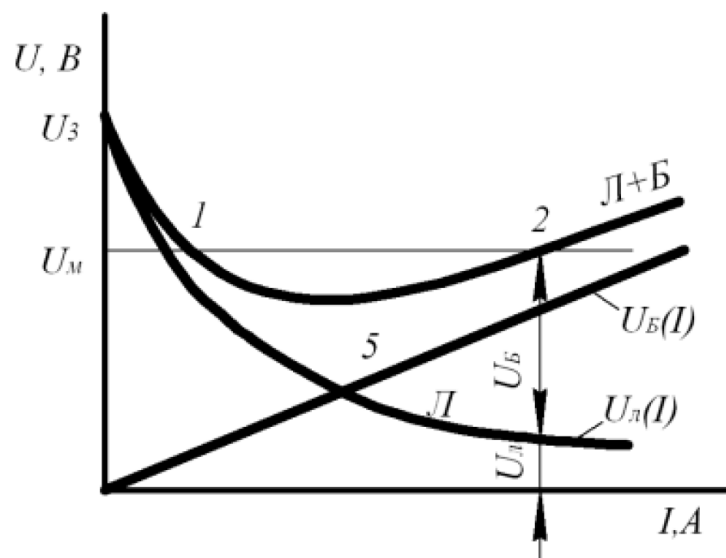


Рисунок 6.5 – Вольт-амперні характеристики баласту, розрядної лампи і схеми лампи з баластом.

Вольт-амперна характеристика баласту, наприклад, активного опору, відповідно до закону Ома ($U = I \cdot R$) – зростаюча (рис. 6.5, 5). Напруга на схемі

дорівнює сумі напруг $U_6 + U_L$. У цілому ВАХ схеми в початковій ділянці буде спадаючою, а потім перейде в зростаючу (рис. 6.5, Л + Б). Якщо до схеми прикласти напругу мережі U_M , то в двох точках цієї характеристики 1 і 2 напруга мережі та схеми виявляться однаковими. На спадаючій частині характеристики струм самовільно зростає, і робота схеми в точці 1 неможлива. Стійка робота схеми спостерігається в точці 2. Зростання струму в схемі можливо тільки зі збільшенням напруги U_M . Для газового розряду напруга запалювання U_3 завжди вище напруги живлення схеми U_M . Напруга на баласті U_6 зазвичай, більша, ніж напруга на лампі U_L .

Стійка робота газового розряду високого тиску можлива при високих напруженостях поля, які викликають високі швидкості електронів. Тиск в потоці частинок високих швидкостей у відповідності до закону Бернуллі – знижений, у порівнянні з навколишньою атмосферою, яка своїм тиском витісняє швидкісні частки в центр лампи. Кажуть, що розряд «відшнурювався». Випромінює не весь обсяг лампи, а тільки її центральна частина уздовж лінії найкоротшої відстані між електродами. Стан речовини в «шнурі» ми називаємо плазмою. Зі збільшенням тиску в атмосфері розряд плазми починає одержувати вплив гальмування зі сторони навколишнього середовища. Разом з цим гальмуванням зростає опір розрядного проміжку, ВАХ якого починає зростати (рис. 6.5, зона 4), а напруга на баласті зменшується і в певних умовах баласт може бути зовсім відсутнім (лампи надвисокого тиску).

Для забезпечення нормального терміну служби лампи в колах змінного струму форма кривої миттєвих значень струму повинна бути близькою до синусоїди. Ступінь спотворення форми кривої струму залежить в основному від виду баластного опору (рис. 6.6) і оцінюється значенням коефіцієнта амплітуди k_a :

$$k_a = \frac{i_{max}}{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 \cdot dt}}, \quad (6.1)$$

де i_{max} – амплітуда синусоїдного струму з періодом T .

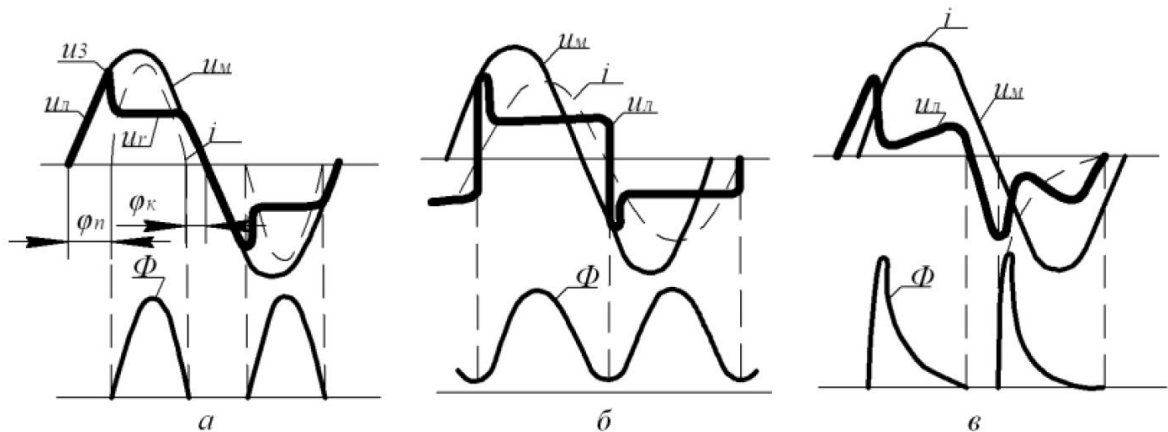


Рисунок 6.6 – Осцилограми миттєвих значень напруги, струму і світлового потоку газорозрядної лампи: а) при активному баластному опорі; б) при індуктивному баластному опорі; в) при ємнісному баластному опорі.

Баластовий пристрій повинен забезпечувати коефіцієнт амплітуди, який не перевищує 1,7. При $k_a > 1,7$ тривалість роботи люмінесцентної лампи значно скорочується.

Стабілізація розряду на змінному струмі за допомогою активного опору здійснюється просто і дешево, але має ряд принципових недоліків, які обмежують використання її у спеціальних випадках.

На рис. 6.6 (а) наведено криві миттєвих значень напруг і струму лампи при включенні її з активним баластовим опором у коло змінного струму промислової частоти. Розряд у лампі виникає після досягнення напругою миттєвого значення, рівного u_3 . У процесі розряду напруга на лампі значно знижується до значення u_2 , потрібного для підтримання розряду, і залишається незмінним до моменту, коли миттєве значення напруги мережі зменшиться до значення u_2 . Після цього розряд гасне, струм в колі припиняється. У наступному напівперіоді процес запалювання та згасання розряду повторюється. Як впливає з розглянутого графіку, перезапалювання розряду в кожному напівперіоді супроводжується паузами струму: початковою φ_n і кінцевою φ_k . Загальна пауза $\varphi_n + \varphi_k$ може досягати 1/3

періоду. Наявність пауз розрядного струму значно погіршує показники роботи джерела випромінювання і є причиною виникнення пульсацій потоку випромінювання і стробоскопічного ефекту. Крива миттєвих значень струму втрачає форму синусоїди (спотворюється). Якщо при цьому збільшується коефіцієнт амплітуди (6.1), то термін служби електродів зменшується внаслідок прискореного розпилення оксидного шару і втрати емісійних властивостей. Значним недоліком є великі витрати електричної енергії в активному баластному опорі, що різко знижує енергетичні показники роботи схеми.

Стабілізація розряду за допомогою індуктивного опору має ряд переваг перед стабілізацією за допомогою активного опору і широко застосовується. На рис. 6.6 (б) показані криві миттєвих значень тих же величин, що й на рис. 6.6 (а), але при індуктивному баластному опорі. Завдяки зсуву по фазі між напругою мережі та на затискачах лампи значно полегшується процес перезапалювання розряду в кожному напівперіоді, оскільки в момент переходу струму через нульове значення до затискачів лампи виявляється прикладеною значна миттєва напруга мережі. Перезапалювання розряду внаслідок цього відбувається без помітної паузи. Форма кривої струму наближається до синусоїди. Режим роботи електродів полегшується. Втрати потужності в індуктивному баластному опорі, зазвичай, значно нижчі, ніж в активному, і складають від 10 до 35% від потужності джерела випромінювання. Поряд із зазначеними перевагами індуктивного баластного опору слід вказати і основні його недоліки: велика витрата металу, низький коефіцієнт потужності, висока вартість.

Стабілізація розряду за допомогою ємності застосовується рідко. Відповідні цього випадку криві показані на рис. 6.6 (в). Крива струму набуває надзвичайно спотворену форму. Термін служби електродів різко знижується. Великі паузи і сплески струму приводять до значного зниження світлотехнічних показників роботи лампи.

Дуже перспективним є застосування ємнісного баластного опору при живленні джерела випромінювання від мережі змінного струму підвищеної частоти. Розглянемо ще раз рис 6.6 (в) для того, щоб звернути увагу на наступну важливу обставину: при будь-якому вигляді баластного опору зсув по фазі між напругою на лампі і її струмом практично відсутній. Однак потужність лампи не буде рівною добутку діючих значень напруги на лампі і струму. Справа в тому, що криві миттєвих значень цих величин істотно відрізняються за формою одна від одної та від синусоїди і, отже, для обчислення істинного значення потужності розряду в міжелектродному проміжку необхідно розкласти криві струму і напруги на гармонійні складові. Справжня потужність дорівнюватиме сумі потужностей для отриманих гармонік струму та напруги. У практиці користуються поняттям коефіцієнта потужності газорозрядної лампи, не пов'язуючи його з кутом зсуву фаз. Той же зміст має і вживаний термін «коефіцієнт спотворення»:

$$k_a = \frac{P}{U \cdot I}. \quad (6.2)$$

Коефіцієнт потужності лампи залежить від величини і виду баластного опору і, отже, не є постійним для даної лампи. Зазвичай, коефіцієнт потужності газорозрядних ламп становить $0,7 \div 0,9$, а коефіцієнт потужності комплекту: газорозрядна лампа – баластний опір – $0,4 \div 0,9$. Для того щоб зменшити можливість помилки при вимірюваннях в колах газорозрядних ламп, бажано користуватися приладами електродинамічної системи.

Контрольні запитання

1. В чому основна перевага газорозрядних ламп над лампами розжарювання?
2. Що називають іонізацією?
3. Яким чином виникають іони в нейтральному газі?
4. Що таке плазма?

5. Які процеси відбуваються в плазмі під час деіонізації міжелектродного проміжку?
6. Поясніть принцип роботи газорозрядних джерел оптичного випромінювання.
7. Які особливості розряду в газі притаманні дуговому розряду?
8. Як розрізняють газорозрядні лампи за ступенем тиску в колбі?
9. Поясніть принцип отримання оптичного випромінювання в газорозрядній лампі.
10. Поясніть залежність температури електронів і температури газу від тиску.
11. Надайте пояснення ділянкам вольт-амперної характеристики газового розряду.
12. Поясніть принцип включення розрядної лампи в мережу живлення з балансним опором.
13. Поясніть вольт-амперну характеристику газорозрядної лампи з балансним опором та без нього.
14. Як визначають ступінь спотворення струму в колі газорозрядної лампи з балансним опором?
15. Як забезпечити стабілізацію розрядного струму при живленні розрядної лампи синусоїдним струмом та активному балансному опорі?
16. Як забезпечити стабілізацію розрядного струму при живленні розрядної лампи синусоїдним струмом та індуктивному балансному опорі?
17. Які особливості застосування ємності для забезпечення стабілізації розрядного струму?

Лекція 7

Люмінесцентні лампи

Здатність випромінювати фотони під дією зовнішнього чинника мають не тільки гази або пари речовин, а й тверді сполуки. Таке явище отримало назву люмінесценція. Люмінесцирують ті речовини, кристалічна структура яких дозволяє концентрувати енергію у визначених вузлах. Такою речовиною є фосфор та деякі інші мінерали. Ці речовини називаються люмінофорами. В залежності від способу передачі енергії до речовини люмінесценцію поділяють на наступні категорії:

- хемілюмінесценція – світіння суміші речовин внаслідок хімічної реакції між ними;
- біолюмінесценція – світіння біологічних об'єктів (комахи, морські організми тощо);
- катодна люмінесценція – світіння люмінофору внаслідок його бомбардування електронами (використовується в електронно-променевих трубках кінескопів телевізорів та осцилографів);
- фотолюмінесценція – світіння люмінофору під дією фотонів оптичного випромінювання;
- електролюмінесценція – світіння люмінофору під дією електричного поля змінного або пульсуючого струму.

Приклад використання явища електролюмінесценції показано на рис. 7.1.

В конструкції, представлений на рис. 7.1 люмінофор слугує діелектриком між двома електродами, один з яких є прозорим і пропускає випромінювання через скло (або фільтр) назовні.

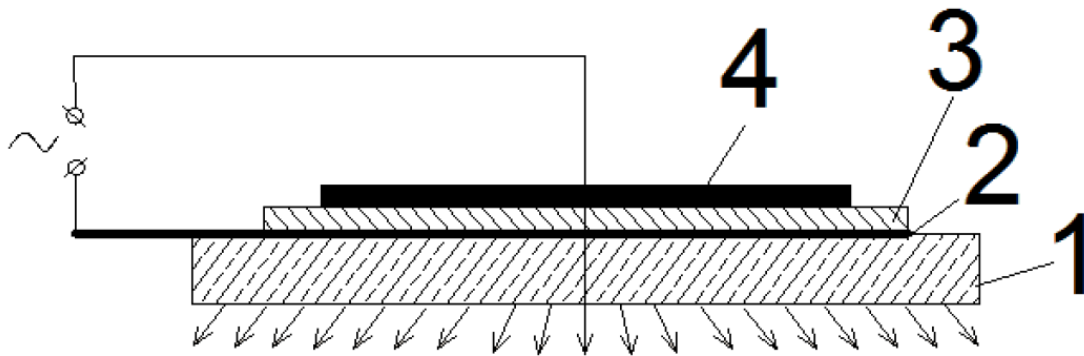


Рисунок 7.1 – Електролюмінісцентна панель: 1 – скло; 2 – прозорий провідник; 3 – електролюмінофор; 4 – електрод.

Термін служби електролюмінесцентних панелей, зазвичай, складає близько 3000 годин, світловий к. к. д. таких панелей становить близько 2%. Використовується електролюмінесценція в інформаційних панелях, пристроях сигналізації та індикації.

При фотолюмінесценції відбувається опромінення люмінофору від джерела з частотою ν_B . Енергія випромінювання поглинається люмінофором, в якому відбувається перетворення, при якому частина енергії поглинутого випромінювання втрачається. Як наслідок, люмінофор випромінює енергію з меншою частотою ν_U , тобто, з більшою довжиною хвилі, яка лежить в області видимого спектру (рис. 7.2).

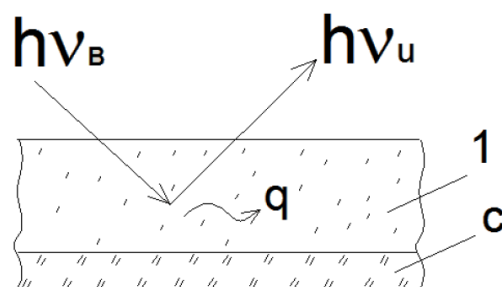


Рисунок 7.2 – Принцип фотолюмінесценції: 1 – люмінофор; c – скло; $h\nu_B$ – квант енергії від джерела збудження; $h\nu_U$ – квант енергії випромінювання від люмінофору; q – втрати енергії на перетворення.

У відповідності до закону збереження енергії можемо записати:

$h\nu_B = h\nu_U + q$; звідси випливає, що $h\nu_B > h\nu_U$, а отже, $\nu_B > \nu_U$. Довжина хвилі збудження є коротшою за довжину хвилі випромінювання люмінофору, таким чином, більш короткохвильове ультрафіолетове випромінювання призводить до перетворення у люмінофорі у випромінювання видимого спектру.

Проілюстроване рис. 7.2 явище використовується в люмінесцентних лампах. Слід зазначити, що в якості збуджуючого випромінювання може використовуватись і рентгенівське випромінювання, і електромагнітні хвилі високої частоти, а також можуть використовуватись тертя чи інші форми механічного чи хімічного впливу на люмінофор.

Тривалість світіння люмінофору може суттєво відрізнитись для різних конструкцій пристроїв, що використовують фотолюмінесценцію. Розрізняють швидке затухання світіння (*флуоресценцію*) та повільне затухання світіння (*фосфоресценцію*).

Люмінесцентні лампи являють собою розрядні джерела світла низького тиску, в яких ультрафіолетове випромінювання ртутного розряду перетворюється люмінофором у більш довгохвильове випромінювання.

На теперішній час люмінесцентні лампи є поширеними у промисловості, звідки їх лише починають витісняти більш енергоощадні лампи. Проте, частка люмінесцентних ламп на промислових підприємствах за деякими оцінками може досі становити близько 70% всіх освітлювальних пристроїв. Розвиток застосування цих типів ламп можна умовно поділити на кілька основних етапів:

Перший етап. До другої половини 70-х років 20 століття в світильниках загального освітлення приміщень використовувались лінійні люмінесцентні лампи в колбах діаметром 38 мм з галофосфатним люмінофором потужностями 20, 40, і 65 Вт. Кращі зразки люмінесцентних ламп, потужністю 40 Вт мали світлову віддачу порядку 70÷72 лм/Вт, термін

служби не перевершував 7000 годин, спад світлового потоку наприкінці строку служби досягав більше 25%, а загальний індекс кольоропередачі становив $R_a = 60 \div 65$.

Другий етап. У 1978 р. почався другий етап у розвитку люмінесцентних ламп – було освоєно виробництво енергоощадних ламп діаметром 26 мм на нових трикомпонентних люмінофорах (гексагональних алюмінатах). У цих люмінесцентних лампах з так званим трисмуговим спектром випромінювання вдалося підвищити світлову віддачу до 94 лм/Вт (при роботі з електромагнітним пускорегулювальним апаратом – ПРА) і наблизитися до 100 лм/Вт в схемах включення з електронним пускорегулювальним апаратом при одночасному покращенні якості кольоропередачі ($R_a > 80$) і зниженні спаду світлового потоку до 15% від початкового в кінці терміну служби. Лампи діаметром 26 мм і потужністю 18, 36, і 58 Вт використовують при роботі з високочастотним ПРА 16, 32, і 50 Вт; вони поширені у більшості країн Європи вже майже 20 років.

За останні 3-4 роки, світова електролампова промисловість досягла значного прогресу в області вдосконалення характеристик лінійних люмінесцентних ламп загального призначення:

- габаритні розміри люмінесцентних ламп зменшені по діаметру і по довжині, які оптимізовані до використання зі стандартними монтажними модулями підвісних стель;
- значення світлової віддачі у люмінесцентних ламп нового покоління більше ніж 100 лм / Вт при роботі в схемах з електронним ПРА;
- середній термін служби збільшений з $7 \div 9$ до $12 \div 15$ тисяч годин і більше;
- спад світлового потоку в кінці терміну служби знижено з $15 \div 20\%$ до 5% від початкового значення;
- вміст ртуті в люмінесцентних лампах зменшено в середньому на 80%.

Третій етап. Початком третього етапу в розвитку лінійних люмінесцентних ламп, можна вважати 1995-1996 роки, коли були виготовлені лампи діаметром 16 мм зі зменшеною довжиною. Першими з них на ринку з'явилися люмінесцентні лампи з покращеною світловіддачею (до 104 лм / Вт) потужністю 14, 21, 28, 35 Вт. Подальшим кроком у розвитку цих «тонких» люмінесцентних ламп був випуск серії ламп зі збільшеним одиничним світловим потоком та підвищеною яскравістю.

Ці лампи включаються і працюють тільки зі спеціально розробленими для них електронними ПРА, лампи мають двохштирьовий цоколь типу G-5 і мають всі переваги люмінесцентних ламп діаметром 26 мм на трикомпонентних люмінофорах, при цьому мають велику світлову віддачу і середній термін служби, який при тригодинному циклі вмикання становить 16 тисяч годин. Зменшення діаметра колб нових люмінесцентних ламп на 40% дає можливість більш ефективно використовувати їх з дзеркальними відбивачами і екрануючими ґратками, зменшити висоту підвісу світильників, знизити витрати всіх вихідних матеріалів при виготовленні як самих ламп, так і світильників. При цьому забезпечується більш раціональне використання складських приміщень. зменшуються витрати на пакувальні матеріали та утилізацію відпрацьованих ламп.

Зменшення довжини нових люмінесцентних ламп на 50 мм (у порівнянні зі стандартними розмірами ламп діаметром 26 мм) дозволило створити на їх базі, конструкції вмонтованих світильників, які оптимально підходять до стандартних систем підвісних стель.

На рис. 7.3 показано будову типової люмінесцентної лампи.

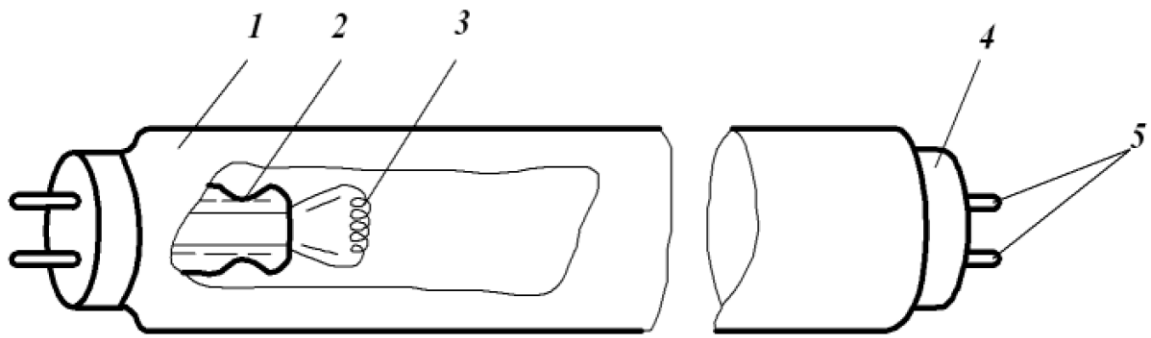


Рисунок 7. 3 – Конструкція люмінесцентної лампи загального призначення в розрізі.

Люмінесцентна лампа загального призначення (рис. 7.3) являє собою циліндричну колбу 1, герметично закриту з ввареними в її торці скляними ніжками 2. На ніжках змонтовані вольфрамові біспіралі 3, покриті шаром оксиду (окислів лужно-земельних металів), що забезпечує добру емісію електронів. По кінцях лампа має короткі цоколі 4 з штирками 5, що служать для включення її в електричну мережу. До штирків припаяні відводи електродів. Внутрішня поверхня колби лампи покрита тонким шаром люмінофору – кристалічної речовини певного хімічного складу. З колби відкачано повітря і введено аргон з невеликою кількістю ртуті (30-80 мг). Призначення аргону полягає в зменшенні розпилення покриття електродів і полегшенні запалювання розряду, оскільки суміш інертного газу з парами ртуті представляє собою більш сприятливе середовище для виникнення розряду, ніж аргон або пари ртуті, окремо взяті. При розряді збуджуються і випромінюють лише атоми ртуті. Перетворення електричної енергії в видиме випромінювання можна розділити на два етапи:

- перетворення електричної енергії в процесі електричного розряду в парах ртуті в енергію ультрафіолетового випромінювання;
- перетворення в шарі люмінофора ультрафіолетового випромінювання у видиме.

Незначна частина видимого випромінювання ($5\div 7\%$) створюється в результаті самого електричного розряду в між електродному проміжку.

Люмінофор, який застосовується в люмінесцентних лампах, є порошкоподібною речовиною. В природних умовах такою речовиною є фосфор. Розмір зерен, товщина і структура шару впливають на світлові властивості лампи. Зазвичай на 1 см^2 поверхні наноситься 2-3 мг люмінофору. Шар люмінофору працює на просвіт: збуджується зсередини, а випромінюється в навколишній простір лампи.

Люмінесцентні лампи розрізняють по формі, потужності і спектральному складі чи кольоровості випромінювання. На рис. 7.4 представлено позначення люмінесцентних ламп низького тиску, у відповідності до ДСТУ ІЕС 60081-2007.

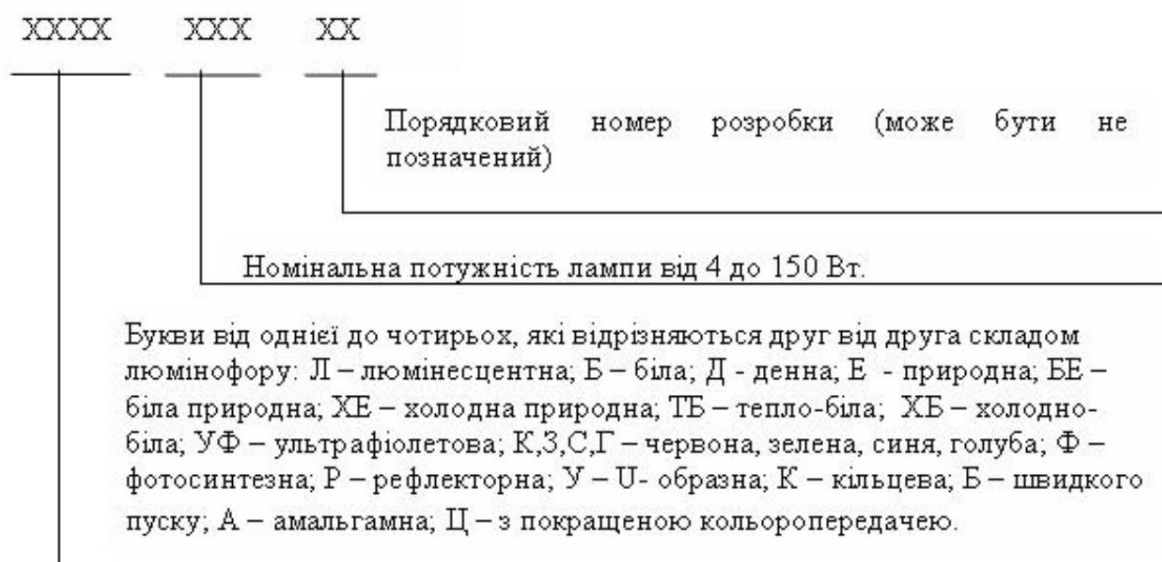


Рисунок 7.4 – Позначення люмінесцентних ламп низького тиску.

Номенклатура та технічні параметри деяких люмінесцентних ламп низького тиску наведені у табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Номенклатура та технічні параметри люмінесцентних ламп низького тиску

Тип лампи	Потужність, Вт	Напруга на лампі, В	Сила струму лампи, А	Номинальний світловий потік, лм	Довжина лампи, мм	Діаметр лампи, мм	Термін служби, годин
ЛДЦ 20-4	20	57	0,37	820	604	40	12000
ЛД 20-4				920			
ЛХБ 20-4				950			
ЛТБ 20-4				975			
ЛБ 20-4				1180			
ЛЕЦ 20				865			
ЛДЦ 30-4	30	104	0,36	1450	909	27	12000
ЛД 30-4				1640			
ЛХБ 30-4				1940			
ЛТБ 30-4				1880			
ЛБ 30-4				2100			
ЛЕЦ 30				2150			
ЛДЦ 40-4	40	103	0,43	2100	1214	40	12000
ЛД 40-4				2340			
ЛХБ 40-4				2780			
ЛТБ 40-4				2780			
ЛБ 40-4				3000			
ЛЕЦ 40				2190			
ЛХБЦ 40-1				2400			
ЛДЦ 65-4	65	110	0,67	3050	1514	40	12000
ЛД 65-4				3570			
ЛХБ 65-4				4100			
ЛТБ 65-4				4200			
ЛБ 65-4				4550			
ЛЕЦ 65				3400			
ЛДЦ 80-4	80	102	0,862	3740	1514	40	12000
ЛД 80-4				4070			
ЛХБ 80-4				4600			
ЛТБ 80-4				4720			
ЛБ 80-4				5220			
ЛХБ 150	150	90	1,9	8000	1524	40	4000
ЛБР 40-1	40	103	0,43	2250	1214	40	10000
ЛХБР 40-1				2080			

ЛБР 80-1	80	102	0,865	4160	1514	40	10000
ЛХБР 80-1				3460			
FQ24W/840	24	77	0,295	1750	563	16	18000
FQ39W/840	39	118	0,325	3100	863	16	18000
FQ49W/840	49	191	0,245	4300	1463	16	18000
FQ54W/840	54	120	0,455	4450	1163	16	18000
FQ80W/840	80	150	0,53	6150	1463	16	18000

Для того, щоб розібратись у принципі роботи люмінесцентних ламп, можна розглянути одну з поширених схем включення таких ламп в мережу живлення. Найбільш поширеною типовою схемою включення люмінесцентних ламп в мережу живлення є стартерна схема (рис. 7.5), в якій в якості баластного опору використовується послідовна індуктивність (дросель), а запалювання розряду в колбі лампи виконується за допомогою стартеру – лампи спеціальної конструкції (рис. 7.6).

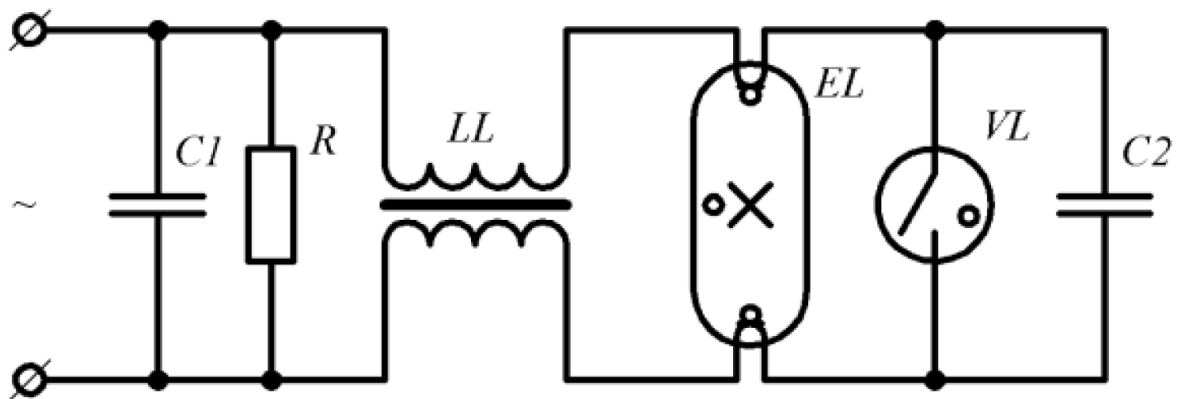


Рисунок 7.5 – Стартерна схема включення люмінесцентної лампи.

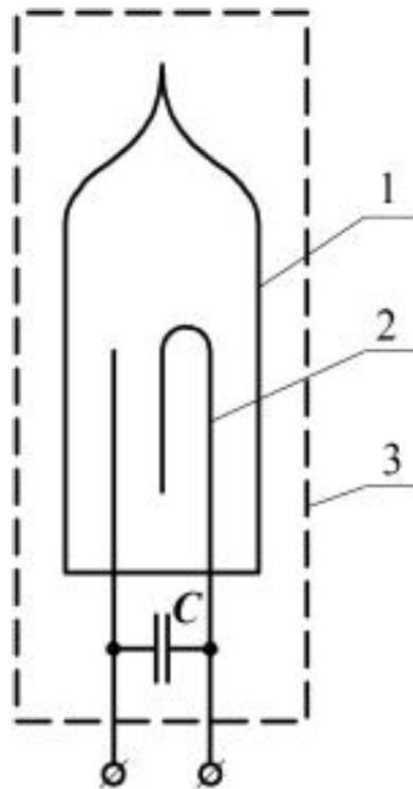


Рисунок 7.6 – Будова стартеру: 1 – колба; 2 – біметалевий електрод; 3 – корпус; С – конденсатор.

Стартерна схема включення люмінесцентної лампи – стандартна схема, яка забезпечує імпульсне запалювання лампи і стабілізацію в ній дугового розряду.

Для надійного запалювання дуги в люмінесцентній лампі її електроди попередньо нагрівають електричним струмом до температури близько 1000 К. При цьому іонізується міжелектродний проміжок за рахунок термоелектронної емісії оксидного покриття електродів, а напруга запалювання знижується.

Підігрів електродів і запалювання дугового розряду в лампі здійснюються за допомогою стартера і дроселя.

Стартер (рис. 7.6) являє собою мініатюрну газорозрядну лампу тліючого розряду. Один з електродів стартера виконаний біметалевою

пластиною і при нагріванні змінює своє положення щодо іншого нерухомого електрода (деформується) аж до короткого замикання з ним.

У стандартній стартерній схемі, (рис. 7.5) люмінесцентна лампа EL включена послідовно з індуктивним баластовим опором LL, що представляє собою дросель із феромагнітним осердям. Паралельно схемі підключений компенсуючий конденсатор C1, який призначений для підвищення коефіцієнта потужності установки з $0,5 \div 0,6$ до $0,92 \div 0,95$. Опір R, включений паралельно конденсатору C1, призначений для розряду ємності після відключення схеми від мережі, оскільки провідність непрацюючої люмінесцентної лампи близька до нуля.

Конденсатор C2 знижує радіоперешкоди, що створюються дуговим розрядом, збільшує тривалість імпульсу високої напруги, що виникає в дроселі, і зменшує іскріння контактів стартера в момент їх розмикання.

Після включення схеми напруга мережі виявляється прикладеною до лампи і стартера. Висока напруга запалювання лампи не дозволяє їй запалитися ($U_{з.л} > U_m$). В цей момент в стартері виникає тліючий розряд внаслідок того, що напруга запалювання менше напруги мережі $U_{з.ст} < U_m$). Теплота, що виділяється в тліючому розряді, достатня для підвищення температури біметалевого електрода. В результаті, він починає згинатися в бік нерухомого електрода.

Після замикання контактів стартера утворюється послідовне коло з біспіралей електродів лампи і дроселя. По колу тече струм, що перевищує номінальний струм лампи приблизно в 1,5 рази і сприяє швидкому розігріву електродів. Процес розігріву триває 1-3 с, поки біметалевий електрод стартеру не охолоне і не розімкне коло. За цей час електроди лампи встигають нагрітися і створити необхідну іонізацію розрядного проміжку. Наприкінці процесу розігріву контакти стартеру розмикаються.

При розмиканні кола струм, що протікає по обмотці дроселя, різко зменшується і в ньому виникає ЕРС самоіндукції, сумарне значення ЕРС і

напруги мережі достатньо для пробною розрядного проміжку в лампі і виникнення дугового розряду. Лампа починає працювати (встановлюється напруга горіння, що дорівнює, приблизно, половині напруги мережі).

Після запалювання лампи електроди стартеру залишаються розімкнутими і тліючий розряд у ньому не виникає, оскільки напруга $U_{г.л.}$ горіння лампи, прикладена до стартеру, менша напруги $U_{з.ст.}$ його запалювання. Для надійної автоматичної роботи стартера має виконуватись така умова:

$$U_m > U_{з.ст.} > U_{г.л.} \quad (7.1)$$

Компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ) є еволюційним кроком у технічному вдосконаленні люмінесцентних ламп. Сутність таких ламп полягає у поєднанні в корпусі всіх або частини елементів вдосконаленої схеми запалювання та регулювання режиму роботи лампи.

Перші серійні КЛЛ з'явилися на європейському ринку в 1981 році. Це були двоканальні КЛЛ з вмонтованим стартером для роботи з виносним електромагнітним ПРА потужністю 5, 7, 9, 11 Вт (тип PL фірми Philips та Dulux фірми Osram), а також КЛЛ типу SL (Philips) і Compacta (Osram) потужністю 9, 13, 18, 25 Вт з світлорозділовою оболонкою, вмонтованим електромагнітним ПРА, різьбовим цоколем Е 27.

Типовий ряд номіналів потужності з урахуванням всіх різновидів сучасних конструкцій КЛЛ виглядає наступним чином: 5, 7, 9, 10, 11, 13, 15, 18, 20, 23, 24, 25, 26, 32, 36, 40, 42, 55 Вт. Діапазон світлових потоків відповідно становив $\Phi_d = 200 \div 4800$ лм. Світлова віддача ламп з виносним ПРА лежить в межах $50 \div 80$ лм / Вт, а ламп з вмонтованим ПРА – $40 \div 65$ лм / Вт. Широка кольорова гама кольорових відтінків випромінювання з T_k від 2700 К (тепле біле світло, максимально близьке до спектру ламп розжарювання) до 6500 К («холодне» денне світло). З впровадженням електронних ПРА середній термін служби при стандартному циклі включень підвищується до 10000 годин. Повна довжина КЛЛ в залежності від

конструктивного виконання і потужності знаходиться в межах від 105 мм (5 Вт) до 535 мм (55 Вт); трубки розрядних каналів мають діаметри від 12 до 17 мм.

За конструктивними ознаками КЛЛ поділяють на дві великі групи: «А» лампи для включення з виносним ПРА і штифтованими цоколями; «Б» – лампи з вбудованими ПРА і різьбовими (або байонетними) цоколями.

До групи «А» входять КЛЛ з числом розрядних каналів від двох до шести, потужністю від 5 до 55 Вт і Φ_d від 200 до 4800 лм. До групи «Б» входять лампи E14, E27, лампи потужністю від 15 до 25 Вт з цоколем E27 (або B22 за спеціальним замовленням).

Розглянемо принцип дії компактної люмінесцентної лампи на прикладі найбільш розповсюдженої схеми фірми Osram, яка представлена на рис. 7.7 (лампа потужністю 11 Вт).

Схема складається з ланцюгів живлення, які включають перешкодозахисний дросель L2, запобіжник FU1, діодний міст VD4-VD7, що складається з чотирьох діодів N4007 і фільтруючого конденсатор C4. Схема запуску складається з елементів VD1, C2, R6 і динистора VS1. VD2, VD3, R1 і R3 виконують захисні функції. Іноді ці діоди не встановлюють з метою економії. При включенні лампи, R6, C2 і динистор формують імпульс, що подається на базу транзистора VT2, що призводить до його відкриття. Після запуску ця частина схеми блокується діодом VD1.

Після кожного відкриття транзистора VT2, конденсатор C2 розряджений. Це запобігає повторному відкритті динистора. Транзистори збуджують трансформатор TR1, який складається з феритового колечка з трьома обмотками в кілька витків. На нитку надходить напруга через конденсатор C3 з підвищувального резонансного контуру L1, TR1, C3 і C6. Трубка спалахує на резонансній частоті, що визначається конденсатором C3, тому що його ємність набагато менше, ніж ємність C6. У цей момент напруга на конденсаторі C3 досягає близько 600 В. Під час запуску пікові значення

струмів перевищують нормальні в 3-5 разів, тому якщо колба лампи пошкоджена, існує ризик пошкодження транзисторів.

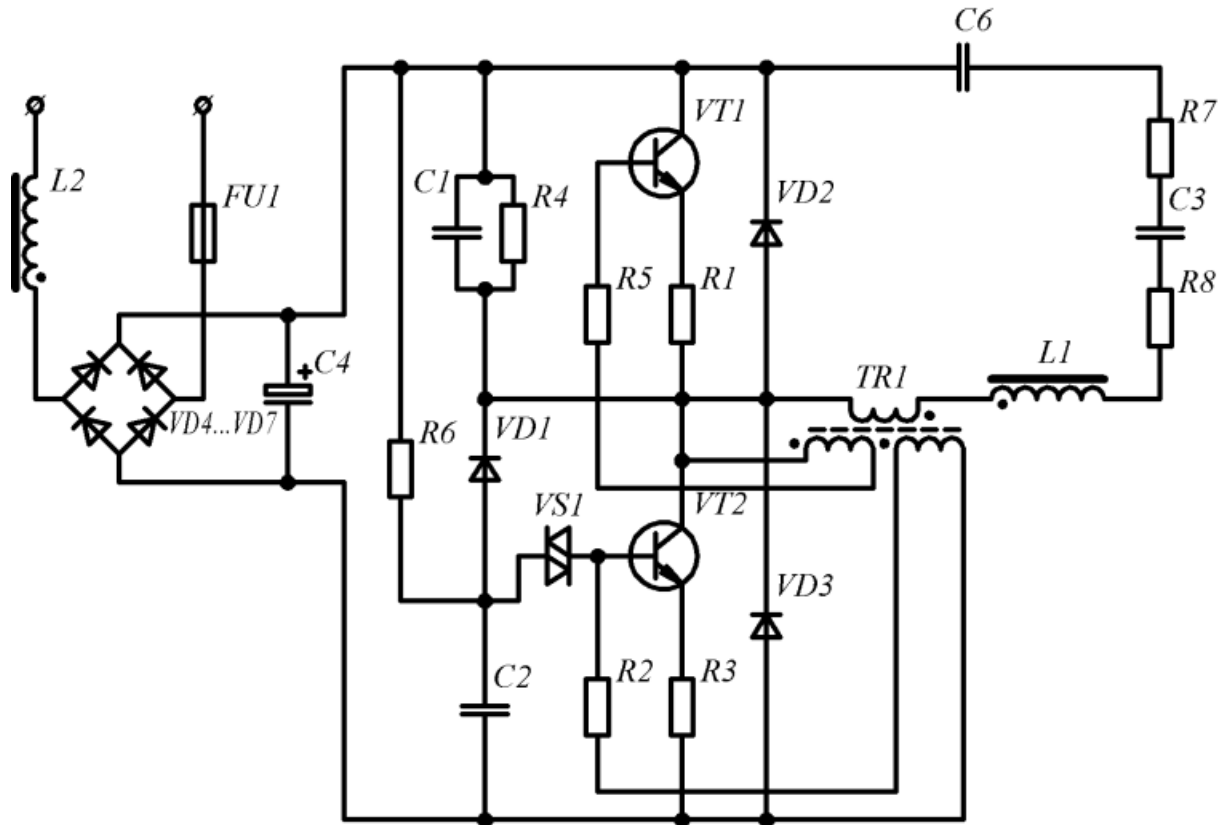


Рисунок 7.7 – Схема електрична принципова компактної люмінесцентної лампи фірми Osram.

Коли газ в трубці іонізований, C3 практично шунтується, завдяки чому частота знижується і генератор управляється тільки конденсатором C6 і генерує меншу напругу, але, тим не менш, достатню для підтримання світіння лампи.

Коли лампа запалилася, перший транзистор VT1 відкривається, що призводить до насичення осердя TR1. Зворотній зв'язок на базу призводить до закриття транзистора VT1. Потім відкривається другий транзистор VT2, який збуджується протилежно підключеної обмоткою TR1 і процес повторюється.

Енергетичний ККД сучасних люмінесцентних ламп більше 20 %, світловий – до 12%. У порівнянні з лампами розжарювання вони більш досконалі джерела видимого випромінювання.

Спектр випромінювання люмінесцентних ламп в залежності від складу люмінофора може бути ультрафіолетовим та видимим з різними колірними відтінками.

Ефективна віддача люмінесцентних ламп також залежить від складу люмінофора. У освітлювальних люмінесцентних ламп світлова віддача досягає 80 лм / Вт, а яскравість в 200÷300 разів менше яскравості ламп розжарювання.

Експлуатаційні показники люмінесцентних ламп безперервно поліпшуються. Середня тривалість горіння освітлювальних люмінесцентних ламп загального призначення складає 12000÷15000 год. У процесі експлуатації спостерігається значний спад потоку випромінювання: до кінця терміну служби він складає 60% номінального. Найбільш інтенсивно потік знижується в початковий період експлуатації, тому за номінальний приймають його значення після 100 годин роботи лампи.

Робота люмінесцентної лампи від мережі змінного струму частотою 50 Гц супроводжується пульсацією потоку випромінювання. У ламп типу ЛБ властивості люмінофора такі, що $K_{п.в.} = 22\div 23\%$, у ламп з поліпшеною передачею кольору ЛДЦ, ЛТБЦ, ЛЕЦ коефіцієнт пульсації випромінювання значно більше – 45÷75%.

На роботу люмінесцентних ламп істотно впливають і чинники навколишнього середовища. Відхилення температури повітря від 20-25 °С у бік як підвищення, так і зниження приводить до зменшення потоку випромінювання і ефективної віддачі лампи. Значні відхилення температури повітря від вказаної раніше погіршують умови запалювання лампи. При малих позитивних значеннях температури повітря напруга запалювання

підвищується на 20-25%, при негативній температурі ймовірність запалювання люмінесцентної лампи близька до нуля.

