

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

# **СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРИЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ**

**Навчальний посібник**

*За редакцією О. І. Солов'я*

Черкаси  
ФОП Гордієнко Є.І.  
2018

УДК 621:311(075.8)  
ББК 31.19 я 73

*Рекомендовано до друку  
Вченою радою Черкаського державного  
технологічного університету,  
протокол №12 від 18.06.2018 р.*

**Автори:**

**Соловей** Олександр Іванович  
**Чернявський** Анатолій Володимирович  
**Ситник** Олександр Олексійович  
**Ткаченко** Валентин Федорович  
**Курбака** Галина Василівна

**Рецензенти:**

**О. В. Новосельцев**, д-р технічних наук, член-кореспондент Національної академії наук України, провідний науковий співробітник відділу теплофізичних основ енергоощадних технологій Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України;

**В. В. Клименко**, д-р технічних наук, професор, професор кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту Центральноукраїнського національного технічного університету (м. Кропивницький)

**Споживачі** електричної енергії. Електричне освітлення : навч. посіб. /  
С73 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.

У навчальному посібнику представлено загальні питання світлотехніки, описано існуючі джерела світла та їх особливості, також надана інформація про сучасні освітлювальні прилади та системи. Розглянуто питання проектування освітлювальних систем та їх електропостачання, також велику увагу приділено економії електроенергії під час експлуатації систем освітлення.

Видання розраховане на студентів електроенергетичних спеціальностей вищих навчальних закладів, а також на інженерно-технічних працівників і спеціалістів у галузі електроенергетики, які займаються проектуванням, експлуатацією, енергозбереженням та енергоефективністю в області електроенергетичних систем.

**УДК 621:311(075.8)**  
**ББК 31.19 я 73**

# ЗМІСТ

ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ.....	6
ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ СВІЛОТЕХНІКИ .....	9
1.1 Основні світлотехнічні поняття.....	9
1.2 Енергетичні системи величин.....	10
1.3 Оптичні властивості тіл.....	13
1.4 Приймачі енергії випромінювання.....	14
1.5 Світлова система величин.....	17
1.6 Теплові випромінювачі.....	18
1.7 Люмінесценція.....	20
1.8 Вимірювання оптичного випромінювання.....	21
<i>Контрольні запитання до розділу 1</i> .....	21
2 ДЖЕРЕЛА СВІТЛА.....	22
2.1 Основні показники джерел світла.....	22
2.2 Лампи розжарювання.....	24
2.3 Газорозрядні лампи.....	26
2.3.1 Ртутні лампи.....	28
2.3.2 Компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ) .....	31
2.3.3 Безелектродні компактні люмінесцентні лампи (БКЛЛ).....	32
2.3.4 Металогалогенні лампи (ДРИ).....	34
2.3.5 Натрієві лампи .....	35
2.3.6 Ксенонові лампи.....	37
2.3.7 Лампи тліючого світіння.....	38
2.4 Індукційні лампи.....	38
2.5 Світлодіоди.....	41
2.5.1 Світлодіоди білого світіння .....	43
2.5.2 Світлодіодні освітлювачі.....	45
2.5.3 Схеми підключення світлодіодів.....	45
<i>Контрольні запитання до розділу 2</i> .....	47
3 ОСВІТЛЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ.....	48
3.1 Загальні поняття.....	48
3.2 Світлотехнічні показники світильників.....	48
3.3 Світлотехнічні характеристики прожекторів.....	51
3.4 Пускорегулюючі апарати.....	51
3.4.1 Електромагнітні пускорегулюючі апарати .....	53
3.4.2 Електронні пускорегулюючі апарати .....	53
3.4.3 Інтелектуальні пускорегулюючі апарати .....	54
3.4.4 Схеми запалювання.....	55

3.5	Класифікація світильників за призначенням і умовами експлуатації.....	64
	<i>Контрольні запитання до розділу 3</i> .....	68
4	<b>СВІЛОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА ПРОЕКТУ</b> .....	69
4.1	Загальні відомості.....	69
4.2	Вибір виду і системи освітлення.....	69
4.3	Рівні освітленості.....	71
4.4	Показник засліпленості.....	72
4.5	Пульсація випромінювання.....	73
4.6	Передача кольору.....	74
	<i>Контрольні запитання до розділу 4</i> .....	74
5	<b>ОСНОВНІ МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ОСВІТЛЕНОСТІ</b> .....	75
5.1	Вихідні дані.....	75
5.2	Метод світлового потоку.....	78
5.3	Точковий метод.....	80
5.4	Метод питомої потужності.....	84
5.5	Зовнішнє освітлення.....	86
	5.5.1 Вибір, розташування і спосіб установки світильників.....	87
	5.5.2 Розрахунок кроку ліхтарів або окремих світильників при нормуванні середньої яскравості.	89
	5.5.3 Розрахунок кроку ліхтарів або окремих світильників при нормуванні середньої освітленості.....	90
	5.5.4 Розрахунок показника засліпленості.....	91
	5.5.5 Розрахунок мереж зовнішнього освітлення по втраті напруги.....	92
	5.5.6 Розрахунок прожекторного освітлення.....	97
	<i>Контрольні запитання до розділу 5</i> .....	100
6	<b>ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК</b> .....	101
6.1	Напруга освітлювальних мереж.....	101
6.2	Схеми живлення освітлювальних установок.....	102
6.3	Визначення розрахункових навантажень системи освітлення.....	105
6.4	Вибір перерізу провідників за допустимим струмом навантаження.....	107
6.5	Розрахунок освітлювальної мережі за втратами напруги..	108
6.6	Вибір перерізів провідників за механічною міцністю.....	111
6.7	Розрахунок мереж на мінімум провідникового матеріалу..	112

	<i>Контрольні запитання до розділу 6</i> .....	114
7	<b>ЕКОНОМІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ</b> .....	115
	7.1 Економія витрат на систему освітлення.....	115
	7.2 Контроль стану елементів системи освітлення і рівня напруги.....	117
	7.3 Організаційні питання економії електроенергії в освітлювальних установках.....	119
	7.4 Перехід на більш ефективні джерела світла.....	121
	7.5 Управління освітленням.....	122
	7.6 Інші можливості економії електроенергії в освітлювальних установках.....	125
	7.7 Методичні рекомендації щодо розрахунку споживання та економії електроенергії в освітлювальних установках.....	126
	<i>Контрольні запитання до розділу 7</i> .....	131
	<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	132

## ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ

БЗЖ – блок запалювання та живлення  
БКЛЛ – безелектродна компактна люмінесцентна лампа  
ГЛР – галогенна лампа розжарювання  
ГЛ – газорозрядна лампа  
ГЛВТ – газорозрядна лампа високого тиску  
ГЛНТ – газорозрядна лампа низького тиску  
ВЧ – висока частота  
ВЧТ – високочастотний трансформатор  
ДС – джерело світла  
ДРЛ – дугова ртутна люмінесцентна лампа  
ДРИ – металогалогенна лампа  
ЕЗП – електронний запалюючий пристрій  
ЕмПРА – електромагнітний пускорегулюючий апарат  
ЕПРА – електронний пускорегулюючий апарат  
ЕРС – електрорушійна сила  
ЗП – запалюючий пристрій  
ІЛ – індукційна лампа  
ККД – коефіцієнт корисної дії  
КЛЛ – компактна люмінесцентна лампа  
КСС – крива сили світла  
ЛЛ – люмінесцентна лампа  
ЛР – лампа розжарювання  
ЛТС – лампа тліючого світіння  
МГЛ – металогалогенна лампа  
МК – мікроконтролер  
НЛВТ – натрієва лампа високого тиску  
НЛНТ – натрієва лампа низького тиску  
ОВ – оптичне випромінювання  
ОП – освітлювальний прилад  
ОУ – освітлювальна установка  
ПВП – питома встановлена потужність  
ПЗУ – пристрій імпульсний запалюючий універсальний  
ПРА – пускорегулюючий апарат  
ПУТ – пристрій управління тиристором  
СД – світлодіод  
СДО – світлодіодний освітлювач  
УФВ – ультрафіолетове випромінювання

## ВСТУП

Сучасне людство неможливо уявити без використання освітлювальних установок, освітлювальні установки створюють необхідні умови освітлення, які забезпечують зорове сприйняття, що надає 90 % інформації, отримуваної людиною із оточуючого середовища. Освітлення створює нормальні умови для роботи та навчання, покращує наш побут.

Правильна організація праці охоплює дотримання норм освітлення. І чим більш точна і відповідальна робота ведеться, тим ці вимоги суворіші. Дотримання норм і правил освітлення особливо актуальне під час виконання робіт, які потребують підвищеної зорової уваги (художні майстерні, складання мікроплат, годинникові майстерні тощо), де їм слід приділяти особливу увагу, оскільки під час роботи йде високе навантаження на зір і від належного освітлення значною мірою залежить якість і виконання роботи.

Без сучасних засобів освітлення неможлива робота шахт, копалень, метрополітену тощо. Джерела світла застосовуються для штучного освітлення виробничих споруд, житлових та громадських приміщень, вулиць, майданів, автострад, тунелів, спортивних будівель, складів, театрів, телестудій, для декоративного освітлення та у світловій рекламі й ін.

Майже всі сучасні джерела світла – електричні. За середньостатистичними даними у розвинених країнах на освітлення виробничих приміщень, житлових і громадських будівель та відкритих зон витрачається 13 – 15 % усієї електроенергії, що виробляється. У зв'язку з цим дуже актуальною стала задача раціонального використання електричної енергії на штучне освітлення.

Низька ефективність старих джерел світла, які не відповідають сучасним нормам, призводить до того, що споживання енергії на освітлення в Україні в 1,7 рази вище, ніж у розвинених країнах. Річ у тім, що у більшості випадків в державі для освітлення у різних галузях економіки найчастіше використовуються малоефективні джерела світла. До того ж, старі конструкції світильників втратили властивості відбивачів і розсіювачів, що в свою чергу погіршує освітленість на 25–40 %. Відомо декілька програм, реалізованих у Європі, Північній і Південній Америці, які спрямовані як на забезпечення енергозберігаючих способів освітлення, так і на збільшення економічності освітлювальних приладів.

Крім того, освітлення робить вагомий внесок у додаткові навантаження на енергосистему в вечірні пікові години, що вимагає додаткових підключень генеруючих потужностей

Аналіз великої кількості проектних рішень та результатів обстежень діючих освітлювальних установок на багатьох підприємствах різних галузей промисловості, а також у вуличному освітленні, проведений

низкою науково-дослідних організацій, показав, що електрична енергія, що витрачається на потреби освітлення, часто використовується нерационально. Досить часто застосовуються неефективні джерела світла, а вибір світильників за світлотехнічними характеристиками, а також їх розміщення не завжди є обґрунтованими. Зустрічаються випадки, коли рекомендовані проектом джерела світла та світильники під час монтажу замінюються на менш економічні.

У навчальному посібнику представлено навчальні матеріали з питань електричного освітлення, властивостей традиційних та сучасних джерел світла, детально розкрито світлотехнічні показники світильників та освітлювальних систем. Значну увагу приділено загальним питанням світлотехніки, а саме: оптичним властивостям тіл, тепловому випромінюванню, люмінесценції, вимірюванню оптичного випромінювання т. ін. Певний інтерес становлять розділи, присвячені джерелам світла та освітлювальним приладам, та розділ, присвячений світлотехнічній частині проектів.

Розглянуто питання проектування освітлювальних систем та їх електропостачання, також велика увага приділена питанню економії електроенергії під час експлуатації систем освітлення.

Видання розраховане на студентів електроенергетичних спеціальностей вищих навчальних закладів, а також інженерно-технічних працівників і спеціалістів у галузі електроенергетики, які займаються проектуванням, експлуатацією, енергозбереженням та енергоефективністю в області електроенергетичних систем.



# 1 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ СВІЛОТЕХНІКИ

## 1.1 Основні світлотехнічні поняття

Будь-яке тіло, що має температуру вище абсолютного нуля, випромінює в навколишній простір променисту енергію, перенесення якої здійснюється електромагнітними хвилями. Особливістю випромінювання є його двоїстість, тобто корпускулярно-хвильовий дуалізм.

З одного боку, випромінювання здійснюється елементарними частинками – фотонами, енергія яких (кванти) визначається з виразу

$$\varepsilon = h \cdot \nu,$$

де  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – постійна Планка;

$\nu$  – частота випромінювання, Гц.

Швидкість поширення фотонів у вакуумі дорівнює швидкості світла  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8$  м/с. З іншого боку, хвильові властивості фотонів характеризуються довжиною хвилі і частотою, довжина хвилі фотона у вакуумі визначається

$$\lambda = \frac{c_0}{\nu}.$$

Електромагнітні хвилі характеризуються широким діапазоном від  $10^{-14}$  м, що відповідає гама-випромінюванню, до  $10^6$  м – випромінювання генераторів змінного струму промислової частоти.

Світлотехніка вивчає оптичні випромінювання, що є електромагнітними хвилями з довжиною приблизно від  $10^{-9}$  м (1 нм) до  $10^{-3}$  м (1 мм) і знаходяться між рентгенівськими променями і радіохвилями (рисунок 1).

Оптичне випромінювання по-різному впливає на об'єкти, особливо на біологічні, тому діапазон оптичного випромінювання ділять ще на три області електромагнітних хвиль: 1–380 нм – ультрафіолетове випромінювання, 380–780 нм – видиме, 780 нм – 1 мм – інфрачервоне випромінювання.

Видиме випромінювання має великий вплив на життя на Землі. Воно дає можливість живим організмам, зокрема людині, бачити й орієнтуватися в просторі. Під дією видимого випромінювання Сонця рослини і водорості виробляють продукти харчування для живих істот. Енергія органічних речовин у надрах Землі – це теж результат дії оптичного випромінювання Сонця протягом мільйонів років.