Пускорегулюючий апарат (ПРА) – це пристрій, за допомогою якого розрядна лампа отримує живлення від електричної мережі. ПРА забезпечує необхідний режим запалювання, розігріву електродів, а після запалювання дугового розряду роботу лампи в номінальному режимі.

Основні функції ПРА: стабілізація робочих характеристик лампи після її запалювання і забезпечення стійкості роботи лампи при відхиленнях напруги мережі. Деякі типи пускорегулювальних апаратів забезпечують ще декілька функцій: підігрів електродів, підвищення напруги для запалювання лампи та інші.

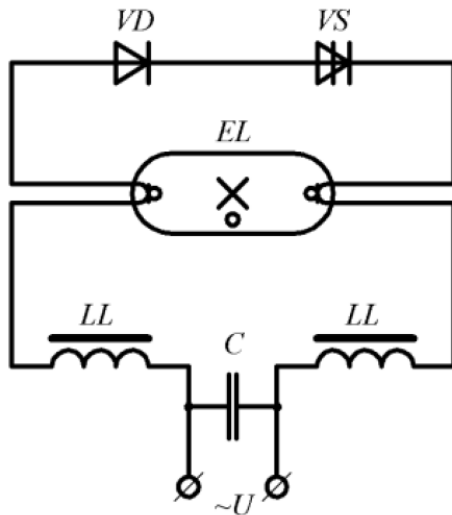
Для люмінесцентних ламп використовують ПРА трьох основних типів:

- ПРА імпульсного запалювання подають імпульс напруги на лампу;
- ПРА швидкого запалювання подають на лампу напругу не імпульсної форми з попереднім підігрівом електродів;
- ПРА миттєвого запалювання подають напругу не імпульсної форми на холодні електроди лампи.

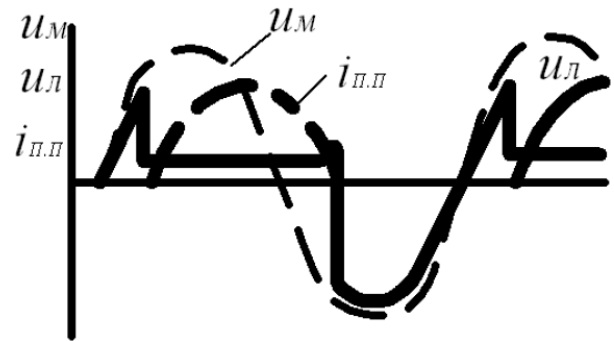
Найменш надійним елементом стартерних схем включення люмінесцентних ламп є стартер з його малим терміном служби, який залежить від числа включень, і нестабільністю електричних параметрів. Ці недоліки стартера призводять до скорочення терміну служби ламп, а часто до перегріву і виходу з ладу всього ПРА.

Характерні особливості вольт-амперних характеристик напівпровідникових елементів дозволяють використовувати їх замість стартерів тліючого розряду. Відомі схеми з застосуванням позисторів, перемикаючих діодів-динисторів і тринисторів. Прикладом ПРА імпульсного запалювання з використанням динисторів є схема включення ЛЛ з напівпровідниковим стартером, яка приведена рис. 7.8.

Процес запалювання лампи видно на осцилограмах (рис. 7.8 (б)). При певному миттєвому значенні напруги позитивної напівхвилі синусоїдальної напруги мережі U_m , динистор VS відкривається, по електродах лампи тече струм попереднього підігріву $i_{n.n}$, напруга на лампі під час підігріву залишається рівною падінню напруги на відкритому динисторі.



а)



б)

Рисунок 7.8 – а) схема включення люмінесцентної лампи з напівпровідниковим стартером; б) осцилограми миттєвих значень напруги і струму при запалюванні люмінесцентної лампи за допомогою динистора.

VS – динистор; VD – діод; LL – дросель; EL – люмінесцентна лампа.

В момент припинення струму підігріву ($i_{n.n} = 0$) до лампи прикладається напруга негативної напівхвилі. Якщо електроди лампи достатньо нагрілися і напруга запалювання лампи стала менше амплітудної, то лампа запалюється. Якщо нагрів недостатній, то процес повторюється з частотою мережі до моменту створення задовільних умов для запалювання.

Прикладом ПРА гарячого, з постійним підігрівом і холодного запалювання є схеми які наведено рис. 7.9.

Безстартерна схема гарячого запалювання люмінесцентних ламп з постійним підігрівом електродів включає в себе дросель і розжарювальний

трансформатор (рис 7.9, а), надійність запалювання люмінесцентної лампи забезпечується попереднім підігрівом електродів, який знижує напругу запалювання до значення напруги мережі, і наявністю провідникової полоси або покриття на колбі. Недоліком безстартерної ПРА гарячого запалювання є більші витрати матеріалів на виготовлення, більші втрати потужності. До того ж, після запалювання люмінесцентної лампи по нитці розжарення електродів постійно протікає струм підігріву, що зменшує термін служби ламп за рахунок розпилювання електродів лампи, на первинній обмотці розжарювального трансформатора під час роботи лампи зберігається приблизно половина напруги, що подається на схему.

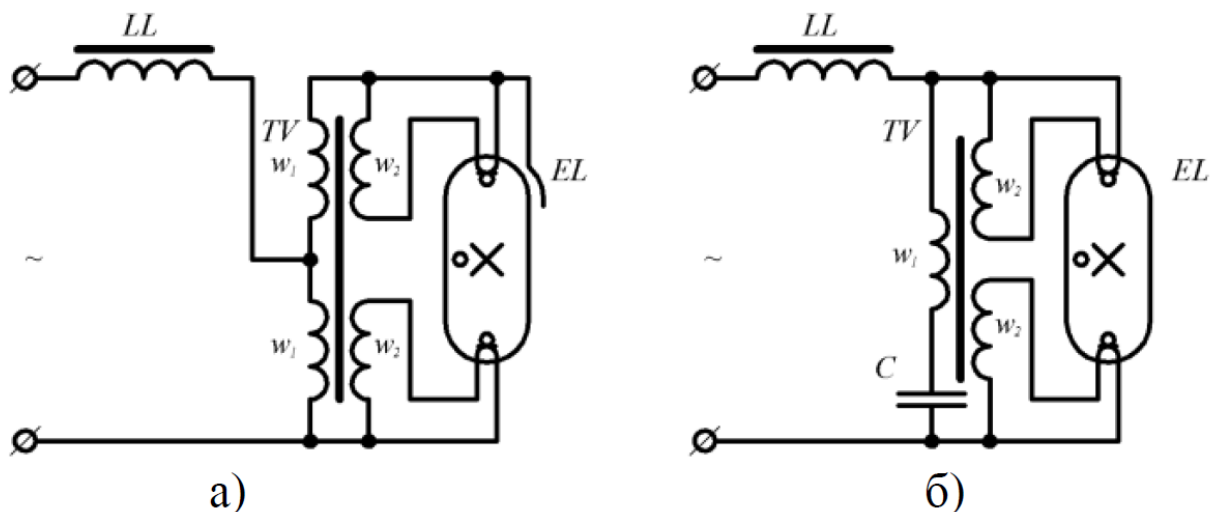


Рисунок 7.9 – а) безстартерна схема включення люмінесцентної лампи з розжарювальним трансформатором гарячого запалювання: EL – люмінесцентна лампа; LL – дросель; TV – розжарювальний трансформатор; б) резонансна безстартерна схема включення люмінесцентної лампи з розжарювальним трансформатором холодного запалювання: C – конденсатор; w_1 – первинна обмотка трансформатора; w_2 – вторинна обмотка трансформатора.

Пускорегулюючі апарати холодного (миттєвого) запалювання при холодних електродах лампи (рис. 7.9, б) містять індуктивні та ємнісні

елементи, що утворюють в режимі холостого ходу послідовний резонансний контур. За рахунок резонансу напруг у такому контурі забезпечується надійне запалювання люмінесцентної лампи, підключеної паралельно одному з цих елементів.

При подачі напруги на схему напруга на конденсаторі перевищує напругу мережі в $2\div 2,5$ рази. Трохи зменшена напруга розжарювального трансформатора буде подана на лампу. При розігріві електродів від розжарювального трансформатора цієї напруги достатньо для загоряння лампи. Після загоряння лампи коло «ємність – первинна обмотка трансформатора» шунтується опором лампи, виводячи контур із резонансу.

Недоліки ПРА миттєвого запалювання полягають в значній втраті потужності (до 40% потужності лампи) і в швидкому розпилюванні оксидного покриття електродів.

Контрольні запитання

1. Що таке люмінесценція?
2. Які види люмінесценції вам відомі?
3. Поясніть принцип фотолюмінесценції.
4. Наведіть етапи еволюційного розвитку конструкцій люмінесцентних ламп.
5. Поясніть принципову будову люмінесцентної лампи загального призначення.
6. Поясніть маркування люмінесцентних ламп у відповідності до ДСТУ ІЕС 60081-2007.
7. Поясніть принципи включення люмінесцентних ламп в мережу живлення за стартерною схемою.
8. Поясніть призначення та будову стартеру схем включення люмінесцентних ламп.
9. Які умови надійної автоматичної роботи стартера вам відомі?

10. Що таке компактні люмінесцентні лампи?
11. Які типові характеристики компактних люмінесцентних ламп вам відомі?
12. Що означають групи «А» і «Б» компактних люмінесцентних ламп?
13. Поясніть схему електричну принципову компактної люмінесцентної лампи на основі базових компонентів, що входять до її складу.
14. Які енергетичні та світлові характеристики сучасних компактних люмінесцентних ламп вам відомі?
15. Що таке пускорегулюючий апарат люмінесцентних ламп?
16. Які типи пускорегулюючих апаратів люмінесцентних ламп вам відомі і в чому їх особливості?
17. Поясніть процес запалювання люмінесцентної лампи з напівпровідниковим стартером.
18. Як працює безстартерна схема включення люмінесцентної лампи з розжарювальним трансформатором гарячого запалювання?
19. Як працює резонансна безстартерна схема включення люмінесцентної лампи з розжарювальним трансформатором холодного запалювання?

Лекція 8

Газорозрядні лампи високого тиску

Газорозрядні лампи низького тиску не можуть створювати світловий потік, призначений для освітлення великих приміщень або територій. Оскільки інтенсивність утворення фотонів пов'язана з температурою плазми, в якій ці фотони випромінюються збудженими атомами, для джерел освітлення зі збільшеним світловим потоком використовують газорозрядні лампи високого тиску, споживана потужність яких може сягати кіловат.

Основними недоліками люмінесцентних ртутних ламп низького тиску є відносно мала потужність, великі габаритні розміри і залежність їх характеристик від температури навколишнього середовища. Дуговий розряд в парах ртуті при тиску до $0,3 \text{ МПа}$ дозволяє створити джерела світла з високою світловою віддачею і значним терміном роботи. Номінальна потужність таких джерел може бути від декількох десятків Вт до одиниць кіловат. До газорозрядних ламп високого тиску, які використовуються в якості джерел видимого випромінювання, необхідно віднести лампи типів ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, ДКсТ.

Лампи типу ДРЛ – дугові ртутні люмінесцентні лампи високого тиску прийняті у вітчизняній світлотехніці як РЛВД, з виправленою кольоровістю – широко поширені для освітлення виробничих територій, будівельних майданчиків, проїзної частини доріг, а також промислових і сільськогосподарських об'єктів, що не вимагають високої якості передачі кольору.

Перші лампи ДРЛ виготовлялися двоелектродними. Для запалювання таких ламп потрібне джерело високовольтних імпульсів. В якості нього застосовувався пристрій ПУРЛ-220 (пусковий пристрій ртутних ламп на напругу 220 В). Електроніка тих часів не дозволяла створити достатньо надійні запалюючі пристрої, а до складу ПУРЛ входив газовий розрядник, що

мав термін служби менший, ніж у самої лампи. Тому в 1970-х роках промисловість поступово припинила випуск двоелектродних ламп. На заміну їм прийшли чотириелектродні, які не потребують зовнішніх запалюючих пристроїв.

Для узгодження електричних параметрів лампи і джерела електроживлення практично всі види розрядних ламп, що мають спадаючу зовнішню вольт-амперну характеристику, потребують використання пускорегулюючого апарату, в якості якого, в більшості випадків, використовується дросель, включений послідовно з лампою.

Чотириелектродна лампа ДРЛ (рис. 8.1) складається із зовнішньої скляної колби 1, яка заповнена вуглекислим газом для стабілізації властивостей люмінофору і яка забезпечена різьбовим цоколем 2. На ніжці лампи змонтована на геометричній вісі зовнішньої колби кварцова внутрішня колба (розрядна трубка, РТ) 3, яка заповнена аргоном з додаванням ртуті. Чотириелектродні лампи мають основні електроди 4 і розташовані поряд з ними допоміжні (запалюючі) електроди 5. Кожен запалюючий електрод з'єднаний з основним електродом, що знаходиться в протилежному кінці РТ, через струмообмежуючі опори 6. Допоміжні електроди полегшують запалювання лампи і роблять її роботу в період пуску більш стабільною.

Останнім часом ряд закордонних фірм виготовляє триелектродні лампи ДРЛ, оснащені тільки одним запалювальним електродом. Ця конструкція відрізняється тільки більшою технологічністю у виробництві, не маючи ніяких інших переваг перед чотириелектродними.

Принцип дії лампи полягає у наступному: внутрішня колба розрядної трубки (РТ) лампи виготовляється з тугоплавкого і хімічно стійкого прозорого матеріалу (кварцового скла або спеціальної кераміки) і наповнюється строго дозованими порціями інертних газів. Крім того у внутрішню колбу вводиться металева ртуть, яка в холодній лампі має вигляд

компактної кульки або осідає у вигляді нальоту на стінках колби і (або) електродах. Світловим тілом РЛВТ є стовп дугового електричного розряду.

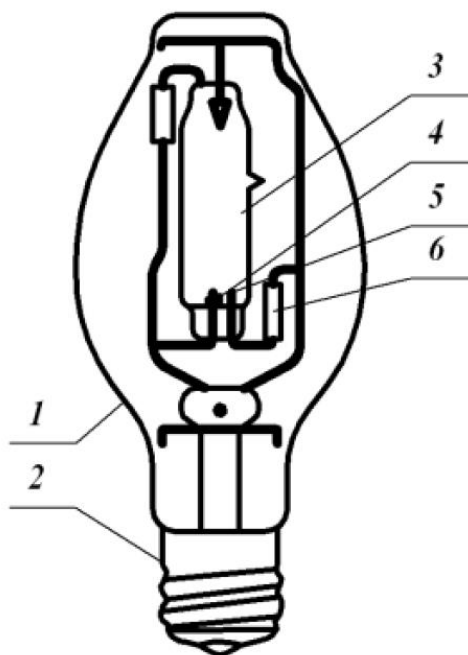


Рисунок 8.1 – Лампа високого тиску ДРЛ: 1 – зовнішня колба; 2 – цоколь; 3 – внутрішня кварцова колба; 4 – основні вольфрамові електроди; 5 – запалюючі електроди; 6 – струмообмежуючі резистори.

Процес запалювання лампи, оснащеної запалювальними електродами, виглядає наступним чином. При подачі на лампу напруги живлення між близько розташованими основним і запалювальним електродами виникає тліючий розряд, чому сприяє мала відстань між ними, яка істотно менша відстані між основними електродами, отже, нижче і напруга пробою цього проміжку. Виникнення в порожнині РТ досить великої кількості носіїв заряду (вільних електронів і позитивних іонів) сприяє пробою проміжку між основними електродами і запалюванню між ними тліючого розряду, який практично миттєво переходить в дуговий.

Стабілізація електричних та світлових параметрів лампи настає через 10÷15 хвилин після включення. Протягом цього часу струм лампи істотно перевищує номінальний і обмежується лише опором пускорегулюючого

апарату. Тривалість пускового режиму сильно залежить від температури навколишнього середовища – чим холодніше, тим довше буде розпалюватися лампа.

Електричний розряд у внутрішній колбі ртутної дугової лампи створює видиме випромінювання блакитного або фіолетового (а не білого як прийнято вважати) кольору, а також потужне ультрафіолетове випромінювання. Останнє збуджує світіння люмінофору, нанесеного на внутрішній стінці зовнішньої колби лампи. Червонувате світіння люмінофора, змішуючись з біло-зеленуватим випромінюванням внутрішньої колби, дає яскраве світло, близьке до білого.

Зміна напруги мережі живлення в більшу чи меншу сторону викликає відповідну зміну світлового потоку. Відхилення напруги живлення на $10\div 15\%$ допустимо супроводжується зміною світлового потоку лампи на $25\div 30\%$. При зменшенні напруги живлення менше 80% від номінального лампа може не запалитися, а працюючи – згасне.

При горінні лампа сильно нагрівається. Це вимагає використання в світлових приладах з дуговими ртутними лампами термостійких провідників, пред'являє серйозні вимоги до якості контактів патронів. Оскільки тиск у внутрішній колбі гарячої лампи істотно зростає, збільшується і напруга її пробою. Величина напруги мережі живлення виявляється недостатньою для запалювання гарячої лампи. Тому перед повторним запалюванням лампа повинна охолонути. Цей ефект є істотним недоліком дугових ртутних ламп високого тиску, оскільки навіть дуже короткочасний перерив електроживлення гасить їх, а для повторного запалювання потрібна тривала пауза.

У схемі включення таких ламп (рис. 8.2) послідовно з лампою включається одно- або двообмотковий дросель. Оскільки при індуктивному баласті коефіцієнт потужності ПРА складає $0,45-0,6$, то для його підвищення

до необхідного значення при індивідуальній компенсації в схему вводиться конденсатор C . Ємність конденсатора визначається потужністю лампи.

Приклади умовного позначення газорозрядних лампи високого тиску, у відповідності до діючих стандартів, наведено на рис. 8.3.

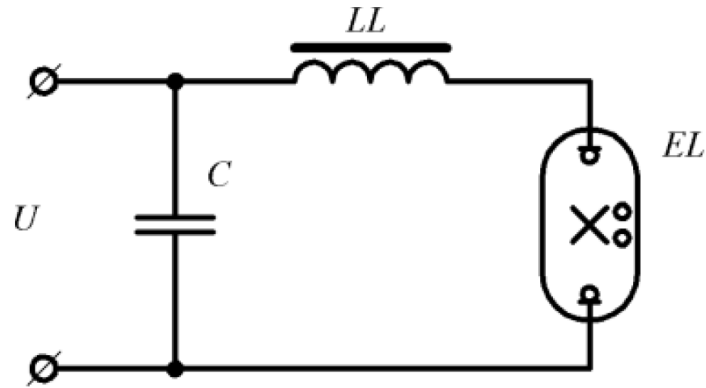


Рисунок 8.2 – Принципова схема включення чотириелектродних ламп типу ДРЛ: LL – дросель; C – конденсатор; EL – лампа.

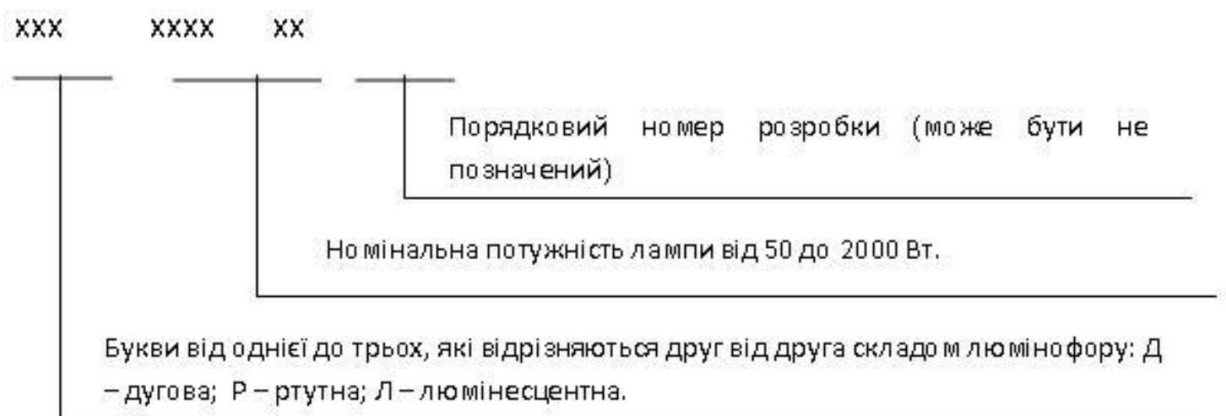


Рисунок 8.3 – Позначення люмінесцентних ламп високого тиску.

Переваги ламп ДРЛ по відношенню до люмінесцентних ламп низького тиску наступні:

- лампи ДРЛ порівняно з малими розмірами дозволяють отримати від одного джерела набагато більший світловий потік ніж від ЛЛ;
- оскільки внутрішня колба знаходиться у зовнішній колбі, умови зовнішнього середовища не впливають на світлотехнічні характеристики

лампи. Лампа працює в номінальному режимі при температурі навколишнього середовища від -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$.

Недоліки ламп ДРЛ по відношенню до люмінесцентних ламп низького тиску є наступні:

- світлова віддача лампи ДРЛ менша ніж у люмінесцентних ламп і складає вона в середньому $40\text{-}50\text{ лм/Вт}$;
- температура зовнішньої колби складає в середньому 200°C і при попаданні капель дощу на неї вона може тріснути;
- лампи ДРЛ поступаються по кольоропередачі люмінесцентним лампам;
- світловий ККД ламп ДРЛ складає до 10%.

Металогалогенні лампи, що з'явилися на початку 60-х років, відкрили нову сторінку в розвитку газорозрядних ламп. Перспективи їх використання визначаються виключно широкими можливостями варіювання спектральним розподілом випромінювання – від практично однорідного до безперервного – при високому ККД і високій питомій потужності.

Будова і принцип дії металогалогенних ламп (МГЛ) засновані на тому, що галогеніди багатьох металів випаровуються легше, ніж самі метали, і не руйнують кварцове скло. Тому всередину розрядних колб МГЛ, крім ртуті та аргону, додатково вводяться різні хімічні елементи у вигляді галоїдних сполук (тобто сполук з I , Br , Cl). Після запалювання розряду, коли досягається робоча температура колби, галогеніди металів частково переходять у пароподібний стан. Потрапляючи в центральну зону розряду з температурою в кілька тисяч градусів Кельвіна, молекули галогенідів дисоціюють на галоген і метал. Атоми металу збуджуються і випромінюють характерні для них спектри. Дифундуючи за межі розрядного каналу і потрапляючи в зону з більш низькою температурою поблизу стінок колби, вони з'єднуються в галогеніди, які знову випаровуються. Цей замкнутий цикл забезпечує дві принципові переваги:

– у розряді створюється достатня концентрація атомів металів, що дають необхідний спектр випромінювання, тому що при робочій температурі кварцової колби $800 \div 900^{\circ}\text{C}$ тиск парів галогенідів багатьох металів значно вище, ніж самих металів, таких як талій, індій, скандій, диспрозій та інші;

– з'являється можливість вводити в розряд лужні (натрій, літій, цезій) та інші агресивні метали (наприклад, кадмій, цинк), які в чистому вигляді викликають дуже швидке руйнування кварцового скла при температурах вище $300 \div 400^{\circ}\text{C}$, а у вигляді галогенідів не викликають такого руйнування.

Застосування галогенідів різко збільшило кількість хімічних елементів, які використовуються для генерації випромінювання, і дозволило створювати МГЛ з дуже різними спектрами, особливо у випадку використання суміші галогенідів. Незважаючи на відносно малу концентрацію металів, які добавляються, у порівнянні з концентрацією ртуті, значна частина випромінювання розряду створюється висвітленням атомів домішок, що пояснюється більш низькими потенціалами збудження цих атомів. Ртутні пари відіграють роль буфера, забезпечуючи високу температуру в розряді, високий градієнт потенціалу, малі теплові втрати і інше.

Для загального освітлення в даний час найбільш широкого поширення набули МГЛ з наступними складовими металогалогенних домішок (крім ртуті і запалюючого газу): 1) йодиди натрію, талію та індію, 2) йодиди натрію, скандію і торію. Лампи мають спектр, що складається з окремих ліній ртуті і ліній домішок, розташованих в різних областях спектру, завдяки чому вдається з'єднувати високу світлову віддачу з прийнятною кольоропередачею (у ламп потужністю 400 Вт $\eta_v = 80\text{ лм/Вт}$, $R_a = 65$). Лампи з йодидами диспрозійу і інших рідкоземельних металів мають спектр, настільки густо заповнений лініями диспрозійу, що він справляє враження безперервного по всій видимій області, завдяки чому досягається досить висока якість передачі кольору при високій світловій віддачі (у ламп потужністю 400 Вт $\eta_v = 70 \div 80\text{ лм/Вт}$, $R_a > 80$).

На рис. 8.4 показано будову лампи ДРИ (дугова ртутна з іодідами металів). Лампа містить трубчасту внутрішню колбу 1 з кварцового скла з розміщеними в її торці вольфрамовими електродами 2. Порожнина внутрішньої колби заповнена аргоном, строго дозованими компонентами у вигляді ртуті, йодидів рідкоземельних металів (гальмія, тулію, талію), а також натрію і цезію. Внутрішня колба поміщена в зовнішню прозору термостійку вакуумовану колбу 3, яка забезпечує необхідний температурний режим внутрішньої колби й усуває можливість електричного пробоя між струмоведучими частинами лампи.

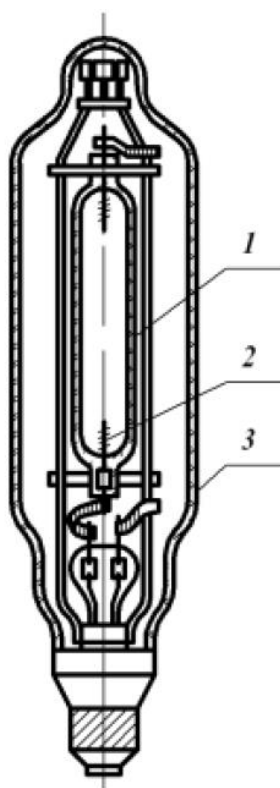


Рисунок 8.4 – Будова лампи ДРИ: 1 – внутрішня кварцова колба; 2 – електроди; 3 – зовнішня колба.

Схема включення лампи ДРИ (рис. 8.5) містить трансформатор TV2, вторинна обмотка якого виконує роль баластного опору, стабілізуючого розряд між електродами. Первинна обмотка трансформатора TV2 є частиною

запалюючого пристрою, що містить, крім того, трансформатор TV1, конденсатор С і розрядник F.

Напруга мережі, прикладена до електродів лампи, недостатня для виникнення розряду між ними. При включенні кнопкою SB трансформатора TV1 конденсатор С протягом частини напівперіоду напруги мережі заряджається від вторинної обмотки TV1 до напруги пробоя розрядника F. У момент пробоя з первинної обмотки TV2 протікає імпульс струму розряду конденсатора, а у вторинній обмотці трансформатора TV2 виникає імпульс напруги з амплітудою до $2\div 3$ кВ, який забезпечує запалювання розряду у внутрішній колбі лампи. У наступний напівперіод напруги мережі живлення процес повторюється.

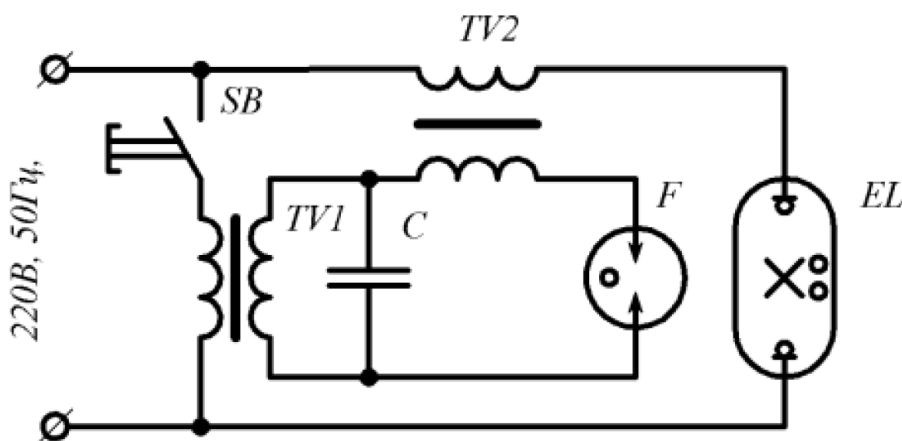


Рисунок 8.5 – Схема включення лампи ДРИ.

Запалюючий пристрій забезпечує надійне включення лампи при температурі навколишнього середовища до -40°C . Світлотехнічні та електротехнічні параметри лампи під час її розігріву змінюються так само, як і у ламп ДРЛ. Час розігрівання лампи $2\div 4$ хвилини. Повторне запалювання лампи ДРИ після її згасання можливо через $5\div 10$ хвилин, в залежності від умов охолодження.

Кожен з компонентів наповнення внутрішньої лампи доповнює лінійчатий спектр ртутного розряду своїм випромінюванням. Йодид натрію

доповнює випромінювання в жовтій частині спектра, талій – в зеленій, індію – у блакитній. Сукупність випромінювань всіх компонентів створює враження безперервного спектру, а певний склад суміші дозволяє отримати кольоровість випромінювання лампи, близьку до природного світла.

У порівнянні з лампами ДРЛ світловий потік ламп ДРИ такої ж потужності більше в $1,5 \div 1,6$ рази, а спектральний склад випромінювання забезпечує правильну передачу кольору. Світлова віддача ламп ДРИ досягає 95 лм/Вт , що ставить їх в ряд найбільш ефективних джерел світла. Умови навколишнього середовища не надають істотного впливу на світлотехнічні характеристики лампи, внутрішня колба якої розміщена у вакуумі зовнішньої колби.

В процесі експлуатації світловий потік ламп ДРИ зменшується в $1,3 \div 1,5$ рази швидше, у порівнянні з лампами ДРЛ, цим пояснюється значно менший термін служби перших. Відхилення напруги чинить значний вплив на світловий потік і потужність ламп ДРИ: відхилення напруги мережі в межах $\pm 10\%$ від номінальної викликають в 3 рази більші відхилення світлового потоку і в 2,2 рази більші відхилення потужності лампи від номінальних значень. Необхідність у запалюючому пристрої здорожує ПРА до ламп ДРИ, ускладнює їх експлуатацію; висока напруга на вторинній обмотці трансформатора, що досягає декількох кіловольт, вимагає поліпшення надійності міжвиткової ізоляції, крім того, запалюючий пристрій необхідно розміщувати в безпосередній близькості від лампи, щоб довжина проводів, по яких передається високовольтний імпульс, була мінімальною.

Напрієві лампи високого тиску (НЛВД) є одними з найбільш ефективних джерел світла і вже сьогодні мають світлову віддачу до 160 лм/Вт при потужностях $30 \div 1000 \text{ Вт}$; їх термін служби може перевищувати 25000 годин. Запалювання НЛВД здійснюється за допомогою спеціальних запалюючих пристроїв, які видають імпульс з амплітудою $2 \div 4 \text{ кВ}$. Час запалювання ламп, зазвичай, складає $3 \div 5$ хвилин.

До переваг сучасних НЛВД можна віднести невеликий спад світлового потоку протягом терміну служби, який, наприклад для ламп потужністю 400 *Вт* становить 10÷20% за 15 тисяч годин роботи при 10-годинному циклі горіння. У ламп, що працюють при більш частих включеннях, спад світлового потоку зростає приблизно на 25% при кожному дворазовому скороченні циклу. Таке співвідношення застосовується для розрахунку зниження терміну служби таких ламп.

Вважається, що ці лампи доцільно застосовувати там, де економічні показники більш важливі, ніж точне відтворення кольорів. Їх теплий жовтий колір підходить для освітлення парків, торговельних центрів, доріг, а також, в деяких випадках, для декоративного архітектурного освітлення. Але розвиток цих джерел світла в останнє десятиріччя призвело до різкого розширення можливостей їх використання завдяки виникненню нових видів, а також ламп малої потужності і ламп з поліпшеною передачею кольору.

Проте в стандартних НЛВД є ряд недоліків, з яких, в першу чергу, необхідно вказати на явно погіршені властивості кольоропередачі, які характеризуються низьким рівнем ($R_a = 25\div 28$) і невисокою кольоровою температурою ($T_k = 2000\div 2200\text{ K}$).

Розширені резонансні лінії натрію обумовлюють золотисто-жовтий колір випромінювання. Передача кольору НЛВД вважається задовільною для зовнішнього освітлення, але недостатньою для внутрішнього.

Поліпшення кольорових характеристик НЛВД йде, головним чином, за рахунок підвищення тиску пари натрію у внутрішній колбі при збільшенні температури холодної зони або вмісту натрію в амальгамі, збільшення діаметру розрядної трубки, введення випромінюючих домішок, нанесення на зовнішню колбу люмінофорів і інтерференційних покриттів, живлення ламп імпульсним струмом підвищеної частоти. Зниження світлової віддачі компенсується збільшенням тиску ксенону (тобто зменшенням теплопровідності плазми).

Будова лампи ДНаТ показана на рис. 8.6. Лампа містить тонкостінну трубчасту внутрішню колбу 1 з полікристалічного окису алюмінію – кераміки, яка добре пропускає світлове випромінювання і є стійкою до тривалого впливу насичених парів натрію з температурою $1570 \div 1670 \text{ K}$, що містяться у внутрішній колбі під час роботи лампи. Крім пари натрію, внутрішня колба заповнена ксеноном і парами ртуті. На торцях внутрішньої колби напаяні металеві ковпачки з вольфрамовими активованими електродами 2. Внутрішня колба поміщена в колбу 3 з термостійкого скла, з якої відкачано повітря для теплоізоляції внутрішньої колби.

При підключенні живлення до УІЗУ заряджається конденсатор С2 через ланцюжок R1, С1 і вторинну обмотку імпульсного трансформатора TV. Коли напруга С2 досягає напруги стабілізації стабілітрона VD2, в колі керуючого електрода тиристора VS з'являється струм, тиристор відкривається і конденсатор С2 розряджається на первинну обмотку імпульсного трансформатора TV через тиристор і діод VD1. У вторинній обмотці pojawiaються імпульси напруги (на півхвилі – близько 5 імпульсів) амплітудою $1900 \div 6000 \text{ В}$, що забезпечують запалювання лампи. Значення амплітуд імпульсів визначається положенням перемикача 2 (2', 2"). Амплітуда і тривалість імпульсів залежать також від значень R1, С1. Діод VD1 призначений для захисту тиристора VS по зворотній напрузі.

Тривалість розпалювання лампи ДНаТ складає $10 \div 15$ хвилин, повторне запалювання можливо через $1 \div 2$ хвилини після згасання лампи.

Випромінювання парів натрію має світлову віддачу 130 лм/Вт , але до 70% його зосереджено в діапазоні довжин хвиль $560 \div 610 \text{ нм}$. Жовто-помаранчеве випромінювання лампи забезпечує добре розпізнавання положення і форми об'єктів, але перенесення кольорів може бути оцінено лише як ледь задовільне.

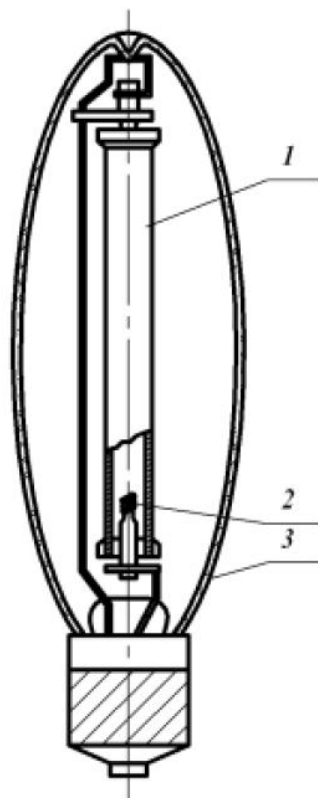


Рисунок 8.6 – Будова лампи ДНаТ: 1 – внутрішня керамічна розрядна трубка;
2 – вольфрамовий електрод; 3 – зовнішня колба.

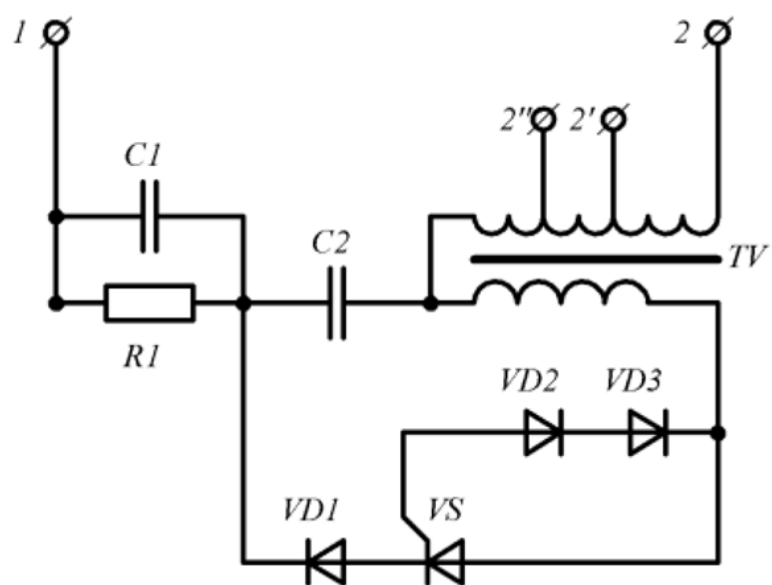


Рисунок 8.7 – Принципова електрична схема пристрою імпульсного
запалюючого універсального типу УІЗУ.

Ксенонова лампа з короткою дугою була розроблена в 1940-х у Німеччині і представлена в 1951 році компанією Osram. Лампа дає яскраве біле світло, близьке до денного спектру, але має досить невисокий к. к. д.

У всіх сучасних ксенонових лампах використовується колба з кварцового скла з електродами з вольфраму, легованого торієм. Кварцове скло – це єдиний економічно прийнятний оптично прозорий матеріал, який витримує високий тиск і температуру.

Для спеціальних завдань застосовують виготовлення колби лампи з сапфіру, це розширює спектральний діапазон випромінювання в бік короткохвильового ультрафіолету, також призводить до збільшення терміну служби лампи. Легування електродів торієм сильно збільшує емісію ними електронів. Так як коефіцієнт теплового розширення кварцового скла і вольфраму розрізняються, вольфрамові електроди вварені в смуги з чистого молібдену або інвару, які впаяні в колбу. У ксенонових ламп анод при роботі дуже сильно нагрівається потоком електронів, тому лампи великої потужності нерідко мають рідинне охолодження.

Для підвищення ефективності лампи ксенон знаходиться в колбі під високим тиском (до 3 МПа) що накладає особливі вимоги щодо безпеки. При пошкодженні лампи осколки можуть розлетітися з величезною швидкістю. Зазвичай лампа транспортується в спеціальному пластиковому контейнері, який знімається з лампи тільки після установки лампи на місце і надівається на лампу при її демонтажі. При роботі лампи колба піддається значним перепадам температури, в результаті чого до кінця терміну служби колба стає більш крихкою.

Розрізняють два основних типи ксенонових ламп: лампи в кульових колбах з короткою дугою, з відстанню між електродами в кілька міліметрів з природним або повітряним охолодженням і лампи в трубчастих колбах з довгою дугою з природним або водяним охолодженням.

На рис. 8.8 представлено ксенонову лампу, конструкція якої близька до кулястої форми.

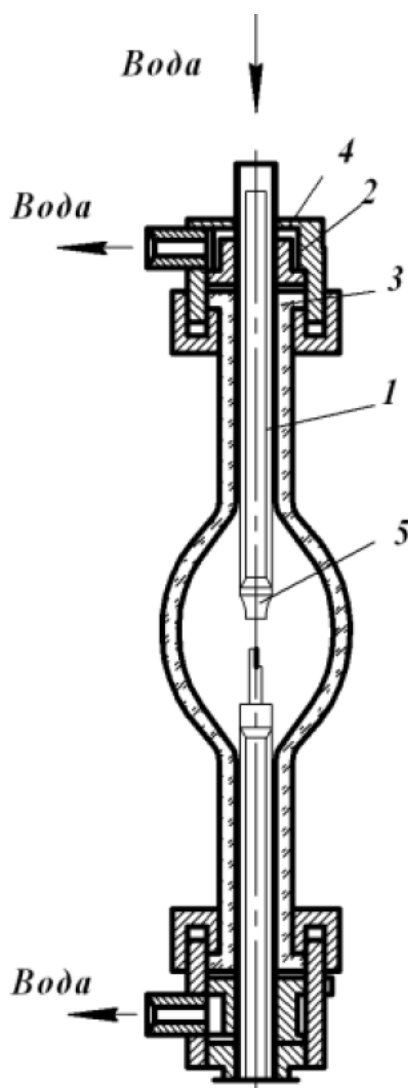


Рисунок 8.8 – Ксенонова лампа типу ДКСР.

Лампа з кульовою колбою представляє собою товстостінний балон, який виготовлено із кварцу з упаяними в нього двома електродами, виготовленими з торійованого вольфраму. Струмopовідними контактами служать циліндричні відводи, конструкція яких передбачає як можливість кріплення ламп, так і приєднання живильних проводів. Балон лампи наповнюється ксеноном до тиску $0,8 \div 0,9$ МПа, який при роботі лампи зростає до $2 \div 2,5$ МПа.

Лампи можуть працювати на постійному і змінному струмі. Відмінність цих ламп – в конструкції електродів. При постійному струмі лампа має дуже масивний анод, що розташовується вгорі. При змінному струмі обидва електроди мають однакову конструкцію.

Так само є ще один тип ксенонових ламп, так звані розбірні лампи. У звичайної кульової ксенонової лампі 25÷35% потужності лампи виділяється на електродах, головним чином, на аноді. Виділене на електродах тепло нагріває колбу лампи, що обмежує граничну потужність лампи. Якщо відводити тепло, що виділяється на електродах, наприклад, за допомогою водяного охолодження, то це зменшує теплове навантаження на колбу і дозволяє створити лампу великої потужності та зменшити розміри колби. Ця проблема вирішується в лампах розбірної конструкції ДКсР.

З торців кварцової лампи вставляються розбірні вводи, які складаються з металевих трубок 1 діаметром 12÷16 мм, які служать струмопроводами, які зсередини охолоджуються водою. На кінці трубки запресований анод 5, так само охолоджується водою. Для отримання вакуумного з'єднання між корпусом вводу, струмопроводами і кварцовою колбою, фланцем 3, ніжки колби стискаються між корпусом вводу 2 і натискною гайкою 4 через ущільнювальні свинцеві прокладки. Через штуцера подається охолоджуюча вода.

Ксенонові короткодугові лампи можуть випускатися в керамічній оболонці з вбудованим рефлектором. Завдяки цьому лампа виходить більш безпечною, оскільки зі скла зроблено тільки невелике вікно, через яке виходить світло. У такій лампі може бути вікно, яке пропускає ультрафіолетове випромінювання, так і непрозоре для нього. Рефлектори можуть бути як параболічними (для отримання паралельного світлового потоку) так і еліптичними (для сфокусованого).

Трубчасті лампи по конструкції відрізняються від короткодугових тим, що електроди рознесені один щодо одного, а колба має форму трубки.

Ксенонові лампи з довгою дугою вимагають баласту менших розмірів, а в деяких випадках можуть використовуватися без баласту. Такі лампи нерідко встановлюються в еліптичний рефлектор для моделювання сонячного випромінювання, наприклад при тестуванні сонячних батарей, перевірці матеріалів на світлостійкість.

На рис. 8.9 представлено трубчасту ксенонову лампу типу ДКсТВ 6000.

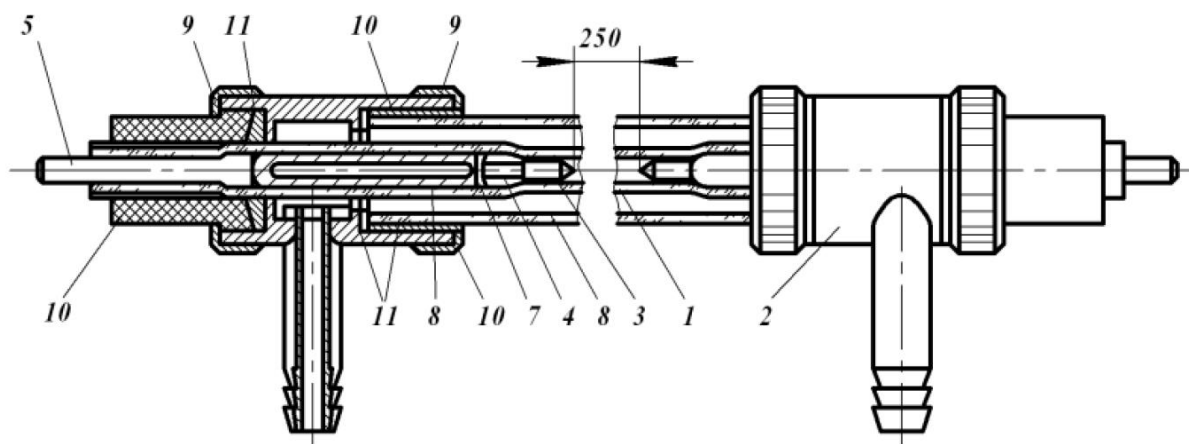


Рисунок 8.9 – Трубчаста ксенонова лампа: 1 – розрядна кварцова трубка; 2 – зовнішня скляна трубка; 3 – електрод; 4 – втулка; 5 – вивід; 6 – циліндр з молибденової фольги; 7 – вкладиш; 8 – скляний циліндр; 9 – гайка; 10 – ущільнюючий вкладиш; 11 – ущільнюючі прокладки; 12 – патрубки для води.

Лампа має розрядну трубку 1 з кварцу з двома електродами 3 з торійованого вольфраму. Вводи лампи виконані з молибденової фольги. Розрядна трубка заповнена ксеноном при тиску 0,05 МПа. Розрядна трубка розташована по осі зі скляним циліндром 2, що створює порожнину для циркуляції води.

Вода омиває розрядну трубку гвинтоподібно за рахунок зміщення осей патрубків 12 відносно площини, що проходить через вісь лампи. Витрата охолоджуючої води 5 л/хв. при початковій температурі 5°C і температурі на виході 40°C.

Для охолодження використовується дистильована вода в замкнутому циклі (рис. 8.10).

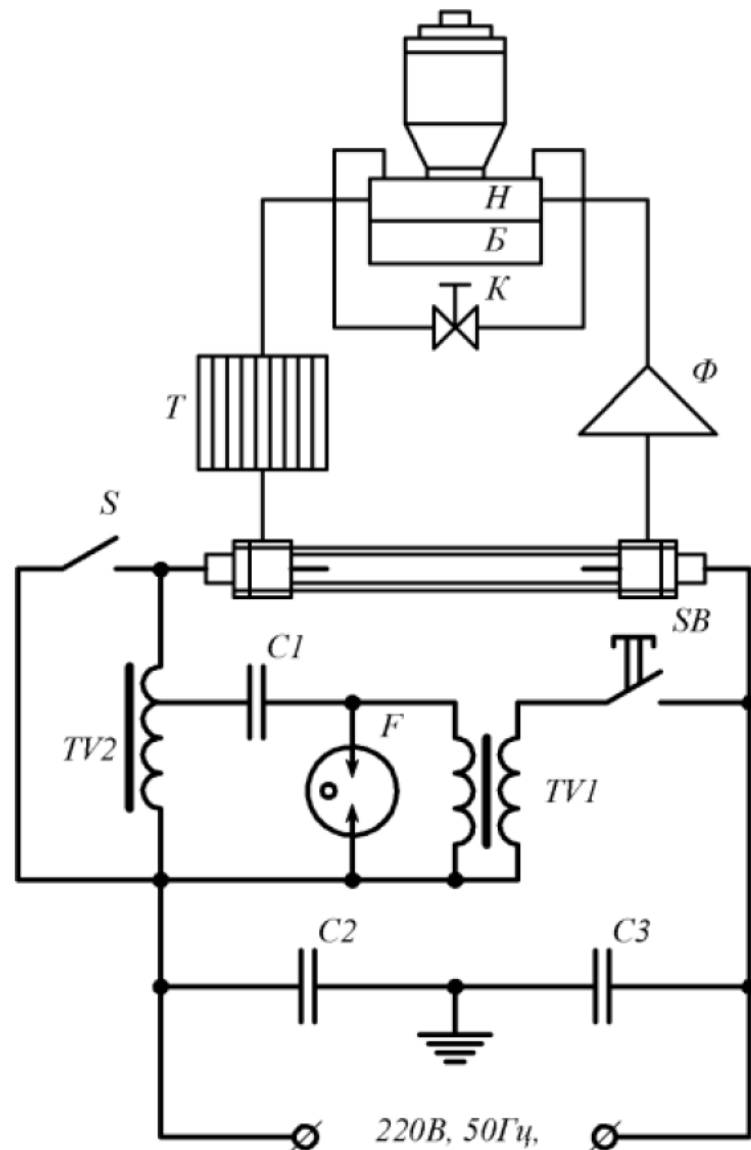


Рисунок 8.10 – Принципова спрощена схема пускового пристрою і система охолодження лампи ДКсТВ 6000.

Система охолодження включає в себе наступні елементи: бак Б для охолоджуючої води, насос Н, який забезпечує необхідну витрату води, фільтр Φ, що очищає воду від механічних домішок, перепускний кран К для регулювання тиску води в системі, теплообмінник Т для охолодження води, що виходить з лампи. Для охолодження можна застосовувати і водопровідну воду, але це призводить до швидкого забруднення поверхні трубок і знижує

ефективну віддачу лампи. Потрібні у цьому випадку часті очищення з розбиранням і збиранням водопідвідних вузлів ведуть до передчасного виходу лампи з ладу через поломки її скляних деталей.

Крім ламп з водяним охолодженням, вітчизняна промисловість випускає ксенонові лампи ДКсТ з природним повітряним охолодженням. Лампи відрізняються простотою конструкції і зручністю експлуатації. Вони представляють із себе кварцову трубку певних, залежних від потужності лампи, розмірів, на торцях яких змонтовані електроди – в середині трубки та електричні вводи – поза нею. Електричні вводи виконуються або у вигляді контактних штирів, або у вигляді гнучких багатожильних мідних джгутів, оснащених наконечником для підключення лампи до мережі за допомогою болтового з'єднання. Другий варіант введення, як показала експлуатація ламп, більш надійний.

Ксенонові лампи не вимагають баластного опору, але для їх запалювання необхідно запалюючий пристрій. Спрощена схема одного з варіантів запалюючого пристрою показана на рис. 8.10.

При включенні кнопки SB запалюючого трансформатора TV1 конденсатор C1 заряджається від вторинної обмотки TV1 до напруги проббою розрядника F. При пробой конденсатор C1 розряджається через частину обмотки імпульсного трансформатора TV2, на електроди лампи подається високовольтний імпульс запалювання, який викликає пробій й іонізацію між електродного простору лампи. Подальший розвиток і підтримка розряду в лампі відбувається за рахунок напруги мережі.

Через деякий час після запалювання лампи, обмотка імпульсного трансформатора шунтується вимикачем S, а запалюючий пристрій може бути відключений і використаний для запалювання чергової лампи. Конденсатори C2 і C3 служать для захисту мережі від перешкод, що виникають під час роботи лампи.

Випромінювання ксенонових ламп у видимій частині спектра дуже близько до природного сонячного, проте неможливо не відзначити надлишок інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювань ламп. Особливо потужним ультрафіолетовим випромінюванням відрізняються лампи ДКсТ, кварцова трубка яких прозора для короткохвильових випромінювань. Слід мати на увазі, що при освітленості більше 150 лк ультрафіолетове опромінення, створюване лампою, надлишкове і може викликати хворобливу реакцію у людей, які тривалий час знаходяться у зоні освітлення. У лампи ДКсТВ роль фільтру, що відтинає ультрафіолетове випромінювання, виконує скло зовнішньої трубки, а колби лампи ДКсТЛ виконані з кварцового скла з легуючими присадками, забезпечують пропускання випромінювання лише з довжиною хвилі більше 300 нм.

Переваги дугових ксенонових ламп полягають в наступному:

- вони володіють найбільшими з усіх джерел світла одиничною потужністю і світловим потоком;
- характеризуються сприятливим спектральним складом видимої частини випромінювання.

Однак ксеноновим лампам властиві і серйозні недоліки:

- світловий потік ламп пульсує з подвійною частотою мережі, що викликає чітко виражений стробоскопічний ефект;
- світлова віддача ламп становить лише 20÷45 лм/Вт, в залежності від одиничної потужності і виду охолодження;
- термін служби ламп дуже обмежений, хоча при стабілізації напруги живлення ламп середній термін служби може досягати декількох тисяч годин;
- ксенонові лампи для запалювання вимагають досить складного і дорогого запалюючого пристрою, крім того, комутація високовольтної

імпульсної напруги, яка необхідна при використанні одного запалюючого пристрою на кілька ламп, представляє значні труднощі.

Контрольні запитання

1. В чому принципова відмінність розрядних ламп високого і низького тиску?
2. Для чого використовуються лампи типу ДРЛ?
3. В чому відмінність двохелектродних та чотириелектродних ламп ДРЛ?
4. Поясніть будову чотириелектродної лампи ДРЛ.
5. Який принцип дії лампи ДРЛ?
6. Чому ДРЛ не може бути включена одразу після її відключення від мережі живлення?
7. Поясніть схему включення чотириелектродних ламп типу ДРЛ.
8. Які переваги та недоліки ламп типу ДРЛ, по відношенню до газорозрядних ламп низького тиску, вам відомі?
9. Які газорозрядні лампи називають металогалогенними?
10. Поясніть будову і принцип дії металогалогенних ламп.
11. Як впливають металогалогенні домішки на спектр випромінювання металогалогенних ламп?
12. Поясніть схему включення до мережі живлення металогалогенних ламп типу ДРИ.
13. Які переваги та недоліки ламп типу ДРИ, у порівнянні з лампами ДРЛ, вам відомі?
14. Які газорозрядні лампи називають натрієвими лампами високого тиску?
15. Поясніть будову газорозрядних ламп типу ДНаТ.
16. Які переваги та недоліки натрієвих ламп високого тиску вам відомі?

17. Поясніть принципову електричну схему пристрою імпульсного запалюючого універсального типу УІЗУ.
18. Які особливості будови ксенонових ламп вам відомі?
19. Поясніть різницю в будові і призначенні ксенонових ламп типу ДКсР та ДКсТВ 6000.
20. Яким чином виконується охолодження ксенонових ламп типу ДКсТВ 6000?
21. Які переваги та недоліки дугових ксенонових ламп вам відомі?

Лекція 9

Газорозрядні лампи ультрафіолетового спектру

У промисловості джерела оптичного випромінювання використовуються не тільки для освітлення робочих місць, приміщень, доріг або територій. Ряд перетворювачів електричної енергії в оптичне випромінювання використовують для обробки рослин або тварин, у медичних закладах тощо.

Випромінювання ультрафіолетового діапазону довжин хвиль часто використовується в промисловості для впливу на фактори росту та розвитку рослин при їх вирощуванні в штучних умовах ферм або теплиць, для знезараження приміщень у медичних закладах, для запобігання хвороб у тварин в тваринництві. Тому слід розглянути ще одну категорію газорозрядних ламп промислового використання – лампи ультрафіолетового спектру.

У сільськогосподарському виробництві для безпосереднього електротехнологічного впливу оптичним випромінюванням на живі організми і рослини широкого поширення набули спеціальні газорозрядні джерела випромінювання в областях ультрафіолетової частини спектру ($200\div 380\text{ нм}$) і фотосинтетичної активної радіації ($400\div 700\text{ нм}$).

За розподілом потоку оптичного випромінювання між різними областями ультрафіолетового спектру розрізняють джерела загального ультрафіолетового випромінювання ($200\div 380\text{ нм}$), переважно бактерицидної ($200\div 280\text{ нм}$) і вітальної ($280\div 315\text{ нм}$) дій.

Джерелами загального ультрафіолетового випромінювання, тобто випромінювання усіх ділянок ультрафіолетового діапазонів оптичної області спектра, є дугові ртутні лампи трубчасті високого тиску типу ДРТ (рис. 9.1).

До мережі живлення лампу приєднують через пускорегулювальний апарат за допомогою виступаючих назовні кінців молібденових ввідів. В якості ПРА використовуються баластні пристрої, аналогічні баластним пристроям ламп типу ДРЛ відповідної потужності і номінальної напруги мережі.

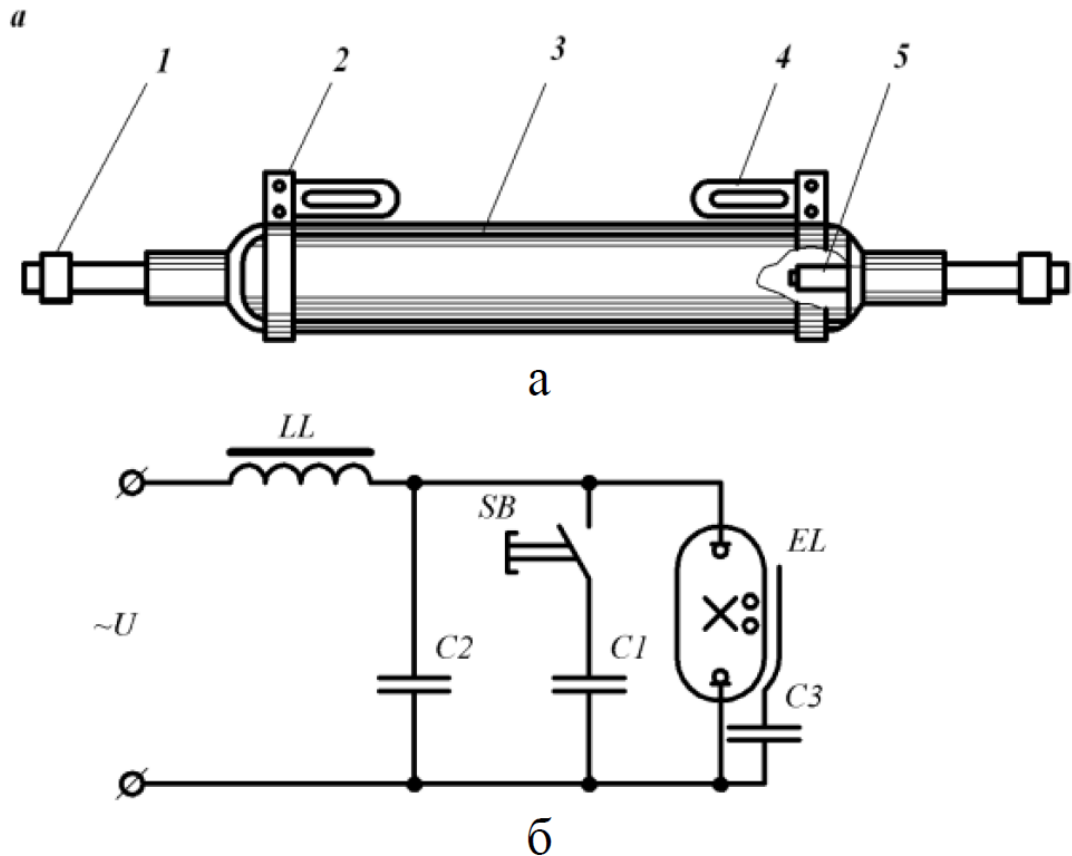


Рисунок 9.1 – Конструкція лампи ДРТ (а) і схема включення її в мережу (б): 1 – ввід; 2 – металеві хомутики; 3 – трубка із кварцового скла; 4 – тримачі; 5 – електроди; LL – дросель; SB – замикаючий ключ; EL – лампа ДРТ; C1, C2 і C3 – конденсатори.

Схема включення ламп ДРТ в мережу містить баластний дросель LL, який розмикає ключ SB, і два конденсатора. Якщо подати на схему напругу і замкнути ключ SB, то в електричному колі SB, LL, C1 з'явиться струм, значення якого обмежується опором дроселя і конденсатора.

Різкий розрив ланцюга ключем *SB* індукує в дроселі ЕРС самоіндукції, яка прикладається до лампи і пробиває газовий проміжок. Металева смужка полегшує пробій лампи. Конденсатор *C2* призначений для підвищення коефіцієнта потужності ланцюга. Час розпалювання лампи – $3 \div 10$ хвилин.

Лампи типу ДРТ виготовляють потужністю 100, 120, 125, 230, 250, 400, 1000, 2500, 2800, 4000, 5000 і 6000 *Вт*. У сільськогосподарському виробництві в якості джерел ультрафіолетового випромінювання в основному застосовують лампи ДРТ потужністю 100, 230, 400 та 1000 *Вт*.

Середня тривалість горіння ламп ДРТ230 і ДРТ1000 становить 2000 годин, ДРТ400 – 2700. В кінці терміну служби ультрафіолетове випромінювання ламп становить не менше 60 % номінальних значень.

Різновидом ламп ДРТ є лампи типу ДРП потужністю 120, 250 і 400 *Вт*, типу ДРТ2 потужністю 100 *Вт* і ДРП2 потужністю 250 і 400 *Вт*. Ці лампи відрізняються від базової моделі тим, що на їх кварцову розрядну трубку нанесена тонка кварцова плівка з легуючими добавками, яка дозволяє відфільтрувати короткохвильове ультрафіолетове випромінювання лампи. Завдяки додатковій плівці випромінювання з довжиною хвилі $200 \div 280$ *нм* не перевищує 5% від загального потоку випромінювання ламп. Зазначені лампи, а також лампи типу ДРТ потужністю 100, 120 і 250 *Вт* мають чотириелектродне виконання, що забезпечує підключення лампи до мережі без будь-яких запалюючих пристроїв і пристосувань.

Вітальні люмінесцентні лампи низького тиску типу ЛЭ – джерела середньохвильового ультрафіолетового випромінювання – використовуються в основному для компенсації ультрафіолетової недостатності. Трубочасті вітальні лампи відрізняються від люмінесцентних ламп низького тиску увіюлевим склом, діаметром трубки і складом люмінофору. Ці лампи включають у мережу за допомогою тих самих пускорегулюючих апаратів, що і люмінесцентні освітлювальні відповідної потужності.

Лампи ЛЭ випускають потужністю 15 і 30 *Вт*, відповідно, на напругу 127 і 220 *В*. Крім цього, розроблено вітально-освітлювальні люмінесцентні лампи ЛЭО15, ЛЭО30 і ЛЭО40, вітальні рефлекторні люмінесцентні лампи ЛЭР30 і ЛЭР40 і вітально-освітлювальні рефлекторні люмінесцентні лампи типу ЛЭОР потужністю відповідно 15, 30 і 40 *Вт*. Вітально-освітлювальні лампи типу ЛЭО призначені для одночасного освітлення приміщень і вітального опромінення людей, тварин і птиці. Вітальні рефлекторні лампи типу ЛЭР істотно полегшують експлуатацію і збільшують ефективність установок ультрафіолетового опромінення, оскільки розподіл вітального потоку відбувається тільки в заданому рефлектором напрямку і не потрібні часті очищення ламп від пилу, диму й сажі.

Для вітального опромінення людей, сільськогосподарських тварин і птиці, з одночасним загальним освітленням, використовують дугові дифузні лампи типу ДРВЭД. Лампи включають безпосередньо в мережу 220 *В* без будь-яких пускорегулювальних апаратів за допомогою цоколя Е27.

Умовне позначення ламп ДРВЭД включає літери: Д – дугова, Р – ртутна, В – вольфрамова, Э – еритемна, Д – дифузна, потім вказується номінальна напруга живлення у вольтах і через дефіс – номінальна потужність у ватах. Промисловість випускає лампи ДРВЭД невеликими партіями потужністю 160 і 250 *Вт*.

Бактерицидні лампи – джерела короткохвильового ультрафіолетового випромінювання, велика частина якого (до 80%) припадає на лінію з довжиною хвилі близько 254 *нм*. Конструкція цих ламп принципово не відрізняється від трубчастих люмінесцентних ламп низького тиску, але увіолеве скло з легуючими присадками, що застосовується для їх виготовлення, добре пропускає випромінювання в діапазоні спектру 200÷280 *нм*. Крім цього, колба бактерицидних ламп не покрита люмінофором і має декілька зменшені розміри (діаметр і довжину) у порівнянні з аналогічними люмінесцентними лампами загального призначення однакової потужності.

На даний час у промисловості виготовляються бактерицидні лампи типів: ДБ15, ДБ30-1, ДБ36 і ДБ60 номінальною потужністю 15, 30, 36 і 60 Вт (табл. 9.1). В табл. 9.1 наведено основні характеристики ряду випромінювачів ультрафіолетового спектру.

Таблиця 9.1

Основні технічні характеристики джерел УФ – випромінювання

Тип лампи	Потужність, Вт	Номінальна напруга, В	Струм лампи, А	Світловий потік, лм	Вітальний потік, мВт	Бактерицидний потік, мбк	Термін служби, тис. год.	Габарити, мм	
								довжина	діаметр
ЛЭ15	15	127	-	40	300	55	5	451,6	30
ЛЭО15	15	127	-	650	110	-	5	451,6	30
ЛЭ30-1	30	220	-	110	750	125	5	908,8	30
ЛЭР30	30	220	-	-	-	-	3	909,6	30
ЛЭО30	30	220	0,365	1350	270	-	5	908,8	27
ЛЭО40	40	220	0,43	1850	370	-	5	121,6	40
ЛЭР40	40	220	-	120	1600	-	3	1213,6	40
ДРВЭД220-160	160	220	-	1600	350	-	1,5	190	127
ДРВЭД220-250	250	220	-	3250	600	-	1,5	190	127
ДБ15	15	127	0,33	60	-	2500	5	451,6	30
ДБ30-1	30	220	0,36	140	35	6600	5	908,8	30
ДБ36	36	220	0,38	-	-	10500	7,5	860	16
ДБ60	60	220	0,7	180	41	8000	5	908,8	30
ДРТ230	230	127	3,8	-	-	6700	2	190	20
ДРТ400	400	220	3,25	8000	4750	10500	2,7	265	22
ДРТ1000	1000	220	7,5	3300	16500	39500	2	350	32

У мережу бактерицидні лампи включають за допомогою пускорегулювальних апаратів так само, як і люмінесцентні лампи загального

призначення, причому лампу ДБ15 – на номінальну напругу 127 В, а решта – на 220 В. В якості джерел короткохвильового ультрафіолетового випромінювання використовуються також дугові ртутні трубчасті лампи високого тиску типу ДРТ потужністю 400, 1000 і 2500 Вт.

Останнім часом досягнуті серйозні успіхи в розробці нового покоління ультрафіолетових – бактерицидних ламп низького тиску, в яких джерелом парів ртуті є амальгама. Основна маса ртуті знаходиться у зв'язаному стані (амальгамі), а у вільному тільки 0,03 мг на лампу, тому тиск парів ртуті при температурі до 50°C нижче гранично допустимих концентрацій і вони не становлять небезпеки.

Ці лампи істотно безпечніше, ніж люмінесцентні, повсюдно використовуються для опромінення. Амальгамні лампи мають високий ККД (35÷40%) перетворення електричної енергії в ультрафіолетове випромінювання з довжиною хвилі 254 нм і завдяки триразово підвищеній інтенсивності ультрафіолетового випромінювання, в порівнянні з ртутними бактерицидними лампами, дозволяють ефективно вирішувати завдання знезараження повітря і води при великих витратах. Використання електронних компактних ПРА, що працюють на частоті 40÷50 кГц, дозволило підвищити к. к. д. системи, збільшити термін служби лампи і варіювати електричну потужність лампи в процесі її роботи. Тільки на таких лампах в даний час створюються всі великі станції знезараження, наприклад, найбільша в світі станція знезараження питної води з витратою 1400 тисяч м³/добу в Санкт-Петербурзі.

Джерелом імпульсного ультрафіолетового випромінювання є імпульсні розряди в інертних газах та їх сумішах з галогенами (ексимерні суміші). У розробленому устаткуванні використовуються імпульсні ксенонові лампи. Основною перевагою подібних ламп є велика пікова потужність в імпульсі, яка досягає 5÷10 МВт при тривалості імпульсу кілька сотень мікросекунд. Спочатку ксенонові лампи були розроблені для накачування твердотільних

лазерів, а потім стали застосовуватися і для знезараження. Спектральний склад випромінювання залежить від розрядного струму та схеми включення лампи. На діапазон довжин хвиль $200\div300$ нм припадає $25\div30\%$ усього випромінювання в діапазоні $100\div1100$ нм і 40% на весь ультрафіолетовий діапазон. Відповідно, бактерицидна ефективність складе $10\div13\%$ від сумарного випромінювання лампи (рис. 9.2, крива 3).

Спектр випромінювання ксенонової імпульсної лампи наведено на рис. 9.3.

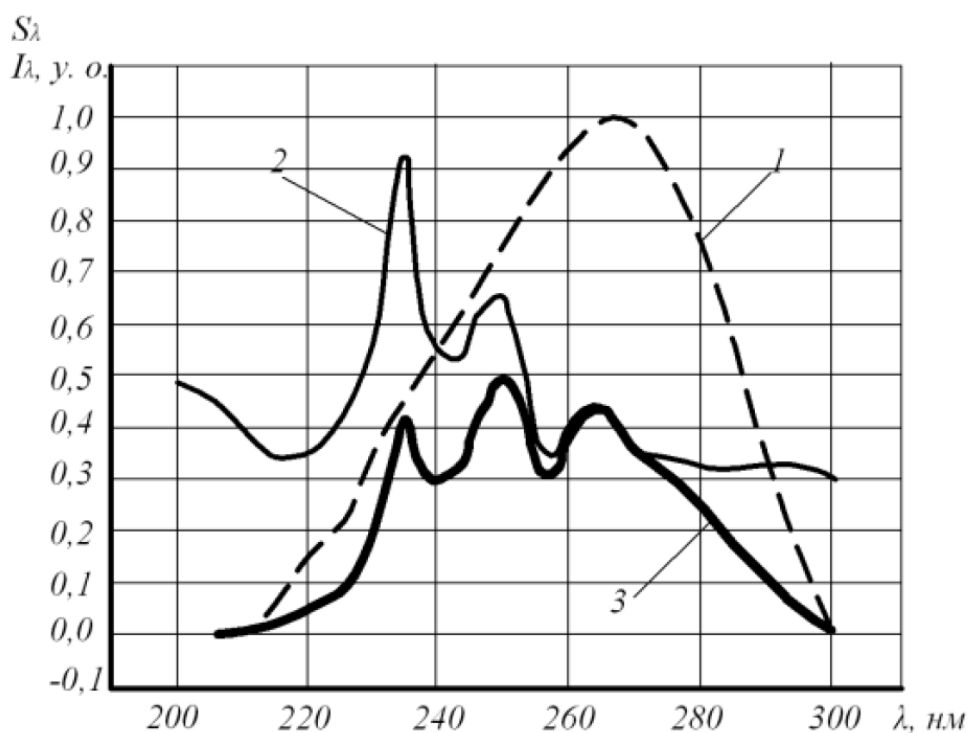


Рисунок 9.2 – Визначення бактерицидної ефективності імпульсної ксенонової лампи: 1 – відносна спектральна крива бактерицидної дії S_λ ; 2 – розподіл енергії випромінювання I_λ , по спектру імпульсної ксенонової лампи в діапазоні $200\div300$ нм; 3 – добуток $S_\lambda \cdot I_\lambda$ – бактерицидна ефективність.

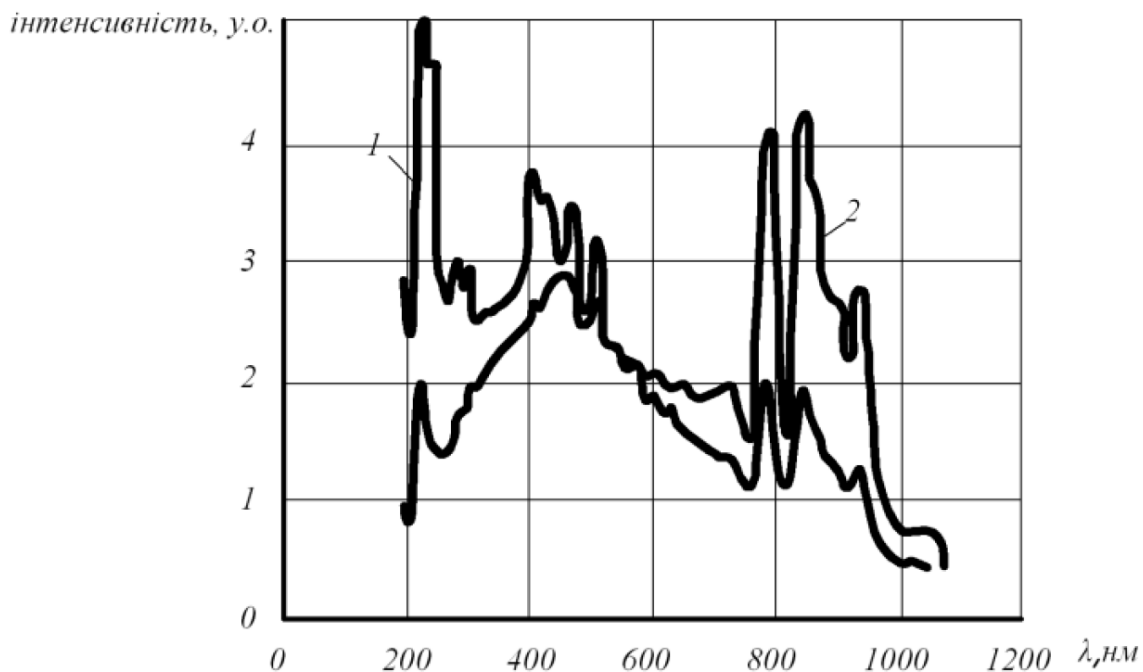


Рисунок 9.3 – Спектр випромінювання імпульсної ксенонової лампи при щільності струму $6,5 \text{ кА/см}^2$.

Слід зазначити, що широкий спектр випромінювання імпульсних ксенонових ламп є, скоріше, недоліком, ніж перевагою, тому що його короткохвильова частина може призводити до небажаного утворення озону, до побічних хімічних реакцій та напрацюванню шкідливих для людини сполук. Для запобігання напрацювання озону короткохвильовим випромінюванням використовують додаткові захисні плівки або спеціальні сорти кварцу, проте це значно збільшує вартість ламп і зменшує ресурс, оскільки через поглинання ультрафіолетового випромінювання стінкою збільшуються імпульсні термічні напруги під час спалаху.

Термін служби імпульсних ксенонових ламп визначається числом спалахів, які може забезпечити лампа. Чим вище енергія імпульсу, тим менше число спрацювань лампи, яке варіюється від 10^3 до 10^8 імпульсів. Середня потужність лампи регулюється зміною частоти проходження імпульсів. Для обладнання американської фірми *LightStream Technologies* при максимальній продуктивності частота проходження спалахів дорівнює 30 Гц ,

при заявленому числі спалахів 10^8 отримуємо менше 1000 годин безперервної роботи лампи. При практичному застосуванні імпульсних ламп зниження рівня ультрафіолетового випромінювання до кінця терміну служби складає $25 \div 50\%$.

Для запалювання імпульсних ксенонових ламп використовують дві основні електричні схеми. В обох в якості накопичувача енергії використовують імпульсні конденсатори. При заряджанні конденсатора завжди відбуваються втрати енергії. Застосування потужної імпульсної високовольтної техніки значно збільшує габарити і складність джерела живлення для імпульсних ламп і висуває підвищені вимоги до електробезпеки при роботі з цим обладнанням.

Таким чином, імпульсні джерела ультрафіолетового випромінювання характеризуються високою (до 10 MBm) миттєвою потужністю, бактерицидною ефективністю близько 10% , терміном служби близько 1000 годин і громіздким високовольтним джерелом живлення. Лампи з високим питомим навантаженням, такі як ртутні лампи високого тиску і імпульсні ксенонові лампи, вимагають інтенсивного тепловідведення, що робить конструкцію апаратів на їх основі більш складною в порівнянні з устаткуванням на основі ртутних ламп низького тиску.

Ультрафіолетове випромінювання з бактерицидного діапазону $205 \div 315\text{ нм}$ завжди чинить бактерицидну дію, що полягає в поглинанні ультрафіолету – фотонів – молекулами ДНК і РНК всередині живої клітини, розривом з'єднань у молекулі ДНК і утворенням нових з'єднань, в результаті чого мікроорганізм втрачає здатність до відтворення. Крива ефективності бактерицидної дії ультрафіолетового випромінювання, в залежності від довжини хвилі, добре узгоджується з кривою поглинання ультрафіолетового випромінювання молекулами ДНК. Максимум цієї кривої знаходиться в області 260 нм (рис. 9.2, крива 1), тому випромінювання ртутних ламп низького тиску з довжиною хвилі 254 нм має високу бактерицидну

ефективність. Величина ультрафіолетової дози, необхідної для десятикратного зменшення кількості мікроорганізмів, залежить від їх виду і для багатьох бактерій і вірусів лежить в області $2 \div 20 \text{ мДж/см}^2$.

На сьогоднішній день встановлено, що імпульсне випромінювання має бактерицидну дію і що механізм його дії на мікроорганізми залежить від пікової щільності потужності ультрафіолетового випромінювання, причому для кожного виду мікроорганізмів існує своє значення порогової пікової потужності. Згідно з отриманими науковими даними, механізм дезінфекції імпульсним випромінюванням має дві складові:

- вплив бактерицидним ультрафіолетовим випромінюванням;
- руйнування мікроорганізмів в результаті їх перегріву при поглинанні всього ультрафіолетового випромінювання.

При піковій щільності потужності ультрафіолетового випромінювання нижче порогового значення знезараження визначається ультрафіолетовим випромінюванням бактерицидного діапазону $205 \div 315 \text{ нм}$.

При високій щільності імпульсного випромінювання, коли сумарна щільність потужності ультрафіолетового випромінювання в спектральних діапазонах А, В, С ($200 \div 400 \text{ нм}$) вище порогової, швидкість підведення променистої енергії перевищує швидкість скидання теплової енергії мікроорганізмами у навколишнє середовище і відбувається перегрів мікроорганізмів, що призводить до їх дезінтеграції.

Крім величини пікової потужності необхідно забезпечити підведення енергії до «мішені», достатньої для її нагрівання. Якщо імпульс випромінювання дуже короткий, наприклад, менше 1 мкс , то мікроорганізми просто не встигнуть нагрітися. Іншими словами, необхідно забезпечити імпульсну потужність випромінювання, і поглинену дозу енергії для того, щоб її вистачило для нагріву мікроорганізмів до високої температури. Ще раз відзначимо, що основний внесок у нагрів мікроорганізмів дає ультрафіолетове випромінювання, а не видиме світло або інфрачервоне

випромінювання. Багаторічний досвід експлуатації ультрафіолетових систем показав, що крім умов роботи обладнання в цілому, існує ряд специфічних вимог, які пред'являються до джерел ультрафіолетового випромінювання: висока потужність і високий к. к. д., тривалий термін роботи (понад 12 тис. годин) і спад випромінювання не більше 20% до кінця гарантованого терміну служби.

Крім того, останнім часом висувуються жорсткі вимоги відсутності побічних продуктів у процесі експлуатації бактерицидних установок і зниження небезпеки забруднення приміщень парами ртуті у разі розгерметизації ламп.

Основними факторами, що визначають ефективність джерел ультрафіолетового випромінювання для бактерицидної обробки, є:

- бактерицидна ефективність;
- бактерицидний потік лампи;
- ресурс і падіння бактерицидного потоку до кінця терміну служби лампи;
- термін служби, компактність і вартість блоку живлення (ПРА);
- безпека і технологічність використання джерел бактерицидного випромінювання.

Найбільшим бактерицидним ефектом володіє випромінювання в досить вузькому спектральному інтервалі $205 \div 315$ нм, і ефективність джерела випромінювання визначається тим, наскільки близький спектр його випромінювання до максимуму бактерицидної чутливості мікроорганізмів.

Атом ртуті, що є основним випромінюючим елементом бактерицидних газорозрядних ламп, має резонансний електронний перехід з довжиною хвилі випромінювання 253,7 нм, що близько до максимуму кривої бактерицидної чутливості. У ртутних лампах низького тиску к. к. д. перетворення вкладеної в лампу електричної енергії у випромінювання на довжині хвилі 253,7 нм досягає $\sim 35 \div 40\%$, що становить більше 90% всього випромінювання. У

поєднанні з простою конструкцією ПРА (електромагнітний дросель і стартер) і строком служби більше 10 тис. годин це призвело до широкого поширення ртутних ламп низького тиску в якості джерела бактерицидного випромінювання.

Лінійна потужність ртутних ламп низького тиску не перевищує $0,5 \div 1 \text{ Вт/см}$, що не завжди достатньо для обладнання з великою продуктивністю. Високу потужність випромінювання і погонну електричну потужність до 100 Вт/см мають ртутні лампи високого тиску. Однак бактерицидна ефективність такого типу ламп в $2 \div 3$ рази нижче, ніж у ртутних ламп низького тиску. Частка випромінювання в бактерицидному діапазоні довжин хвиль становить $15 \div 17\%$ від вкладеної електричної енергії, а відповідна бактерицидна ефективність дорівнює $8 \div 12 \%$.

Істотним недоліком ртутних бактерицидних ламп, які обмежують їх застосування, є високий вміст металевої ртуті у вільному стані. У ртутних лампах низького тиску кількість вільної ртуті коливається в межах від 3 до 10 мг на лампу, а в лампах високого тиску складає сотні міліграмів. Так як гранично допустимі концентрації вмісту ртуті в атмосферному повітрі становить $0,3 \text{ мкг/м}^3$, то вочевидь, що лампи з металевою ртуттю, у випадку руйнування, створюють значну екологічну небезпеку.

Практично всі промисловістю вироблені бактерицидні ртутні лампи високого тиску випромінюють лінії з довжиною хвилі менше 200 нм , що призводить до напрацювання високотоксичного озону. Ртутні лампи низького тиску в основному виготовляють з боро-силікатного скла або спеціальних сортів кварцу, які не пропускають короткохвильове випромінювання і виключають напрацювання озону, що вигідно відрізняє їх від озonoстворювальних ламп.

Контрольні запитання

1. Для чого використовують газорозрядні лампи ультрафіолетового спектру випромінювання?
2. Для чого використовують дугові ртутні лампи трубчасті?
3. Поясніть будову і схему включення в мережу живлення ламп типу ДРТ.
4. Для чого використовують вітальні люмінесцентні лампи низького тиску?
5. Для чого застосовують дугові дифузні лампи типу ДРВЭД?
6. Які типи ламп називають бактерицидними і чому?
7. Що означає термін «амальгамні лампи»?
8. Які вам відомі переваги імпульсних ксенонових ламп?
9. Яка бактерицидна ефективність імпульсних ксенонових ламп за спектром бактерицидної дії?
10. Чому спектр випромінювання імпульсних ксенонових ламп є, скоріше, недоліком, ніж перевагою?
11. Які складові має механізм дезінфекції імпульсним випромінюванням?
12. Які недоліки ртутних бактерицидних ламп вам відомі?

Лекція 10

Світлодіодні лампи

З появою напівпровідникової електроніки і виявленні властивостей напівпровідникових приладів до випромінювання фотонів застосування світлодіодів та інших напівпровідників в якості джерел світла обмежувалось вартістю технологій виготовлення самих напівпровідників. Значне здешевлення таких технологій дозволило значно розширити асортимент та діапазони потужностей освітлювальних приладів на основі напівпровідникових приладів.

Світлодіодні, або, як їх ще називають, LED-лампи, в порівнянні з традиційними електроосвітлювальними приладами, споживають в рази менше електроенергії. Їх світловіддача – до 150 *лм/Вт* енергоспоживання. Наприклад, споживаючи всього 9 Вт електричної потужності, LED-лампа світить як 75-ватна лампа розжарювання! Причому термін служби таких світильників на основі напівпровідникових елементів складає 50000 – 100000 годин. Тобто за умов 10-годинної роботи на добу, це 12,5 ÷ 25 років експлуатації.

На відміну від поширених газорозрядних люмінесцентних ламп світлодіодні світильники набагато більш безпечні. Вони мають, постійний світловий потік. Це відбувається тому, що світлодіодні лампи працюють від постійного струму і тому випромінюють «рівне» світло. У спектрі випромінювання світлодіодів відсутні значні інфрачервоні і ультрафіолетові випромінювання. Світлодіодні лампи можуть працювати при зміні напруги від 80 до 230 В. Звичайно, інтенсивність світіння змінитися, але лампа горіти буде. Вся лампа виконана з пластика, який не розбивається при падінні, на відміну від інших видів ламп. Світлодіоди не мають у своєму складі крихких колб, які можна розбити або ниток розжарювання, які можна струсити.

До недоліків світлодіодних ламп можна віднести – ціну, виділення тепла. Ще одним недоліком світлодіодних ламп можна назвати необхідність драйвера. Чим більше в приладі буде використовуватися різних елементів, тим більша ймовірність виходу з ладу будь-якого електронного компонента, і виходу з ладу лампи в цілому. Але, тут все залежить від якості елементної бази і якості збірки. Сучасний розвиток виробництва електронних компонентів не тільки здешевив вартість драйверів світлодіодних ламп, але й покращив якісні характеристики таких електронних компонентів та збільшив терміни їхньої експлуатації.

Світловипромінювальний діод (СД) – це мікромініатюрне напівпровідникове джерело світла (ДС), в якому випромінювання виникає на напівпровідниковому переході в результаті рекомбінації електронів і «дірок». Рекомбінація (в напівпровідниках) – це зникнення пари «електрон провідності – дірка» в результаті переходу із зони провідності у валентну зону.

СД виготовляють з напівпровідникових матеріалів високої чистоти, додаючи незначну кількість домішок. Ці домішки створюють або надлишок електронів (тип «n»), або надлишок «дірок» (тип «р»). Заряд електрона – негативний, а «дірки» – позитивний. У місці контакту матеріалів «р» і «n» типів утворюється напівпровідниковий «р-n» перехід. Схематичний вид СД з «р-n» переходом представлений на рисунку 10.1.

Якщо до цього переходу подати невелику напругу (декілька вольт) прямої полярності (до «n»-матеріалу – «мінус», а до «р»-матеріалу – «плюс»), то електрони і «дірки» будуть переміщатися назустріч один одному. У зоні контакту при рекомбінації вони будуть випускати «фотони».

Світіння виникає на межі напівпровідників і виходить назовні у вигляді «фотонів» крізь один з матеріалів і через зазор між ними.

Типову конструкцію світлодіоду в перерізі наведено на рис. 10.2.

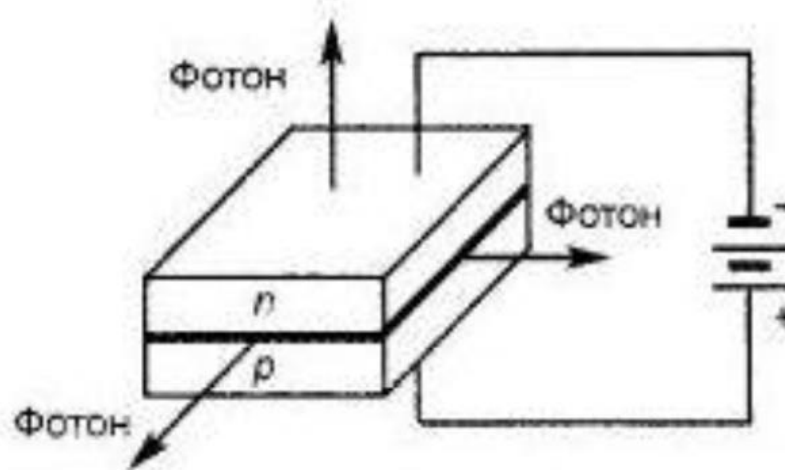


Рисунок 10.1 – Схематичне представлення світлодіоду з «р-п» переходом.