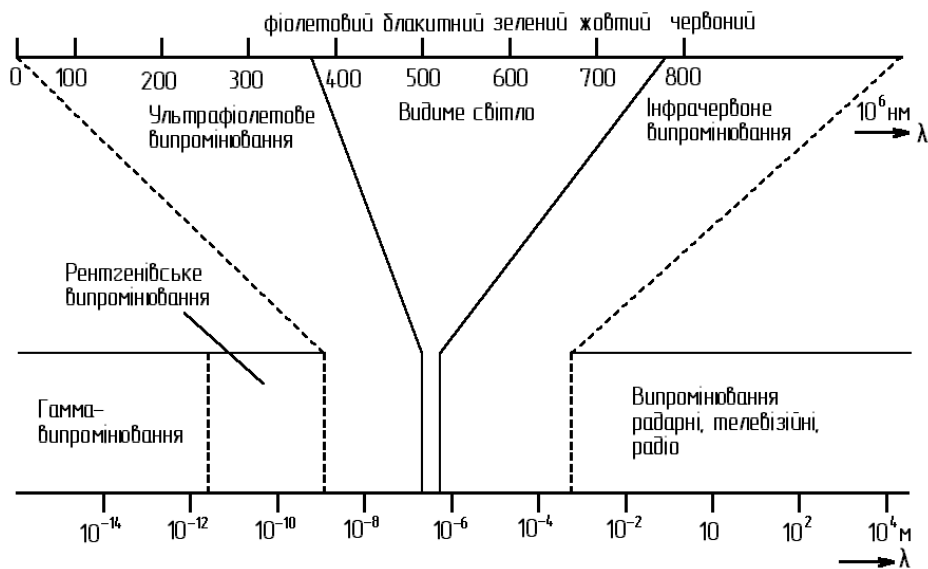


Рисунок 1 – Діапазон електромагнітного і оптичного випромінювання

Спектр сонячного випромінювання являє собою суцільний спектр, у якому всі кольори плавно переходять один в інший. Випромінювання окремого кольору, однієї довжини хвилі, виділене з усього спектра, називається монохроматичним. Взагалі, суцільний спектр – це спектр, у якого монохроматичні складові заповнюють без розривів інтервал довжини хвиль, у межах якого відбувається випромінювання.

Розрізняють також смугастий і лінійчатий спектри. У смугастого спектра монохроматичні складові утворюють окремі групи (смуги), що складаються з множини тісно розташованих ліній. Лінійчатий спектр складається з окремих монохроматичних випромінювань, що мають вільні проміжки між собою.

Лінійчаті спектри випромінювання характерні для розрядних джерел, а суцільні – для джерел теплового випромінювання. Варто мати на увазі, що спектри люмінесцентних речовин, які складаються з нескінченно великого числа монохроматичних випромінювань, що примикають одне до одного, можна розглядати як суцільні спектри.

## 1.2 Енергетичні системи величин

Для оцінки випромінювання встановлені визначені величини, сукупність яких складає енергетичну і світлову систему величин, при цьому енергетичні величини позначаються індексом  $e$ .

Енергія випромінювання  $Q_e$  характеризує випромінювання в цілому, без урахування спектрального складу і вимірюється в джоулях (Дж).

Звичайно в більшості випадків буває необхідно знати не енергію випромінювання, а потужність, що характеризує кількість енергії, що

випромінюється в одиницю часу. Таку потужність випромінювання називають потоком випромінювання  $\Phi_e$ , і вимірюється вона у ватах (Вт)

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt},$$

де  $dQ_e$  – енергія, що випромінюється за час  $dt$ ;

$dt$  – проміжок часу, протягом якого випромінювання може розглядатися як рівномірне.

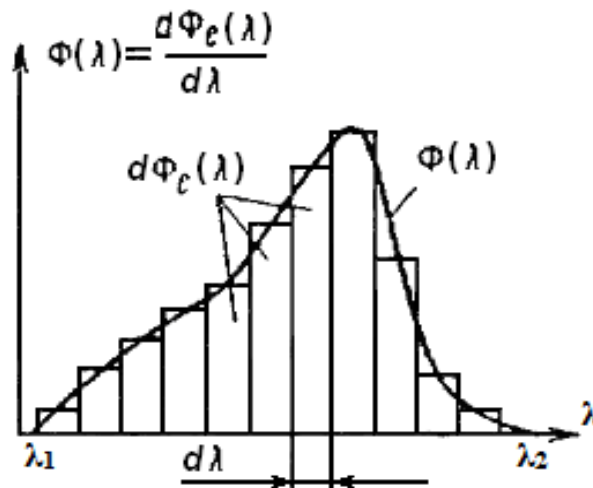


Рисунок 2 – Спектральна густина потоку випромінювання

Для опису розподілу потоку випромінювання в спектрі (рисунок 2) використовують спектральну густина потоку випромінювання  $\Phi(\lambda)$ , що вимірюється у Вт/нм і визначається з виразу

$$\Phi(\lambda) = \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda}.$$

З попереднього виразу випливає, що потік випромінювання зв'язаний із спектральною густиною випромінювання інтегралом

$$\Phi_e = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) \cdot d\lambda.$$

Графічно потік випромінювання являє собою площу, обмежену кривою функції спектральної густини потоку випромінювання  $\Phi(\lambda)$  і віссю довжин хвиль  $\lambda$ .

У багатьох випадках розміри джерела випромінювання значно менші від відстані до опромінюваного об'єкта, для такого джерела вводиться поняття точкового джерела випромінювання.

У дійсності джерело випромінювання має визначену поверхню випромінювання.

**Енергетична світимість** (випромінюваність) поверхні  $M_e$  (Вт/м<sup>2</sup>) характеризується потоком випромінювання з одиниці поверхні випромінювання і визначається виразом

$$M_e = \frac{d\Phi_e}{dS}.$$

**Сила випромінювання**  $I_e$  – це просторова густина потоку випромінювання, що чисельно дорівнює відношенню потоку випромінювання  $d\Phi_e$  до тілесного кута  $d\omega$ , у межах якого потік розподіляється рівномірно

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\omega}.$$

**Тілесний кут** є просторовим кутом із вершиною в центрі сфери, одиницею тілесного кута є стерadian (ср), тобто кут, що вирізає на поверхні сфери площу, яка дорівнює квадрату радіуса сфери. У повній сфері знаходиться  $4\pi$  стерadian. Одиницею виміру сили випромінювання є Вт/ср.

Сила випромінювання характеризується не тільки величиною, але і напрямком, що графічно показано на рисунку 3. Вона зображується вектором, проведеним з теоретичного центру випромінювання  $O$  під кутом  $\alpha$  до оптичної осі джерела  $ON$ . Лінія, що з'єднує кінці векторів сили випромінювання в площині, називається кривою сили випромінювання.