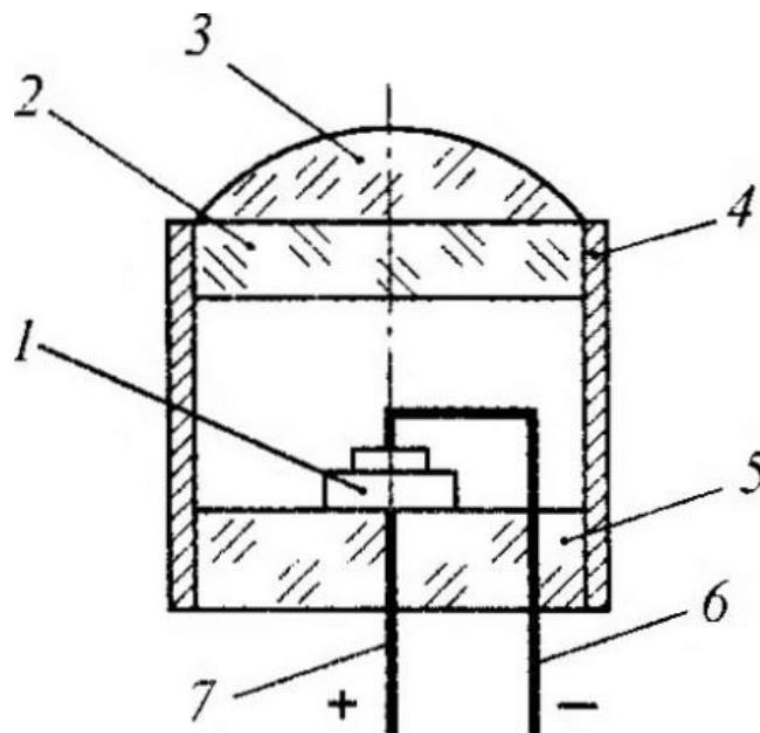


Рисунок 10.2 – Типова конструкція світлодіоду: 1 – випромінюючий елемент; 2 – скло; 3 – лінза; 4 – металевий корпус; 5 – ізолююча основа; 6 – катод; 7 – анод.

Світлодіодні джерела світла складаються з:

– випромінюючого елемента 1 – напівпровідникового кристала «р-п» переходу, укладеного в металевий корпус 4, скла 2 і ізолюючої основи 5;

- лінзи 3, що фокусує світло від кристалу 1 і захищає кристал від вологи та корозії;
- контактів 6 та 7 для підключення до джерела постійного струму.

До «катода» 6 контакт приєднується зварюванням із застосуванням золотого дроту, а до «аноду» – пайкою або струмопровідним клеєм. Енергія, що споживається світлодіодом, частково перетворюється на світлове випромінювання, а частково в тепло, нагріваючи світлодіод. Збільшення на «р-п» переході температури понад 80°C призводить до різкого зниження світлового потоку, тому конструкція світлодіоду вимагає тепловідведення. Однак, зміна температури на переході практично не впливає на довжину хвилі випромінювання.

Відведення теплоти можна покращити наступними способами:

- збільшенням контактної площі, особливо поблизу «аноду»;
- збільшенням відстаней між світлодіодами розташованими на платі;
- гарним тепловим контактом світлодіоду з платою.

На рис. 10.3 представлені інші види конструкцій світлодіодів.

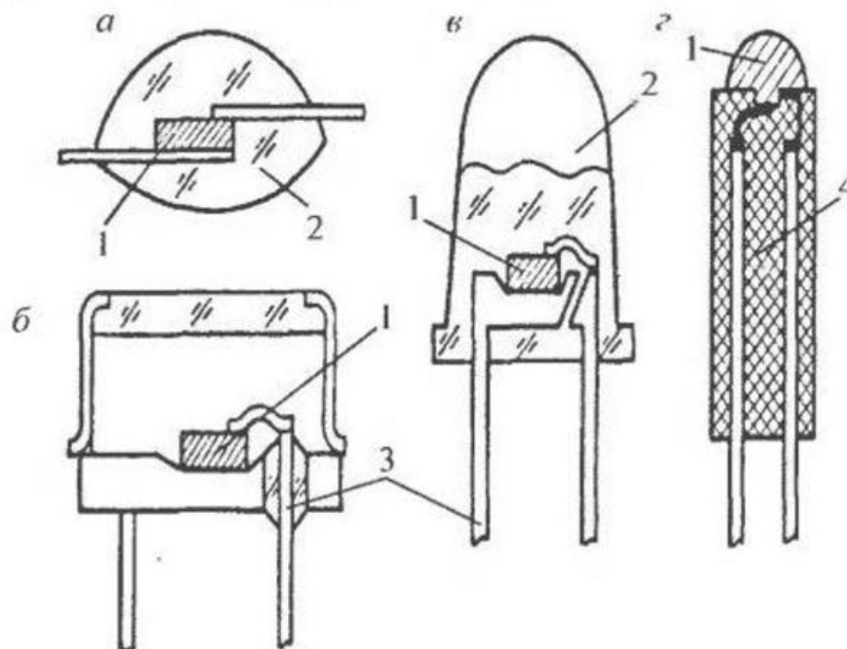


Рисунок 10.3 – Конструкції деяких видів світлодіодів: а) безкорпусний; б) в металоскляному корпусі; в) з полімерною лінзою; г) у полімерному корпусі;

1 – кристал; 2 – полімерний захист (лінза), 3 – ніжка; 4 – полімерний корпус.

Основою загального робочого освітлення є світлодіоди білого світіння.

Отримати біле світіння можна одним із трьох способів:

1) Змішуванням випромінювання світлодіодів трьох і більше кольорів (наприклад, червоного, зеленого і блакитного). Ефективність найбільша, але необхідно мати багато контактних відводів, кілька діодів з різними напругами та інші додаткові пристрої для формування спектру світла, що створює незручності.

2) Змішуванням блакитного світіння світлодіоду з випромінюванням люмінофору (наприклад, жовто-зеленого або зелено-червоного), збуджуваного цим світінням. Цей спосіб найбільш простий і економічний. Підбором кристалів створюється спектр випромінювання для збудження люмінофору. Кристал покривається шаром гелю з порошком люмінофору. Товщина шару така, щоб частину блакитного випромінювання збуджував люмінофор, а частина проходила, без поглинання.

3) Змішуванням випромінювання 3-х люмінофорів (червоного, зеленого і блакитного), збуджуваних ультрафіолетовим СД. Використовуються принципи і люмінофори люмінесцентних ламп. На випромінювач використовується всього два контактних відводи, що є позитивним, однак мають місце значні втрати на перетворення випромінювання в люмінофорах, що є негативним. Ефективність зменшується, оскільки різні люмінофори мають різні спектри збудження.

З'єднанням випромінювань більше 3-х кольорів можна отримати біле світло з індексом перенесення кольорів близьким до 100%. На даний час отримані білі СД, що мають світловіддачу не менше 30 лм/Вт (теоретичну межу – 300 лм/Вт), що вище, ніж у ламп розжарювання.

Прийнято наступний розподіл світлодіодів на групи:

- світлодіоди з струмом живлення менше 30 мА, силою світла $500 \div 1000$ мкд, які застосовуються для сигналізації в системах відображення інформації;

- світлодіоди із струмом живлення $30 \div 100$ мА, силою світла $1 \div 3$ кд, використовуються як для сигналізації в системах відображення інформації, так і для освітлення;

- світлодіоди із струмом живлення більше 100 мА, світловий потік яких становить понад 10 лм, які призначені для освітлення;

- світлодіоди зі спеціальними пристроями для оптимізації робочих режимів.

Основними показниками світлодіодів, які визначають їх ефективність, є квантовий вихід, коефіцієнт корисної дії, довговічність і світлова віддача.

Під квантовим виходом розуміють кількість випромінених квантів світла на одну рекомбіновану електронно-діркову пару, виражають у відсотках. Розрізняють внутрішній і зовнішній квантовий вихід. Внутрішній – це характеристика самого «р-п»-переходу, його конструкції і матеріалу, зовнішній квантовий вихід визначає характеристику приладу в цілому. Різниця між внутрішнім і зовнішнім квантовим виходом обумовлена втратами в матеріалі світлодіоду. Внутрішній квантовий вихід для кристалів з хорошим тепловідводом досягає майже 100 %. Максимальне значення зовнішнього квантового виходу для червоних світлодіодів складає 55 %, а для синіх – 35 %. Зовнішній квантовий вихід – одна з основних характеристик ефективності світлодіоду.

Коефіцієнт корисної дії також є показником ефективності використання світлодіодом електричної енергії. К. к. д. значно залежить від форми спектру і може бути наближено визначений через значення енергії кванта світла в спектральному максимумі. До основних переваг світлодіодів відносять їх високу надійність і довговічність. Термін служби світлодіодів сягає 100 тис. годин.

За досягнутим значенням світлової віддачі світлодіоди давно обігнали лампи розжарювання і впритул наблизилися до люмінесцентних ламп. Так, створені світлодіоди білого кольору зі світловіддачею $25 \div 30$ лм/Вт, колірною температурою $T_K = 6000 \div 8500$ К і загальним індексом перенесення кольорів $R_a = 80$, а кольорові (червоні) – зі світловою віддачею 50 лм/Вт.

Світлодіодні освітлювачі (СДО), конструкція яких представлена на рисунку 10.4, білого світіння зі збільшеним світловим потоком (більше 15 лм), розроблено на основі кристалічних «чипів» великої площі, зі збільшеним робочим струмом і покращеною конструкцією тепловідведення.

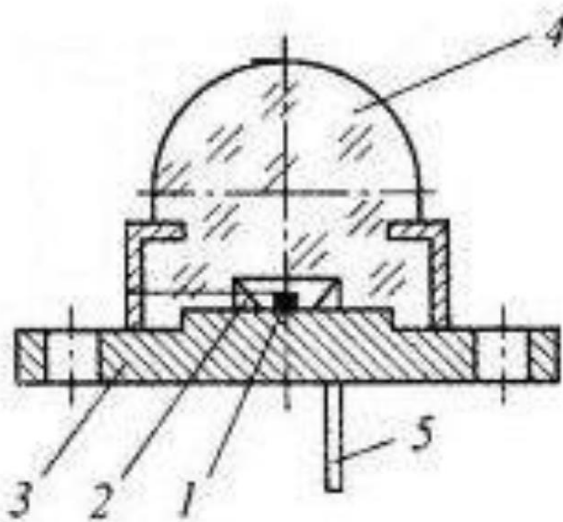


Рисунок 10.4 – Конструкція світлодіодного освітлювача (переріз): 1 – випромінюючі кристали (від 1 до 4); 2 – відбивач бічного випромінювання; 3 – кристалотримач; 4 – полімерна сферична лінза; 5 – ізольовані виводи.

Випромінюючі кристали вирощені на сапфірової підкладці і покриті люмінофором. Площа активної області від 0,7 до 1,1 мм². Якщо кристал не покривають люмінофором, то його розташовують у прозорому полімері (зерна розміром від 1 до 2 мкм).

Біле світіння створюється складанням спектрів смуг: блакитної і жовто-зеленої. Змінюючи товщину люмінофорного покриття та його кількість в

полімері, можна змінювати співвідношення блакитного та жовто-зеленого спектра, що дозволяє створювати задані колірні характеристики.

Розроблені СДО для забезпечення тепловідводу повинні застосовуватися з радіаторами. Різниця температур корпусу, у порівнянні з навколишнім середовищем, не повинна перевищувати 10°C .

Світлодіод повинен живитися від джерела стабілізованого струму. Для живлення світлодіоду від батарейки необхідний струмообмежуючий резистор R (рис. 10.5).

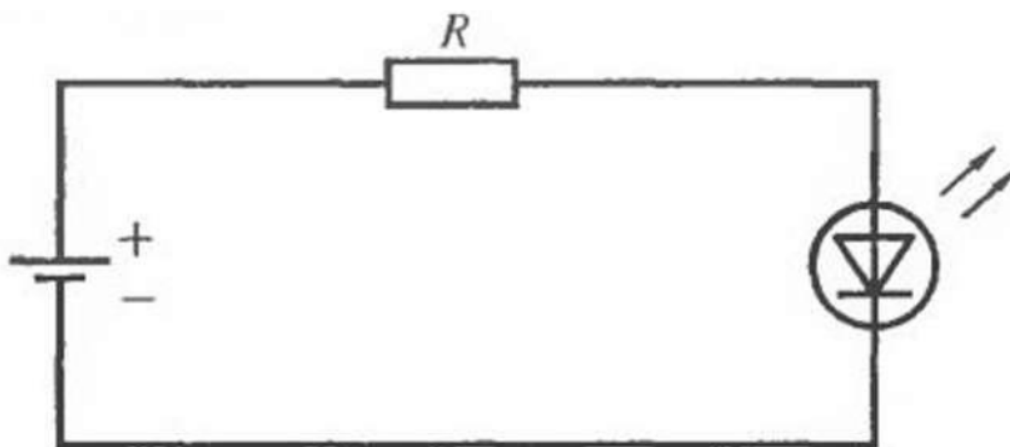


Рисунок 10.5 – Схема підключення світлодіоду до джерела постійного струму.

Світлодіод можна живити і від джерела змінного струму. При цьому послідовно з світлодіодом повинен бути включений випрямний діод. Схема підключення світлодіодів до джерела змінного струму представлена на рисунку 10.6.

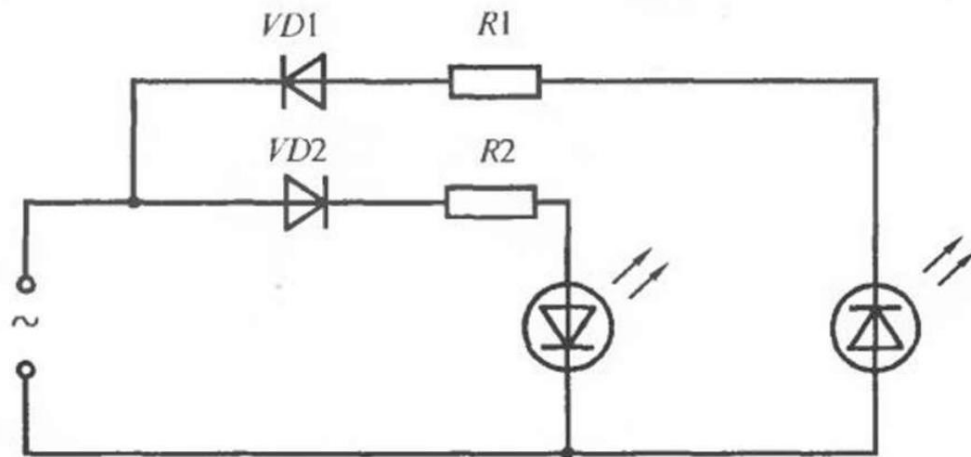


Рисунок 10.6 – Схема підключення світлодіоду до джерела змінного струму.

Світлодіоди також допускається живити в імпульсному режимі. У цьому випадку імпульсний струм, що протікає через прилад, може бути вище, ніж значення постійного струму (до 150 мА при тривалості імпульсів 100 мкс і частоті імпульсів 1 кГц). Для керування яскравістю світлодіодів (і кольором, в разі змішування кольорів) використовується широотно-імпульсна модуляція (ШИМ) – метод, дуже поширений у сучасній електроніці. Це дозволяє створювати спеціальні керуючі пристрої – контролери з функцією плавної зміни яскравості (диммери) і кольорів (колер-чейнджери), що можна ефективно використовувати в системах декоративного освітлення.

Драйвер задає певну частоту для живлячої напруги і струму світлодіоду. Ця частота живлення важлива, по-перше, для того, щоб задати певну яскравість світіння, тому яскравість світіння для світлодіоду задається саме не зміною напруги, а певною частотою живлення. По-друге, це обмеження частоти через драйвер дозволяє потужному світлодіоду довше «деградувати» (втрачати вихідний світловий потік), тобто, світлодіод пропрацює довше. Один із варіантів стандартної схема драйвера світлодіодної лампи показаний на рис. 10.7.

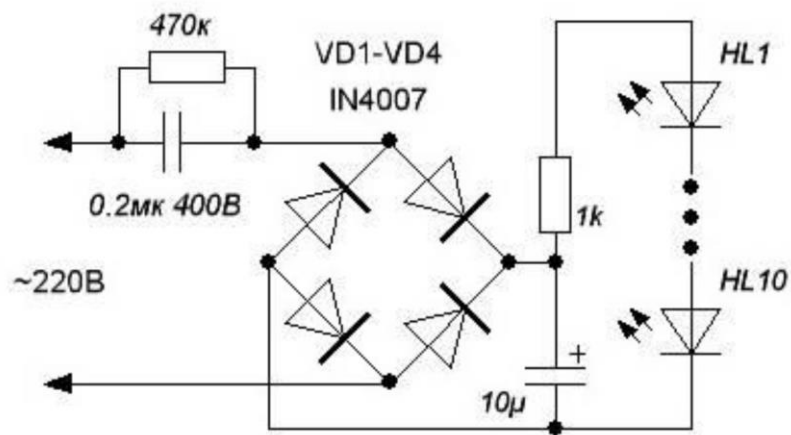


Рисунок 10.7 – Схема електрична принципова драйвера.

Зважаючи на викладене вище, світлодіодне освітлення є, у більшій частині, корисним, а не шкідливим. Але дане твердження відноситься тільки до відомих брендів, які відповідають за якість своєї продукції і її повній відповідності усім заявленим параметрам. Усі інші прилади теж є цілком придатними для використання, але не варто використовувати їх як основне світло (у кабінеті, їдальні або вітальні).

Технічні параметри ряду світлодіодних ламп наведені у табл. 10.1.

Таблиця 10.1

Технічні параметри світлодіодних ламп різних виробників

Характеристика	Лампа		
Бренд	Thomson	Thomson	Thomson
Модель	RTBL-RE60-CW	RTBL-RE60-CW	RTBL-RE60-CW
Номінальна напруга, В	100-240	100-240	100-240
Потужність, Вт	11	11	18
Світловий потік, лм	800	700	880
Світлова віддача, лм/Вт	73	64	49
Кольорова температура, К	5000	3000	3000
Індекс кольоропередачі, R_a	н/д	н/д	н/д
Термін служби, год.	40000	40000	40000
Кількість циклів вкл./викл.	н/д	н/д	н/д

Діаметр, мм	60	60	121
Висота, мм	125	125	130
Вага, г	166	154	492
Бренд	Supra	Verbatim	Verbatim
Модель	SL-LED-A60-11W 3000 E27	#52114	#52100
Номинальна напруга, В	220	220-240	220-240
Потужність, Вт	11	10	9
Світловий потік, лм	800	820	440
Світлова віддача, лм/Вт	73	82	49
Кольорова температура, К	3000	3000	2700
Індекс кольоропередачі, R _a	≥75	≥80	≥80
Термін служби, год.	35000	30000	25000
Кількість циклів вкл./викл.	н/д	20000	8000
Діаметр, мм	60	60	58
Висота, мм	110	173	147
Вага, г	110	173	147
Модель	ССГТ-3	ССГТ-6	ССГТ-9
Номинальна напруга, В	до 250	до 250	до 250
Потужність, Вт	3	6	9
Світловий потік, лм	320	640	960
Кольорова температура, К	3000÷6500	3000÷6500	3000÷6500
Ступінь захисту	IP65	IP65	IP65
Термін служби, год.	40000	40000	40000
К. к. д., %	80	80	80
Регулювання яскравості, %	1-100	1-100	1-100
Освітленість при висоті підвісу 2,5 м, Лк	до 25	до 50	до 75
Робоча температура, °С	-20 +50	-20 +50	-20 +50
Модель	ЛРС-3	ЛРС-6	
Номинальна напруга, В	до 250	до 250	

Потужність, Вт	3	6
Світловий потік, лм	320	640
Кольорова температура, К	3000÷6500	3000÷6500
Ступінь захисту	IP54	IP54
Термін служби, год.	40000	40000
К. к. д., %	80	80
Регулювання яскравості, %	1÷100	1÷100
Освітленість при висоті підвісу 2,5 м, Лк	до 25	до 50
Робоча температура, °С	-20 +50	-20 +50

Контрольні запитання

1. Які принципові відмінності світлодіодних освітлювальних пристроїв від ламп розжарювання та газорозрядних ламп?
2. Які переваги та недоліки світлодіодних ламп, по відношенню до ламп розжарювання та газорозрядних ламп, вам відомі?
3. Поясніть принцип дії світловипромінювального діоду.
4. Поясніть типові конструктивні особливості світлодіоду.
5. Як впливає нагрів напівпровідникового шару в процесі роботи світлодіоду на його технічні характеристики?
6. Якими способами можна отримати «біле світло» при застосуванні світлодіодних світильників?
7. За якими критеріями поділяють світлодіоди на групи за технічними характеристиками?
8. Які основні показники світлодіодів визначають їх ефективність?
9. Які різновиди показників квантового виходу світлодіодів вам відомі і чим вони відрізняються?
10. Що називають світлодіодним освітлювачем і які його типові конструктивні особливості вам відомі?

11. Які способи електроживлення світлодіодів вам відомі, в чому їх переваги та недоліки?

12. Поясніть принцип дії драйверів світлодіодних освітлювальних пристроїв.

Лекція 11

Класифікація основних типів електроосвітлювальних пристроїв

Перш ніж почати класифікувати електроосвітлювальні пристрої за певними сукупними ознаками, необхідно визначитись з певними термінами, які використовують у сучасних нормативних документах, які регламентують застосування штучного освітлення в побуті, промисловості, транспорті, для освітлення доріг та територій тощо.

Світильник – це сукупність джерела світла і арматури, яка призначена для раціонального перерозподілу і кутової концентрації світлового потоку, захисту очей від надмірної яскравості, кріплення та захисту від механічних пошкоджень і забрудненості. Пускорегулюючі пристрої газорозрядних ламп не завжди є складовими відповідних світильників.

Основними елементами будови світильників є: корпус, джерело (джерела) випромінювання, оптична система, тримачі джерел (патрони ламп), вбудована пускорегулююча апаратура (для газорозрядних джерел) та інші допоміжні елементи. Оптична система світильників складається з відбивачів, розсіювачів, захисних скляних поверхонь, екрануючих сіток, кілець, і призначена, в основному, для перерозподілу в потрібному напрямку світлового потоку джерел, захисту від їх осліплювальної дії або перетворення якісних властивостей видимого випромінювання (зміни спектрального складу і його поляризації).

Світильники класифікують за наступними признаками: за призначенням, за конструкційним виконанням, за способом установки. За призначенням світильники можуть бути для освітлення закритих приміщень, відкритих просторів, корабельні, залізничні, авіаційні тощо. За конструкційним виконанням світильники класифікуються в залежності від ступеня їх захисту від різних факторів навколишнього середовища. На даний час діє класифікація освітлювальних приладів (ОП) за захистом від впливів

таких основних факторів навколишнього середовища, як сторонні предмети та волога, їхня безпека для людей, пожежна небезпека.

Позначення ступеня захисту складається з двох прописних літер латинського алфавіту – IP (початкові літери англійських слів *International Protection*) та двох цифр, перша з яких позначає ступінь захисту від потрапляння всередину оболонки пристрою сторонніх предметів, друга – від потрапляння всередину оболонки пристрою вологи (наприклад, IP54). Характеристика різних ступенів захисту для позначень виконання світильників за захистом від пилу і води наведена в табл. 11.1, 11.2.

Таблиця 11.1

Ступінь захисту світильників від потрапляння всередину сторонніх предметів, у відповідності до ДСТУ ІЕС 60529:2019

Рівень	Захист від сторонніх предметів, що мають діаметр	Опис
0	—	Захист відсутній
1	≥ 50 мм	Великі поверхні тіла, відсутній захист від усвідомленого контакту
2	$\geq 12,5$ мм	Пальці та схожі об'єкти
3	$\geq 2,5$ мм	Інструменти, кабелі тощо
4	≥ 1 мм	Більшість дротів, болти тощо
5	Пилозахищений	Деяка кількість пилу може проникати всередину, однак це не порушує роботу пристрою. Повний захист від контакту
6	Пилонепроникний	Пил не може потрапити у пристрій. Повний захист від контакту

Таблиця 11.2

Ступінь захисту світильників від потрапляння всередину вологи, у відповідності до ДСТУ ІЕС 60529:2019

Рівень	Захист від потрапляння всередину вологи	Опис
0	—	захист відсутній
1	Вертикальні краплі	Вода, що крапає вертикально не

		повинна порушувати роботу пристрою
2	Вертикальні краплі під кутом до 15°	Вода, що крапає вертикально не повинна порушувати роботу пристрою, якщо його відхилити від робочого положення на кут до 15°
3	Бризки, що падають	Захист від дощу. Вода ллється вертикально або під кутом до 60° до вертикалі.
4	Бризки	Захист від бризок, що падають у довільному напрямі.
5	Струмені	Захист від водяних струменів з довільного напрямку
6	Морські хвилі	Захист від морських хвиль або сильних водяних струменів. Вода, що потрапила всередину корпусу не повинна порушувати роботу пристрою.
7	Короткочасне занурення на глибину до 1м	При короткочасному зануренні вода не потрапляє у кількостях, що порушують роботу пристрою. Постійна робота у зануреному режимі не передбачається.
8	Тривале занурення на глибину понад 1м	Повна водонепроникність. Пристрій може працювати у зануреному режимі

Обирати конструктивні виконання світильників для пожежо- та вибухонебезпечних приміщень слід не тільки з урахуванням вказаних вище ступенів захисту від потрапляння всередину сторонніх предметів і вологи, а й також і в залежності від класу приміщень за пожежонебезпекою, у відповідності до ДСТУ Б В.1.1-36:2016, розділ 6. За розділом 6 ПУЕ визначають вимоги до електроосвітлювального обладнання, його розташування всередині приміщень і на відкритих майданчиках, організації живлення та керування роботою електроосвітлювальними мережами.

Вказівки та рекомендації щодо конструктивного вибору світильників в залежності від умов навколишнього середовища не охоплюють повністю всі

фактори, що визначають доцільність чи можливість застосування того чи іншого світильника для конкретних умов. Можна відзначити деякі додаткові рекомендації, які доцільно враховувати при виборі конструктивного виконання світильників.

Для приміщень з великим вмістом пилу, диму, кіптяви чи з хімічно-активним середовищем рекомендується застосовувати світильники конструктивних схем і виконані з таких матеріалів, які в найменшій мірі піддаються запиленню і забрудненню, краще відновлюють світлотехнічні характеристики після багаторазового очищення і є більш стійкими до хімічних впливів. За вказаними ознаками світильники розташовуються у такому порядку від кращих до гірших:

- а) за ступенем запилення з різними конструктивними схемами:
 - з плоским або опуклим склом і з ущільненням на вихідному отворі світильника;
 - із замкнутим скляним ковпаком з ущільненням;
 - без відбивача;
 - те ж, але з відбивачем;
 - відкриті з отворами у верхній частині для природної вентиляції;
 - те саме без отворів для вентиляції;
 - зі скляним ковпаком замкнутим, сполученим з корпусом або відбивачем без ущільнення, або з екранною ґраткою;
- б) за ступенем відновлюваності світлотехнічних характеристик поверхонь і матеріалів, що відбивають і пропускають світло, після чисток:
 - силікатна емаль, скляне дзеркало, силікатне скло;
 - алюміній алязакірований або хімічно об'ячений;
 - сталь алюмінізована, скло органічне;
 - емалі (крім силікатної) і фарби, поверхні алюмінізовані у вакуумі;
- в) за ступенем стійкості до хімічних впливів:

- порцеляна, силікатне скло, пластмаси;
- поверхні, покриті силікатною емаллю, скло органічне;
- алюміній, сталь і чавун.

Для приміщень особливо сирих, з хімічно активним середовищем, а також поза будівлями повинні, як правило, застосовуватися світильники зі ступенем захисту не нижче IP53, але більш кращими є ступені захисту IP54.

У деяких особливо запилених виробничих приміщеннях застосовується гідравлічне видалення пилу, при якому всі поверхні приміщення обливаються струменями води. У таких приміщеннях ступінь захисту має бути не нижче IP55.

У жарких приміщеннях можуть застосовуватися світильники з будь-якими ступенями захисту, але слід уникати світильників з замкнутими скляними ковпаками, а в світильниках з люмінесцентними лампами рекомендується встановлювати амальгамні лампи.

У запилених приміщеннях найбільш доцільними є ступені захисту світильників IP6X, або IP5X, в залежності від кількості та характеру пилу, а при пилу, який не проводить струм, як виняток, допускається ступінь захисту IP2X.

У приміщеннях запилених і з хімічно активним середовищем поряд зі світильниками, що мають відповідні ступені захисту, рекомендується застосовувати дзеркальні лампи розжарювання і рефлекторні люмінесцентні лампи, що встановлюються у відкритих світильниках, придатних для даних умов середовища, переважно зі ступенем захисту IP53 та IP63.

У приміщеннях з підвищеною небезпекою та особливо небезпечних, у відношенні враження електричним струмом (див. ПУЕ), при встановленні світильників з лампами розжарювання і ламп типу ДРЛ на висоті менше 2,5 м від підлоги і при живленні світильників напругою вище 42 В з метою підвищення електробезпеки конструкція світильників не повинна дозволяти доступ до ламп без застосування будь-якого спеціального пристосування або

інструменту, наприклад ключа, викрутки, плоскогубців і т. п. Така міра виключає можливість доступу до струмоведучих частин встановлених на невеликій висоті світильників некваліфікованого персоналу і випадкових осіб.

Усі люмінесцентні свільники, виготовлені вітчизняною промисловістю, мають конструкцію, що виключає можливість торкання до струмоведучих частин, що дозволяє встановлювати їх на будь-якій висоті.

Всі свільники з люмінесцентними лампами мають вбудовані в них ПРА з конденсаторами для підвищення коефіцієнта потужності. Застосування свільників без таких конденсаторів забороняється.

Для більшості свільників з лампами типу ДРЛ застосовуються незалежні ПРА, що встановлюються окремо від свільника. Тільки незначна кількість типів свільників внутрішнього освітлення має вбудовані ПРА. Ступінь захисту незалежних ПРА від дії навколишнього середовища повинна відповідати умовам середовища приміщень, в яких вони встановлюються.

За способом установки свільники діляться на підвісні, стельові, вбудовані, настінні, настільні, встановлені на підлозі (торшери), консольні торцеві, ручні, головні.

Основними характеристиками кожного свільника є:

– тип джерела світла, який використовується у складі свільника (позначається в маркуванні літерами: Н – лампа розжарювання загального призначення, И – кварцові галогенні лампи розжарювання, Л – прямі люмінесцентні лампи, Ф – фігурні люмінесцентні лампи, Р – ртутні лампи типу ДРЛ, Г – металогалогенні лампи типу ДРИ, Ж – натрієві лампи, С – дзеркальні лампи-свільники, К – ксенонові трубчаті лампи);

– кількість ламп у свільнике;

– спосіб встановлення свільника;

– світлорозподіл – розподіл світлового потоку в просторі, який визначається класом свільника (позначається в маркуванні літерами:

прямого світла – П, переважно прямого світла – Н, розсіяного світла – Р, переважно відбитого світла – В, відбитого світла – О), або типом кривої сили світла (позначається в маркуванні літерами: концентрована – К, глибока – Г, косинусна – Д, напівширока – Л, широка – Ш, рівномірна – М, синусна – С);

– коефіцієнт корисної дії η вказує, яку частку становить світловий потік світильника Φ_c від світлового потоку встановленої лампи Φ_l : $\eta = \Phi_c / \Phi_l \cdot 100\%$;

– захисний кут світильника γ характеризує зону, в межах якої око спостерігача захищено від прямої дії лампи;

– потужність ламп, на яку розраховано світильник;

– кліматичне виконання світильника;

– категорія розміщення.

В табл. 11.3 наведено класи світлорозподілу освітлювальних приладів, а в табл. 11.4 наведено типи кривих сили світла освітлювальних приладів.

Таблиця 11.3

Класи світлорозподілу освітлювальних приладів

Позначення класів світильників по світлорозподілу	Назва класів світильників по світлорозподілу	Доля світлового потоку, направлено в нижню на півсферу від всього потоку світильника Φ_0 / Φ_{cb}
П	Світильник прямого світла	$\Phi_0 / \Phi_{cb} > 80$
Н	Світильник переважно прямого світла	$60 < \Phi_0 / \Phi_{cb} \leq 80$
Р	Світильник розсіяного світла	$40 < \Phi_0 / \Phi_{cb} \leq 60$
В	Світильник переважно відбитого світла	$20 < \Phi_0 / \Phi_{cb} \leq 40$
О	Світильник відбитого світла	$\Phi_0 / \Phi_{cb} \leq 20$

Таблиця 11.4

Типи кривих сили світла освітлювальних приладів

Позначення типу кривої сили світла	Тип кривої сили світла	Зона направлень максимальної сили світла, градусів
------------------------------------	------------------------	--

К	Концентрована	$0 \div 15$
Г	Глибока	$0 \div 30; 180 \div 150$
Д	Косинусна	$0 \div 35; 180 \div 145$
Л	Напівширока	$35 \div 55; 145 \div 125$
Ш	Широка	$55 \div 85; 125 \div 95$
М	Рівномірна	$0 \div 90; 180 \div 90$
С	Синусна	$70 \div 90; 110 \div 90$

На рис. 11.1 наведено типові криві світла в абсолютних одиницях при світловому потоку джерела світла, який дорівнює 1000 лм.

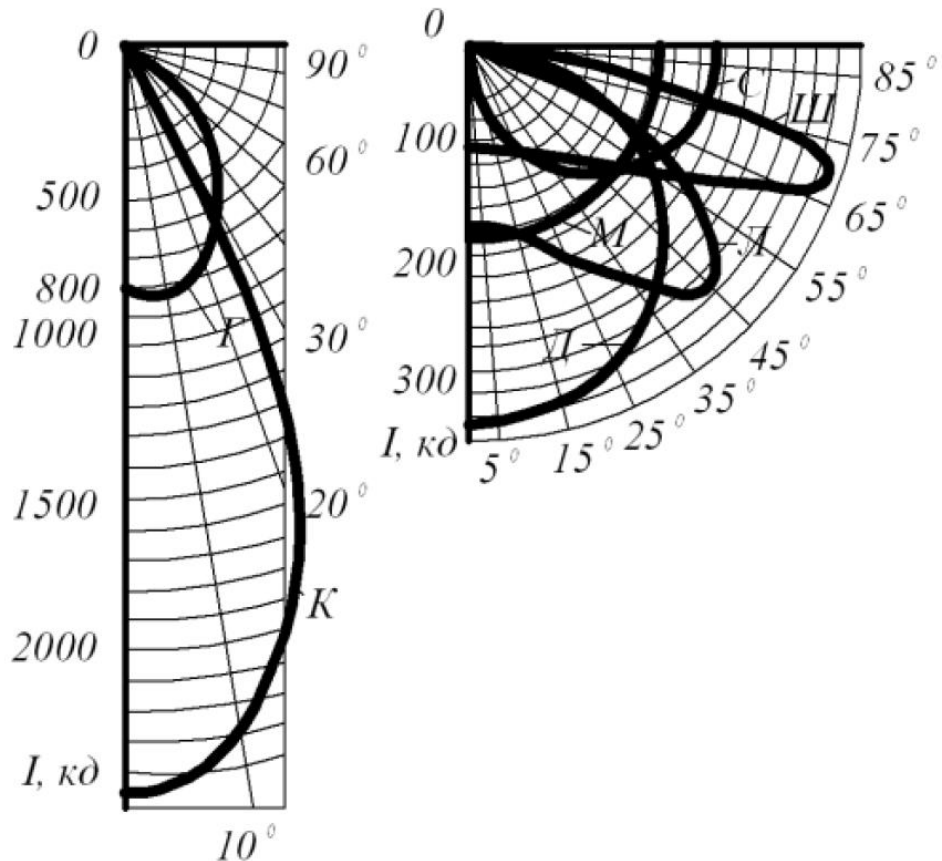


Рисунок 11.1 – Типові криві сили світла в абсолютних одиницях при світловому потоку джерела світла, який дорівнює 1000 лм: К – концентрована; Г – глибока; Д – косинусна; М – рівномірна; Ш – широка; С – синусна; Л – напівширока.

Захисний кут, тобто кут між горизонталлю і лінією, що з'єднує крайню точку тіла розжарення з протилежних краєм відбивача, характеризує світильники з точки зору захисту очей від сліпучої дії джерела світла.

Значення захисного кута залежить від конструкції світильника і може бути визначено відповідно до рис. 11.2 за виразом:

$$\gamma = \arctg \frac{h}{l}, \quad (11.1)$$

де γ – захисний кут світильника (може бути віднесений як до верхньої так і до нижньої на півсфери); h – мінімальна висота від краю вхідного отвору світильника до тіла, яке світиться всередині джерела світла, або мінімальна висота екрануючих елементів ґратки, м. (рис. 11.2); l – максимальна відстань по горизонталі від основи висоти до краю вихідного отвору або між екрануючими елементами ґратки, м.

Захисний кут застосовуваних світильників, зазвичай, становить від 12° до 40° . Поняття захисного кута також застосовується, хоча і умовно, до відбивачів з просвітлюючими матеріалами.

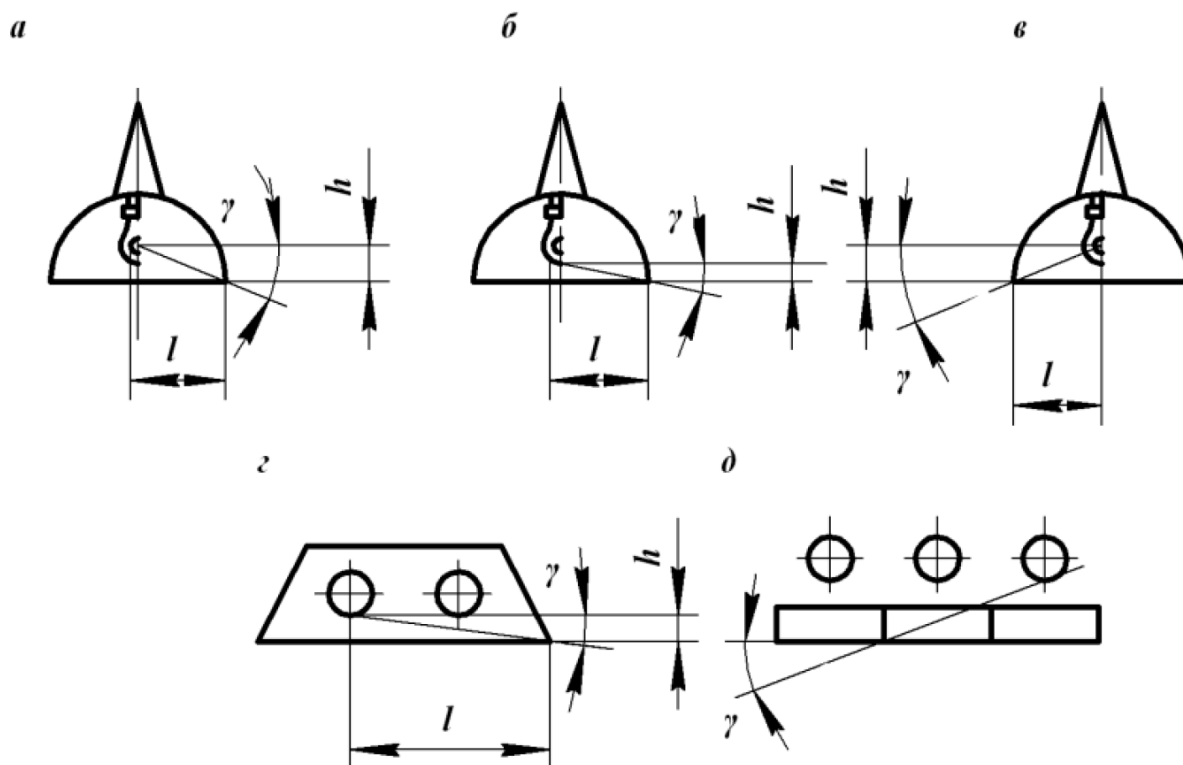


Рисунок 11.2 – Захисний кут світильника, який створюється відбивачами (а, б, в, г) і екрануючою ґраткою (д): а) – для світильників з лампами розжарювання; б), в) – газорозрядними лампами високого тиску; г), д) – люмінесцентними лампами.

Коефіцієнт корисної дії світильника – це відношення світлового потоку світильника до світлового потоку джерела світла, встановленого в світильнику:

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{св}}}{\Phi_{\text{л}}}. \quad (11.2)$$

Значення к. к. д. світильника характеризує його економічність і залежить від матеріалу освітлювальної арматури і конструкції світильника в цілому. Вживані в практиці світильники мають к. к. д. від 0,45 до 0,9. Необхідно відзначити, що в експлуатації при незадовільному догляді к. к. д. світильника може значно (у два рази і більше) знижуватися.

Структуру умовного позначення світильників за ДБН В.2.5-23:2010, ДСТУ EN 60598-2-6:2015 наведено на рис.11.3.

Прожектори – освітлювальні прилади, які отримали широке розповсюдження для освітлення великих відкритих просторів. При освітленні прожекторами полегшується експлуатація освітлювальної установки за рахунок скорочення кількості обслуговуваних світлових точок, зменшується число опор або щогл, довжина електричних мереж, поліпшуються умови освітлення вертикальних поверхонь. Однак при цьому посилюється сліпуча дія прожекторів, з'являються різкі тіні від великих предметів, розташованих на освітлюваній території, виникає потреба кваліфікованого обслуговування прожекторів (чищення відбивачів і, в ряді випадків, фокусування).

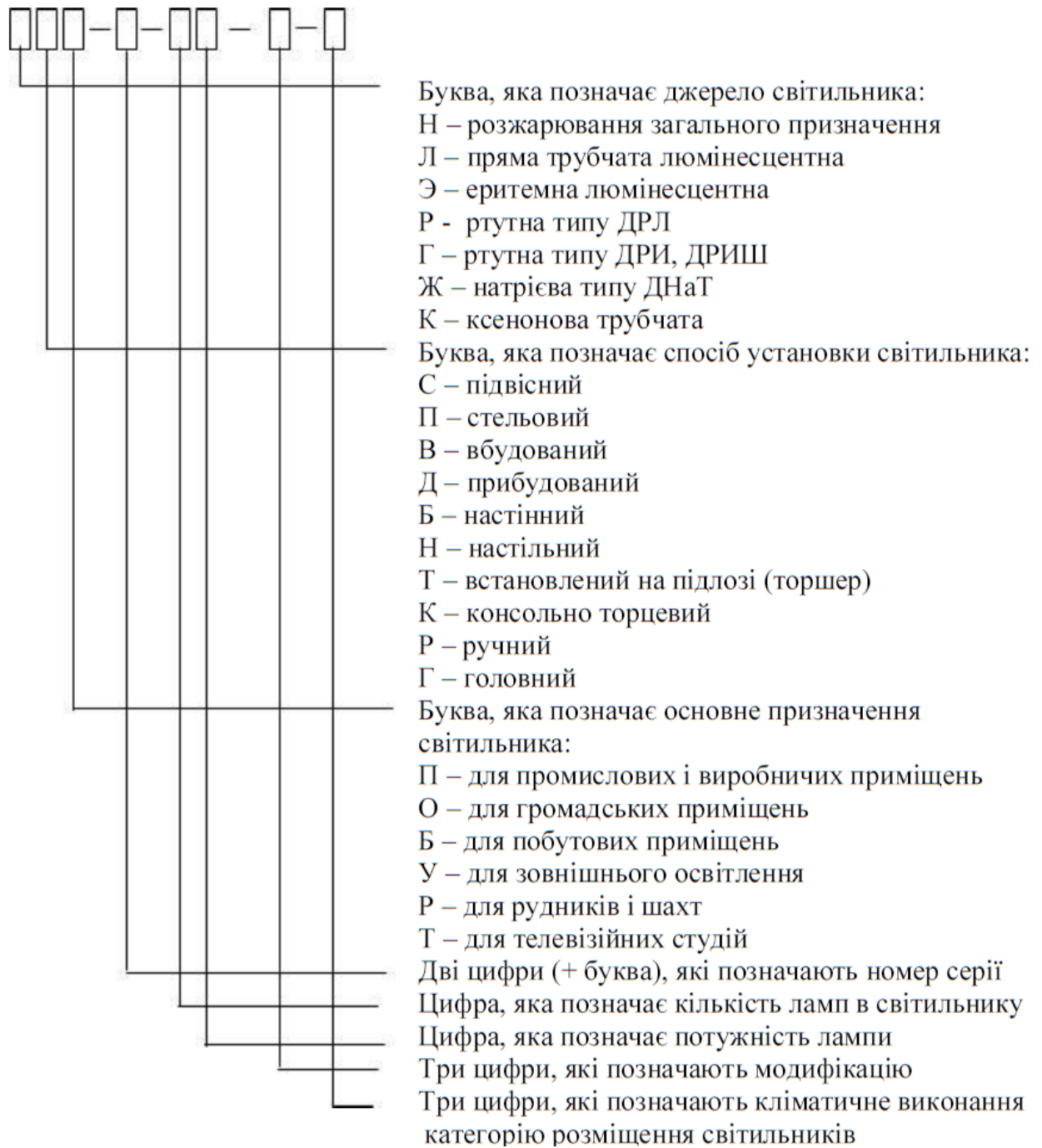


Рисунок 11.3 – Схема умовного позначення світильників.

Контрольні запитання

1. Що називають світильником?
2. З яких елементів складається світильник?
3. З чого складається оптична система світильника?

4. Які вам відомі способи класифікації світильників за певними характерними ознаками?
5. Якими нормативними документами регулюється ступінь захисту світильника від впливів зовнішніх чинників?
6. Яким чином нормується ступінь захисту світильника від потрапляння всередину сторонніх предметів?
7. Яким чином нормується ступінь захисту світильника від потрапляння всередину вологи?
8. Як обрати характеристики світильника, у відповідності до ступеня запилення приміщення, виконанням за різними конструктивними схемами?
9. Які заходи виконують для встановлення світильників з лампами розжарювання і ламп типу ДРЛ на висоті менше 2,5 м у приміщеннях з підвищеною небезпекою стосовно ураження електричним струмом?
10. Які вимоги щодо встановлення світильників з лампами типу ДРЛ, для яких застосовуються незалежні ПРА, що встановлюються окремо від світильника, вам відомі?
11. Які основні характеристики світильників вам відомі?
12. Які класи світлорозподілу освітлювальних приладів вам відомі?
13. Які типи кривих сили світла освітлювальних приладів вам відомі?
14. Що таке захисний кут світильника і як він визначається?
15. Що таке коефіцієнт корисної дії світильника і як він визначається?
16. Поясніть структуру маркування світильників у відповідності до діючих нормативних документів.

Лекція 12

Види і системи освітлення

У промисловості, на виробництві, освітлення розділяють за трьома основними видами, у відповідності до функціонального призначення кожного виду освітлення у виробничому процесі, і яке має забезпечити безперебійну роботу всіх систем освітлення даного виду. Існує три види виробничого освітлення: природне, штучне та змішане.

Природне освітлення виробничих приміщень створюється за допомогою спрямування прямого або відбитого сонячного світла до ділянок виробничих приміщень. Для цього використовують вікна та інші стінові та дахові отвори в конструкції приміщень, або оптичні системи спрямування світла (наприклад, за допомогою систем дзеркал або світловодів). Відповідно, такий вид освітлення поділяється на бічне, верхнє та комбіноване.

Штучне освітлення – це різноманітні джерела оптичного випромінювання, в яких енергія з різноманітних джерел перетворюється в енергію оптичного випромінювання видимого спектру. Найбільш поширеними джерелами штучного випромінювання є електроосвітлювальні прилади. Для штучного освітлення найчастіше використовуються лампи розжарювання та люмінесцентні лампи низького і високого тиску.

Змішане освітлення створюється одночасно джерелами природного освітлення (сонячне світло) та джерелами штучного освітлення (електролампами).

Системою освітлення називають сукупність усіх джерел освітлення всіх видів, які об'єднані за певною схемою взаємного розташування. Системи освітлення створюють для забезпечення на робочих місцях та в певних зонах робочих приміщень необхідних за характеристиками умов освітлення, які впливають на продуктивність виробничого процесу, безпеку праці тощо.

Системи штучного освітлення поділяють на такі основні категорії: загальне, місьцеве та комбіноване. Такі категорії поділу систем освітлення базуються на ступеню ефективності освітлення певних ділянок виробничих приміщень.

Загальне освітлення використовується для забезпечення у приміщеннях мінімально необхідного рівня освітленості у всьому приміщенні або у значній його частині. У свою чергу, система загального освітлення розрізняється за способами розташування джерел випромінювання на рівномірне та локалізоване. При рівномірному освітленні відстань між однотипними джерелами випромінювання однакової потужності у ряду і між рядами при їхньому розташуванні дотримується незмінною. При локалізованому освітленні розташування кожного джерела випромінювання визначається міркуванням вибору найвигіднішого напрямку світлового потоку, створюваного таким джерелом, і усунення затінок на освітлювальному робочому місці та цілком залежить від розташування технологічного обладнання.

Місьцеве освітлення призначене для забезпечення необхідного рівня видимості тільки у границях робочої поверхні (робочого місця). Світильники місцевого освітлення можуть бути або стаціонарними, або переносними. Використання місцевого освітлення дозволяє одержати нормовані значення освітленості робочих поверхонь у приміщенні, у відповідності до необхідного ступеню розрізнення працівником дрібних деталей у виробничому процесі.

Комбіноване освітлення – це сукупність загального і місцевого. Використання комбінованого освітлення дозволяє одержати всі переваги двох інших систем освітлення, коли треба забезпечити високий ступінь розрізнення дрібних деталей та уникнути зайвого зорового навантаження працівників при нерівномірному освітленні приміщення.

При виборі систем освітлення необхідно користуватися наступними міркуваннями – загальну рівномірну систему освітлення найбільш доцільно застосовувати у приміщеннях:

- де виконуються відносно грубі роботи;
- в яких робочі поверхні розташовані з великою щільністю або робота ведеться по всій площині;
- громадського призначення, навчальних та побутових;
- тваринницьких та інших сільськогосподарських приміщеннях, де нормована освітленість не перевищує 50 лк для ламп розжарювання та 150 лк для газорозрядних ламп.

До переваг загального рівномірного освітлення необхідно віднести:

- забезпечення рівномірного розподілу освітленості загального рівня по всій площині приміщення;
- застосування світильників і джерел випромінювання одного типу потужності;
- однакова висота підвісу;
- малий коефіцієнт пульсації;
- не заважає робочі місця;
- конструктивно не пов'язане з технологічним обладнанням; ж) не потребує зміни при перестановці робочих місць.

До недоліків загального рівномірного освітлення можна віднести:

- потребує використання джерел випромінювання більшої потужності ніж при локальному;
- не забезпечує необхідний рівень освітленості і напрямок світлового потоку на робочих поверхнях, які можуть бути закритими близько розташованим обладнанням або самим працівником.

Локалізована система освітлення використовується у випадках:

- великих розмірів освітлюваних поверхонь;

- розміщення технологічного обладнання зосередженими групами.

До переваг локалізованої системи освітлення можна віднести:

- потрібна потужність джерела випромінювання, як правило менша, ніж при загальному рівномірному освітленні;
- дозволяє краще освітити робочі поверхні за рахунок усунення тіней від обладнання та самого працівника;
- забезпечити необхідний напрямок світлового потоку.

До недоліків локалізованої системи освітлення відносяться:

- потребує розрахунку освітленості на різних ділянках виробничої поверхні;
- необхідність індивідуального вибору типу світильників і джерел випромінювання згідно з розташуванням та особливостями робочих місць;
- те, що може бути різна висота підвісу світильників;
- конструктивна прив'язка до робочого місця;
- потребує зміни при перестановці робочих місць.

У виробничих приміщеннях забороняється використання тільки місцевого освітлення. До переваг місцевого освітлення можна віднести:

- менша потужність джерела випромінювання;
- можливість переносу світильників у місця, безпосереднього виконання робіт;
- можливість забезпечити необхідний напрямок світлового потоку.

До недоліків місцевого освітлення відноситься такий самий перелік, що і для системи локалізованого загального освітлення та необхідність виконання окремої електричної мережі і на іншу напругу, а також обов'язкова необхідність доповнення системою загального освітлення.

Комбіновану систему освітлення доцільно використовувати:

- при створенні належних умов видимості у границях робочих поверхонь сумісною дією загального та локалізованого освітлення;

- при необхідності високого рівня освітленості;
- при нещільному і фіксованому розташуванні робочих місць;
- при необхідності в певному або змінному напрямку світлового потоку;
- при недоступності робочих поверхонь для загального освітлення завдяки затінення їх частинами технологічного обладнання;
- при виконанні робіт високої точності;
- при особливих вимогах до якості освітлення.

До переваг комбінованої системи освітлення відносяться:

- можливість отримання значно вищої освітленості на робочих поверхнях;
- забезпечення певного і змінного напрямку світлового потоку;
- можливість освітлення внутрішніх порожнин предметів.

Недоліками комбінованої системи є:

- необхідність більш високих капітальних вкладень, ніж при системі загального освітлення;
- такі ж самі недоліки, які зазначені для локалізованої системи.

Слід знати, що загальне рівномірне освітлення у комбінованій системі освітлення повинно забезпечувати не менш, ніж 10% нормованої освітленості незалежно від типу ламп локалізованого або місцевого освітлення, але не нижче 50 лк при використанні ламп розжарювання та 150 лк при використанні газорозрядних ламп.

За видом освітлення, у відповідності до ДБН В.2.5.-28-2018 «Природне і штучне освітлення», може бути: робоче, призначення якого є забезпечення необхідної освітленості на робочих поверхнях, чергове, яке призначено для освітлення приміщень у темний період доби, охоронне, яке виконується для освітлення територій виробничих об'єктів зовні приміщень, аварійне, яке застосовується при відмові робочого освітлення і призначене або для евакуації людей, або продовження виробничого процесу.

Робоче освітлення повинно забезпечувати нормовану освітленість в усіх точках робочої поверхні з відхиленням не більше – $10 + 20\%$ і мати якість в межах норм. Це основне освітлення. Робоче освітлення має забезпечувати нормальний рух персоналу в проходах та біля робочих місць, або транспорту на відповідних ділянках.

Чергове освітлення – встановлюється в приміщенні та на відкритих ділянках там, де необхідний контроль по закінченню робочої зміни. В середині приміщення для чергового освітлення вибираються 10% освітленості (ламп) робочого освітлення, але освітленість в проходах та в тамбурах повинна бути не менше 0,5 лк, а на відкритих територіях – не менше 0,2 лк.

Охоронне освітлення застосовується вздовж меж ділянок територій, що охороняються, при цьому освітленість біля поверхні рівні землі має бути забезпечена на рівні 0,5 лк в нічний час.

Аварійне освітлення необхідне там, де при раптовому вимиканні робочого освітлення можливі вибух або пожежа, масовий травматизм, тривале порушення технологічного процесу, а також порушення роботи відповідних об'єктів (водопостачання, вузли зв'язку, пожежні пости, електрощитові та ін.). Це освітлення називають аварійним освітленням для продовження роботи, воно має створювати на робочих місцях 5 % нормованого робочого освітлення при системі загального освітлення, але не менш як 2 лк.

Аварійне освітлення безпеки використовується у виробництві, де є необхідність продовження робочого процесу у разі виникнення аварійної ситуації (підприємства критичної інфраструктури, підприємства з підвищеною пожежною або вибуховою небезпекою, підприємства, на яких використовуються отруйні хімічні, радіаційні чи біологічні компоненти тощо). Такий тип освітлення використовують там, де є неприпустимим припинення виробничого процесу навіть у випадку виникнення аварійної

ситуації. Живлення аварійного освітлення має бути надійним та здійснюватись від незалежних (автономних) джерел живлення.

Аварійне освітлення для безпечної евакуації людей при аварійному вимкненні робочого освітлення (евакуаційне освітлення) має забезпечувати освітленість не менш як 0,5 лк. Таке освітлення встановлюють у прохідних приміщеннях, коридорах і на сходах, що слугують для евакуації людей з адміністративних споруд, де працюють або перебувають одночасно більше як 50 осіб, на сходах житлових будинків висотою 6 поверхів або вище, у виробничих приміщеннях, в яких відсутнє природне освітлення, а також у приміщеннях, де можуть перебувати більше як 100 осіб. Евакуаційне освітлення має забезпечити достатній рівень освітлення для орієнтації людей на евакуаційних шляхах.

Для аварійного освітлення потрібно використовувати лампи розжарення або люмінесцентні лампи за умови живлення їх змінним струмом, якщо напруга не менша 90 % від номінальної і температура повітря в приміщенні не нижча +5 °С.

Світильники аварійного освітлення приєднуються окремими лініями до незалежного джерела живлення або перемикаються на нього автоматично, якщо раптово вимикається робоче освітлення. Крім того, вони мають відрізнятися від світильників робочого освітлення типом, розміром або спеціально нанесеними позначками.

Контрольні запитання

1. Які вам відомі види освітлення виробничих приміщень?
2. Які різновиди природного освітлення вам відомі і в які способи таке освітлення створюють?
3. Що таке система освітлення і які категорії систем освітлення вам відомі?
4. Чим локалізоване загальне освітлення відрізняється від місцевого?

5. Які різновиди місцевого освітлення вам відомі?
6. Які міркування доцільні при створенні загальної рівномірної системи освітлення?
7. Які переваги загальної рівномірної системи освітлення вам відомі?
8. Які недоліки загальної рівномірної системи освітлення вам відомі?
9. Які переваги локалізованої системи освітлення вам відомі?
10. Які недоліки локалізованої системи освітлення вам відомі?
11. На які види поділяється освітлення у відповідності до діючих Державних будівельних норм?
12. Для чого призначається робоче освітлення?
13. Які характеристики чергового освітлення вам відомі?
14. Поясніть призначення аварійного освітлення безпеки.
15. Для чого призначене евакуаційне освітлення і які вимоги до нього вам відомі?

Лекція 13

Вибір типу світильників за призначенням

Вибір типу світильників при проектуванні системи освітлення пов'язаний з вирішенням комплексу завдань відповідності параметрів світильників та їхнього взаємного розташування певним технічним, економічним, екологічним, безпековим, естетичним та іншим вимогам і діючим нормативним документам.

Умови штучного освітлення у виробничих приміщеннях мають вплив на зорову роботу, фізичний і психічний стан людей. Чим точніше і напруженіше виконується зорова робота, тим більшим є цей вплив. Численними дослідженнями встановлено залежності функцій зору від умов штучного освітлення. Ними керуються при нормуванні кількісних і якісних характеристик промислових освітлювальних установок і при виробленні рекомендацій щодо вибору джерел світла, систем і способів штучного освітлення. Збільшення освітленості у виробничих приміщеннях і в місцях проведення зовнішніх робіт позитивно впливає на такі функції зору, як гострота, стійкість ясного бачення, швидкість розрізнення, контрастна чутливість. При підвищенні контрасту між об'єктом розрізнення і фоном, на якому об'єкт розглядається, зорова працездатність збільшується. Вона також залежить від співвідношення яскравості робочої зони і навколишнього фону, що потрапляє в поле зору працюючого: зі збільшенням цього співвідношення працездатність знижується. Більш сприятливе відношення яскравості має місце при системі загального освітлення, менш сприятливе – при комбінованому освітленні.

Конструкція світильників повинна відповідати умовам навколишнього середовища. Так у вибухонебезпечних приміщеннях світильники повинні вибиратися в пожежобезпечному і вибухобезпечному виконанні і т. ін.

Для загального освітлення приміщень основного виробничого призначення слід, як правило, застосовувати газорозрядні джерела світла низького тиску, для приміщень підсобного призначення рекомендується застосовувати лампи розжарювання, дозволяється для освітлення приміщень основного виробничого призначення застосування ламп розжарювання, але це необхідно з'ясовувати з рекомендаціями. Для освітлення зовнішньої території, виробничих площадок, проїздів слід, як правило, застосовувати газорозрядні джерела світла високого і низького тиску, але дозволяється застосування ламп розжарювання при узгодженні з рекомендаціями діючих нормативних документів.

Для аварійного освітлення можна використовувати тільки лампи розжарювання, для аварійного освітлення допускається використовувати газорозрядні лампи низького тиску при умові, що їх живлення у всіх режимах буде здійснюватися від мережі змінного струму напругою не нижче, ніж 90% від номінального, застосування ламп типів ДРЛ, ДРИ та ксенонових для аварійного освітлення заборонено. Відхилення напруги живлення ламп від номінальної значно впливає на характеристики ламп. У ламп розжарювання в матованих колбах світловий потік на 3 %, опалових – на 10 %, із молочного скла – на 20 % нижче, ніж в прозорій колбі. Лампи розжарювання загального призначення необхідно експлуатувати при відносній вологості оточуючого середовища не більш, ніж 98%, температурі від мінус 60 °C до плюс 50 °C та зовнішньому тиску 68 – 101 кПа. Лампи розжарювання не дозволяють майже короткочасного зіткнення з водою у робочому режимі. Люмінесцентні лампи зберігають номінальні параметри при температурі оточуючого повітря 20 – 25° C.

Перш ніж приступити до вибору світильників, необхідно мати чітке уявлення про категорію приміщення, в якому передбачається їх експлуатувати. Приміщення можуть бути віднесені до сухих, вологих, сирих, особливо сирих, жарких, пильних, з хімічно активним середовищем,

пожежонебезпечних класів П-I, П-II, П-IIa, П-III і вибухонебезпечних приміщень класів ВI, В-Ia, В-Iб, В-Iг, В-II, В-IIa. Щодо можливості ураження людей електричним струмом, поділяються на приміщення: без підвищеної небезпеки, з підвищеною небезпекою і особливо небезпечні.

При виборі необхідно, щоб ступінь захисту світильників відповідав характеру навколишнього середовища в приміщенні. Відзначимо, що для сирих, особливо сирих приміщень та приміщень з хімічно активним середовищем бажаними є світильники з корпусами і відбивачами з вологостійкої пластмаси, порцеляни, вкриті силікатною емаллю. У жарких приміщеннях або зонах рекомендується застосовувати амальгамові люмінесцентні лампи. У пильних приміщеннях застосовуються в світильниках лампи з внутрішнім відбиваючим шаром і не використовуються світильники з екрануючими решітками, сітками і подібними до них елементами, що сприяють запиленню.

Ступінь вибухової небезпеки і пожежної небезпеки згідно НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) середовища в приміщенні регламентується двома розділами: розділ 4, розділ 5 і ДБН В.2.2-28:2010 «Виробничі будівлі промислових підприємств. Норми проектування». «Правилами будови електроустановок» встановлено шість класів вибухонебезпечних зон, відповідно до яких виконується вибір і розміщення електроустановок, в залежності від частоти і тривалості присутнього вибухонебезпечного середовища. Газо- парово-повітряні вибухонебезпечні середовища утворюють вибухонебезпечні зони класів 0, 1, 2, а пило-повітряні – вибухонебезпечні зони класів 20, 21, 22. Вибухонебезпечна зона класу 0 – простір, у якому вибухонебезпечне середовище присутнє постійно або протягом тривалого часу. Вибухонебезпечна зона класу 1 – простір, у якому вибухонебезпечне середовище може утворитися під час нормальної роботи, якщо установка працює відповідно до своїх розрахункових параметрів. Вибухонебезпечна зона класу 2 – простір, у якому

вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, якщо виникає, то рідко і триває недовго. У цих випадках можливі аварії катастрофічних розмірів. Вибухонебезпечна зона класу 20 – простір, в якому при нормальній експлуатації вибухонебезпечний пил у вигляді хмари присутній постійно або часто в кількості, достатній для утворення небезпечної концентрації суміші з повітрям. Зазвичай це має місце всередині обладнання, де пил може формувати вибухонебезпечні суміші часто і на тривалий термін. Вибухонебезпечна зона класу 21 – простір, в якому при нормальній експлуатації ймовірна поява пилу у вигляді хмари в кількості, достатній для утворення суміші з повітрям вибухонебезпечної концентрації. Вибухонебезпечна зона класу 22 – простір, у якому вибухонебезпечний пил у завислому стані може з'являтися не часто і існувати недовго або в якому шари вибухонебезпечного пилу можуть існувати і утворювати вибухонебезпечні суміші в разі аварії.

Класифікацією ПУЕ («Правила улаштування електроустановок») встановлено п'ять класів приміщень, які визначають вибір електрообладнання, світильників і електропроводок у вибухонебезпечних приміщеннях: приміщення класу В-I, в яких горючі гази або пар легко займистих рідин (ЛЗР), які виділяються, можуть утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші при нормальних нетривалих режимах роботи (наприклад, при завантаженні або розвантаженні технологічних апаратів, збереження або переливанні ЛЗР, що знаходяться в відкритих посудинах, і т. ін.); приміщення класу В-Ia, в яких при нормальній експлуатації вибухонебезпечні суміші з повітрям горючих газів або парів ЛЗР не мають місця, а можливі лише в результаті аварій або несправностей; приміщення класу В-Iб, ті ж приміщення, що і класу В-Ia, але відрізняються однією з таких особливостей: горючі гази в цих приміщеннях мають високу нижню межу вибуховості (15% і більше) і різкий запах при гранично допустимих по санітарним нормам концентраціях; виникнення аварійних випадків у

приміщеннях загальних вибухонебезпечних концентрацій по умовам технологічного процесу виключено, а можливі лише місцеві вибухонебезпечні концентрації легкозаймистих рідин чи горючих газів, що з'являються в приміщеннях в невеликих кількостях, недостатніх для створення в них вибухонебезпечних концентрацій, і робота з ними проводиться без використання відкритого вогню; приміщення класу В-II, у яких виділяється горючий пи́л і волокна, які переходять в завислий стан і здатні утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші при нормальних нетривалих режимах роботи (наприклад, при завантаженні і розвантаженні технологічних апаратів).

Клас пожежонебезпечних зон згідно класифікації та їх меж визначається технологами разом з електриками проектної або експлуатуючої організації. Температура поверхні світильників, на які можуть осісти горючі пи́л або волокна, повинна бути не менш ніж на 50 °C нижче температури тління (для тліючого пи́лу) або не більше 2/3 температури самозаймання (для не тліючого пи́лу). Ступінь захисту світильників від проникнення води X визначається в залежності від умов середовища, в якому світильники встановлюються.

Пожежонебезпечна зона – простір у приміщенні або за його межами, у якому постійно або періодично знаходяться (зберігаються, використовуються або виділяються під час технологічного процесу) горючі речовини як при нормальному технологічному процесі, так і при його порушенні, в такій кількості, що потрібні спеціальні заходи захисту конструкції електрообладнання під час його експлуатації.

Клас пожежонебезпечних зон характерних виробництв повинен відображатися в нормах технологічного проектування або в галузевих переліках виробництв з пожежо-вибухонебезпеки. Пожежонебезпечна зона класу П-I – простір, в якому знаходиться горюча рідина, що має температуру займання більш +61 °C. Пожежонебезпечна зона класу П-II – простір у

приміщенні, в якому можуть накопичуватися і виділятися горючий пи́л або волокна. Пожежонебезпечна зона класу П-Па – простір у приміщенні, в якому знаходяться тверді горючі речовини і матеріали. Пожежонебезпечна зона класу П-ПІІ – простір поза приміщенням, в якому знаходиться горюча рідина з температурою займання більше +61 °С, або тверді горючі речовини. Клас середовища за межами вказаної 5-метрової зони необхідно визначати в залежності від технологічних процесів, що застосовуються в цьому середовищі. Зони в приміщеннях і за їх межами, в яких тверді і газоподібні горючі речовини спалюються як паливо або утилізуються шляхом спалювання, не належать у частині їх електрообладнання до пожежонебезпечних зон.

Вимоги до характеру світлорозподілу при виборі світильників враховуються наступним чином: для виробничих приміщень зазвичай беруть світильники прямого або переважно прямого світлорозподілу з типовими кривими світла К, Г або Д; для адміністративних, громадських та житлових приміщень – світильники розсіяного, переважно відображеного або відбитого світлорозподілу з типами кривими світла М, Л або Ш.

Якщо необхідно створити необхідний рівень освітленості в горизонтальній площині, то найбільш доцільно застосовувати світильники прямого світла класу П, а в приміщеннях зі світлими стінами і стелею – переважно прямого світла класу Н. Чим вище приміщення і більше нормована освітленість, тим більш концентрованими кривими сили світла повинні володіти світильники (К або Г). В міру зменшення висоти приміщення найбільш ефективними є світильники з типовою кривою сили світла Г, Д і т. ін. Для освітлення у вертикальній або похилій площинах доцільні світильники розсіяного світла класу Р з напівширокою кривою типу Л або рівномірною типу М. При освітленні довільно орієнтовних похилих і вертикальних площин слід пам'ятати, що відношення вертикальної освітленості до горизонтальної мінімально для світильників з типовою кривою

сили світла K і збільшується для M і L . Світильники прямого світла класу Π і переважно прямого світла класу H характеризуються більш високими значеннями k , k_d і вимагають встановлення в них джерел меншої потужності для створення однакового рівня освітленості робочих поверхонь. При їх використанні кращою є видимість рельєфних деталей невеликих розмірів і легше відшукати дрібні дефекти (пори, тріщини, злами та ін.), проте, одночасно можливе затінення робочих поверхонь, особливо від поруч розташованих громіздких предметів. Якщо зіставити значення коефіцієнтів використання світлового потоку для різних світильників одного класу світлорозподілу (наприклад, прямого світла класу Π), то світильники з типовими кривими сили світла, в міру спадання коефіцієнта використання світлового потоку, розташовуються таким чином: K - G - D - L - M - $Ш$ - C . Різниця особливо помітна для високих приміщень, тому для високих приміщень, з точки зору мінімальної встановленої потужності джерел, вибираються світильники з типовими кривими сили світла G , D і, в окремих випадках, K . З іншого боку, застосування світильників з типовими кривими світла G , D і K призводять до зменшення відстані між ними і, як наслідок, до удорожчання. Від правильного вибору світильника залежать економічність, працездатність, безпека і надійність роботи освітлювальної установки. Це – певною мірою творчий процес, і вимагає від проектувальника особливих навичок, певних знань і досвіду.

Основна вимога при виборі розташування світильників і їх кількості – доступність їх для обслуговування і рівномірне освітлення поверхонь. Розміщення світильників в плані і в розрізі приміщення визначаються наступними розмірами: H – висота приміщення; h_c – відстань світильників від перекриття; h_n – висота світильників над підлогою; h_p – висота розрахункової поверхні над підлогою; h – розрахункова висота; L – відстані між сусідніми світильниками або рядами люмінесцентних ламп; l – відстань від крайніх світильників до стін.

Обслуговування світильників з приставних драбин або драбин дозволяється при висоті $h_n \leq 5,0$ м. При $h_n \geq 5,0$ м можливі способи доступу для обслуговування:

- з мостових кранів;
- зі спеціальних світлотехнічних містків;
- з різних самохідних або несамохідних пристроїв, що несуть кошик для монтера.

У виробничих приміщеннях, обладнаних підйомними кранами, які беруть участь в безперервному процесі, а також в безкранових прольотах, в яких доступ до світильників утруднений, встановлення та обслуговування світильників проводиться на спеціальних стаціонарних містках з негорючих матеріалів. Ширина містків повинна бути не менше 0,6 м, огороження висотою не менше 1 м.

Для підвісних світильників загального освітлення рекомендується мати підвіси довжиною не більше 1,5 м. При більшій довжині підвісу повинні виконуватись заходи по обмеженню їхнього розгойдування під дією потоків повітря. У вибухонебезпечних зонах всі стаціонарні освітлювальні прилади повинні бути жорстко закріплені для виключення розгойдування. Пристосування для підвішування світильників повинні витримувати протягом 10 хвилин без пошкодження та залишкових деформацій прикладене до них навантаження, що дорівнює п'ятикратній масі світильника.

Штепсельні розетки електроживлення повинні встановлюватися:

- у виробничих приміщеннях на висоті $0,8 \div 1$ м, а якщо живлення підводиться згори, то на висоті 1,5 м;
- в адміністративних, житлових та інших приміщеннях – на висоті зручній для приєднання до них електричних приладів, але не вище 1 м;
- в школах і дитячих установах на висоті 1,8 м.

Розподілення освітленості по площі істотно залежить від типу світильника і співвідношення $\lambda = L / h$ (табл. 13.1). При зменшенні λ до нуля світильники зливаються в суцільну освітлену стелю і освітленість стає абсолютно рівномірною. Зближення світильників веде до подорожчання системи освітлення та її обслуговування, а надмірне віддалення – до різкої нерівномірності освітленості.

Розмір l (відстань від світильників до стін) приймається в межах $0,3 \div 0,5 \cdot L$, залежно від наявності поблизу стін робочих місць. Світильники з точковими джерелами світла розташовуються по вершинах квадратних, прямокутних або трикутних полів. При прямокутних полях рекомендується $La/Lb \leq 1,5$.

Таблиця 13.1

Рекомендовані значення за вибором λ

Типова крива світильника	λ
Концентрована	0,6
Глибока	1,0
Косинусна	1,6
Рівномірна	2,6
Напівширока	1,8

Задача освітлення поверхні, зазвичай, має декілька рішень, які відрізняються розташуванням світильників та потужністю використаних джерел світла. При проектуванні із сукупності можливих рішень обирають найвигідніше за наступними умовами: 1) забезпечення нормованої освітленості на робочому місці; 2) забезпечення необхідної якості освітлення; 3) забезпечення мінімальної встановленої потужності при виконанні пунктів 1) і 2). Як вказувалося вище, існує два способи розміщення світильників загального освітлення: рівномірне і локалізоване. При локалізованому розміщенні питання вибору місця розташування світильників повинно вирішуватися у кожному конкретному випадку індивідуально на підставі досконалого знайомства з характером виробничого процесу і

конструктивними особливостями технологічного обладнання об'єкту. При рівномірному розташуванні світильників необхідно користуватись рядом загальних положень, які повинні являтися базовими при вирішенні даного питання і, перш за все, виконання вище названих умов. Виконання цих умов забезпечується вибором відносної найвигіднішої світлотехнічної та економічної відстані між світильниками ряду та між рядами світильників. Ця відстань визначається з урахуванням двох відповідних коефіцієнтів: λ_c та λ_e (відповідно, світлотехнічної та економічної найвигіднішої відстані між світильниками), значення яких залежить від типу кривої сили світла світильника (табл. 13.1).

Таблиця 13.1

Рекомендовані значення λ для світильників з типовими кривими сили світла

Типова крива сили світла	λ_c	λ_e
Концентрована (К)	0,4 ÷ 0,7	0,6 ÷ 0,9
Глибока (Г)	0,3 ÷ 1,1	1,0 ÷ 1,4
Косинусна (Д)	1,4 ÷ 1,6	1,6 ÷ 2,1
Рівномірна (М)	1,3 ÷ 2,6	2,6 ÷ 3,4
Напівширока (Л)	1,6 ÷ 1,8	1,8 ÷ 2,3

При рівномірному розміщенні світильники розміщують по кутах прямокутника або вершинам ромба з урахуванням доступу до них для обслуговування. При рівномірному освітленні відстань між світильниками в ряду L_A і між рядами світильників L_B визначають за формулою:

$$L_A = L_B = (\lambda_c \div \lambda_e) \cdot H_p \quad (13.1)$$

де H_p – розрахункова висота встановлення світильника, що визначається за формулою:

$$H_p = H - h_n - h_{p.n.}, \quad (13.2)$$

де H – висота приміщення, м; h_n – висота підвісу світильника (відстань від світлового центру до перекриття), м; $h_{p.n.}$ – висота розрахункової поверхні над підлогою, на якій нормується освітлення, м.

При рівномірному розміщенні світильників по кутах прямокутника рекомендується, співвідношення $LA / LB \leq 1,5$; відстань від стіни до найближчого ряду світильників l_B або до найближчого світильника в ряду l_A приймають в межах $(0,3 \div 0,5) L_A$, $(0,3 \div 0,5) L_B$; за наявності робочих поверхонь біля стін: $l_A \approx 0,3 L_A$, $l_B \approx 0,3 L_B$, а за відсутності – $l_A \approx 0,5 L_A$, $l_B \approx 0,5 L_B$.

Тоді за відомими l_A , l_B , L_A , L_B , довжині A і ширині B приміщення можна визначити: число рядів світильників за формулою:

$$N_B = \frac{B-2 \cdot l_B}{L_B} + 1; \quad (13.3)$$

число світильників в одному ряді за формулою:

$$N_A = \frac{A-2 \cdot l_A}{L_A} + 1; \quad (13.4)$$

а їх загальну кількість в приміщенні – за формулою:

$$N = N_A + N_B. \quad (13.5)$$

Якщо розрахунок відстані між світильниками в ряду і їх рядами проводився з урахуванням світлотехнічної найвигіднішої відносної відстані, то отримані значення N_B і N_A округлюють до цілого числа в бік найменшого значення. У випадку ж розрахунку по енергетично найвигіднішій відносній відстані, N_B і N_A округлюють до цілого у бік більшого. Після цього розміщують світильники на плані приміщення і визначають дійсні відстані від стіни до найближчого їх ряду l_B і до найближчого світильника в ряду l_A , відстань між рядами L_B і світильниками в ряду L_A за формулами:

$$L_A = \frac{A}{N_A - \alpha}; \quad (13.6)$$

$$L_B = \frac{B}{N_B - \alpha}, \quad (13.7)$$

де $\alpha = 0,4$ при $l_A = 0,3 \cdot L_A$, $l_B = 0,3 \cdot L_B$ і $\alpha = 0$ при $l_A = 0,5 \cdot L_A$, $l_B = 0,5 \cdot L_B$.

Слід зазначити, що при проектуванні освітлювальних установок зі світильниками з люмінесцентними лампами спочатку намічають тільки число рядів N_B , а число світильників в ряду N_A і в приміщенні N визначають

світлотехнічним розрахунком. При цьому світлотехнічну найвигіднішу відносну відстань λ_c визначають за поперечною кривою сили світла світильників.

При локалізованому розміщенні світильники встановлюють з урахуванням найбільш оптимального освітлення робочих місць, запобігання їх затінення громіздкими предметами і забезпечення необхідних рівнів освітлення у технологічних проходах.

Контрольні запитання

1. Яким вимогам мають відповідати світильники при проектуванні освітлення?
2. Як впливають нормовані чинники освітлення у приміщеннях на зорові функції людини?
3. Які джерела світла застосовують для загального освітлення приміщень основного виробничого призначення?
4. Які вам відомі вимоги до джерел світла, що використовуються для аварійного освітлення?
5. Які категорії приміщень вам відомі, у відповідності до вимог щодо встановлення в них систем освітлення?
6. На які вибухонебезпечні зони можуть поділятися приміщення, у відповідності до діючих нормативних документів?
7. На які пожежонебезпечні зони можуть поділятися приміщення, у відповідності до діючих нормативних документів?
8. Які вимоги щодо характеру світлорозподілу при виборі світильників вам відомі?
9. Які вимоги щодо розташування світильників вам відомі?
10. Яким чином вирішують задачі розрахунку освітленості робочих поверхонь у приміщеннях?
11. Як розрахувати загальну кількість світильників для приміщення?

Лекція 14

Нормативна документація

Нормативні документи із застосування освітлювальної техніки призначені для того, щоб забезпечити відповідність продукції виробництва або надаваних послуг певним вимогам, які гарантують безпеку життя і здоров'я, найкращі умови користування продукцією або користування послугами. При цьому, при проектуванні освітлювальних мереж, на перше місце виходять вимоги безпеки під час створення таких мереж, та під час їхньої експлуатації (або виконання робіт з ремонту чи модернізації). Після виконання безпекових вимог виконують вимоги щодо безпосереднього впливу освітлювального середовища на зорову систему людей, тварин та рослини (наприклад, рівень мерехтіння освітлення, рівень яскравості, рівномірність освітлення робочих поверхонь тощо). Тобто, виконуються вимоги щодо відповідності характеристик штучного (або комбінованого) освітлення виробничому процесу або іншим вимогам, які забезпечують оптимальні режими роботи зорової системи людини у відповідних умовах.

До нормативних документів, якими керуються під час проектування та експлуатації систем штучного електричного освітлення, в першу чергу, відносяться «Правила улаштування електроустановок», «Державні будівельні норми України. Природне і штучне освітлення», «Державні будівельні норми України. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення», «Державні будівельні норми України. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів промислового призначення», «ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015 Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств», «ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», «ДСТУ Б А.3.2-15:2011. Норми освітлення будівельних

майданчиків» тощо. У відповідності до цих та інших нормативних документів виконується проектування електроосвітлювальних мереж, вибір типу, кількості, потужності та розташування світильників.

Основним документом, який нормує освітлення приміщень, є «ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення», який нормує рівень та якість освітлення різних об'єктів за різних умов їхньої експлуатації, формулює термінологію, яка використовується при проектуванні, та надає методики розрахунку характеристик освітлення, які відповідають встановленим нормам.

Для того, щоб розуміти норми, які застосовуються при проектуванні систем електроосвітлення, необхідно засвоїти термінологію, яка використовується у зазначеному вище стандарті.

Аварійне освітлення – освітлення, призначене для використання при порушенні живлення електропостачання робочого освітлення.

Антипанічне освітлення – вид евакуаційного освітлення для запобігання паніки та безпечного підходу до шляхів евакуації.

Акцентоване освітлення – виділення світлом окремих деталей на менш освітленому фоні.

Аварійне освітлення для зон, де здійснюються операції з високим рівнем ризику – вид аварійного освітлення зон з операціями високого ризику, що забезпечує безпеку людей, задіяних у потенційно небезпечних процесах, та надає можливості безпечно завершити процедури вимкнення обладнання для запобігання ризику зашкодити життю чи здоров'ю інших присутніх у приміщенні.

Блискавість – умова бачення, за якої з'являється дискомфорт або зменшення здатності бачити деталі або об'єкти через несприятливий розподіл яскравості, або діапазон яскравостей, або екстремальні контрасти в просторі.

Розрізнення (об'єкта) – властивість об'єкта або джерела світла бути помітним на навколишньому фоні.

Гострота зору – 1. Якісно: Здатність розрізняти окремо дрібні деталі, які мають дуже малу кутову роздільну Здатність. 2. Кількісно: деяка кількість заходів просторової залежності, таких як величина, обернена величині кута зору (в кутових хвилинах) двох сусідніх об'єктів (точок, ліній або інших стимулів), які спостерігач може сприймати досить відокремлено.

Постійне додаткове штучне освітлення (приміщення) – постійне штучне освітлення, яке доповнює природне освітлення, якщо використання тільки природного освітлення є недостатнім або незадовільним.

Евакуаційне освітлення – та частина аварійного освітлення, яка забезпечує гарантію ефективного розпізнавання і використання шляхів евакуації.

Еквівалентний розмір об'єкта розрізнення – розмір рівно яскравого кола на рівно яскравому фоні, який має такий самий пороговий контраст, що і об'єкт розрізнення при даній яскравості фону.

Заливальне освітлення – освітлення поверхні або об'єкта, зазвичай прожекторами, з метою значного збільшення освітленості в порівнянні із звичайною.

Загальне освітлення – освітлення, за якого світильники розміщуються рівномірно у верхній зоні приміщення (загальне рівномірне освітлення) або локалізовано відносно розміщення обладнання (загальне локалізоване освітлення).

Зовнішнє архітектурне (архітектурно-художнє) освітлення – особливий напрямок художнього формування засобами штучного освітлення повсякденного й святкового вигляду міста у вечірній та нічний час: світло-кольорове зонування міського простору, відображення планувальної структури й функціонального зонування міста, пішохідних зон, світлових ансамблів історичних та громадських центрів, який містить світлові домінанти у системі світлових ансамблів різного масштабу й рівня, образні рішення освітлення в межах кожного архітектурного ансамблю, що

відповідають вимогам екології зорового сприйняття і соціально-економічної ефективності.

Зоровий дискомфорт – відчуття незручності або напруження, що виникає при незадовільному розподілу яскравості в освітленому просторі, що призводить до відволікання уваги, зниження зосередженості, зорової і загальної стомлюваності.

Кольоропередання – вплив спектрального розподілу випромінення на кольірне подання об'єкта, яке свідомо чи підсвідомо порівнюється з кольірним поданням цього об'єкта у разі освітлення стандартним випроміненням.

Індекс кольоропередання (R_a) – міра ступеня відповідності психофізичних кольорів об'єкта в разі його освітлення випробуваним і стандартним випроміненням, яку треба оцінювати в умовах хроматичного адаптування.

Колірна температура (T_c) – температура випромінювача Планка (чорного тіла), за якої його випромінювання має ту саму кольоровість, що і випромінювання об'єкта, що розглядається.

Комбіноване освітлення – штучне освітлення, яке застосовується для створення досить високих рівнів освітленості на робочих поверхнях завдяки одночасному використанню загального освітлення та місцевого.

Коефіцієнт природної освітленості (D) – відношення освітленості, що утворюється в точці на заданій площині світлом, одержаним безпосередньо або опосередковано від неба, до одночасної освітленості на горизонтальній площині внаслідок освітлення всією півсферою небосхилу. Внесок прямого сонячного світла в утворення цих освітленостей вилучають.

Геометричний коефіцієнт природної освітленості – відношення площі ортогональної проекції на робочу площину ділянки умовної небесної півсфери, видимої з розрахункової точки через незаповнений світлопроріз або його частину, від якої розраховується освітленість, до площі основи небесної півсфери – **доля світла неба в коефіцієнті природної освітленості (D_s)**, а у разі розрахунку геометричного коефіцієнта природної

освітленості від протилежного будинку – відношення площі ортогональної проєкції на робочу площину ділянки небесної півсфери, що затінюється будинком у розрахунковій точці, до площі основи небесної півсфери – **доля зовнішнього відбивання в коефіцієнті природної освітленості (D_e)**.

Коефіцієнт запасу (K_z) – розрахунковий коефіцієнт, що враховує зниження коефіцієнту природної освітленості і освітленості в процесі експлуатації внаслідок забруднення і старіння світлопрозорих заповнень у світлових прорізах, джерел світла (ламп) і світильників, а також зниження відбиваючих властивостей поверхні приміщення. **Примітка.** В світі більш поширене застосовування коефіцієнта експлуатації **MF (Maintenance Factor)**, який пов'язаний з коефіцієнтом запасу, як: **$K_z = 1/MF$** .

Коефіцієнт пульсації світлового потоку – пульсацію світлового потоку оцінюють як відношення різниці між максимальним і мінімальним значеннями світлового потоку до суми цих значень за період її коливання.

Коефіцієнт пульсації освітленості (K_p) – критерій оцінки відносної глибини коливань освітленості внаслідок зміни в часі світлового потоку джерела світла при живленні його змінним струмом, який вираховується за відповідною формулою.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) світильника – відношення повного світлового потоку світильника, виміряного за внормованих умов експлуатування з його власними лампами і пристроями, до суми світлових потоків окремих його ламп, виміряних поза світильником за внормованих умов з тими самими (пускорегулювальними, вимірювальними тощо) пристроями.

Локалізоване освітлення – призначене для окремих зон освітлення з підвищеним рівнем освітленості в певних місцях, наприклад, таких, де виконують роботу.

Місцеве освітлення – освітлення для специфічної зорової задачі на додаток до/і контрольоване окремо від загального освітлення.

Напівциліндрична освітленість ($E_{нц}$) – характеристика насиченості світлом простору і ефекту утворення тіні освітлення для спостерігача, який рухається по вулиці паралельно її осі. Визначається як середня щільність світлового потоку на поверхні вертикально розташованого на поздовжній лінії вулиці на висоті 1,5 м напівциліндра, радіус і висота якого наближаються до нуля. Розрахунок напівциліндричної освітленості виконується інженерним методом.