**Енергетична освітленість** (опромінюваність)  $E_e$  (Вт/м<sup>2</sup>) характеризується густиною променистого потоку, що падає на опромінювану поверхню

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dS}.$$

**Енергетична яскравість**  $L_{ea}$  (Вт/(ср·м<sup>2</sup>)) ділянки поверхні випромінювання являє собою відношення сили випромінювання цієї ділянки в даному напрямку до площі її проекції на площину, перпендикулярну даному напрямку

$$L_{ea} = \frac{dI_{ea}}{dS \cdot \cos \alpha},$$

де  $dI_{ea}$  – сила випромінювання з поверхні  $dS$  в напрямку  $\alpha$ .

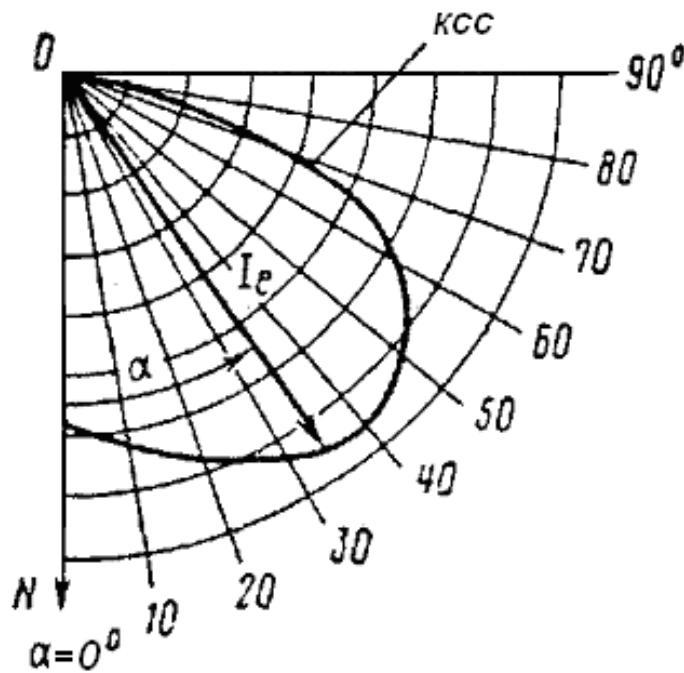


Рисунок 3 – Залежність сили випромінювання від напрямку дії

**Енергетична експозиція**  $H_e$  (Дж/м<sup>2</sup>) характеризується енергією випромінювання, що припадає на одиницю опромінюваної поверхні (кількістю опромінення)

$$H_e = \frac{dQ_e}{dS}$$

### 1.3 Оптичні властивості тіл

Енергія випромінювання, що потрапляє на будь-яке тіло, може відбиватися, пропускатися або поглинатися.

Відбиттям називається повернення випромінювання тілом без зміни складових його довжин хвиль монохроматичних випромінювань. Залежно від внутрішньої структури тіла і стану його поверхні, відбиття може бути спрямованим (дзеркальні поверхні), розсіяним (шорсткі поверхні) і змішаним.

Пропусканням називається проходження випромінювання через тіло без зміни параметрів монохроматичних випромінювань. Пропускання пов'язане з переломленням випромінювання – зміною його напрямку при переході з одного середовища в інше.

Поглинання являє собою перетворення енергії випромінювання в тілі в будь-який інший вид енергії.

Таким чином, потік випромінювання  $\Phi_e$ , що падає на тіло, частково відбивається поверхнею тіла  $\Phi_{ep}$ , частково може проходити через тіло  $\Phi_{et}$ , частина потоку поглинається тілом  $\Phi_{ea}$ .

$$\Phi_e = \Phi_{ep} + \Phi_{et} + \Phi_{ea}.$$

Кожний із складових потоків залежить від спектрального складу випромінювання і фізичних властивостей тіла. Оптичні властивості тіла характеризуються спектральними коефіцієнтами відбиття  $\rho_\lambda$ , пропускання  $\tau_\lambda$  і поглинання  $\alpha_\lambda$ , кожний з яких визначається як

$$\rho_\lambda = \frac{\Phi_{ep\lambda}}{\Phi_{e\lambda}}; \quad \tau_\lambda = \frac{\Phi_{et\lambda}}{\Phi_{e\lambda}}; \quad \alpha_\lambda = \frac{\Phi_{ea\lambda}}{\Phi_{e\lambda}}.$$

Знаючи функції  $\rho(\lambda)$ ,  $\tau(\lambda)$ ,  $\alpha(\lambda)$ , а також функцію спектральної густини потоку випромінювання  $\Phi(\lambda)$ , що падає на тіло, визначаються відповідні інтегральні коефіцієнти

$$\rho_e = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) \cdot d\lambda}; \quad \tau_e = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) \cdot d\lambda}; \quad \alpha_e = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) \cdot \alpha(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) \cdot d\lambda}.$$

Можна зробити висновок, що спектральні коефіцієнти відбиття, пропускання і поглинання для монохроматичного потоку випромінювання та ефективного потоку однієї довжини хвилі мають однакові значення, а сума коефіцієнтів дорівнює одиниці

$$\rho_\lambda + \tau_\lambda + \alpha_\lambda = 1; \quad \rho_e + \tau_e + \alpha_e = 1.$$

#### 1.4 Приймачі енергії випромінювання

Енергія випромінювання, що поширюється в просторі, поглинається різноманітними тілами, які називаються приймачами енергії випромінювання.

**Приймач енергії випромінювання** – це тіло, що ефективно перетворює енергію випромінювання на один із видів енергії (електричну, теплову, біологічну, хімічну та ін.).

Приймачі енергії випромінювання діляться на фізичні і біологічні. До фізичних приймачів належать фотоелементи, люмінофори, фотографічна емульсія та ін. Представниками біологічних приймачів є око, шкіра людини і тварин, зелений листок рослини, тощо.

Не вся поглинена енергія (потік випромінювання) в приймачі перетворюється на корисну енергію. Поглинений потік випромінювання, перетворений приймачем випромінювання в корисну потужність одного з видів енергії, називається ефективним потоком.

Кожен приймач енергії випромінювання характеризується інтегральною  $K_{np}$  і спектральною  $K_{np\lambda}$  чутливістю (ефективністю).

**Інтегральна чутливість приймача** являє собою відношення ефективно перетвореної приймачем енергії  $Q_{e.e\phi}$  до падаючої на приймач енергії  $Q_e$  і визначається виразом

$$K_{np} = \frac{k \cdot Q_{e.e\phi}}{Q_e} = \frac{k \cdot \Phi_{e.e\phi}}{\Phi_e} = \frac{k \cdot \alpha_e \cdot \Phi_{e.e\phi}}{\Phi_{e\alpha}} = k \cdot \alpha_e \cdot \eta_{en},$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності, що залежить від вибраних одиниць величин  $\Phi_{e.e\phi}$  і  $\Phi_e$ ;

$\Phi_{e.e\phi}$  – ефективний потік випромінювання;

$\Phi_e$  – падаючий на приймач потік випромінювання;

$\Phi_{e\alpha}$  – поглинений приймачем потік випромінювання;

$\alpha_e$  – коефіцієнт поглинання приймача;

$\eta_{en}$  – енергетичний вихід перетворення (відношення ефективно перетвореної приймачем енергії до поглиненої).

**Спектральна чутливість приймача**  $K_{np}(\lambda)$  визначається аналогічно з урахуванням монохроматичного випромінювання

$$K_{np}(\lambda) = \frac{k \cdot \Phi_{e.e\phi}}{\Phi_{e\lambda}} = k \cdot \alpha_\lambda \cdot \eta_{en\lambda}.$$

Приймачі випромінювання, з точки зору спектральної чутливості, бувають вибіркковими і не вибіркковими. У вибірккових приймачів спектральна чутливість залежить від довжини хвилі падаючого випромінювання, до них належать око і шкіра людини, фотоелемент, фотоемульсія та ін. Представником невибірккових приймачів є термopара.

З відомою спектральною густиною падаючого потоку випромінювання  $\Phi(\lambda)$  і функції спектральної чутливості приймача  $K_{np}(\lambda)$  **ефективний потік випромінювання** визначається виразом

$$\Phi_{e.e\phi} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) \cdot K_{np}(\lambda) \cdot d\lambda,$$

де  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  – межі ділянки спектра падаючого на приймач потоку випромінювання.

Вхідні величини у вищенаведених виразах дозволяють легко визначити інтегральну чутливість приймача

$$K_{np} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) \cdot K_{np}(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) \cdot d\lambda}.$$

Для зручності проведення вимірів і розрахунків вводиться поняття **відносної спектральної чутливості приймача**  $V_{np}(\lambda)$ , яка є відношенням спектральної чутливості приймача  $K_{np}(\lambda)$  до максимального значення спектральної чутливості цього ж приймача  $(K_{np}(\lambda))_{max}$ .

$$V_{np}(\lambda) = \frac{K_{np}(\lambda)}{(K_{np}(\lambda))_{max}}.$$

З відомим абсолютним значенням  $(K_{np}(\lambda))_{max}$ , функції  $V_{np}(\lambda)$  і  $\Phi(\lambda)$  неважко визначити ефективний потік

$$\Phi_{e.e\phi} = (K_{np}(\lambda))_{max} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) \cdot V_{np}(\lambda) \cdot d\lambda.$$

Для людського ока максимальна спектральна чутливість має місце при  $\lambda = 555$  нм для денного зору і  $\lambda = 507$  нм – для нічного (рисунок 4).

Максимальне значення спектральної чутливості світлоадаптованого стандартного спостерігача Міжнародною комісією з освітлення (МКО) прийнято для монохроматичного випромінювання з  $\lambda = 550$  нм і складає  $(K_{np}(\lambda))_{max} = 680$  люмен на ват (лм/Вт). Люмен являє собою одиницю світлового потоку, 1 лм відповідає світловому потоку, що випромінюється в одиничному тілесному куті точковим джерелом із силою світла 1 кандела (визначення кандели буде дано нижче).

Таким чином, монохроматичний світловий потік  $\Phi_\lambda$  визначається виразом:

$$\Phi_\lambda = (K_{np}(\lambda))_{max} \cdot \Phi_{e\lambda} \cdot V_{np}(\lambda),$$



де  $\Phi_{e\lambda}$  – монохроматичний потік випромінювання;

$V_{np}(\lambda)$  – відносна спектральна чутливість органу зору до монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda$ .

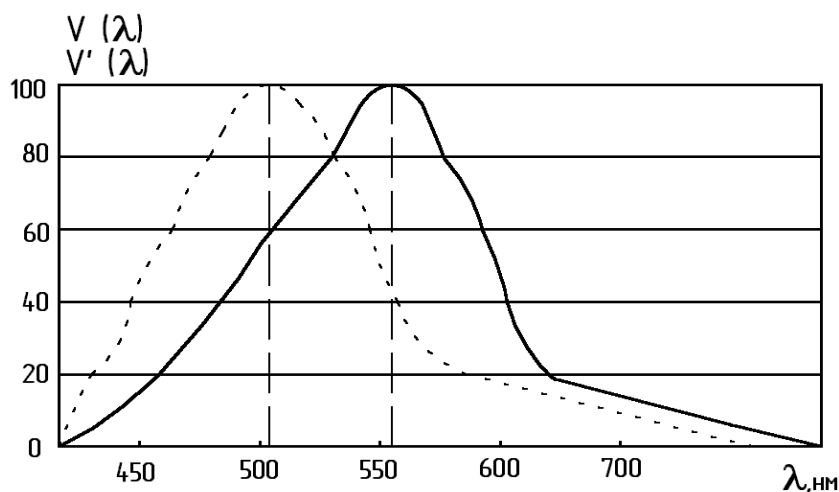


Рисунок 4 – Криві функцій відносної спектральної світлової ефективності монохроматичного випромінювання для денного  $V(\lambda)$  і нічного  $V'(\lambda)$  зору

Перехід від монохроматичного потоку випромінювання до світлового потоку з такою ж довжиною хвилі здійснюється виразом

$$\Phi_{\lambda} = 680 \cdot \Phi_{e\lambda} \cdot V_{np}(\lambda).$$

Перехід до світлового потоку джерела з лінійчастим спектром

$$\Phi = 680 \sum_{i=1}^n \Phi_{e\lambda i} \cdot V_{np}(\lambda)_i,$$

де  $\Phi_{e\lambda i}$  – потік випромінювання  $i$ -тої лінії, Вт;

$n$  – число ліній.

Перехід до світлового потоку джерела із суцільним спектром

$$\Phi = 680 \int_{\lambda_1=380\text{нм}}^{\lambda_2=780\text{нм}} \Phi(\lambda) \cdot V_{np}(\lambda) \cdot d\lambda.$$

## 1.5 Світлова система величин

Основною світловою одиницею в системі СІ є кандела (кд) – сила світла ( $I$ ), випромінювана в перпендикулярному напрямку з поверхні

чорного тіла площею  $1/6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$  при температурі кристалізації платини  $T = 2045 \text{ К}$  і тиску  $101325 \text{ Па}$ .

Допоміжні світлові величини приведені нижче:

<b><math>\Phi</math></b> – світловий потік	ефективний потік випромінювання, визначається спектральною чутливістю ока, одиниця виміру – люмен ( $\text{лм} = \text{кд} \cdot \text{ср}$ );
<b><math>M</math></b> – світимість	густина випромінюваного (відбитого) світлового потоку з площі поверхні випромінюючого (відбиваючого) тіла, одиниця виміру – $\text{лм}/\text{м}^2$ .
<b><math>E</math></b> – освітленість	густина світлового потоку на освітлювальну поверхню, одиниця виміру – люкс ( $\text{лк} = \text{лм}/\text{м}^2$ );
<b><math>Q</math></b> – світлова енергія	добуток світлового потоку на час його дії, одиниця виміру – $\text{лм} \cdot \text{с}$ ;
<b><math>L</math></b> – яскравість	густина сили світла з площі проекції випромінюючого (відбиваючого) тіла в заданому напрямку, одиниця виміру – $\text{кд}/\text{м}^2$ ;
<b><math>H</math></b> – світлова експозиція	світлова енергія, падаюча на одиницю площі, одиниця виміру – $\text{лк} \cdot \text{с}$ .