Нерівномірність природного освітлення – відношення середнього значення до найменшого значення коефіцієнту природного освітлення (КПО) в межах характерного розрізу приміщення.

Об'єкт розрізнення – предмет, що розглядається, окрема його частина або дефект, які треба розрізнити в процесі роботи.

Освітлювальний прилад (ОП) – пристрій, який перерозподіляє, фільтрує чи перетворює світловий потік, що випромінюється одним, кількома чи багатьма джерелами світла; містить усі необхідні деталі для кріплення і захисту джерел світла, а також для їх підключення до мережі живлення. Освітлювальні прилади поділяються на світильники (ближньої дії) і прожектори (дальньої дії).

Освітлювальна установка (ОУ) – пристрій, призначений для освітлення, що складається з окремо виготовлених і придбаних світлотехнічних виробів (ОП, оптичних елементів, наприклад, розсіювачів, конструктивних і електротехнічних елементів), що складаються на місці за проектом даної освітлювальної установки. Також до складу ОУ включають пристрої живлення і управління освітленням, а також освітлюваний об'єкт, наприклад, приміщення, ділянка полотна дороги або вулиці, стіна будівлі тощо.

Показник дискомфорту блискавості (UGR) – загальноєвропейський критерій оцінки дискомфортної блискавості відповідно від світильників приміщення, яка викликає неприємні відчуття при нерівномірному розподілу яскравості в полі зору, вираховується за відповідними формулами.

Показник блискавості (GR) – показник, що характеризує сліпучу дію ОУ.

Граничний показник блискавості (GR_L) – максимально допустиме значення показника блискавості.

Частка світлового потоку в верхню півсферу (ULR) – частина світлового потоку світильника(-ів), яка випромінюється вище горизонту при установці світильника(-ів) в робочому положенні.

Охоронне освітлення – освітлення вздовж межі території, що охороняється.

Пішохідна зона (простір) – територія, призначена виключно для пішохідного руху, де заборонене пересування автотранспортним засобам за винятком автомобілів спецслужб, комунальної техніки, маршрутного транспорту, транспорту для інвалідів, а також для обслуговування магазинів.

Показник зорового дискомфорту (M) – критерій оцінки дискомфортної блискавості, яка викликає неприємні відчуття при нерівномірному розподіленні яскравості в полі зору, який вираховується за відповідною формулою.

Показник засліпленості (P) – величина, похідна від коефіцієнта засліпленості, вираховується за відповідною формулою.

Пороговий приріст яскравості (TI, %) – параметр, що регламентує осліплювальну дію освітлювальної установки на людину в полі зору водія транспортного засобу, вираховується за відповідною формулою.

Природне освітлення – освітлення приміщень світлом неба (прямим або відбитим), яке проходить крізь світлові прорізи в зовнішніх огорожувальних конструкціях.

Природне освітлення бокове – природне освітлення приміщень крізь світлові прорізи у зовнішніх стінах.

Природне освітлення верхнє – природне освітлення приміщень крізь ліхтарі, світлові прорізи в стінах у місцях перепаду висот будівлі.

Природне освітлення комбіноване – поєднання верхнього і бокового природного освітлення.

Освітлення акумульоване – освітлення за допомогою світильників, що акумулюють в денний час доби енергію від небосхилу та використовують її для нічного освітлення.

Природне освітлення транспортоване – освітлення, що потрапляє у приміщення за допомогою інженерної системи на основі світловодів, та використовується для освітлення глибинного або підземного внутрішнього простору будівель і споруд.

Робоче освітлення – освітлення, яке забезпечує нормовані умови освітлення (освітленість, якість освітлення) в приміщеннях і в місцях виконання робіт поза будівлями.

Робоча поверхня (базова поверхня) – поверхня, на якій виконується робота і нормується або вимірюється освітленість.

Резервне освітлення – та частина аварійного освітлення, яка дає можливість продовження звичайної діяльності без суттєвих змін.

Системи освітлення транспортного тунелю – системи освітлення з розташуванням, як правило, на стіні або на стелі світильників несиметричного світлорозподілення в площині, паралельній осі проїзної частини, більша частина світлового потоку яких спрямована назустріч руху транспорту.

Система освітлення транспортного тунелю симетрична – система освітлення з розташуванням на стіні або на стелі світильників симетричного світлорозподілення в площині, паралельній осі проїзної частини.

Світлове середовище – сукупність ультрафіолетових, видимих інфрачервоних випромінювань джерел природного і штучного світла; важлива складова життєвого середовища організмів і рослин, яка визначається світловими потоками джерел світла, що змінюються в результаті взаємодії з навколишнім предметним середовищем; сприймається зором за розподілом світла в просторі.

Світлова ефективність (світловіддача) (e) – величина характеризує ККД освітлювальної системи.

Світловід – пристрій для трансляції світла від джерела до освітлюваного об'єкта всередині порожнистого або заповненого світлопровідним матеріалом каналу зі світловідбиваючими внутрішніми поверхнями.

Середньозважений коефіцієнт відбиття ($\rho_{сер}$) – коефіцієнт відбиття, усереднений за площею (фасаду, приміщення, робочої поверхні тощо).

Стробоскопічний ефект – явище спотворення зорового сприйняття об'єктів, що обертаються, рухаються або змінюються в мигаючому світлі, яке виникає при збігу кратності частотних характеристик руху об'єктів і зміні світлового потоку в часі в освітлювальних установках з джерелами світла, які живляться змінним струмом.

Суміщене освітлення – освітлення, за якого недостатнє (згідно з нормами) природне освітлення доповнюється штучним.

Умовна робоча поверхня – умовно прийнята горизонтальна поверхня, розташована на висоті 0,8 м над підлогою.

Флікер-ефект – ефект монотонного мерехтіння яскравих частин світильників та їхніх відблисків від корпусу автомобіля, що викликає роздратування у водія за певної частоти й тривалості мерехтінь.

Фон (тло) – поверхня, прилегла безпосередньо до об'єкта розрізнення, на якій він розглядається. Фон буває: світлим (якщо коефіцієнт відбивання поверхні більше ніж 0,4); середнім (якщо коефіцієнт відбивання поверхні від 0,2 до 0,4); темним (якщо коефіцієнт відбивання поверхні менше ніж 0,2).

Характерний розріз приміщення – поперечний розріз, як правило, по середині приміщення, площина якого перпендикулярна до площини закслених світлових прорізів (при боковому освітленні) або до поздовжньої осі прогонів приміщення. До характерного розрізу приміщення повинні входити ділянки з найбільшою кількістю робочих місць, а також точки робочої зони, найбільш віддалені від світлових прорізів.

Циліндрична освітленість ($E_{\text{ц}}$) – характеристика насиченості приміщення світлом. Визначається як середня щільність світлового потоку на поверхні вертикально розташованого в приміщенні циліндра, радіус і висота якого наближаються до нуля. Розрахунок циліндричної освітленості проводиться інженерним методом.

Яскравість адаптації (L_{20}) – середньозважена яскравість всередині 20° (за діаметром) поля адаптації, видимого водієм, який перебуває на осі дорожнього полотна на відстані безпечного гальмування (ВБГ) перед в'їзним порталом, при цьому лінія зору водія націлена на центр рамки в'їзного порталу.

Яскравісна гранична зона автотранспортного тунелю – ділянка тунелю довжиною, яка дорівнює ВБГ, що примикає до в'їзного порталу.

Яскравісна перехідна зона автотранспортного тунелю – ділянка тунелю, що примикає до граничної зони й закінчується в місці, де яскравість дорожнього покриття спадає до 3-кратної величини яскравості внутрішньої зони.

Яскравісна в'їзна зона автотранспортного тунелю – ділянка тунелю, що включає граничну й перехідну зони.

Яскравісна внутрішня зона автотранспортного тунелю – ділянка тунелю, що примикає до перехідної зони й закінчується біля початку виїзної зони, а за її відсутності – біля виїзного порталу.

Яскравісна виїзна зона автотранспортного тунелю – ділянка тунелю довжиною, яка дорівнює ВБГ, що примикає до внутрішньої зони й закінчується у виїзного порталу.

Яскравісна зона від'їзду автотранспортного тунелю – ділянка дороги поза тунелем довжиною, яка дорівнює двом ВБГ, що примикає до виїзного порталу.

У відповідності до даного нормативного документу, середня освітленість робочих місць з постійним перебуванням людей повинна бути

не менше ніж 200 лк. Нормована середня освітленість для світлодіодних джерел залежить від колірної температури і має бути суттєво збільшена при збільшенні колірної температури джерела світла.

Вимоги до освітлення різних типів приміщень слід приймати відповідно до табл. 14.1, 14.2.

Таблиця 14.1 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Характеристика зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне освітлення					Природне освітлення		Суміщене освітлення	
						Освітленість, лк			сукупність нормованих величин показника засліпленості і коефіцієнта пульсації	КПО, D_n , %				
						при системі комбінованого освітлення		при системі загального освітлення		середнє $D_n^{пр сер}$	мінімальне $D_n^{пр min}$	середнє $D_n^{сум сер}$	мінімальне $D_n^{сум min}$	
						всього	у т.ч. від загального							P
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Найвищої точності	Менше ніж 0,15	I	а	малий	темний	5 000	500	—	20	10	—	—	6,0	2,0
						4 500	500	—	10	10				
			б	малий середній	середній темний	4 000	400	1 200	20	10				
						3 500	400	1 000	10	10				
			в	малий середній великий	світлий середній темний	2 500	300	750	20	10				
						2 000	200	600	10	10				
			г	середній великий великий	світлий світлий середній	1 500	200	400	20	10				
						1 250	200	300	10	10				
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3 включно	II	а	малий	темний	4 000	400	—	20	10	—	—	4,2	1,5
						3 500	400	—	10	10				
			б	малий середній	середній темний	3 000	300	750	20	10				
						2 500	300	600	10	10				
			в	малий середній великий	світлий середній темний	2 000	200	500	20	10				
						1 500	200	400	10	10				
			г	середній великий великий	світлий світлий середній	1 000	200	300	20	10				
						750	200	200	10	10				

Продовження табл. 14.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Високої точності	Від 0,3 до 0,5 включно	III	а	малий	темний	2 000 1 500	200 200	500 400	40 20	15 15	–	–	3,0	1,2
			б	малий середній	середній темний	1 000 750	200 200	300 200	40 20	15 15				
			в	малий середній великий	світлий середній темний	750 600	200 200	300 200	40 20	15 15				
			г	середній великий великий	світлий світлий середній	400	200	200	40	15				
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	а	малий	темний	750	200	300	40	10	4	1,5	2,4	0,9
			б	малий середній	середній темний	500	200	200	40	10				
			в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	200	40	10				
			г	середній великий великий	світлий світлий середній	–	–	200	40	10				
Малої точності	Від 1,0 до 5 включно	V	а	малий	темний	400	200	300	40	10	3	1	1,8	0,6
			б	малий середній	середній темний	–	–	200	40	10				
			в	малий середній великий	світлий середній темний	–	–	200	40	10				
			г	середній великий великий	світлий світлий середній	–	–	200	40	10				
Груба (дуже малої точності)	Більше ніж 5	VI		Незалежно від характеристик фону і контрасту об'єкта з фоном		–	–	200	40	10	3,0	1,0	1,8	0,6

Продовження табл. 14.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Робота з матеріалами, які світяться і виробами в гарячих цехах	Більше ніж 0,5	VII		Незалежно від характеристик фону і контрасту об'єкта з фоном		–	–	200	40	10	3,0	1,0	1,8	0,6
Загальне спостереження за ходом виробничого процесу: – постійне		VIII				–	–	200	40	10	3,0	1,0	1,8	0,6
– періодичне під час (за) постійного перебування людей у приміщенні			б	»		–	–	100	–	–	1,0	0,3	0,7	0,2
– періодичне при періодичному перебуванні людей у приміщенні			в	»		–	–	50	–	–	0,7	0,2	0,5	0,2
– загальне спостереження за інженерними комунікаціями			г	»		–	–	20	–	–	0,3	0,1	0,2	0,1

Примітка 1. Освітленість слід приймати з урахуванням 8.2.6.

Примітка 2. Найменший розмір об'єкта розрізнення та відповідні йому розряди зорової роботи встановлені при розташуванні об'єктів розрізнення на відстані не більше ніж 0,5 м від очей працюючого. При збільшенні цієї відстані розряд зорової роботи слід встановлювати відповідно до додатка А. Для продовжуватих об'єктів розрізнення еквівалентний розмір приймається відповідно до додатка Б.

Примітка 3. Освітленість при роботах з об'єктами, які світяться, розміром 0,5 мм і менше вибирати відповідно до розміру об'єкта розрізнення і відносити їх до підрозряду "в".

Примітка 4. Показник засліпленості регламентується в гр. 10 тільки для загального освітлення (при будь-якій системі освітлення).

Примітка 5. Коефіцієнт пульсації Кп наведений у гр. 11 для системи загального освітлення або для світильників місцевого освітлення при системі комбінованого освітлення. Кп від загального освітлення в системі комбінованого не повинен перевищувати 20 %.

Примітка 6. Передбачати систему загального освітлення для розрядів I-III, IVa, IVб, IVв, Va допускається тільки при технічній неможливості або економічній недоцільності застосування системи комбінованого освітлення, що конкретизується в галузевих нормах освітлення, узгоджених з органами державного санітарного нагляду.

Примітка 7. В приміщеннях, спеціально призначених для роботи або виробничого навчання підлітків, нормоване значення КПО збільшується на один розряд за гр. 3 і повинно бути не менше ніж 1,0 %.

Таблиця 14.2 – Вимоги до освітлення приміщень житлових, цивільних та адміністративно-побутових споруд

Характеристика зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Відносна тривалість зорової роботи в напрямку зору на робочу поверхню, %	Штучне освітлення				Природне освітлення	
					освітленість на робочій поверхні від системи загального освітлення, лк	циліндрична освітленість, лк	показник дискомфорту, M	коефіцієнт пульсації освітленості K_p , %	КПО, D_n , %	
									середнє $D_n^{пр}$ _{сер}	мінімальне $D_n^{пр}$ _{мін}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Розрізнення об'єктів при фіксованій та нефіксованій лінії зору: – дуже високої точності	Від 0,15 до 0,30	А	1	Не менше ніж 70	500	150 ¹⁾	40 15 ²⁾	10	4,0	1,5
			2	Менше ніж 70	400	100 ¹⁾	40 15 ²⁾	10	3,5	1,2
– високої точності	Від 0,30 до 0,50	Б	1	Не менше ніж 70	300	100 ¹⁾	40 15 ²⁾	15	3,0	1,0
			2	Менше ніж 70	200	75 ¹⁾	60 25 ²⁾	10 15 ³⁾	2,5	0,7
– середньої точності	Більше ніж 0,50	В	1	Не менше ніж 70	150	50 ¹⁾	60	15	2,0	0,5
			2	Менше ніж 70	100	Не нормується	25 ²⁾ 60 25 ²⁾	15 ³⁾ 10 15 ³⁾	2,0	0,5
Огляд оточуючого простору при дуже короткочасному епізодичному розрізненні об'єктів: – при високій насиченості приміщень світлом	Незалежно від розміру об'єкта розрізнення	Г	–	Незалежно від тривалості зорової роботи	300	100	60	–	3,0	1,0
– при нормальній насиченості приміщень світлом		Д	–		200	75	90		2,5	0,7
– при низькій насиченості приміщень світлом		Е	–		150	50	90		2,0	0,5

Продовження табл. 14.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Загальне орієнтування в просторі інтер'єру: – при великому скупченні людей	Незалежно від розміру об'єкта розрізнення	Ж	1	Незалежно від тривалості зорової роботи	75	Не нормується	Не нормується	Не нормується	Не нормується	Не нормується
– при малому скупченні людей			2		50					
Загальне орієнтування в зонах пересування: – при великому скупченні людей	Незалежно від розміру об'єкта розрізнення	З	1	Незалежно від тривалості зорової роботи	30	Не нормується	Не нормується	Не нормується	Не нормується	Не нормується
– при малому скупченні людей			2		20					
1) Додатково регламентується у випадках спеціальних архітектурно-художніх вимог. 2) Нормоване значення показника дискомфорту у приміщеннях при спрямуванні лінії зору переважно вгору під кутом 45° і більше ніж до горизонту і в приміщеннях з підвищеними вимогами до якості освітлення (спальні кімнати в дитячих садках, яслах, санаторіях, дисплейні класи в школах, середніх спеціальних навчальних закладах тощо). 3) Нормоване значення коефіцієнта Кп пульсації для дитячих, лікувальних приміщень із підвищеними вимогами до якості освітлення. Примітка. Найменші розміри об'єкта розрізнення та відповідні їм розряди зорових робіт установлюються при розташуванні об'єктів розрізнення на відстані не більше ніж 0,5 м від працюючого при середньому контрасті об'єкта розрізнення з фоном та світловим фоном. При зменшенні (збільшенні) контрасту допускається збільшення (зменшення) освітленості на один ступінь за шкалою освітленості з 5.1.										

Зонування приміщень відбувається у відповідності до характеру діяльності людини у такому приміщенні або його частині. За допомогою комбінованого або штучного освітлення досягають зонування виробничих приміщень за рівнем освітленості на робочій поверхні, або на умовній горизонтальній поверхні на відстані 0,8 м від підлоги. У відповідності до ДБН В.2.5-28:2018, значення освітленості в зоні периферії має бути не більше $1/3$ освітленості зони безпосереднього оточення працівника (всередині будівель). Значення освітленості в зоні безпосереднього оточення в залежності від освітленості в зоні зорової роботи наведені в таблиці 14.3.

Таблиця 14.3

Значення освітленості навколишньої зони в залежності від освітленості об'єкта.

$E_{\text{сер}}$ зони зорової роботи, лк	$E_{\text{сер}}$ навколишньої зони, лк, не менше
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	150
100	100
< 50	< 50

У відповідності до ДБН В.2.5-28:2018, для відстані від об'єкта розрізнення до очей працюючого понад 0,5 м розряд виконуваних у приміщенні робіт за таблицею 4.4 слід встановлювати з урахуванням кутового розміру об'єкта розрізнення, визначеного відношенням мінімального розміру об'єкта розрізнення α до відстані від цього об'єкта до очей працюючого l :

Таблиця 14.4

Визначення розряду робіт для відстані від об'єкта розрізнення до очей працюючого понад 0,5 м.

Розряд зорової роботи	Межа відношення α/l
------------------------------	--

I	Менше $0,3 \cdot 10^{-3}$
II	Від $0,3 \cdot 10^{-3}$ до $0,6 \cdot 10^{-3}$
III	Від $0,6 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-3}$
IV	Від $1 \cdot 10^{-3}$ до $2 \cdot 10^{-3}$
V	Від $2 \cdot 10^{-3}$ до $10 \cdot 10^{-3}$
VI	Понад $10 \cdot 10^{-3}$

У відповідності до ДСТУ Б В.1.1-36:2016, виробничі приміщення за ступенем пожежною та вибухопожежною небезпекою (в залежності від характеристик речовин і матеріалів, які зберігаються, транспортуються або обробляються у відповідних приміщеннях) поділяються на категорії А, Б, В, Г, Д. Найбільш вибухо- та пожежонебезпечними є приміщення категорії А, в яких перебувають найбільш легкозаймисті суміші газів. У відповідності до зазначених категорій приміщень обирають типи електроосвітлювальних приладів, конструктивні особливості яких відповідають пожежній та вибуховій безпечності у разі їхньої несправності або раптового руйнування.

Вимоги до характеру світлорозподілу при виборі світильників враховуються наступним чином: для виробничих приміщень зазвичай беруть світильники прямого або переважно прямого світлорозподілу з типовими кривими світла К, Г або Д; для адміністративних, громадських та житлових приміщень – світильники розсіяного, переважно відображеного або відбитого світлорозподілу з типами кривими світла М, Л або Ш.

Для загального штучного освітлення доцільно використовувати розрядні та світлодіодні джерела світла, які за однакової потужності з тепловими джерелами (світлодіодні лампи) мають більшу світлову віддачу та більший термін експлуатації.

Для загального та місцевого освітлення приміщень необхідно використовувати джерела світла з колірною температурою від 2400 К до 6800 К. Інтенсивність ультрафіолетового опромінення спектрального діапазону 320-400 нм не повинна перевищувати $0,03 \text{ Вт/м}^2$ випромінювання з

довжиною хвилі менше 320 нм не допускається. Для загального штучного освітлення приміщень слід використовувати найбільш енергоекономічні джерела світла, віддаючи перевагу при рівній потужності джерелам світла з більшою світловіддачею та строком служби з виконанням вимоги не знижувати якість освітлювального устаткування для зниження енерговитрат.

Світлова віддача джерел світла для загального освітлення приміщень при мінімально допустимих індексах кольоропередавання не повинна бути менше значень, наведених в таблиці 14.5.

Таблиця 14.5

Світлова віддача джерел світла для загального освітлення приміщень при мінімально допустимих індексах кольоропередавання

Тип джерела світла	Колірна температура	Світлова віддача e , лм/Вт, не менше, при мінімально допустимих індексах кольоропередавання R_a				
		≥ 90	90 – 80	80 – 60	≥ 45	≥ 25
Люмінесцентні лампи	2700-6500	-	70	75	-	-
Компактні люмінесцентні лампи	2700-6500	-	65	-	-	-
Металогалогенні лампи	2700-6500	-	75	90	-	-
Дугові ртутні лампи	4000-6500	-	-	-	45	-
Натрієві лампи високого тиску	2100-2400	-	-	75	-	100
Світлодіодні лампи	2700-3500	75	98-75	144-98	-	-
Світлодіодні лампи	4000-5700	75	98-75	144-98	-	-
Світлодіодні лампи	5700-6500	75	98-75	144-98	-	-
Світлодіодні світильники з розсіювальними елементами та вторинною оптикою	2700-3500	75	98-75	144-98	-	-
Світлодіодні світильники з розсіювальними елементами та вторинною оптикою	4000-5700	75	98-75	144-98	-	-
Світлодіодні	5700-6500	75	98-75	144-98	-	-

світильники						
Примітка. Мінімальне значення світловіддачі є при заданих значення індексу кольоропередачі визначається за формулою: $e = 282 - 2,3 \times R_a$.						

Контрольні запитання

1. Для чого призначені нормативні документи, які використовуються при проектуванні електроосвітлення?
2. Які вам відомі нормативні документи, якими керуються під час проектування та експлуатації систем штучного електричного освітлення?
3. Що означає термін «Аварійне освітлення для зон, де здійснюються операції з високим рівнем ризику»?
4. Які тлумачення за ДБН В.2.5-28:2018 має термін «гострота зору»?
5. Чим відрізняється коефіцієнт корисної дії світильника від к. к. д. ламп, що входять до його складу?
6. Яка різниця між освітлювальним приладом та освітлювальною установкою?
7. Що таке флікер-ефект та внаслідок чого він виникає?
8. Як пов'язані розряди зорової роботи з відповідними характеристиками роботи?
9. Які вам відомі норми освітленості, які застосовуються для виконання робіт найвищої точності у виробничих приміщеннях?
10. Який найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення зафіксовано у ДБН В.2.5-28:2018 для розрізнення об'єктів високої точності у адміністративних будівлях?
11. Які значення освітленості навколишньої зони, в залежності від освітленості об'єкта, вам відомі?
12. Які рекомендації щодо вибору світильників для виробничих приміщень або адміністративних будівель вам відомі?
13. Яка мінімальна нормована світлова віддача у застосовуваних світильниках з індексом кольоропередавання >90 ?

Лекція 15

Методи розрахунку освітлення

У відповідності до нормативних документів, які регулюють освітлення промислових об'єктів, існує кілька методів, які дозволяють забезпечити дотримання цих норм при проектуванні штучного освітлення.

На практиці для розрахунку штучного освітлення використовують, в основному, три методи:

- метод світлового потоку (коефіцієнта використання): застосовують для розрахунку загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь;
- точковий метод: призначений для розрахунку локалізованого та комбінованого освітлення, а також для освітлення похилих площин;
- метод питомої потужності: є найбільш простим і в той же час найменш точним, тому його використовують для приблизних, орієнтовних розрахунків.

Основним методом розрахунку загального рівномірного штучного освітлення є метод світлового потоку (коефіцієнта використання). Вихідними даними для розрахунку є габарити приміщення (цеху): $A \times B \times H$ (відповідно: A – довжина, B – ширина, H – висота). Крім того, при рішенні задачі розрахунку штучного освітлення повинні враховуватися додаткові умови: встановлене обладнання, виділення в приміщенні пилу, водяної пари, пожежна та вибухова небезпека, наявність хімічно активних середовищ тощо. При відсутності вказівок щодо умов виробництва їх слід прийняти самостійно.

Метод світлового потоку дозволяє визначити оптимальну кількість ламп та потужність освітлювальної установки при рівномірному розміщенні світильників загального освітлення. Основним розрахунковим рівнянням методу світлового потоку є:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot k_3 \cdot z}{N \cdot n \cdot \eta}, \quad (15.1)$$

де $\Phi_{\text{л}}$ – розрахункове значення світлового потоку однієї лампи в кожному світильнику, лм; $E_{\text{н}}$ – нормоване значення освітленості, лк; S – площа освітлюваної поверхні, м²; k_z – коефіцієнт запасу; z – коефіцієнт мінімальної освітленості; N – загальна кількість світильників; n – кількість ламп у одному світильнику; η – коефіцієнт використання світлового потоку.

У якості джерел штучного освітлення в такому розрахунку використовують лампи розжарювання та газорозрядні лампи.

Тип ламп вибирається залежно від висоти приміщення попередньо. Люмінесцентні лампи (ЛЛ) слід застосовувати при установці світильників на висоті менше 4 м. При цьому лампи ЛД і ЛДЦ використовуються при підвищених вимогах у передачі кольору. Для більшості виробничих приміщень такі вимоги відсутні. Тому слід використовувати лампи ЛБ, що володіють значно більшою світловою віддачею. Для приміщень з наявністю обертових частин обладнання (до них відносяться всі металообробні виробництва), щоб уникнути стробоскопічного ефекту, слід застосовувати виключно лампи ЛБ. При висоті установки світильників 4 ÷ 6 м можуть застосовувати ЛЛ і дугові ртутні люмінесцентні лампи ДРЛ (допускається використання ламп ДРИ). При висоті більше 6 м перевага повинна віддаватися газорозрядним лампам високого тиску (ГЛВД) – ДРЛ і ДРИ (при менших висотах підвісу – менш яскраві лампи ДРЛ, при великих висотах – лампи ДРИ з більшою світловою віддачею).

Марка світильника (в тому числі захисний кут) вибирається в залежності від умов середовища у виробничих приміщеннях і зонах. У цехах металообробки умови середовища в більшості випадків можна прийняти нормальними. Однак при наявності великої кількості шліфувальних верстатів через великі швидкості шліфування і використання емульсії приміщення цеху може виявитися сирим, при великому обсязі чорнової обробки або при обробці чавуну – курним, а при великій кількості зубообробних або протяжних верстатів, коли використовується мастильно-охолоджувальні

розчини на масляній основі – пожежонебезпечним. Гальванічні цехи відносяться до сирих, ливарні цехи – до курних і жарких. У деяких випадках слід застосовувати закриті світильники (захисний кут умовно дорівнює 90°). Одночасно з маркою світильника приймається кількість ламп в ньому (деякі марки світильників мають декілька ламп).

На підставі рекомендацій до організації освітлення виробничого приміщення заданого типу приймається схема розташування світильників і робоча висота їх підвісу H_p наступним чином: світильники з люмінесцентними лампами, зазвичай, розташовують рядами – безперервними або переривчастими, частіше – вздовж довгої сторони приміщення; точкові джерела (з лампами ДРЛ і ДРИ) – по кутах квадрата (прямокутника), рідше – в шаховому порядку. Для світильників з люмінесцентними лампами схема розміщення може бути пов'язана з наявністю захисних кутів – тільки в поперечному перерізі або в поперечному і поздовжньому перетинах.

Робоча висота підвісу H_p – висота підвісу світильників над робочою поверхнею (вона в будь-якому випадку менше висоти приміщення). Як для адміністративних приміщень, так і для більшості цехів робочою поверхнею є горизонтальна поверхня на висоті 0,8 м від підлоги ($\Gamma-0,8$). Для різних типів приміщень використовують висоту від підлоги з таблиць додатку Д ДБН В.2.5-28:2018. Тому, в разі монтажу світильників безпосередньо на стелі приміщення, враховуючи габарити самого світильника, можна записати:

$$H_p = H - 1 \text{ (м)}. \quad (15.2)$$

Світильники з лампами ДРЛ і ДРИ, можна додатково опускати (наприклад, на тросових розтяжках), наближаючи їх до робочих місць і збільшуючи таким чином ефективність освітлювальної установки. З точки зору зручності обслуговування і безпеки висоту підвісу небажано збільшувати понад 4 ÷ 5 м. Однак при виборі H_p слід враховувати і технологічні аспекти – наявність в цеху мостових кранів, кран-балок та ін.

Норма освітленості E_n для формули (15.1) для приміщень різних типів визначається з таблиць 5.1, 5.2 та таблиць додатків Г, Д ДБН В.2.5-28:2018.

Коефіцієнт запасу k_z для формули (15.1) для світильників різних типів визначається з таблиці 8.29 (для зовнішнього освітлення) та за методикою додатку В ДБН В.2.5-28:2018. За даним стандартом коефіцієнт запасу розраховується, як величина, обернена до добутку 4 коефіцієнтів:

- коефіцієнт зниження світлового потоку лампи (LLMF);
- коефіцієнт живучості ламп (LSF – частина від повної кількості встановлених ламп, які продовжують працювати в даний момент за певних умов);
- коефіцієнт експлуатації світильника (LMF);
- коефіцієнт експлуатації поверхонь приміщення (RSMF).

Коефіцієнт z для формули (15.1) приймається рівним 1,1 для люмінесцентних ламп і 1,15 для точкових джерел світла (лампи ДРЛ, ДРИ).

Коефіцієнт використання світлового потоку визначають в залежності від значень індексу приміщення та коефіцієнтів відбиття стелі, стін та підлоги. Індекс приміщення визначають за формулою:

$$I = \frac{A \cdot B}{(A+B) \cdot H_p}. \quad (15.3)$$

Орієнтовні величини коефіцієнтів відбиття різних типів поверхонь приміщень надані в табл. 8.48 ДБН В.2.5-28:2018. Коефіцієнт використання світлового потоку визначається з а спеціалізованими світлотехнічними таблицями, які встановлюють залежність цього коефіцієнта від значення індексу приміщення, коефіцієнтів відбиття стін, стелі та підлоги, кривих сили світла обраного типу світильника та інших параметрів.

Орієнтовні залежності коефіцієнта використання світлового потоку, у відсотках, для деяких типів світильників, які залежать від коефіцієнтів ρ_{cm} , ρ_c , ρ_n відбиття світла від стін, стелі та підлоги, відповідно, у відсотках, від індексу приміщення i та від відношення відстані між світильниками (між

рядами світильників) до висоти їхнього підвісу над робочою поверхнею (L/h) наведені в табл. 15.1. У формулу (15.1) коефіцієнт η входить у частці від одиниці, а не у відсотках.

Таблиця 15.1

Залежності значення коефіцієнту використання світлового потоку від характеристик світильників та характеристик приміщень

ТИП СВІТИ- ЛЬНИКА	L/h	ρ _{ст} , %	ρ _с , %	ρ _п , %	КОЕФІЦІЄНТ ВИКОРИСТАННЯ СВІТЛОВОГО ПОТОКУ η, % ПРИ ІНДЕКСІ ПРИМІЩЕННЯ і																
					0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0
					Світильники з лампами розжарення та компактними люмінесцентними лампами																
НСП	0,8	70	50	30	22	32	39	44	47	49	50	52	55	58	60	62	64	66	68	70	73
		50	30	10	20	26	34	38	41	43	45	47	50	53	55	57	59	62	64	66	69
		30	10	10	17	23	30	34	37	39	41	43	46	48	51	53	55	58	61	62	64
НПБ	1,4	70	50	30	23	28	31	38	39	42	43	46	49	52	54	56	58	60	62	63	65
		50	30	10	20	25	29	34	36	38	39	41	44	46	48	50	51	53	56	57	58
		30	10	10	17	20	25	30	33	34	35	37	39	41	44	45	47	50	52	53	56
НПО	1,8	70	50	30	10	15	19	21	24	26	27	28	31	33	35	37	39	43	45	47	50
		50	30	10	7	10	14	16	18	20	21	23	25	27	29	30	32	35	37	39	42
		30	10	10	5	7	10	12	15	17	18	19	21	22	23	25	27	29	31	32	35
Світильники з люмінесцентними лампами																					
ЛПП	1,4	70	50	30	30	34	38	42	45	47	50	53	57	60	62	64	65	67	69	70	72
		50	30	10	25	29	30	36	39	42	44	48	52	54	57	59	60	63	65	66	69
		30	10	10	20	25	29	33	35	38	40	43	47	51	54	56	57	60	62	64	66
ПВЛ	1,5	70	50	30	22	28	32	35	38	41	43	46	50	53	55	57	59	61	63	65	67
		50	30	10	16	21	24	27	30	32	34	37	40	43	45	47	48	50	52	54	56
		30	10	10	14	18	21	24	27	29	31	34	37	40	42	44	45	48	50	51	53
ЛВП	1,3	70	50	30	25	31	35	38	41	43	45	47	50	52	54	56	58	59	60	61	63
		50	30	10	23	29	33	36	38	40	42	44	46	49	50	52	53	54	56	56	58
		30	10	10	20	26	30	32	35	37	39	41	44	47	48	50	51	52	54	55	57
ЛСП	1,3	70	50	30	25	29	34	36	40	43	45	47	51	54	56	58	60	63	64	66	68
		50	30	10	18	22	26	28	31	34	36	38	42	45	47	49	51	53	54	56	59
		30	10	10	13	17	20	23	25	28	30	32	35	38	40	42	44	46	48	49	52
ЛПО	1,4	70	50	30	25	31	35	38	41	43	45	47	50	52	54	56	58	59	60	61	63
		50	30	10	23	29	33	36	38	40	42	44	46	49	50	52	53	54	56	56	58
		30	10	10	22	26	30	32	35	37	39	41	44	47	48	50	51	52	54	55	57

Для розрахунку кількості і розташування, наприклад, люмінесцентних світильників розрахунок виконують в певній послідовності. Спочатку

визначають кількість світильників в одному ряду (при їх рівномірному розташуванні паралельними рядами в прямокутному в плані приміщенні), в залежності від того, паралельно довгій чи короткій стороні приміщення зорієнтовані ряди світильників, за формулами:

$$N_{\text{св.А}} = \frac{A}{l_m} - (2 \dots 4); N_{\text{св.В}} = \frac{B}{l_m} - (2 \dots 4), \quad (15.4)$$

де $N_{\text{св.А}}$, $N_{\text{св.В}}$ – кількість світильників в рядах, паралельних довгій чи короткій стінам прямокутного в плані приміщення; l_m – монтажна довжина одного світильника, м; $(2 \dots 4)$ – кількість світильників, на яку треба зменшити їх загальну кількість в ряду, щоб зменшити освітлення стін (чим більше висота робочого підвісу світильників H_p , тим більша кількість світильників віднімається); одержане значення округлюється до найближчого цілого.

З огляду на необхідність наявності невеликих монтажних зазорів між світильниками навіть при безперервному розташуванні в ряді, можна прийняти наступні значення монтажної довжини світильників l_m :

- з лампами потужністю 18 і 20 Вт – 0,7 м;
- з лампами потужністю 30 Вт – 1,0 м;
- з лампами потужністю 36 і 40 Вт – 1,3 м;
- з лампами потужністю 58, 65 і 80 Вт – 1,6 м.

При визначенні кількості рядів виходять з того, що відстань між сусідніми рядами не може перевищувати величини $L_{\text{max}} = 1,5 \times H_p$ (інакше не забезпечується достатня рівномірність освітлення робочої поверхні). У той же час з економічних міркувань небажано надмірно зменшувати відстань між рядами L_p . Тому в деяких підручниках вказують оптимальний діапазон величини L_p в межах $L_p = (1,4 \div 1,5) \times H_p$.

Інша обов'язкова умова при визначенні кількості рядів – дотримання співвідношення відстані від крайніх рядів до стін L_1 і відстані між сусідніми рядами L_p : $L_1 = (0,3 \div 0,5) \times L_p$.

Ця умова має бути забезпечена в остаточному варіанті розташування світильників. В іншому випадку або, при $L_1 > 0,5 \times L_p$, буде недостатньо освітлюватися робоча поверхня поблизу стіни, або, при $L_1 < 0,3 \times L_p$, – замість робочої поверхні буде надмірно освітлюватися стіна.

Визначити мінімальне число рядів $N_{p.min}$ можна наступним чином (треба пам'ятати, що кількість проміжків між рядами на один менше, ніж кількість рядів). Якщо прийняти, що $L_1 = 0,5 \times L_p$, то сумарна довжина двох відстаней від крайніх рядів до стін буде дорівнює одній відстані між сусідніми рядами. Тоді, розділивши ширину (або довжину – в залежності від прийнятої орієнтації рядів) приміщення на максимальну відстань між рядами $L_{p.max} = 1,5 \times H_p$, можна визначити мінімальну кількість рядів за формулами:

$$N_{p.minA} = \frac{A}{1,5 \cdot H_p}; N_{p.minB} = \frac{B}{1,5 \cdot H_p}. \quad (15.5)$$

Отримане за однією з формул (15.5) число слід округлити до цілого значення N_p , причому тільки в більшу сторону – інакше відстань між рядами виявиться більше $L_{p.max}$, що неприпустимо.

Відстані L_p і L_1 , що змінилися (зменшилися) в результаті округлення $N_{p.min}$ до N_p слід уточнити (спочатку за умови $L_1 = 0,5 \times L_p$):

$$L_{p.A} = 2 \cdot L_1 = \frac{A}{N_p}; L_{p.B} = 2 \cdot L_1 = \frac{B}{N_p}. \quad (15.6)$$

Після цього L_p і L_1 коригуються до більш зручних, округлених величин з перевіркою співвідношення $L_1 = (0,3 \div 0,5) \times L_p$.

Після цього, домножуючи отримане число рядів N_p на кількість світильників в ряду $N_{св}$, отримуємо загальну кількість світильників за виразом:

$$N = N_p \cdot N_{св}. \quad (15.7)$$

Для точкових джерел світла використовують їх розміщення по вершинах квадрата або прямокутника (в проекції на стелю приміщення), або в шаховому порядку. У нормативній документації і в цьому випадку користуються терміном «ряд», розуміючи під рядом сукупність послідовно

розташованих уздовж довгої сторони приміщення світильників з відстанню L_A між ними. Відстань між рядами в цьому випадку може бути позначено як L_B . При розміщенні по кутах квадрата ($L_A = L_B$) або прямокутника ($L_A \neq L_B$) світильники в сусідніх рядах розташовані один навпроти одного (на відстані L_B). При шаховому розташуванні є зсув світильників в сусідніх рядах на половину відстані L_A . При шаховому розташуванні зменшується величина коефіцієнта пульсації освітленості (при трифазному підключенні світильників).

У будь-якому випадку при комбінованій системі освітлення умовами забезпечення рівномірності є:

$$L_A \leq L_{max} = 1,4 \cdot H_p; L_B \leq L_{max} = 1,4 \cdot H_p. \quad (15.8)$$

У випадках, що допускають застосування тільки загального освітлення, необхідно додатково зменшувати L_A і L_B для досягнення нормативної величини коефіцієнта пульсації освітленості K_n . При цьому обов'язково підключення світильників на різні фази трифазної мережі, а величина L_{max} при $L_A = L_B$ не повинна перевищувати:

$$\begin{cases} L_{max} \leq 0,9 \cdot H_p \text{ при } K_n \leq 20\% \\ L_{max} \leq 0,75 \cdot H_p \text{ при } K_n \leq 15\% \\ L_{max} \leq 0,6 \cdot H_p \text{ при } K_n \leq 10\% \end{cases} \quad (15.9)$$

Відстані від крайніх рядів (світильників) до стін і в цьому випадку повинні знаходитися в межах:

$$\begin{cases} L_{1A} = (0,3 \dots 0,5) \cdot L_A \\ L_{1B} = (0,3 \dots 0,5) \cdot L_B \end{cases} \quad (15.10)$$

Розрахунок кількості точкових світильників уздовж довгої сторони приміщення (в ряду) N_A і уздовж короткої сторони (рядів) N_B проводиться подібно розрахунку кількості рядів світильників з люмінесцентними лампами. Спочатку за формулами, аналогічним (15.4), розраховуються мінімальні кількості N_{Amin} і N_{Bmin} :

$$N_{Amin} = \frac{A}{L_{max}}; N_{Bmin} = \frac{B}{L_{max}}. \quad (15.11)$$

Отримані числа округлюються до цілого (тільки у більший бік), після чого визначається загальна кількість світильників за формулою:

$$N = N_A \cdot N_B. \quad (15.12)$$

Після цього виконується уточнення відстаней, пов'язаних з округленням:

$$L_A = 2 \cdot L_{1A} = \frac{A}{N_A}; \quad L_B = 2 \cdot L_{1B} = \frac{B}{N_B}. \quad (15.13)$$

Після цього всі відстані коригуються до більш зручних (округлених) величин з перевіркою співвідношення $L_1 = (0,3 \div 0,5) \times L_p$.

Після попереднього визначення кількості світильників N розраховується світловий потік однієї лампи (як для люмінесцентних, так і для дугових ламп). За даними виробників підбирають найближчу стандартну лампу. Перевіряється відхилення світлового потоку обраної лампи F_{ct} від розрахункового $F_{розр}$:

$$\Delta F = \frac{F_{ct} - F_{розр}}{F_{розр}} \cdot 100\%. \quad (15.14)$$

Якщо величина відхилення ΔF знаходиться в межах від -10% до $+20\%$, то результат розрахунку можна вважати задовільним. Якщо світловий потік обраної лампи недостатній ($\Delta F < -10\%$), збільшують число світильників (для люмінесцентних ламп – кількість рядів, для точкових світильників – або число рядів, або число світильників в ряду, або і те й інше, забезпечивши мінімальні відмінності відстаней L_A і L_B) до отримання необхідного результату.

Якщо світловий потік обраної лампи надмірно великий ($\Delta F > +20\%$), поступають наступним чином:

– для світильників з люмінесцентними лампами змінюють число світильників, зробивши їх розташування в кожному ряду переривчастим (збільшивши монтажні зазори) або беруть світильники з лампами меншої потужності (в цьому випадку розташування світильників в ряду також може стати переривчастим);

– при використанні точкових світильників зменшують кількість світильників, збільшувати відстані між ними неможна. Слід повторити заключну частину розрахунку кількості точкових світильників для ламп меншої потужності, збільшуючи кількість світильників і зменшуючи відстань між ними – до отримання необхідного результату.

У разі проведення коригування кількості світильників (рядів) слід заново перераховувати відстані між ними.

Завершується розрахунок визначенням загальної потужності освітлювальної установки:

$$P = P_{\text{л}} \cdot n \cdot N, \quad (15.15)$$

де $P_{\text{л}}$ – потужність, що споживається однією лампою, Вт.

У відповідності до Додатку Л ДБН В.2.5-28:2018 при розрахунках параметрів освітлення вираховується коефіцієнт пульсації освітленості за формулою:

$$K_{\text{п}} = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{2 \cdot E_{\text{сеп}}} \cdot 100, \quad (15.16)$$

де E_{max} , E_{min} , $E_{\text{сеп}}$ – відповідно, максимальне, мінімальне та середнє значення освітленості за період коливань, лк.

Коефіцієнт пульсації при освітленні приміщень газорозрядними лампами, що живляться змінним струмом частоти 50 Гц, не повинен перевищувати 10% для I і II розрядів робіт, 15% – для III розряду, 20% – для IV, V і VII розрядів. Допускається перевищення коефіцієнта пульсації до 30% в приміщеннях з VI і VIII розрядів робіт за відсутності в них умов для виникнення стробоскопічного ефекту.