## 1.6 Теплові випромінювачі

Джерела, свічення яких обумовлено нагріванням, називаються тепловими випромінювачами.

Закони теплового випромінювання встановлені для чорного тіла, тіла, що поглинає все падаюче на нього випромінювання (коефіцієнт поглинання чорного тіла  $\alpha_e = 1$ ). Чим краще тіло поглинає випромінювання, тим більше воно здатне віддати потік випромінювання при нагріванні. Нижче приведені основні закони теплового випромінювання.

**Закон Кірхгофа** відображає залежність між випромінюваністю тіл, нагрітих до однієї температури, і їх коефіцієнтами поглинання

$$M_{e1} / \alpha_{e1} = M_{e2} / \alpha_{e2} = \dots = M_{ec},$$

де  $M_{ec}$  – випромінюваність чорного тіла,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ .

**Закон Стефана-Больцмана** виражає випромінювальну здатність чорного тіла

$$M_{\text{ец}} = \sigma \cdot T^4,$$

де  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  – стала Больцмана, Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>);

$T$  – абсолютна температура, К.

**Закон зміщення Віна** виражає зв'язок між положенням максимуму в спектрі випромінювання чорного тіла і температурою нагрівання

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = C,$$

де  $\lambda_{\text{max}}$  – довжина хвилі, яка відповідає максимуму спектральної густини енергетичної світимості тіла, нм;

$C = 2898 \cdot 10^3$  – стала Віна, нм · К.

Спектри випромінювання чорного тіла при різних температурах наведені на рисунку 5, де заштрихована частина являє собою область видимого випромінювання.

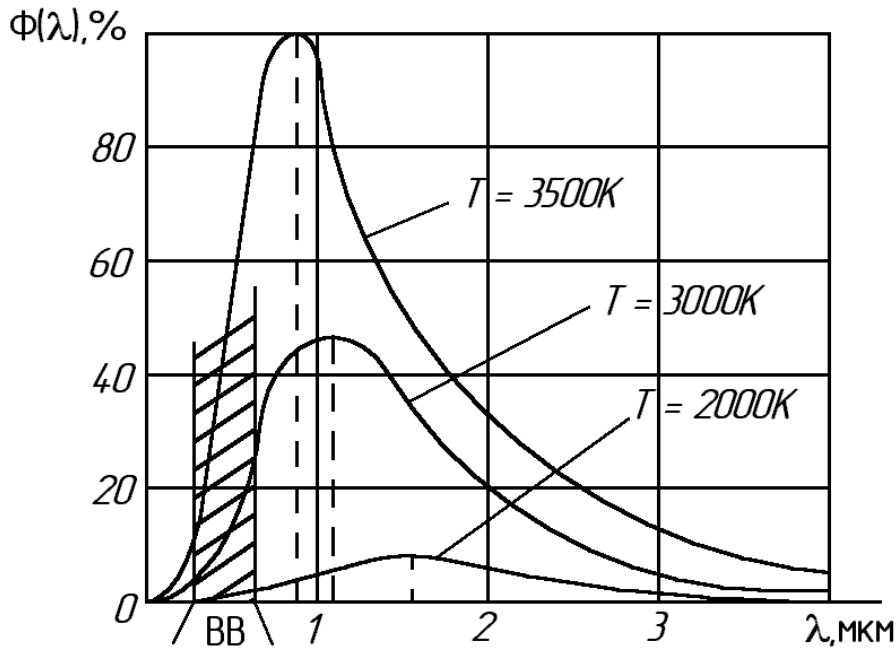


Рисунок 5 – Спектри випромінювання чорного тіла при різних температурах

Світловий ККД випромінювання виражає відношення площі видимої області спектра до площі, обмеженої кривою спектральної густини випромінювання тіла і віссю довжини хвиль. З рисунка 6 видно, що максимальний світловий ККД буде мати місце при температурі біля 6500 К і становить 14,5 %. Світловий ККД деяких теплових випромінювачів залежно від температури наведено в таблиці 1.

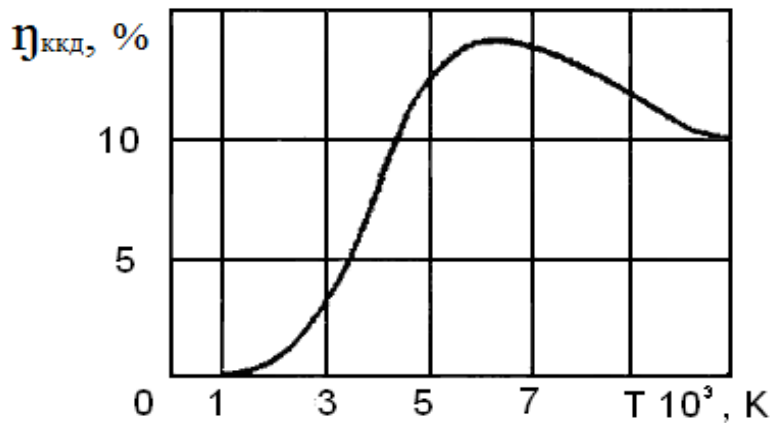


Рисунок 6 – Залежність світлового ККД від температури теплового випромінювача

Таблиця 1 – Світловий ККД теплових випромінювачів

Випромінювач	Температура випромінювача, К	Світловий ККД, %
Полум'я газової лампи	1850	0,04
Вугільна нитка лампи	2135	0,52
Вольфрам при плавленні	3665	8,1
Сонце в zenіті	6000	13,8
Чорний випромінювач	6500	14,5

### 1.7 Люмінесценція

Під люмінесценцією розуміють здатність деяких речовин (люмінофорів) випромінювати енергію, накопичену в межах атома, при переході електронів з більш високих енергетичних рівнів на більш низькі.

В нормальному (незбудженому) стані електрони атома знаходяться на нижніх енергетичних рівнях, характерних для даних атомів. В такому стані атоми можуть знаходитись як завгодно довго. При поглинанні порції енергії, що надходить з-за меж атома, електрони атомів переходять на більш високі енергетичні рівні, при цьому енергетичні рівні не однакові для атомів різних речовин. При поверненні електрона в початковий стан, випромінюється квант енергії.

В залежності від джерела збудження розрізняють електролюмінесценцію, фотолюмінесценцію, радіолюмінесценцію та інші види люмінесценції.

Академік С. І. Вавилов дав визначення люмінесценції: це таке випромінювання, надлишкове над тепловим, тривалість якого дорівнює або більше  $10^{-10}$  с.

До побічних ознак люмінесценції можемо віднести селективність випромінювання, що залежить від властивостей випромінюючої речовини, і некогерентність випромінювання.

В процесі роботи властивості люмінофорів змінюються, в них відбуваються незворотні процеси, результатом яких є зниження яскравості випромінювання, зменшення потоку випромінювання, а іноді і зміна спектрального складу випромінювання.

## 1.8 Вимірювання оптичного випромінювання

**Фотометрія** – це розділ фізичної оптики, присвячений теорії і методам виміру оптичного випромінювання.

Існують два методи світлового вимірювання: суб'єктивний (зоровий), при якому приймачем служить людський орган зору, і об'єктивний (фізичний), де для світлових вимірів використовуються фізичні приймачі.

Зорова фотометрія ґрунтується на здатності ока оцінювати досить точно рівність яскравостей двох полів порівняння.

Фізичні приймачі підрозділяються на фотоелектричні, фотоелектронні, фотохімічні і теплові. Принцип дії фотоелектричних приймачів заснований на внутрішньому фотоефекті (фоторезистори, фотодіоди та ін.), фотоелектронних – на зовнішньому фотоефекті (електронно-оптичні перетворювачі та ін.), фотохімічних – на зміні структури деяких молекул (фотографічні матеріали), теплових – на тепловому ефекті (термоелементи, термопари та ін.).

Вимірювання світлового потоку здійснюється за допомогою кульового фотометра (фотометричної кулі). Сила світла вимірюється за допомогою лінійного і розподільного фотометрів. Вимірювання яскравості в більшості випадків визначається непрямим методом. Вимірювання освітленості здійснюється люксометром.

### Контрольні запитання до розділу 1

1. Які явища вивчає світлотехніка?
2. Якими параметрами оцінюють енергетичну величину оптичного випромінювання?
3. Що являє собою чутливість приймача?
4. Якими параметрами оцінюють світлові характеристики оптичного випромінювання?
5. Які основні закони теплового випромінювання?
6. Як залежить світловий ККД від температури теплового випромінювача?
7. Що називають люмінесценцією?

## 2 ДЖЕРЕЛА СВІТЛА

### 2.1 Основні показники джерел світла

**Штучним джерелом** світла називається прилад, що перетворює який-небудь вид енергії в світлове випромінювання.

В сучасних електричних джерелах світла електрична енергія перетворюється на світлове випромінювання трьома шляхами: шляхом нагрівання тіла електричним струмом, електричним розрядом в газах та парах металів і пропусканням електричного струму через напівпровідники. Перші джерела отримали назву теплових, другі – розрядних, треті – світлодіодних.

Класифікація джерел світла представлена в таблиці 2.

Для характеристики джерел світла використовують наступні показники:

#### 1) енергетичні:

– енергетичний ККД лампи  $\eta_{ен.л} = \frac{\Phi_{е.л}}{P_l}$ ,

де  $\Phi_{е.л}$  – повний потік випромінювання лампи, Вт;

$P_l$  – потужність лампи, Вт;

– ефективний ККД лампи  $\eta_{еф.л} = \frac{\Phi_{еф.л}}{P_l}$ ;

– ефективний ККД потоку випромінювання лампи  $\eta_{еф.п} = \frac{\Phi_{еф.л}}{\Phi_{е.л}}$ .

Усі перелічені вище показники джерела випромінювання взаємопов'язані:  $\eta_{еф.л} = \eta_{еф.п} \cdot \eta_{ен.л}$ ;

– світловіддача лампи (лм/Вт)  $H = \frac{\Phi}{P_l}$ ;

#### 2) світлотехнічні:

– спектральний склад випромінювання лампи  $\Phi(\lambda)$ ;

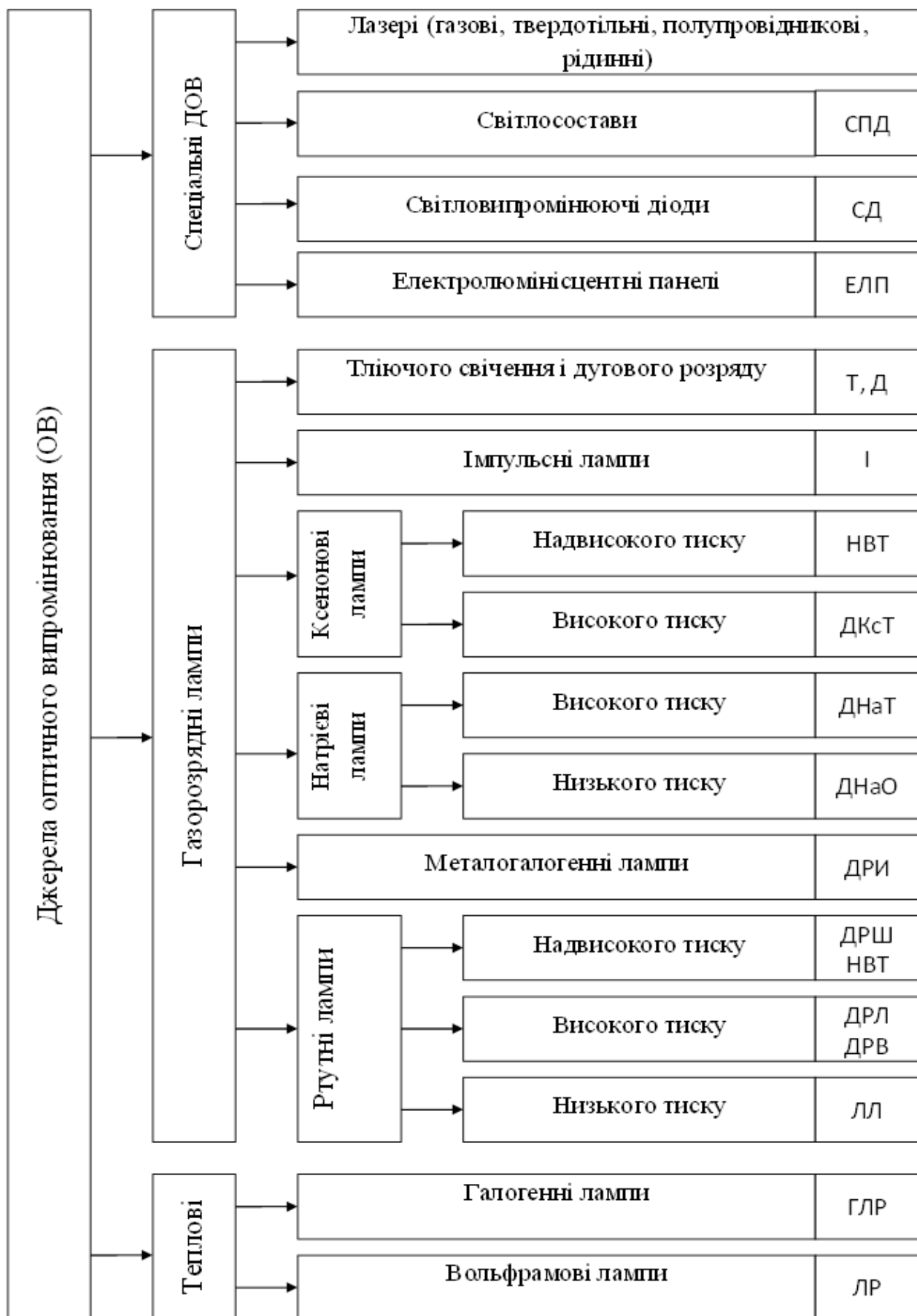
– світловий (ефективний) потік випромінювання лампи  $\Phi$ , лм;