Для зменшення коефіцієнта пульсації на практиці використовують:

- увімкнення в різні фази мережі змінного струму двох або трьох світильників, встановлених в одній світловій точці;
- застосування дволампових світильників з ємнісним і індуктивним баластом (для люмінесцентних ламп);

- збільшення частоти джерела живлення до 30 кГц.

Точковий метод дає можливість визначити освітлення в будь-якій точці робочої поверхні, але не враховує відбиваючу здатність від поверхонь приміщення, тому його використовують за умови, що відбита складова освітленості (від стін і стелі) дуже невелика.

Розрізняють методику розрахунку для точкових джерел та для люмінесцентних ламп. Для точкових джерел світловий потік окремої лампи визначається за формулою:

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E_{min} \cdot K_3}{\mu \cdot \sum_{i=1}^n e_i}, \quad (15.17)$$

де E_{min} – мінімальна освітленість, лк; K_3 – коефіцієнт запасу; $\sum_{i=1}^n e_i$ – сума умовних освітленостей, розрахованих при умовному потоці лампи в кожному світильнику (1000 лм) для контрольної точки; n – кількість врахованих світильників; μ – коефіцієнт додаткової освітленості, що враховує дію віддалених світильників, не врахованих у складовій $\sum_{i=1}^n e_i$.

Умовну освітленість рекомендується визначати за таблицями освітленості або за кривими просторових ізолюкс (ліній однакової освітленості – ці криві будуються для умовної лампи зі світловим потоком 1000 лм – такі криві будуються для точкових джерел) залежно від відстані від контрольної точки до проекції кожної з ламп d і висоти підвісу світильника h . За графіками просторових ізолюкс знаходять точку із заданими значеннями d і h та визначають її умовну освітленість інтерполюванням між числами, вказаними для найближчих кривих.

Метод питомої потужності – найпростіший метод розрахунку загального рівномірного освітлення. Він використовується для оцінювальних розрахунків. Питома потужність характеризує собою потужність, що приходить на одиницю площі поверхні, що освітлюється ($\text{Вт}/\text{м}^2$), і визначається за формулою:

$$W_{\text{пит}} = \frac{P \cdot N}{S}, \quad (15.18)$$

де N – кількість світильників; P – потужність ламп в кожному світильнику, Вт; S – площа приміщення, м².

Розрахункове значення питомої потужності визначається за формулою:

$$W_{\text{розр}} = W_{\text{пит}} \cdot \frac{E_{\text{min}}}{100} \cdot \frac{K_z}{K_{z.\text{табл}}} \cdot K_p, \quad (15.19)$$

де $W_{\text{пит}}$ – питома потужність при освітленості 100 лк і табличних значеннях коефіцієнту запасу $K_{z.\text{табл}}$ і коефіцієнтів відбиття, Вт/м²; E_{min} – мінімальна освітленість в приміщенні, лк; K_z – фактичний коефіцієнт запасу; K_p – коефіцієнт поправки при реальних коефіцієнтах відбиття по відношенню до табличних.

Для точкових світильників потужність однієї лампи (Вт) визначається виразом:

$$P = \frac{W_{\text{розр}} \cdot S}{N}. \quad (15.20)$$

Обирають з переліку лампу з найближчою до розрахункової потужністю. Якщо її потужність буде відрізнятися від розрахункової на 10%, то перераховують кількість ламп N і повторюють розрахунок.

Для люмінесцентних ламп, якщо задатися потужністю окремого світильника P_n , можна знайти кількість світильників за формулою:

$$N = \frac{W_{\text{розр}} \cdot S}{P_n}. \quad (15.21)$$

Для проведення електричних розрахунків для газорозрядних ламп необхідно враховувати їх реактивну потужність. Загальну потужність освітлювального навантаження $S_{\text{осв}}$ (кВА) обчислюють за формулою:

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{P_{\text{осв}}^2 + Q_{\text{осв}}^2}, \quad (15.22)$$

де $P_{\text{осв}}$ – розрахункова активна потужність освітлення, кВт; $Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \times \text{tg}\varphi$ – розрахункова реактивна потужність освітлення, квар; $\text{tg}\varphi$ – відповідає $\cos\varphi$ світильника.

Так само, як існують програмні пакети для інженерних розрахунків механічних, електричних, інших фізичних процесів на етапі проектування

відповідного обладнання, існують програмні пакети світлотехнічного розрахунку і моделювання. Їхнє призначення – моделювання і визначення рівнів освітлення в приміщеннях та на відкритих ділянках різної конфігурації за використання типових світильників та матеріалів світловідбиваючих поверхонь. Такі програмні пакети можуть враховувати як рівні природного освітлення, з урахуванням конфігурації вікон у приміщеннях, так і штучне освітлення за наданими виробниками типовими характеристиками світильників.

Найбільш відомим програмним пакетом світлотехнічного моделювання є DIALux – програмний пакет, розроблений кількома провідними європейськими виробниками світлотехнічної продукції (в числі яких OSRAM, Philips, THORN, Trilux і ін.). Програмний пакет постійно оновлюється даними продукції всесвітньо відомих виробників і є найбільш затребуваним, оскільки має всі необхідні інструменти для розробки проекту системи освітлення практично будь-якого об'єкту «з нуля». Якість і реалістичність зображень модельованих об'єктів у DIALux забезпечується методом трасування світлових променів, однак, цей програмний пакет вимагає значної обчислювальної потужності апаратного забезпечення.

Ряд програмних пакетів торгівельної марки Relux[®], такі як ReluxDesktop, забезпечують подібні до DIALux можливості моделювання освітлювальних середовищ різних об'єктів. При цьому моделювання виконується у відповідності до діючих нормативних документів Європи та США. Основне призначення програмних продуктів – забезпечення швидкого проектування освітлювальних мереж на основі типових світильників у відповідності до діючих нормативних документів.

Також серед програмних продуктів, призначених для світлотехнічного розрахунку варто зазначити утіліту Calculux від виробника Philips. Програмні пакети Lightscape, Europic та інші мають менші функціональні можливості,

однак також можуть бути корисними при виконанні світлотехнічного моделювання.

Контрольні запитання

1. Які вам відомі методи розрахунку штучного освітлення?
2. Що саме визначають розрахунками за методом світлового потоку?
3. Які типи ламп обирають для приміщень, в яких необхідно позбутись стробоскопічного ефекту?
4. Як розташовують на схемах люмінесцентні та точкові світильники при розрахунку за методом світлового потоку?
5. Що таке робоча висота підвісу світильників і як її визначають з використанням діючих нормативних документів?
6. Як визначають норми освітленості приміщень різних типів?
7. Що таке коефіцієнт запасу світильників, як його розраховують і за якими складовими?
8. Що таке індекс приміщення і в яких розрахунках його застосовують?
9. Яким чином обчислюють коефіцієнт використання світлового потоку?
10. Яким чином виконують розрахунок кількості точкових світильників та їх розташування?
11. Як визначають коефіцієнт пульсації за діючими нормативними документами?
12. Які відмінності розрахунку освітлення точковим методом від методу світлового потоку вам відомі?
13. Які обмеження використання методу питомої потужності для розрахунку освітлення вам відомі?
14. Які програмні пакети світлотехнічного моделювання вам відомі і для чого вони призначені?

Лекція 16

Проектування внутрішніх освітлювальних мереж

Під час проектування освітлювальних мереж важливим є не тільки світлотехнічний розрахунок за діючими нормативними документами, а й електротехнічний розрахунок, який дозволяє зручно та безпечно користуватись та обслуговувати спроектовану освітлювальну мережу.

Вимоги до електричної частини освітлювальних установок прописані в Нормативній документації, а саме: Державні будівельні норми України (ДБН В.2.5-23:2010 – Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення; ДБН В.2.5-27-2006 – Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд та вимог відповідних будівельних норм і правил), ПУЕ, НПАОП тощо.

Розділ 6 ПУЕ стосується електричного освітлення, виконання та захисту освітлювальних мереж, де в пункті 6.1.33 зазначено, що освітлювальні мережі треба виконувати відповідно до вимог глав 1.7, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 та 6.2 – 6.4 цих Правил, НПАОП 40.1-1.32-01 – Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок, ДБН В.2.5-27-2006 – Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд» та вимог відповідних будівельних норм і правил.

Відповідно до «Правил улаштування електроустановок» для живлення світильників загального освітлення повинна застосовуватися напруга не вище 380/220 В змінного струму при заземленій нейтралі і не вище 220 В змінного струму при ізольованій нейтралі й у мережах постійного струму.

Для живлення окремих ламп варто застосовувати напругу не вище 220 В, що допускається для всіх стаціонарних світильників незалежно від висоти їхньої установки в приміщеннях без підвищеної небезпеки. У приміщеннях з підвищеною небезпекою й особливо небезпечних при установці світильників загального освітлення з лампами розжарювання на висоті менше 2,5 м при

відсутності спеціальної конструкції світильника, що виключає доступ до лампи без застосування інструмента, використовується напруга не вище 42 В.

Світильники з люмінесцентними лампами на напругу 127–220 В допускається встановлювати на висоті менше 2,5 м від підлоги за умови неможливості випадкових доторкань до їх струмоведучих частин.

Для живлення ксенонових, дугових, металогалогенних і натрієвих ламп, розрахованих на напругу 380 В, а також пускорегулюючих апаратів для газорозрядних ламп, що мають спеціальні схеми (наприклад, трифазні, з послідовним з'єднанням ламп), застосовується напруга не вище 380 В, у тому числі фазна напруга системи 660/380 В із заземленою нейтраллю при дотриманні наступних умов:

- введення в світильник ПРА має виконуватися проводом або кабелем з мідними жилами і з ізоляцією, розрахованою на напругу не менше ніж 660 В;
- заборонено введення у світильник двох чи трьох проводів різних фаз системи 660/380 В;
- нанесення на світильник відмітного (розпізнавального) знаку із зазначенням застосовуваної напруги «380 В» при установці світильника в приміщеннях із підвищеною небезпекою й особливо небезпечних;
- забезпечення одночасного відключення усіх фазних проводів, що вводяться у світильник; це стосується і багатолампових світильників системи 380/220 В, за винятком світильників, які встановлюються у приміщеннях без підвищеної небезпеки.

Для світильників місцевого стаціонарного освітлення з лампами розжарювання застосовується напруга не вище 220 В у приміщеннях без підвищеної небезпеки і не вище 42 В для приміщень з підвищеною небезпекою й особливо небезпечних. Допускається застосування напруги до 220 В для світильників спеціальної конструкції: таких, що являються складовою частиною аварійного освітлення, під'єданого до незалежного

джерела живлення; таких, що встановлюються у приміщеннях з підвищеною небезпекою (але не особливо небезпечних).

Для місцевого освітлення допускається застосовувати світильники з люмінесцентними лампами на напругу 127 – 220 В за умови неможливості випадкових доторкань до їх струмоведучих частин. Застосування люмінесцентних ламп місцевого освітлення в сирих, особливо сирих, жарких і приміщеннях з хімічно активним середовищем допускається тільки в арматурі спеціальної конструкції.

Електричні освітлювальні мережі повинні забезпечувати:

- надійність дії освітлювальної установки;
- постійність напруги у джерел світла;
- індустриальність виконання монтажу і зручність експлуатації;
- пожежну безпеку;
- захист від ураження електричним струмом;
- економічність вибраного варіанта.

Питання розрахунку параметрів електричної частини освітлювальної установки розглядаються, як правило, в наступній послідовності:

- вибір напруги, схем живлення і управління освітленням;
- вибір місць розташування і схем щитків; вибір траси мережі, роду проводки і способів її прокладання;
- розрахунок мережі; визначення заходів захисту від ураження електричним струмом і розрахунок цього захисту;
- вибір конструктивних рішень виконання мережі.

Для живлення ручних світильників переносного освітлення в приміщеннях з підвищеною небезпекою й особливо небезпечних має застосовуватися напруга не вище 42 В, при особливо несприятливих умовах – не вище 12 В.

Схеми живлення освітлювальних установок повинні забезпечувати:

- необхідний рівень надійності живлення;
- регламентовані рівні напруги і постійність напруги джерела живлення;
- простоту і зручність експлуатації;
- економічність установки.

У більшості випадків промислове освітлювальне навантаження живиться від силових цехових трансформаторів напругою 6(10)/0,38 кВ із заземленою нейтраллю вторинної обмотки.

Використання самостійних освітлювальних трансформаторів обмежується випадками, коли характер силового навантаження не дає можливість забезпечити необхідну якість напруги, коли використовується для силових навантажень напруга вище 380 В та коли система напруг 380/220 В або 220/127 В неприпустима для освітлювальної установки за умовами безпеки.

В освітлювальних мережах розрізняють живильні і групові лінії. Живильна лінія з'єднує джерело живлення з груповими щитками освітлення. Групові лінії служать для приєднання світильників до групових щитків.

Групові щитки мають як ввідний апарат захисту, так і апарати захисту на кожен групову лінію, що відходить. Згідно з ПУЕ струм захисних апаратів на групових лініях не повинен перевищувати 25 А, за винятком ліній, що живлять лампи розжарювання одиничною потужністю 500 Вт і більше і газорозрядні лампи потужністю 125 Вт і більше, у цьому випадку струм захисного апарата не повинен перевищувати 63 А.

Кількість світильників, що підключаються на одну фазу групової мережі, не повинна перевищувати:

- для ламп розжарювання, ДРЛ, ДРИ і натрієвих – до 20 шт.;
- для люмінесцентних ламп – до 50 шт.;
- для ксенонових ламп потужністю 10 кВт і вище – не більше однієї.

У конструктивному виконанні живильні лінії виконуються чотирипровідними при мережі із заземленою нейтраллю і трифазними в мережах з ізолюованою нейтраллю. Групові лінії можуть бути однофазними (один фазний і один нейтральний провідники), двофазними (два фазних провідники), двофазними з нульовим проводом (два фазних і один нейтральний провідники), трифазними (три фазних провідники) і трифазними чотирипровідними (три фазних і один нейтральний провідники). Останній вид лінії використовується найчастіше, тому що дозволяє зменшити переріз провідникового матеріалу, забезпечити рівномірне навантаження фаз, знизити коефіцієнт пульсації при живленні світильників від різних фаз.

Середня довжина трифазних чотирипровідних групових ліній для системи напругою 380/220 В складає 80 м, для системи напруг 220/127 В – 60 м, довжина двопровідних групових ліній, відповідно, 35 і 25 м.

Розрізняють радіальні, магістральні і змішані схеми живлення освітлювальних установок (рис. 16.1). Радіальні схеми використовуються при високих навантаженнях групових щитків (порядку 100–200 А) і забезпечують більш високу надійність живлення. Магістральні схеми дозволяють заощаджувати провідниковий матеріал і апаратуру на розподільних пунктах, однак мають меншу надійність живлення. Змішані схеми одержали найбільше поширення через їхню гнучкість.

Для споживачів третьої категорії по надійності живлення (а в деяких випадках – і для другої категорії) при використанні одотрансформаторних підстанцій для живлення силових споживачів освітлювальні мережі як робочого, так і аварійного освітлення живляться від цього трансформатора (рис. 16.2). Для підвищення надійності живлення аварійного освітлення варто передбачати можливість його підключення до найближче розташованого іншого трансформатора за допомогою кабельної перемички.

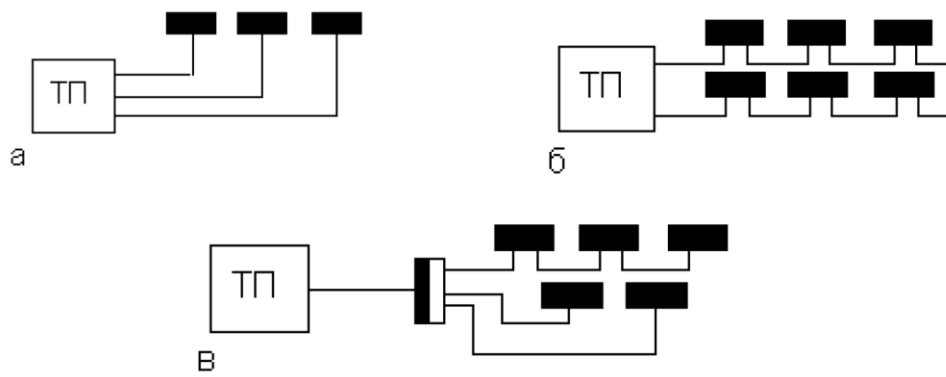


Рисунок 16.1 – Різновиди схем живлення освітлювальних установок
 а – радіальна схема; б – магістральна схема; в – змішана схема.

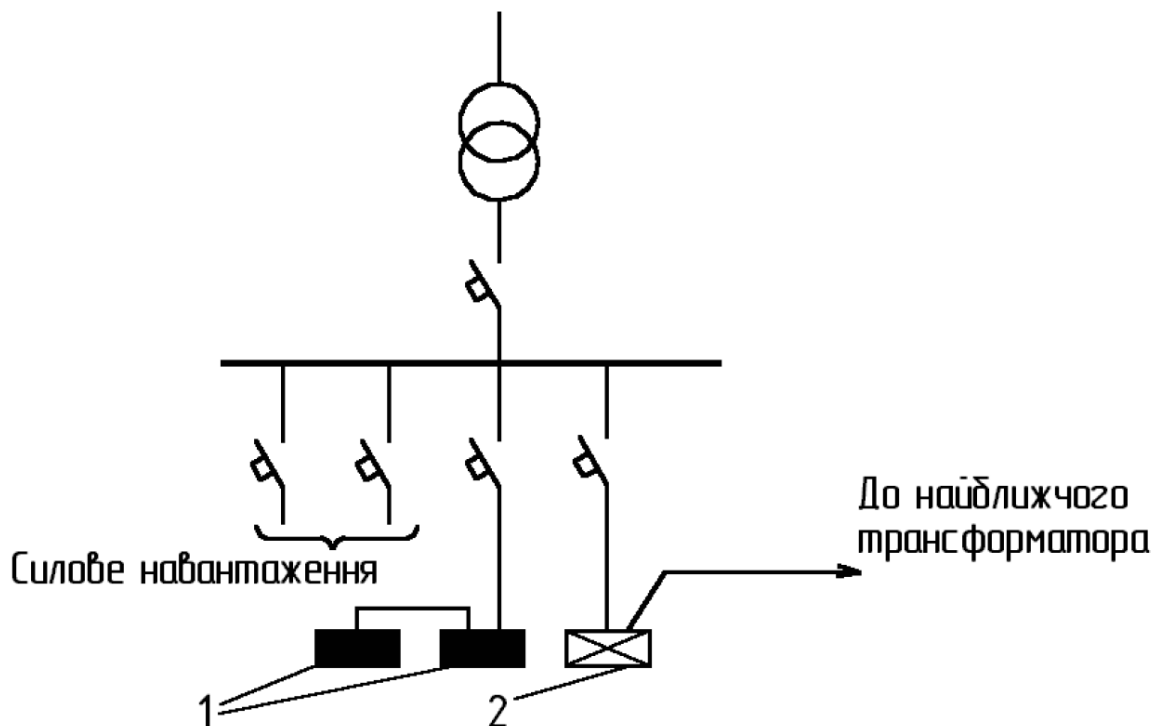


Рисунок 16.2 – Схема живлення освітлювальної установки від
 однострансформаторної підстанції: 1 – групові щитки робочого освітлення; 2
 – щиток аварійного освітлення.

При використанні живлення від двотрансформаторних підстанцій (рис. 16.3) забезпечується більш висока надійність освітлення, коли частина

освітлювальних установок живиться від одного трансформатора, а друга – від іншого. При аварійному відключенні одного з трансформаторів автоматичне включення резерву (АВР) по низьковольтній стороні забезпечить живлення освітлювальних установок від іншого трансформатора. Система аварійного освітлення живиться перехресним способом, тобто від іншого трансформатора по відношенню до трансформатора робочого освітлення.

Розрахункова потужність освітлювальної установки визначається на підставі світлотехнічного розрахунку після вибору потужності і кількості світильників, тобто відповідно до встановленої потужності світильників.

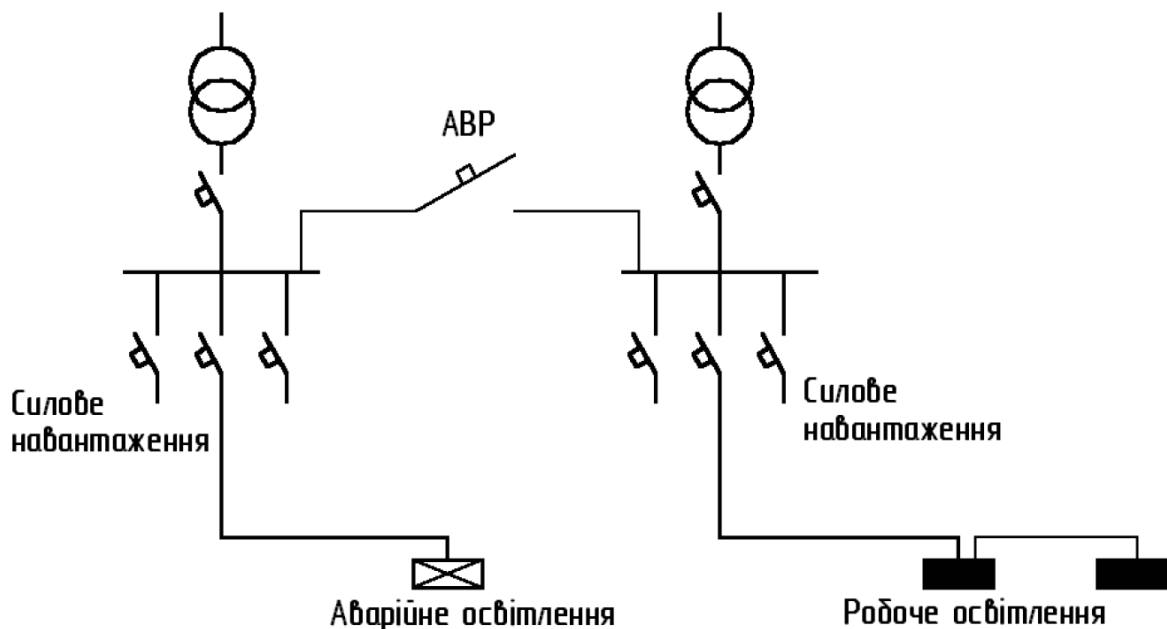


Рисунок 16.3 – Схема живлення освітлювальної установки від двотрансформаторної підстанції.

Для освітлювальних установок з лампами розжарювання розрахункова потужність ($P_{роз}$, кВт) визначається виразом:

$$P_{роз} = k_{п} \cdot \sum_{i=1}^n P_{ном_i}, \quad (16.1)$$

де $k_{п}$ – коефіцієнт попиту; $\sum_{i=1}^n P_{ном_i}$ – сумарна встановлена потужність усіх світильників, кВт; n – кількість груп світильників.

Коефіцієнт попиту для розрахунку живлячої мережі виробничих будівель приймають рівним:

1,0 – для дрібних виробничих будівель і ліній, що живлять окремі групові щитки;

0,95 – для будівель, що складаються з окремих крупних прольотів;

0,85 – для будівель, що складаються з багатьох окремих приміщень;

0,8 – для адміністративно-побутових промислових підприємств; і лабораторних будівель;

0,6 – для складських будівель, що складаються з багатьох окремих приміщень, електричних підстанцій.

Коефіцієнт попиту для групової мережі освітлення і всіх ланок мережі аварійного освітлення приймається рівним 1,0.

Для освітлювальних установок з газорозрядними лампами необхідно в розрахунках враховувати втрати в ПРА за формулою:

$$P_{\text{роз}} = k_{\text{п}} \cdot K_{\text{ПРА}} \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{ном}_i}, \quad (16.2)$$

де $K_{\text{ПРА}}$ – коефіцієнт додаткових втрат, значення коефіцієнта для різних типів ПРА відповідних типів ламп наведений в табл. 15.1.

Таблиця 15.1

Значення $K_{\text{ПРА}}$ для різних типів пускорегулювальних апаратів

Тип лампи	Тип ПРА	$K_{\text{ПРА}}$
Люмінесцентна біла (ЛБ)	Звичайний електромагнітний	1,22
	Електромагнітний з пониженими втратами	1,14
	Електронний	1,1
КЛЛ	Звичайний електромагнітний	1,27
	Електромагнітний з пониженими втратами	1,15
	Електронний	1,1
ДРЛ, ДРИ	Звичайний електромагнітний	1,05
	Електромагнітний з пониженими втратами	1,1
	Електронний	1,1
ДНаТ	Звичайний електромагнітний	1,1
	Електромагнітний з пониженими втратами	1,1
	Електронний	1,06

Провідники освітлювальної мережі повинні задовольняти вимогам у відношенні гранично допустимого нагрівання при нормальних режимах роботи. Нагрівання провідників викликається проходженням по них електричного струму. Межі нагрівання суворо нормуються ПУЕ, при цьому кожному перерізу проводу або кабелю, в залежності від його конструкції і роду прокладки, відповідає допустимий нормований струм ($I_{дон}$, А). У такий спосіб у практичних розрахунках користуються готовими таблицями довгостроково допустимих навантажень, регламентованих ПУЕ і нормативами.

Зазначені таблиці складені для визначених температурних режимів повітря і землі, що складають відповідно +25 °С та +15 °С, при відмінності фактичних температур від зазначених використовується таблиця коефіцієнтів перерахунку, наведена в ПУЕ.

Для проведення порівняння допустимого нормованого струму з розрахунковим необхідно визначити максимальний розрахунковий струм кожної ділянки освітлювальної мережі. Розрахунковий струм в залежності від системи виконання мережі визначається виразами:

- для однофазних двопровідних мереж за формулою:

$$I_{розр} = \frac{P \cdot 10^3}{U_{\phi} \cdot \cos \varphi}; \quad (16.3)$$

- для двофазних двопровідних мереж за формулою:

$$I_{розр} = \frac{P \cdot 10^3}{2 \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi}; \quad (16.4)$$

- для трифазних чотирипровідних мереж за формулою:

$$I_{розр} = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot \cos \varphi} = \frac{P \cdot 10^3}{3 \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi}, \quad (16.5)$$

де P – розрахункова потужність, кВт; U_{ϕ} , $U_{л}$ – відповідно фазна і лінійна напруга, В; $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності навантаження (для мереж з лампами розжарювання $\cos \varphi = 1$, для мереж з люмінесцентними лампами

$\cos\varphi = 0,95$, для газорозрядних ламп типу ДРЛ, ДРИ, ДНаТ з конденсаторами $\cos\varphi = 0,9$, без конденсаторів – $\cos\varphi = 0,57$).

Фактично при розрахунку освітлювальної мережі за допустимим струмом навантаження визначається розрахунковий струм, і по ньому вибирається найближчий більший переріз за довідковими таблицями.

У протяжних системах живлення світильників, у відповідності до закону Ома, на віддалених від джерела живлення ділянках приєднання споживачів буде спостерігатись спад напруги, який може вплинути на рівень світлового потоку від джерел світла. Збільшення напруги щодо номінальної пов'язано з додатковою витратою енергії світильником і зменшенням його терміну служби, останнє особливо важливо для ламп розжарювання. Для запобігання цьому необхідно виконати певні умови, згідно яких забезпечити допустимі рівні спадання напруги для будь-яких світильників, приєднаних до мережі живлення.

Відповідно до нормативних документів, що визначають якість електроенергії (ГОСТ 13109–97, ДСТУ EN 50160-2014) напруга в найбільш віддалених лампах внутрішнього освітлення промислових підприємств і громадських будівель, а також прожекторних установок зовнішнього освітлення повинна бути не нижчою 97,5% $U_{ном}$, а в найбільш віддалених лампах освітлення житлових будинків, аварійного і зовнішнього освітлення, виконаного світильниками, – не нижче 95% $U_{ном}$. У мережах 12 – 42 В допускаються втрати напруги до 10% $U_{ном}$, якщо рахувати від відводів джерел живлення. Найбільша напруга в лампах не повинна перевищувати 105% $U_{ном}$.

У післяаварійних режимах на затискачах газорозрядних ламп напруга не повинна бути нижчою 90% $U_{ном}$, при інших лампах – не нижчою 88% $U_{ном}$.

Величина допустимої втрати напруги в освітлювальній мережі від джерела живлення (трансформатора) до найбільш віддаленої лампи складає:

$$\Delta U_m = U_{xx} - \Delta U_{тр} - U_{min}, \quad (16.6)$$

де ΔU_m – допустима втрата напруги в мережі; U_{xx} – напруга холостого ходу трансформатора (на 5 % вища за номінальну); ΔU_{mp} – втрата напруги в трансформаторі; U_{min} – мінімально допустима напруга на затискачах лампи.

Розрахунок припустимої величини втрати напруги в освітлювальній мережі в більшості випадків ведеться у відсотках, однак може виконуватися й в іменованих величинах (вольтах).

Після вибору перерізів провідників необхідно зробити перевірку найменших допустимих перерізів провідників за механічною міцністю згідно з табл. 16.2.

Таблиця 16.2

Значення найменших перерізів провідників за механічною міцністю

Типи провідників	Мінімальний переріз жили, мм ²	
	мідь	алюміній
Проводи для підключення світильників:		
– загального освітлення всередині будинку	0,5	-
– загального освітлення поза будинком	1,0	-
– підвісних місцевого освітлення	0,75	-
Скручені двожильні проводи (шнури) з багатожильними жилами для прокладки на роликах	1,0	-
Введення в квартири до лічильників	4,0	2,5
Стояки в житлових будинках для живлення квартир	6,0	4,0

Усі освітлювальні мережі повинні мати захист від струмів короткого замикання (далі – КЗ), а в деяких випадках також від перевантаження. Захист від перевантаження повинні мати:

- мережі внутрішнього освітлення, виконані відкрито прокладеними проводами з горючою зовнішньою оболонкою або ізоляцією;
- освітлювальні мережі в житлових і суспільних будівлях, в торгових приміщеннях, службово-побутових приміщеннях промислових підприємств, включаючи мережі для побутових і переносних електроприймачів (праски,

чайники, плитки, кімнатні холодильники, пирососи, пральні й швейні машини і т. п.), при будь-яких видах проводок;

– мережі у вибухобезпечних і пожежобезпечних зонах при будь-яких видах проводів, кабелів і способах проводки.

Захист освітлювальних мереж здійснюється апаратами захисту. Для захисту освітлювальних мереж найбільш поширені автоматичні вимикачі. Однією з переваг автоматів перед запобіжниками є можливість використання їх не тільки як захисних, але і як відключаючих апаратів (апаратів управління).

Для захисту освітлювальних мереж слід застосовувати автомати з розчіплювачами, що мають обернено залежну від струму тимчасову характеристику (із зростанням струму час відключення зменшується). Автомати, що мають тільки електромагнітний розчіплювач миттєвої дії, для освітлювальних мереж застосовувати не рекомендується.

При захисті автоматами, що мають тільки електромагнітний розчіплювач, струм КЗ повинен бути не менше струму уставки, помноженого на коефіцієнт 1,4 для автоматів до 100 А і на 1,25 для інших автоматів. При установці автоматів з тепловими і комбінованими розчіплювачами в шафах або ящиках і виборі розчіплювачів за розрахунковими струмами ліній вказані в каталогах номінальні струми розчіплювачів рекомендується знижувати на 10% унаслідок того, що температура повітря в шафі або ящику може виявитися вище 25 °С, тобто температури, на яку калібрується тепловий розчіплювач.

Номінальний струм апаратів захисту (розчіплювачі автоматів і плавкі вставки запобіжників) для групових ліній внутрішнього освітлення повинен бути не більше 25 А, а групові лінії, що живлять РЛ потужністю 125 Вт і більше 65, або лампи розжарювання 500 Вт і більше, можуть захищатися апаратами захисту на струм до 63 А.

Апарати захисту повинні встановлюватися в наступних пунктах освітлювальної мережі:

- в місцях приєднання мережі до джерел живлення (розподільні щити ТП, розподільні пункти, магістральні шинопроводи та ін.);
- на введеннях в будівлі;
- у групових щитках на початку кожної групової лінії;
- у місцях зменшення перерізу проводів у напрямку до електроприймачів, з боку вищої напруги знижувальних трансформаторів. У цих випадках номінальні струми плавких елементів запобіжників і струми уставок автоматів повинні бути можливо ближче до номінального струму трансформаторів. При живленні однією групою не більше трьох трансформаторів захист може здійснюватися загальним захисним апаратом на початку лінії;
- з боку нижчої напруги знижувальних трансформаторів.

Контрольні запитання

1. Які нормативні документи застосовуються при проектуванні внутрішніх освітлювальних мереж?
2. Які напруги живлення і за яких умов дозволяється використовувати для живлення внутрішніх освітлювальних мереж?
3. Які особливості живлення ксенонових, дугових, металогалогенних і натрієвих ламп, розрахованих на напругу 380 В вам відомі?
4. Які вимоги до електроживлення світильників місцевого і стаціонарного освітлення вам відомі?
5. Які вимоги до електричних освітлювальних мереж вам відомі?
6. Опишіть рекомендовану послідовність розрахунку параметрів електричної частини освітлювальної установки.

7. Які вимоги до схем електроживлення освітлювальних установок вам відомі?
8. Чим відрізняються живильні і групові лінії в освітлювальних мережах?
9. Які вимоги щодо світильників, що підключаються на одну фазу групової мережі, вам відомі?
10. Поясніть переваги та недоліки застосування радіальних, магістральних та змішаних схем живлення освітлювальних установок.
11. Які способи підвищення надійності електроживлення освітлення вам відомі?
12. Як визначають коефіцієнт попиту для розрахунку живлячої мережі виробничих будівель?
13. Чим відрізняються розрахунки потужності живлення ламп розжарювання та газорозрядних ламп?
14. Яким чином забезпечується захист мереж електроживлення освітлення?

Лекція 17

Проектування зовнішніх освітлювальних мереж

Промислова світлотехніка не обмежується лише застосуванням всередині приміщень для створення сприятливих умов роботи а також надійного освітлення евакуаційних шляхів чи під час ввімкнення аварійного освітлення. Доволі часто виникає необхідність освітлення територій, які прилягають до виробничих приміщень: зони руху транспорту та підйомних механізмів, зони пересування персоналу між приміщеннями цехів, охоронні зон тощо. Для освітлення зовнішніх ділянок територій використовують проектування зовнішнього освітлення.

Вимоги до проектування систем зовнішнього освітлення містяться в ДСТУ-Н Б В.2.5-83:2016 «Настанова з проектування засобів і обладнання зовнішнього освітлення міст, селищ та сільських населених пунктів», ДБН В.2.5-28:2018, ДБН В.2.5-27-2006, НПАОП 40.1-1.32-01, ПУЕ тощо.

Основним завданням зовнішнього освітлення (ЗО) промислових підприємств є забезпечення безпеки руху механізованого транспорту і пішоходів в темний час доби. Установки стандартного зовнішнього освітлення повинні створювати необхідні умови зорової роботи водіїв механізованого транспорту і пішоходів, які забезпечують своєчасне виявлення перешкод. При цьому водій механізованого транспорту повинен мати можливість виявити перешкоду на шляху руху машин з відстані в кілька десятків метрів, а пішохід – розрізнити нерівності тротуару і мостової, побачити огорожі і розпізнати зустрічних людей з відстані в кілька метрів.

Фотометричною характеристикою, що визначає рівень видимості об'єктів, є яскравість дорожнього покриття. Для удосконалених дорожніх покриттів (асфальт, бетон і т. ін.) вона в значній мірі залежить від кутів падіння світла, стану поверхні тощо. У зв'язку з цим яскравість і освітленість покриття не пов'язані прямою залежністю, що не дозволяє здійснювати

пряме нормування. Однак у випадку найпростіших покриттів (грунт, щебінь та ін.), що мають дифузний характер відображення, може бути застосований метод нормування по освітленості.

Проїжджі частини магістралей промислових підприємств, зокрема, є продовженням вулиць населених пунктів, тому їх зовнішнє освітлення проектується виходячи з умови забезпечення середньої яскравості дорожнього покриття згідно з табл. 8.27 ДБН В.2.5-28:2018. При цьому, допустимі рівні засліпленості і відповідне розташування світильників нормується у цьому ж стандарті за таблицями 8.8 – 8.12. Нормовані показники середнього значення освітленості, рівномірності освітленості, граничного показника блискавості та індексу кольоропередавання для виробничих площадок різного призначення поза приміщеннями зазначено в таблицях 8.13 – 8.24 ДБН В.2.5-28:2018.

При проектуванні засобів і обладнання зовнішнього освітлення мають забезпечуватись:

- нормовані величини кількісних та якісних показників освітлювальних установок;
- економічність установок і раціональне використання електроенергії; надійність роботи освітлювальних установок при довгостроковій експлуатації;
- безпека обслуговуючого персоналу та населення;
- зручність обслуговування та керування освітлювальними установками;
- робота освітлювальних установок у вечірньому та нічному режимах.

Устаткування і матеріали, що використовуються в засобах і обладнанні зовнішнього освітлення в освітлювальних установках, мають відповідати:

- вимогам стандартів, зокрема, ДСТУ EN 60598-2-3 (Світильники для освітлення вулиць і доріг), технічних умов, зокрема, ГОСТ 17677 (МЕК 598-

1, МЕК 598-2-1, МЕК 598-2-2, МЕК 598-2-4, МЕК 598-2-19 – Світильники. Загальні технічні умови) та інших нормативних документів;

– номінальній напрузі мережі та умовам навколишнього середовища за ДБН В.2.3-5-2001.

Застосування в освітлювальних установках відкритих ламп без арматури та неізолюованого проводу не допускається.

Проекти зовнішнього освітлення мають забезпечити нормативне освітлення дорожнього полотна для руху транспорту, тротуарів і пішохідних зон для пересування пішоходів у вечірній та нічний час.

При проектуванні засобів і обладнання зовнішнього освітлення вулиць застосовуються освітлювальні установки (ОУ) з енергозберігаючими лампами. Пристрої і елементи ОУ захищаються гальванічним покриттям (гаряче цинкування). У проекті передбачаються пункти живлення засобів і обладнання зовнішнього освітлення (ПВ), встановлені на металевому фундаменті. Шафи керування зовнішнім освітленням мають бути оцинковані або виготовлені з нержавіючої сталі, забетоновані бетонною сумішшю. В їх опорах встановлюється розподільна коробка з автоматичним вимикачем або запобіжниками. Прокладання електромережі зовнішнього освітлення передбачається мідним кабелем, який в землі прокладається в поліхлорвінілових трубах, на переїздах – в азбоцементних трубах. Біля опор, на переїздах та на поворотах кабельних ліній передбачаються технологічні колодязі. Кабельні колодязі улаштовуються із залізобетону з кришками.

Зазначені вище нормативні документи ДСТУ-Н Б В.2.5-83:2016, ДБН В.2.5-28:2018 визначають норми і розрахунки освітленості не тільки виробничих площадок назовні, доріг та пішохідних зон, а й рекламне освітлення, архітектурне освітлення, освітлення зон мостів та тунелів.

Рішення щодо архітектурного освітлення будинків, систем реклами, яка розташована на них, рекомендується передбачати у проектах цих будинків і споруд. Освітлення будинків і споруд та система реклами, яка розташована

на них або поряд з ними, не мають впливати на освітлення вікон житлових приміщень прилеглої житлової забудови, зокрема при застосуванні апаратури, що освітлює рекламу ззовні.

При проектуванні засобів і обладнання зовнішнього освітлення у паркових зонах, локальному освітлені невеликих об'єктів у місцях, де неможливе підключення до стаціонарних джерел живлення, не прокладені електричні мережі, рекомендується передбачити встановлення установок освітлення на альтернативних джерелах живлення, у тому числі фотоелектричних (сонячні батареї).

В установках зовнішнього освітлення при середній яскравості покриття $0,4 \text{ кд/м}^2$ і вище та середньої освітленості 4 лк і вище слід переважно застосовувати світильники з газорозрядними джерелами або напівшироким світлорозподілом світлового потоку. Не допускається застосування прожекторів, а також відкритих ламп без освітлювальної арматури.

Схеми розташування світильників (ліхтарів) на магістралях промислових підприємств повинні відповідати наведеним на рис. 17.1. На закругленнях вулиць з радіусом кривих у плані по осі проїжджої частини $60 - 125 \text{ м}$ світильники, при їх односторонньому розміщенні, повинні розміщуватися по зовнішній стороні вулиці відповідно рисунку 17.2 а), освітлення перехресть в одному рівні слід виконувати відповідно до схеми рисунку 17.2 б), в).

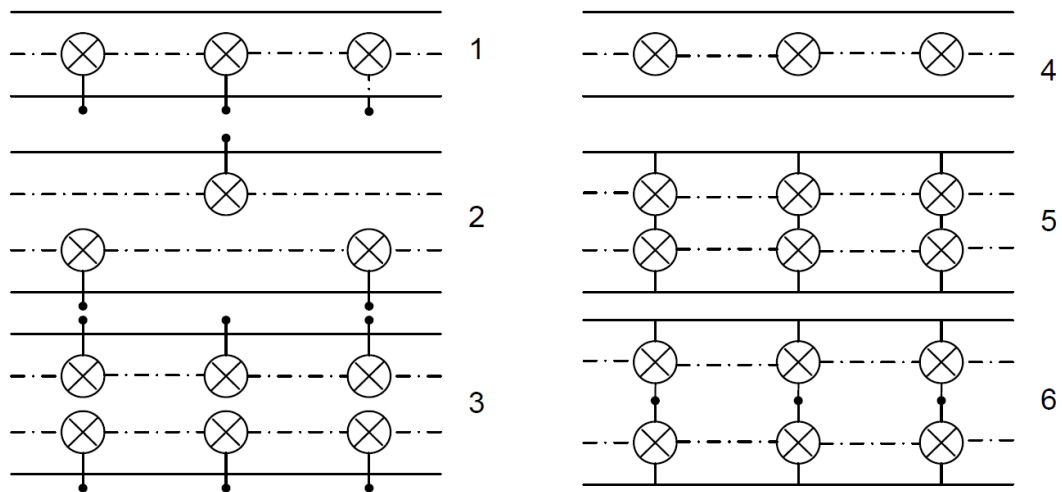


Рисунок 17.1 – Схема світильників в освітлювальній установці вулиць і доріг:

1 – одностороння; 2 – дворядна в шаховому порядку; 3 – дворядна прямокутна, 4 – осьова; 5 – дворядна прямокутна по осях руху 6 – дворядна прямокутна по осі вулиці.

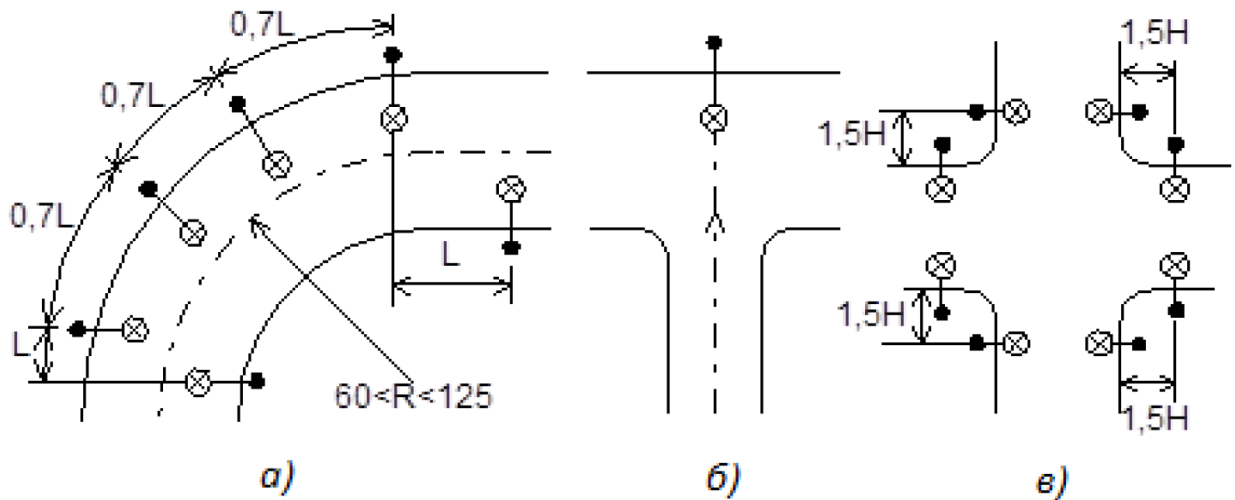


Рисунок 17.2 – Схема розташування світильників: а) на закругленні; б) на примиканні; в) на перетині; Н – висота встановлення світильників.

Схема розташування світильників або ліхтарів (ліхтар утворюється декількома світильниками розміщеними на одному кронштейні) на заокругленнях або перетинах на одному рівні, з урахуванням кроку

світильників, показана на рис. 17.1, не враховує прямі ділянки магістралей, для яких крок ліхтарів або окремих світильників розраховується за формулою:

$$L = \frac{1}{\pi \cdot B_n \cdot b \cdot K_3} \cdot \sum_{i=1}^M (\eta_{B_i} \cdot F_{Л_i} \cdot m_i), \quad (17.1)$$

де L – крок ліхтарів (світильників), м; B_n – нормована середня яскравість, кд/м²; K_3 – коефіцієнт запасу; b – ширина проїжджої частини вулиці чи дороги, м; M – кількість рядів світильників уздовж освітлюваної смуги (кожен ряд повинен складатися з однотипних світильників); η_{B_i} – коефіцієнт використання світильника по яскравості i -го ряду; $F_{Л_i}$ – світловий потік ламп світильника i -го ряду, лм; m_i – число світильників ліхтаря, що відносяться до i -го ряду.

ДСТУ-Н Б В.2.5-83:2016 регламентує, при нормованій середньої освітленості, крок ліхтарів (відстань між опорами) або окремих світильників розраховувати за формулою:

$$L = \frac{1}{\pi \cdot E_n \cdot b \cdot K_3} \cdot \sum_{i=1}^n (\eta_{E_i} \cdot F_{Л_i} \cdot m_i), \quad (17.2)$$

де E_n нормована освітленість; η_{E_i} – коефіцієнт використання по освітленості світильників i -го ряду.

Крок ліхтарів або світильників в районі пішохідного переходу та залізничного переїзду вибирається рівним $1,5 \times H$, із зсувом $0,75 \times H$ в обидві сторони щодо осьової лінії переходу (переїзду), де H – висота установки світильника.

Значення розрахункових втрат напруги в освітлювальній мережі зовнішнього освітлення (у відсотках) при живленні від трансформаторів різної потужності без урахування рівномірності навантаження (загальний випадок) наведено в табл. 17.1.

При визначенні розрахункових втрат прийнято, що зниження напруги у найбільш віддалених ламп дорівнює 5% номінальної напруги ламп, а коефіцієнт завантаження трансформатора дорівнює 0,9.

Розрахункові втрати напруги в освітлювальній мережі

Потужність трансформатора, кВ·А	Розрахункові втрати в мережі, %, при коефіцієнті потужності сумарного навантаження				
	0,9	0,8	0,7	0,6	
20	6,0	5,5	5,5	5,5	
35	0,5				6,0
60					
100					
20	6,0	5,5	5,5	5,5	
35	0,5	6,0			
60					
100					
160					
250					
400	7,0	6,5	6,0		
630 і вище					

Розрахунок перерізу проводів головної ділянки освітлювальної мережі зовнішнього освітлення по втраті напруги, при рівномірному навантаженні фаз, проводиться за наступними формулами:

а) для однофазних і двофазних ліній, а також трифазних ліній з окремим нульовим проводом:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N M_i}{C \cdot \Delta U}; \quad (17.3)$$

б) для трифазних ліній з використанням нульового проводу мережі загального призначення:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N M_i}{C \cdot \Delta U} \cdot \left(1 + \frac{a \cdot K}{\sqrt{P_{H.OCB}}} \right), \quad (17.4)$$

де S – переріз проводу, мм²; $\sum_{i=1}^N M_i$ – сума моментів навантаження, добуток навантаження гілки на її довжину, кВт·м; ΔU – розрахункова втрата напруги, %; C і a – коефіцієнти, залежні від напруги мережі, перерізу нульового проводу та співвідношення навантаження загального користування і зовнішнього освітлення; N – кількість ділянок різного навантаження і довжини; K – відношення навантажень мережі зовнішнього освітлення та

мережі загального користування; $P_{н.осв.}$ – навантаження мережі зовнішнього освітлення, кВт.

Значення коефіцієнтів C , a і K наведені в табл. 17.2, 17.3. Наведені в таблиці 17.2 коефіцієнти C визначені без урахування втрати напруги в загальному нульовому проводі. Ці коефіцієнти повинні застосовуватися тільки у випадку симетрії навантаження за фазами в загальній системі (навантаження зовнішнього освітлення та мережі загального користування). При роздільному розрахунку мереж зовнішнього освітлення і для систем з окремим нульовим проводом, якщо переріз нульового проводу мережі загального користування дорівнює перерізу фазових проводів мережі зовнішнього освітлення, а також при перерізах нульового проводу, відмінних від фазного, слід підставляти в формулу розрахунковий коефіцієнт C' , який визначається як добуток коефіцієнта C , знайденого при окремому нульовому проводі, на коефіцієнт z , що знаходиться з кривих рис. 17.3.

Таблиця 17.2

Значення коефіцієнта C

Напруга мережі, В	Число фаз в лінії	Значення коефіцієнта C для мідних і алюмінієвих проводів			
		При окремому нульовому проводі		При використанні нульового проводу мережі загального призначення	
		алюміній	мідь	алюміній	мідь
380/220	3	46	77	46	77
	2	20	34	30	51
	1	7,7	12,8	15,3	25,6

Таблиця 17.3

Значення коефіцієнта a

Співвідношення навантажень мережі зовнішнього освітлення та мережі загального користування	Значення коефіцієнта a при співвідношенні опорів нульового і фазного проводів в мережі 380/220 В	
	1:1	2:1

0,05	9,5	18,2
0,1	6,7	13
0,2	4,6	9,1
0,3	3,8	7,4
0,4	3,3	6,5
0,5	2,9	-
0,6	2,7	-
0,7	2,5	-
0,8	2,3	-
0,9	2,2	-
1,0	2,1	-

Графік для визначення коефіцієнта z враховує відмінність перерізу нульового проводу від перерізу фазних проводів (r_0 / r_ϕ) і вид мережі.

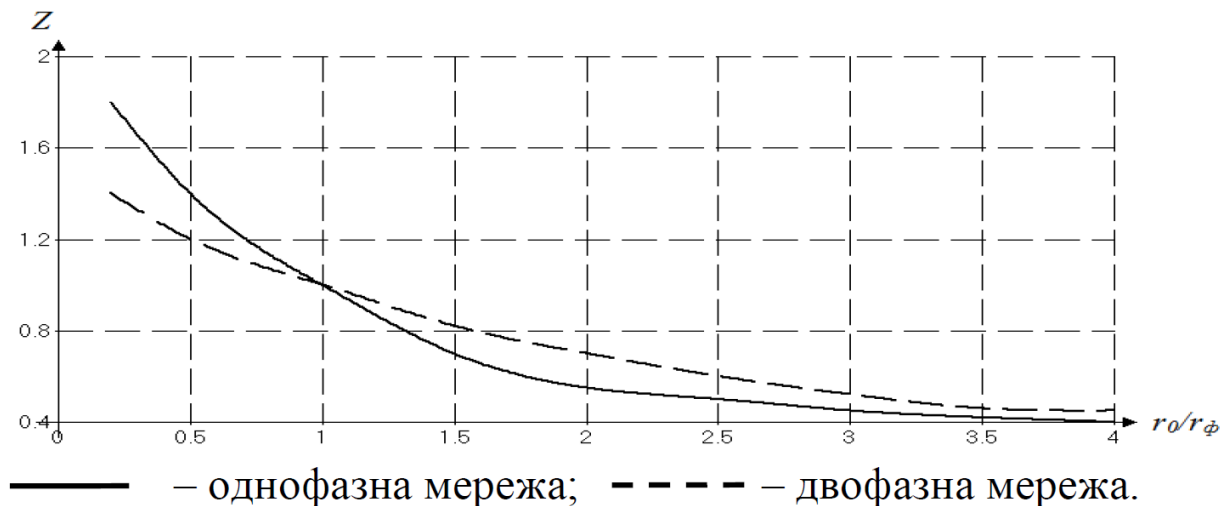


Рисунок 17.3 – Графік для визначення поправки z

Розрахунок перерізів фазних проводів з включенням ламп на фазну напругу, при нерівномірному навантаженні фаз, проводиться за наступними формулами:

а) для трифазної схеми з окремим нульовим проводом (3 фази + нуль):

$$F = \frac{3 \cdot M}{c \cdot U} \cdot (1 + K_{нс} \cdot m \cdot b); \quad (17.5)$$

б) для трифазної схеми з використанням нульового проводу мережі загального користування (3 фази + загальний нульовий провід):

$$F = \frac{3 \cdot M}{c \cdot U} \cdot \left(1 + \frac{a \cdot K_3}{\sqrt{P_{н.осв}}} + K_{нс} \cdot t \cdot b \right), \quad (17.6)$$

де F – переріз фазного проводу зовнішнього освітлення, мм²; M – сума моментів навантажень в максимально навантаженій фазі лінії зовнішнього освітлення, кВт·м; t – співвідношення опорів нульового і фазного проводів; $P_{н.осв.}$ – навантаження мережі зовнішнього освітлення, кВт; $K_{нс}$ – коефіцієнт несиметрії фазних навантажень, визначається з графіка рис. 17.4; b – коефіцієнт, що залежить від співвідношення фазних навантажень, що визначається за табл. 17.4.

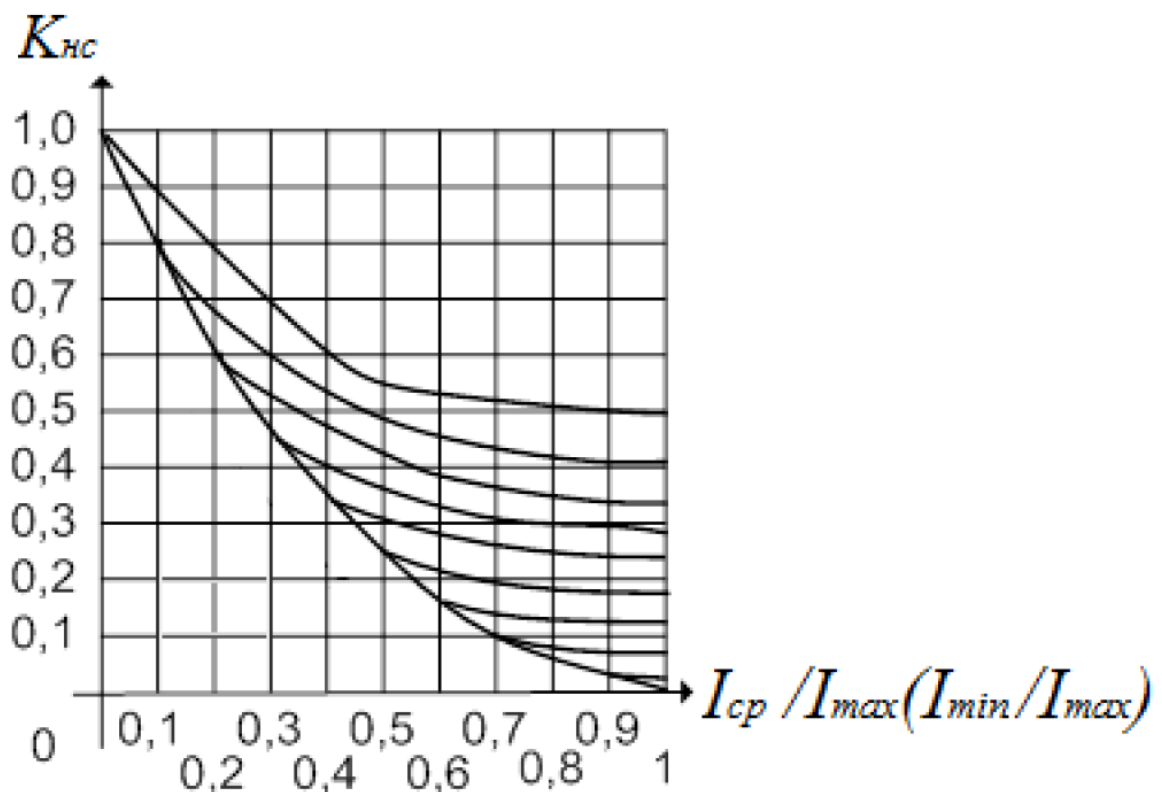


Рисунок 17.4 – Графік для визначення коефіцієнта несиметрії фазних навантажень

Таблиця 17.4

Значення коефіцієнта b в залежності співвідношення фазних навантажень

Число фаз в лінії з напругою	Співвідношення навантажень у фазах, %			Коефіцієнт b
	A	B	C	

380/220 В				
3	100	0	0	1,0
	100	0	25	1,2
	100	0	50	1,3
	100	0	75	1,4
	100	0	100	1,0
	100	25	25	1,5
3	100	25	50	1,6
3	100	25	75	1,7
	100	25	100	1,1
	100	50	50	2,0
	100	50	75	1,9
3	100	50	100	1,2
	100	75	75	2,5
	100	75	100	1,3

Графік для визначення коефіцієнта фазних навантажень ($K_{нс}$) визначається в залежності від відношення мінімального струму до максимального (I_{min} / I_{max}) для однофазної мережі і середнього струму до максимального (I_{cp} / I_{max}) при кількості фазних проводів два і більше.

Розрахунок мереж з газорозрядними лампами по втраті напруги, за відсутності індивідуальної компенсації реактивної потужності, слід проводити з урахуванням реактивного опору – для повітряних ліній при перерізі дроту 16 мм² і вище і для кабельних ліній при перерізі 50 мм² і вище. Замість допустимої втрати напруги (ΔU , %) слід приймати допустиму величину падіння напруги ($\Delta U'$, %), що враховує реактивні навантаження і опір, і розраховується за виразом:

$$\Delta U' = \beta \cdot \Delta U, \quad (17.7)$$

де β – коефіцієнт зниження допустимого значення втрат напруги, що враховує реактивне навантаження і опір, що визначаються з графіків рис. 17.5.

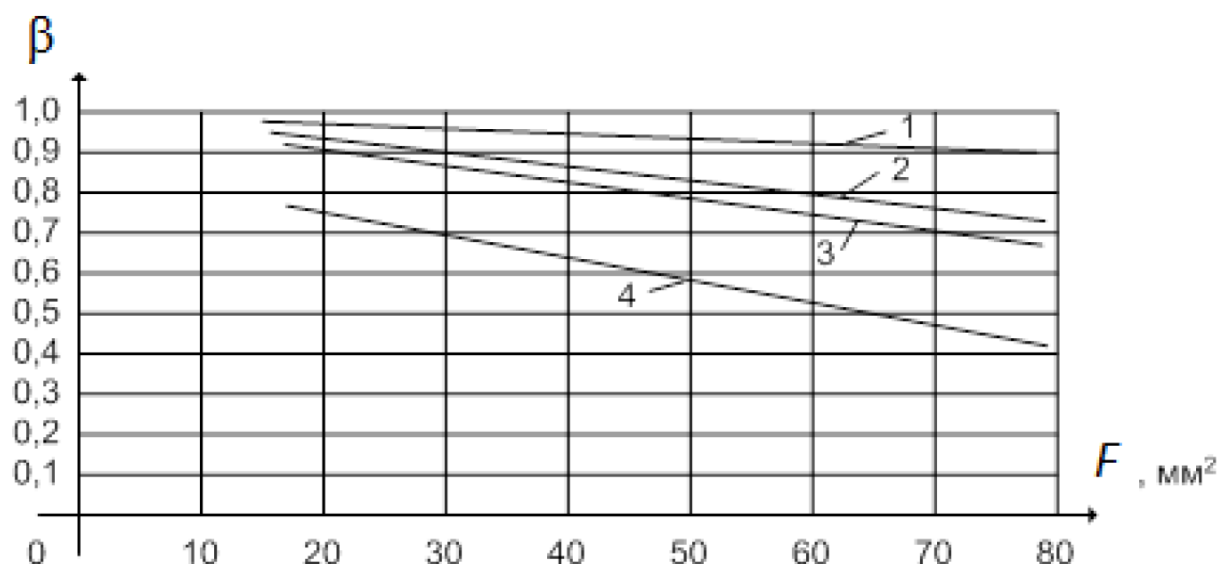


Рисунок 17.5 – Графік визначення коефіцієнта зниження допустимого значення втрат напруги: 1 – кабельна лінія, $\cos\varphi = 0,9$; 2 – повітряна лінія, $\cos\varphi = 0,9$; 3 – кабельна лінія, $\cos\varphi = 0,5$; 4 – повітряна лінія, $\cos\varphi = 0,5$.

При розрахунку прожекторного освітлення проїздів і майданчиків промислових підприємств визначаються:

- мінімальна освітленість за нормами;
- коефіцієнт запасу;
- тип і кількість прожекторів;
- висота встановлення прожекторів;
- найвигідніший кут нахилу оптичної осі прожектора;
- місця встановлення прожекторів.

Для визначення кількості прожекторів, необхідних для освітлення заданої площі з мінімальною освітленістю, необхідно попередньо знайти необхідний сумарний потік $\Phi_{\text{сум}}$ за формулою:

$$\Phi_{\text{сум}} = E_n \cdot S \cdot K_z \cdot K_n, \quad (17.8)$$

де E_n – потрібна (нормована) освітленість, лк; S – освітлювальна площа, м²; K_z – коефіцієнт запасу ($K_z = 1,2 \div 1,5$); K_n – коефіцієнт ($K_n = 1,15 \div 1,5$), що враховує втрати світла в залежності від конфігурації освітлюваної площі.

Після визначення сумарного потоку кількість прожекторів, необхідну для освітлення даної площі, визначають за формулою:

$$N_{\text{пр}} = \frac{\Phi_{\text{сум}}}{\Phi_{\text{л}} \cdot \eta_{\text{пр}}}, \quad (17.9)$$

де $\Phi_{\text{л}}$ – світловий потік лампи прожектора, лм; $\eta_{\text{пр}} = 0,35 \div 0,37$ – ККД прожектора.

Висота встановлення прожектора визначається за формулою:

$$h \geq \sqrt{\frac{I_{\text{max}}}{300}}, \quad (17.10)$$

де I_{max} – максимальна (осьова) сила світла прожектора, кд.

Знаючи кількість прожекторів і висоту їх установки, можна визначити освітленість в окремих точках площі, користуючись точковим методом.

Контрольні запитання

1. Яке призначення зовнішнього освітлення?
2. В яких нормативних документах зазначено вимоги до проектування зовнішнього освітлення?
3. Яку задачу покладено на спроектоване зовнішнє освітлення?
4. Які умови мають бути виконані при проектуванні засобів і обладнання зовнішнього освітлення?
5. Яким чином при проектуванні зовнішнього освітлення враховується наявність поблизу вікон будівель?
6. Які типи світильників рекомендовано до встановлення у зовнішніх освітлювальних мережах?
7. Які типові схеми розташування світильників освітлювальних установок вам відомі?
8. Як розраховують відстань між окремими ліхтарями в освітлювальних установках?

9. Як визначають допустимі перерізи проводів живлення зовнішніх освітлювальних установок при рівномірному навантаженні фаз?
10. Як визначають допустимі перерізи проводів живлення зовнішніх освітлювальних установок при нерівномірному навантаженні фаз?
11. Як визначають втрати напруги при живленні мереж зовнішніх освітлювальних установок?
12. Як визначити кількість прожекторів, необхідну для освітлення певної площі?
13. Як визначають висоту встановлення прожекторів в зовнішніх освітлювальних установках?

Лекція 18

Експлуатація освітлювальних мереж

Будь-яка електроосвітлювальна установка, так само, як і будь-яка електромережа або будь-який електротехнічний пристрій, має експлуатуватись у відповідності до певних вимог, які забезпечують безпеку експлуатації та тривалість відповідності світлотехнічних параметрів нормованим значенням. Важливою складовою надійної експлуатації освітлювальних мереж відносяться як питання дотримання умов їхньої експлуатації, так і питання регулювання параметрів освітлювальних мереж.

Під час експлуатації важливими є економічні показники ефективності використання електроенергії та загальної окупності та утримання проєктованих освітлювальних мереж.

Для визначення шляхів економії витрат на систему освітлення треба скласти річний баланс витрат, до якого входять амортизаційні витрати на освітлювальні прилади і мережу живлення, вартість споживаної електричної енергії на освітлення, вартість втрат електричної енергії в живильній мережі, витрати на обслуговування системи освітлення тощо.

Аналіз окремих складових витрат для переважної більшості освітлювальних установок показує, що вартість електроенергії є основною складовою загальних витрат. Так, наприклад, розрахунки показують, що в системі освітлення з використанням ламп розжарювання річна вартість спожитої електроенергії складає 93% загальних витрат, а з підвищенням вартості електроенергії може скласти ще більше значення.

В якості енергетичного показника, що визначає раціональне споживання електричної енергії на цілі освітлення, пропонується питома встановлена потужність (ПВП) загального штучного освітлення приміщень, що є основою нормативної бази для контролю енерговитрат в

освітлювальних установках при проведенні енергетичного обстеження об'єктів і на стадії експертизи проектів.

Питома встановлена потужність, Вт/м², визначається за формулою:

$$W_{\text{пит}} = W_0 \cdot \left(\frac{k_3}{1,5}\right) \cdot \left(\frac{100}{\eta_{\text{св}}}\right) \cdot \left(\frac{80}{H}\right), \quad (18.1)$$

де W_0 – базове значення питомої встановленої потужності, приведене до освітленості 100 лк, коефіцієнту запасу 1,5, умовному ККД світильника 100% і світловіддачі 80 лм/Вт; k_3 – нормований коефіцієнт запасу; $\eta_{\text{св}}$ – ККД застосовуваного світильника, %; H – світловіддача застосовуваного джерела світла, лм/Вт.

Нормативні документи регламентують мінімальні значення ККД освітлювальних приладів та світловіддачі джерел світла у відповідності до табл. 18.1.

Таблиця 18.1

Мінімальне значення світлової віддачі джерел світла, лм/Вт

Тип джерела світла	Мінімальне значення світловіддачі при різних індексах кольоропередачі R_a , лм/Вт			
	80 ÷ 100	60 ÷ 80	40 ÷ 60	20 ÷ 40
ЛЛ	60	70	-	-
КЛЛ	50	55	-	-
МГЛ	70	80	-	-
ДРЛ	-	-	50	-
Натрієві лампи високого тиску	-	80	-	85

Аналіз освітлювальних установок починається з оцінки поточного споживання електроенергії на освітлення в процесі енергетичного обстеження. Розрахунок споживаної електроенергії в освітлювальних установках проводиться за такою формулою:

$$W = 10^{-3} \cdot W_{i_{\text{пит}}} \cdot S_i \cdot T_i, \quad (18.2)$$

де W – сумарне річне споживання електричної енергії, кВт·год/рік; T_i – річне число годин роботи освітлювальної установки i -го приміщення; S_i – площа i -го приміщення, м².

Питома встановлена потужність W_{i_num} для діючої освітлювальної установки розраховується за формулою:

$$W_{i_пит} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot N_i}{S_i}, \quad (18.3)$$

де P_i – потужність, споживана комплектом лампа-баласт i -го типу, Вт; N_i – кількість ламп i -го типу, шт.; i – індекс, що позначає тип джерела світла; n – число модифікацій джерел світла в рамках певного типу.

Суть економії електричної енергії в системах освітлення полягає в зміні окремих складових витрат шляхом застосування більш ефективного освітлювального обладнання або методів і режимів для забезпечення такого ж (або кращого) освітлення, що в результаті призводить до зменшення споживання електроенергії і скорочення загальних витрат

Можна стверджувати, що переважну більшість освітлювальних установок можна поліпшити щодо загальних грошових витрат і скорочення споживання електроенергії, якщо застосувати удосконалені технології і ефективніше обладнання. Деякі зміни для реалізації зменшення експлуатаційних витрат вимагають лише дуже невеликих або взагалі нульових капітальних витрат. В інших випадках можуть знадобитися інвестиції капіталу в нове обладнання, і тоді необхідно порівнювати необхідні капітальні витрати з економією експлуатаційних витрат. Часто термін окупності виявляється незначним.

Можна виділити наступні основні шляхи економії витрат на систему освітлення:

- контроль стану елементів системи освітлення і рівня напруги;
- організаційні заходи для зменшення витрат;
- перехід на більш ефективні джерела світла;

– управління освітленням.

Для зниження витрати електроенергії освітлювальними установками необхідно здійснювати контроль над справністю баластових і компенсуючих конденсаторів у ПРА для люмінесцентних ламп. При пробі баластового конденсатора в індуктивно-ємнісному ПРА дволампових люмінесцентних світильників приблизно в 4,4 рази збільшується реактивний струм, що споживається світильником, і відповідно зростають втрати потужності в електричній мережі. При пробі компенсуючого конденсатора, встановленого паралельно клемам мережі світильника, реактивний струм збільшується удвічі, а втрати потужності в чотири рази, до того ж, зростають перешкоди телекомунікації.

Для люмінесцентних ламп при ПРА із стартером характерний режим роботи з залипими контактами стартера тліючого розряду (світяться тільки кінці лампи). У такому режимі струм світильника зростає в 1,2 – 1,8 рази порівняно з номінальним струмом із одночасним різким зниженням світлового потоку. Наприклад, одноламповий люмінесцентний світильник з лампою потужністю 40 Вт споживає в робочому режимі 95 В·А, а в режимі з залипим стартером – 132 В·А. Коефіцієнт потужності світильника в режимі з залипим стартером знижується до 0,12 – 0,15, а реактивний струм зростає з 0,37 до 0,6 А, що викликає збільшення втрат потужності в 2,5 рази. Крім того, лампа в зазначеному режимі не випромінює, тобто і вся активна потужність, що споживається світильником, є власне кажучи марною. Тому своєчасна заміна стартерів, а при їхній відсутності зняття залипих стартерів (в цьому випадку нове запалювання лампи після відключення неможливе) є заходом щодо економії електричної енергії.

Рівень напруги значною мірою характеризує всі показники освітлювальної установки (енергетичні, світлотехнічні, електричні та експлуатаційні). Так, на рис. 18.1 показана залежність деяких показників натрієвої лампи високого тиску від напруги мережі.

Збільшення напруги відносно номінальної призводить до збільшення енергії, яку споживають освітлювальні установки; значення можливої перевитрати електричної енергії наведені в табл. 18.2.

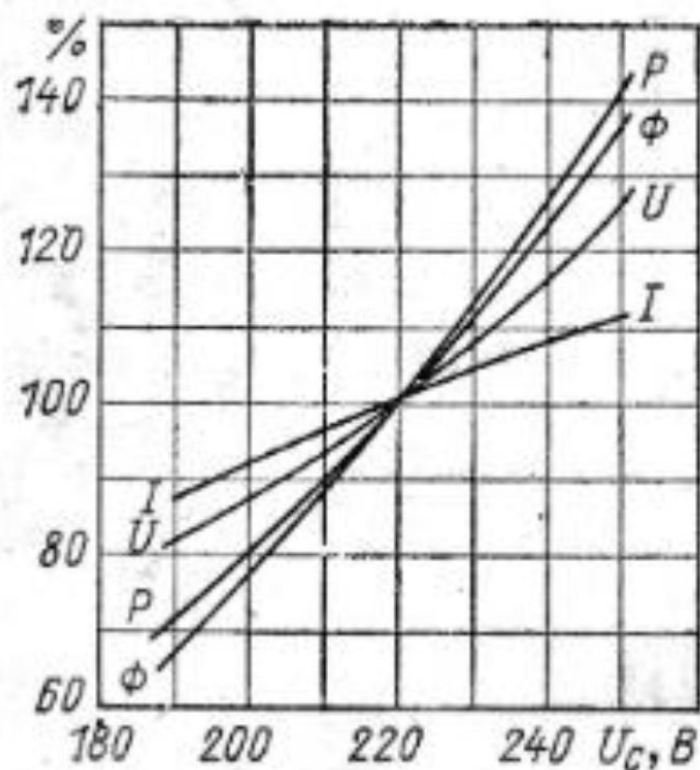


Рисунок 18.1 – Залежність показників натрієвої лампи високого тиску від напруги мережі.

Таблиця 18.2

Значення споживаної потужності ламп в залежності від перевищення напруги

Збільшення використаної потужності, % для ламп	Перевищення номінальної напруги, %					
	1	2	3	5	7	10
Розжарювання	1,6	3,2	4,7	8,1	11,5	16,4
Люмінесцентні	2,0	4,0	6,0	10,0	14,0	20,0
Ртутні	2,2	5,0	7,0	12,0	18,0	24,0
Ртутні типу ДРЛ	2,4	4,9	7,2	12,2	17,0	24,3
Металогалогенні	1,5 – 2	3 – 4	4,5 – 5	7,5 – 10	10,5 – 14	15 – 18
Натрієві низького тиску	2,8	5,6	8,4	14	19,6	28

Одночасно, збільшення напруги відносно номінального знижує термін експлуатації лампи, значення якого для ламп розжарювання і газорозрядних ламп наведено в табл. 18.3.

Для стабілізації напруги в освітлювальних устатках знаходять застосування автоматичне керування напругою, для чого використовуються тиристорні обмежувачі напруги ТОН-3-220-63 і ТОН-3-220-100 на 63 і 100 А на фазу.

Таблиця 18.3

Зниження терміну експлуатації ламп залежно від перевищення напруги

Тип освітлювальної установки	Перевищення напруги, %						
	0	1	2	3	5	7	10
Розжарювання	100	87,1	75,8	66,2	50,5	38,7	7,8
Газорозрядні	100	95,0	93,0	90,0	85,0	80,0	73,8
Розжарювання	100	114	132	151	198	258	1284
Газорозрядні	100	105	108	111	118	125	137

При застосуванні до електричних ламп терміну «термін служби» він має два чітко визначених значення:

- інтервал часу, після якого лампа перестає працювати, це – загальна тривалість світіння лампи;
- інтервал часу, після якого світловий потік лампи знижується в результаті нормального процесу старіння до настільки низького рівня, що економічно виправданим стає заміна лампи, незважаючи на те, що всі електричні кола лампи ще зберігають працездатність: це – «економічний термін служби» лампи.

Перше визначення характерне для ламп розжарювання, друге – для газорозрядних ламп. В другому випадку, якщо експлуатувати лампи до настання електричної відмови, їхній світловий потік може знизитися на 50%

в порівнянні з первісним значенням. Практично, газорозрядні лампи варто замінити в найбільш економічний для конкретної установки час.

В усіх освітлювальних установках доцільно робити групову заміну ламп із запланованою періодичністю. Аналогічно, при технічному обслуговуванні люмінесцентних світильників зі стартерами, звичайно, буває економічно виправданим робити групову заміну стартерних вимикачів рівно удвічі рідше, ніж ламп, тобто при кожній другій заміні ламп.

Оптимальний період заміни залежить від витрат на електроенергію і витрат на оплату робочої сили для конкретної установки. Загальне правило таке: груповою заміна ламп повинна виконуватися тоді, коли вартість надмірно витраченої енергії стає рівною вартості заміни ламп. Додаткове обмеження полягає в тому, що лампи варто замінювати до того, як їхній світловий потік знизиться до 70% від первісного значення. Щоб одержати криву світлового старіння для визначеної лампи, варто звернутися до фірми-виробника.

Несвоєчасне очищення світильників може знизити освітленість на 15 - 30% і більше, що призводить до зниження продуктивності праці і якості продукції, погіршення психофізіологічного стану працюючих, підвищення травматизму. У зв'язку з цим на кожному підприємстві повинен бути графік очищення світильників, що підтверджується документально. Рекомендовані терміни очищення наступні:

- у приміщеннях зі значним виділенням пилу, диму, кіптяви (цехи доменні, мартенівські, ливарні, ковальські, цементних заводів, збагачувальних фабрик, підготовчі відділи текстильних фабрик і т. ін.) – два рази на місяць;
- у цехах із середнім виділенням (прокатні, механічні, складальні, металоконструкцій і т. ін.) – один раз на місяць;
- з незначним виділенням – один раз на три місяці;
- установки зовнішнього освітлення – один раз на чотири місяці.

При проведенні регулярного протирання віконного скла виробничих будинків і приміщень (не менше двох разів на рік) можна скоротити термін горіння ламп при двозмінній роботі не менш ніж на 15% у зимовий час і на 50 – 70% влітку. Економія електроенергії в даному випадку визначається виразом:

$$\Delta W = \alpha \cdot P \cdot k_n \cdot T, \quad (18.4)$$

де α – частка економії електроенергії (відсоткова економія, поділена на 100); k_n – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження; P – потужність світильників групи, що розглядається, кВт; T – час роботи освітлювальної установки, годин.

Для підвищення коефіцієнта використання природного і штучного освітлення поверхні приміщень виробничих і громадських будівель варто фарбувати у світлі тони, що дозволить:

- знизити кількість встановлених світильників за умови забезпечення заданих норм освітленості;
- підвищити освітленість до нормованих значень при існуючій кількості, або при незначному збільшенні кількості світильників.

Усі поверхні певною мірою поглинають світло. Чим менша їхня відбивна здатність, тим більше світла вони поглинають. З цього випливає, що поверхні, пофарбовані у світлі колірні тони, є більш ефективними у приміщеннях, однак їх варто регулярно фарбувати, мити або заново обклеювати для того, щоб забезпечити економічне використання освітлення. Відбиття від кольорових поверхонь у приміщенні може позначитися на кількісному і колірному складі освітлення на робочих поверхнях.

Для існуючої установки перехід на більш ефективний тип освітлювальних приладів дозволяє скоротити споживання електроенергії і, отже, витрати. Річна економія електроенергії (кВт·год/рік) при заміні світильників на нові визначається виразом:

$$\Delta W = \Delta P_{oc} \cdot k_n \cdot T_{oc}, \quad (18.5)$$

де $\Delta P_{oc} = (n_c \cdot P_c - n_n \cdot P_n)$ – різниця встановлених потужностей старих і нових світильників, кВт; n_c, n_n – відповідно число старих і нових світильників, шт.; P_c, P_n – відповідно, потужність старого і нового світильника, кВт; k_n – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження; T_{oc} – річна кількість годин використання максимуму освітлювального навантаження, год/рік.

Зіставлення енергетичної ефективності різних джерел світла між собою для орієнтовної оцінки економії електроенергії, що може мати місце при заміні ламп, з урахуванням допусків на розрахункову освітленість, наведено в табл. 18.4.

Таблиця 18.4

Орієнтовна економія електроенергії при заміні ламп

Джерела світла, що замінюються	Середнє значення можливої економії, %
Люмінесцентні на металогалогенні	24
Ртутні лампи на:	
– металогалогенні	42
– люмінесцентні	22
– натрієві	45
Лампи розжарювання на:	
– металогалогенні	66
– люмінесцентні	55
– ртутні	42
– натрієві	68

Управління освітленням у приміщеннях з бічним, комбінованим і природним світлом повинне забезпечувати можливість відключення рядів світильників, паралельних вікнам. В протяжних цехах світильники відключаються групами, що за умовами виробництва повинні працювати одночасно. Ці заходи можуть привести до зниження витрат електроенергії на 5 – 10%.

При освітленні великих цехів (площею більше 500 м²) з великою питомою встановленою потужністю освітлення (не менше 20 Вт/м²)

необхідно передбачати дистанційне автоматичне чи ручне керування штучним освітленням, що дозволяє:

- вчасно включати і виключати (частково чи повністю) освітлювальну установку на початку і наприкінці робочих змін з урахуванням графіка виробничого обладнання: економія електроенергії при цьому становить, приблизно, 10 – 15%;

- виключати освітлювальну установку з газорозрядними лампами на обідню перерву (при тривалості перерви 45 хвилин і більше), залишаючи включеним тільки чергове освітлення: економія електроенергії становить до 10 – 15 %;

- у приміщеннях із суміщеним освітленням регулювати ввімкнення і відключення частин освітлювальної установки в залежності від рівня освітленості, створюваного природним світлом у різних зонах приміщення: економія електроенергії складе, приблизно, 10 – 20%, в залежності від сезонної тривалості світлового дня і наявного графіка роботи обладнання конкретного підприємства.

Автоматичне управління освітленням, у порівнянні з ручним (по статистичним даним), дає економію електроенергії порядку 2 – 4%. В якості елементів автоматичного регулювання освітленням можуть використовувати таймери, реле часу, датчики руху, датчики освітленості, фотодатчики тощо.

Рекомендовані засоби управління для місцевого використання наведені в табл. 18.5.

Таблиця 18.5

Рекомендовані засоби управління освітленням для місцевого використання

Умови застосування	Засоби управління
Освітлювальна територія використовується непередбачувано (наприклад, приміщення, що залишаються порожніми більш ніж 30 % часу, проходи товарного складу, територія лікарні)	Датчики руху Таймери

Територія використовується передбачувано, але менше 24 години на добу, 7 днів на тиждень	Реле часу
Зовнішнє освітлення парковки, фасадів, вуличних знаків, реклами тощо.	Датчик освітленості Реле часу
Природне світло проходить крізь вікна або скляну стелю.	Фотодатчик Датчик освітленості Багаторівневий комутатор
Є потреба змінювати рівень освітленості протягом дня або у певний час	Ручний диммер (світлорегулятор) Багаторівневий комутатор

За табл. 18.6 можна вибрати придатні засоби управління для різних територій та приміщень. Якщо кілька видів регулювання можуть бути застосовані лише в одному місці, доцільно використовувати інтегральну систему регулювання. Вона встановлюється в одному місці і виконує всі регулювання одночасно. Хоча інтегровані системи є дещо дорожчими, зручність запуску і підтримки такої системи з одного місця зменшує затрати на управління системою.

Таблиця 18.6

Рекомендовані засоби управління для різних приміщень

Стратегія	Засоби управління									
Тип приміщення	Настінний датчик руху	Датчик руху на стелю	Персональний датчик руху	Таймер	Реле часу	Багаторівневий комутатор	Ручний настінний диммер	Бездротовий дистанційний диммер	Датчик освітленості	Фотодатчик
Сільське господарство та легка промисловість			○		●	○			○	●
Студентські аудиторії		●				○	●	●		
Шкільні класи		●				●	●	●	○	●
Зали, приймальні, фойє					●	●			●	●
Конференц-зали	○	●		○		○	●	●		●
Зовнішнє освітлення		○			●	○			●	
Склади, сховища		●		●						
Бакалійні магазини, супермаркети		●		○	●	●			○	○
Гімназії		●				○			○	

Стратегія	Засоби управління									
Тип приміщення	Настінний датчик руху	Датчик руху на стелю	Персональний датчик руху	Таймер	Реле часу	Багаторівневий комутатор	Ручний настінний диммер	Бездротовий дистанційний диммер	Датчик освітленості	Фотодатчик
Коридори		●			●				●	○
Лабораторії		●	○			○	●			●
Бібліотеки та читальні зали		●			○	○				
Книгосховища		●		●	○	○				
Підсобні приміщення		●			○	○				
Їдальні, обідні зали	○	●		○		○			○	
Медичні заклади / екзаменаційні приміщення	○	●				●	●			
Музеї		○				●	●		○	●
Громадські приймальні		○	●		●	●	●			●
Приватні приймальні	○	●	●		●	●	●	●		●
Ресторани					○	●	●	○		○
Кімнати відпочинку	○	●		○		○				
Приміщення роздрібної торгівлі					○		○			○
Товарні склади		●		○	●	●				○

Примітка до табл. 18.6: ● – ефективне застосування; ○ – обмежене застосування.

Контрольні запитання

1. Які важливі експлуатаційні показники освітлювальних мереж вам відомі?
2. Як визначають енергетичний показник, що визначає раціональне споживання електричної енергії на цілі освітлення?
3. Як залежить мінімальне значення світловіддачі при різних індексах кольоропередачі світильників різних типів?
4. Як визначається поточне споживання електроенергії на освітлення в процесі енергетичного обстеження?
5. Як розрахувати питому встановлена потужність для діючої освітлювальної установки?

6. Які вам відомі основні шляхи економії витрат на систему освітлення?
7. Як впливають несправності баластових і компенсуючих конденсаторів у ПРА на рівень споживання електроенергії?
8. Як впливає режим роботи з залиплими контактами стартера тліючого розряду на споживання електроенергії та рівень освітленості?
9. Як впливає на значення споживаної потужності ламп різних типів перевищення напруги мережі живлення?
10. Як впливає на зниження терміну експлуатації ламп різних типів перевищення напруги?
11. Які заходи збільшення терміну служби ламп вам відомі?
12. Яким чином можна підвищити ефективність освітлення при комбінованому освітленні приміщень?
13. Яким чином можна ефективно керувати роботою освітлювальних установок?

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шуаїбов О. К. Навчальний посібник «Квантова електроніка і світлотехніка»: – ДВНЗ «УжНУ», кафедра квантової електроніки, фізичний факультет. 2021. – 233 с.
2. Споживачі електричної енергії. Електричне освітлення: навч. посіб. / О. І. Соловей, А. В. Чернявський, О. О. Ситник, В. Ф. Ткаченко, Г. В. Курбака; за ред. Солов'я О. І.; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси: ФОП Гордієнко Є.І., 2018. – 132 с.
3. Чирчик С. В. Світлодизайн: навч. посіб. / С. В. Чирчик. – 2-ге вид. – Київ: ДП «Вид. дім «Персонал», 2018. – 160 с.
4. Чадюк В. О. Оптоелектроніка: від макро до нано. Передавання, перетворення та приймання оптичного випромінювання: навч. посіб. У 2-х кн. / В. О. Чадюк. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. – Кн. 1. – 376 с.
5. Світлотехнічні розрахунки: навч. посібник / Л. А. Назаренко, Т. В. Можаровська, В. С. Чернець; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 142 с.
6. Електричне освітлення та опромінення: навч. посіб. для студентів вищ. навч. закл. / Р.В. Кушлик, В. Ф. Яковлев, Ю. М. Куценко, М. Л. Лисиченко, М. П. Кунденко, Ю. М. Федюшко, – Х: ТОВ «Планета-прінт», 2016. – 332 с.
7. Садовий О. С. Електричне освітлення та електротехнології: курс лекцій / О. С. Садовий. – Миколаїв : МНАУ, 2015. – 91с.
8. Курс лекцій з дисципліни «Проектування промислового освітлення» для студентів спеціальності 8.05070105 «Світлотехніка і джерела світла» / Укл. Костик Л.М., ТНТУ, 2015. – 132 с.

9. Гріффен Л. О., Чирчик С. В. Основи світлотехніки для дизайнерів: навч. посіб. / Л. О. Гріффен, С. В. Чирчик. – Чернігів: Лозовий В. М., 2012. – 184 с.
10. Назаренко Л. А. Фізичні основи джерел світла: навч. посіб. / Л. А. Назаренко. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 206 с.
11. Освітлення промислових об'єктів: Навч. посібник / Укл. Говоров П. П., Пилипчук Р. В., Токань А. І. та ін. – Тернопіль: Джура, 2008. – 388 с.
12. Кащенко П.С. Електричне освітлення та опромінення / П.С. Кащенко : навч. посібн. – НМЦ, 2003 . – 134 с.
13. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х.: Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
14. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ: Мінрегіон України, 2018. – 133 с.
15. ДСТУ-Н Б В.2.5-83:2016. Настанова з проектування засобів і обладнання зовнішнього освітлення міст, селищ та сільських населених пунктів. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 21 с.
16. ДСТУ Б А.3.2-15:2011. Норми освітлення будівельних майданчиків. Київ: Мінрегіон України, 2012. – 25 с.
17. ДБН В.2.2-28:2010. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 48 с.
18. ДНАОП 0.00-1.32-01. Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок. Київ: Министерства труда и социальной политики Украины, 2001. – 86 с.
19. ДБН В.2.5-23:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 165 с.
20. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Київ: Мінрегіон України, 2016. – 31 с.