– пульсація світлового потоку – зміна світлового потоку в часі при живленні лампи змінним струмом;

– колірна температура  $T_{кт}$  – температура чорного тіла, при якій її випромінювання має таку ж кольоровість, як і випромінювання, що розглядається;

– передача кольору – характеризує вплив спектрального складу випромінювання джерела на зорове сприйняття кольорових об'єктів в порівнянні з сприйняттям при освітленні опорним джерелом;

Таблиця 2 – Класифікація джерел світла



### 3) *електричні:*

- номінальна (активна) потужність лампи  $P_l$ , Вт;
- номінальна напруга лампи  $U_{ном}$ , В;
- коефіцієнт потужності лампи  $\cos\varphi$ ;
- реактивна потужність лампи  $Q_l$ , вар;
- спосіб запалювання лампи;

### 4) *експлуатаційні:*

- корисний термін служби лампи – середня тривалість роботи до моменту зміни одного з її параметрів до величини, що більша за граничні, встановлені стандартом;
- повний термін служби лампи – час роботи лампи до виходу її з ладу;
- залежність основних параметрів лампи від відхилень напруги;
- старіння лампи – погіршення світлотехнічних показників лампи в процесі її експлуатації;
- періодичність чищення ламп;
- періодичність заміни ламп.

## 2.2 Лампи розжарювання

**Лампи розжарювання (ЛР)**, конструкція яких представлена на рисунку 7, є представниками теплових джерел світла і знаходять широке застосування в побуті і різних галузях промисловості. До переваг ламп розжарювання варто віднести: простоту конструкції, дешевизну, відсутність миготіння, відсутність пускорегулюючих пристроїв, гарну передачу кольору, єдине електричне джерело світла напругою 12 – 36 В. До недоліків ламп слід віднести низьку світловіддачу, малий термін служби, високу чутливість до зміни напруги.

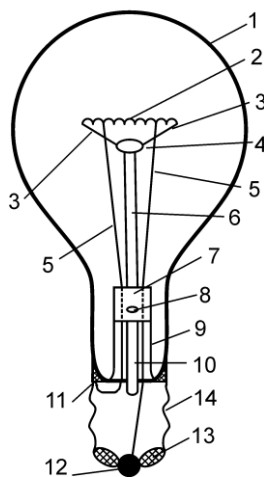


Рисунок 7 – Лампа розжарювання загального використання:

- 1 – скляна колба; 2 – тіло розжарювання; 3 – молібденові крючки; 4 – лінзочка;
- 5 – електроди; 6 – скляний стержень; 7 – лопатка; 8 – отвір; 9 – скляний циліндр;
- 10 – відкачна трубка; 11 – цоколь; 12 – шайба; 13 – скломаса; 14 – різьба



Лампи розжарювання характеризуються простотою експлуатації і відсутністю спеціального пристрою для їх включення в електричну мережу.

Сучасна освітлювальна лампа розжарювання (рисунок 7) складається з таких конструктивних деталей:

1. Скляна колба. У вакуумних лампах тиск залишкових газів у колбі після відкачки складає  $10^{-5}$ – $10^{-7}$  мм рт. ст. У газорозжарювальних лампах після відкачування колба заповнюється сумішшю інертних газів, тиск яких у холодній лампі  $p \approx 600$  мм рт. ст. Скло колби лампи розжарювання повинно мати постійний коефіцієнт розширення, безкольоровість і стійку прозорість; високу міцність (колба повинна витримувати легкі удари, струси, вітрове навантаження). Температура розм'якшення скла мусить знаходитися в межах  $400 - 500$  °С. Скло має бути термостійким і витримувати різкі коливання температури.

2. Тіло розжарювання, виконане з вольфрамового дроту, звитого спіраллю або біспіраллю. У сучасних лампах тіло розжарювання робиться тільки з вольфраму – тугоплавкого металу, що має значну формостійкість при високих температурах.

3. Молибденові кріючки, що надають певну форму тілу розжарювання і підтримують її протягом всього строку служби.

4. Електроди, які передають напругу на тіло розжарювання.

5. Скляний стержень (штабник), у верхній частині якого є потовщення, так звана лінзочка, куди впаюють кріючки.

6. Порожній скляний циліндр з розгорнутою нижньою (тарілка) і опресованою верхньою частиною, так званою лопаткою, в якій з'єднані штабик, електроди і відкачна трубка (штенгель). У лопатці продувається отвір, через який проводиться відкачування повітря з лампи. Штабник з кріючками, тарілка, електроди з тілом розжарювання і штенгель, зібрані разом, складають ніжку лампи.

7. Цоколь, який складається з металевого стакану з різьбою (латунь або оцинкована сталь), до якого припаяний один із електродів. Другий електрод припаюється до латунної контактної шайби, скріпленої із стаканом цоколя за допомогою скломаси, що служить ізоляцією. Цоколь спеціальною мастикою з'єднується з колбою лампи. Останнім часом у деяких типах ламп цоколь опресовується на колбі [10].

Лампи мають вольфрамову спіраль і бувають вакуумними (тип В) і газонаповненими (типи Г, Б, БК). Лампи типів Г (моноспіральна) і Б (біспіральна) наповнюються аргоном з додаванням 12–16 % азоту, лампи БК мають криптонове наповнення. Діапазон потужностей ламп 15 – 1500 Вт, напруга 127 і 220 В, світловіддача 7 – 19 лм/Вт, номінальний термін служби 1000 годин.

**Галогенні лампи розжарювання** типу ГЛР на стінках лампи утворюють галогеноїди вольфраму (на базі бромистого метилу чи метилену), що, випаровуючись, розкладаються поблизу тіла розжарення і повертають йому атоми вольфраму. Мають потужність до 1 – 5 кВт, світловіддачу 22 лм/Вт, термін служби 2000 – 3500 годин.

Лампи розжарювання дуже чутливі до зміни напруги живильної мережі. Зміни основних параметрів ламп розжарювання у відсотках номінального значення при зміні напруги на  $\pm 1\%$  (у межах  $\pm 20\% U_{ном}$ ) приблизно наступні: струм –  $\pm 0,5\%$ , потужність –  $\pm 1,5\%$ , світловий потік –  $\pm 3,5\%$ , світлова віддача –  $\pm 1,8\%$ , термін служби –  $\mp 13,0\%$ .

Лампи розжарювання використовуються для побутового, місцевого, аварійного освітлення в приміщеннях з невеликим річним числом годин використання і є єдиним джерелом світла на напругу 12 – 36 В.

### 2.3 Газорозрядні лампи

**Газорозрядна лампа (ГЛ)** – це таке джерело світла, в якому оптичне випромінювання виникає в результаті електричного розряду в газах, парах або їх сумішах.

Характерною особливістю ГЛ, в порівнянні з лампою розжарювання (ЛР), є висока світловіддача, значний термін служби, різноманітний спектр випромінювання і широкий діапазон потужностей.

Всі ГЛ, які використовуються для освітлення, умовно можна розділити на кілька підгруп (конструкція ламп представлена на рисунку 8):

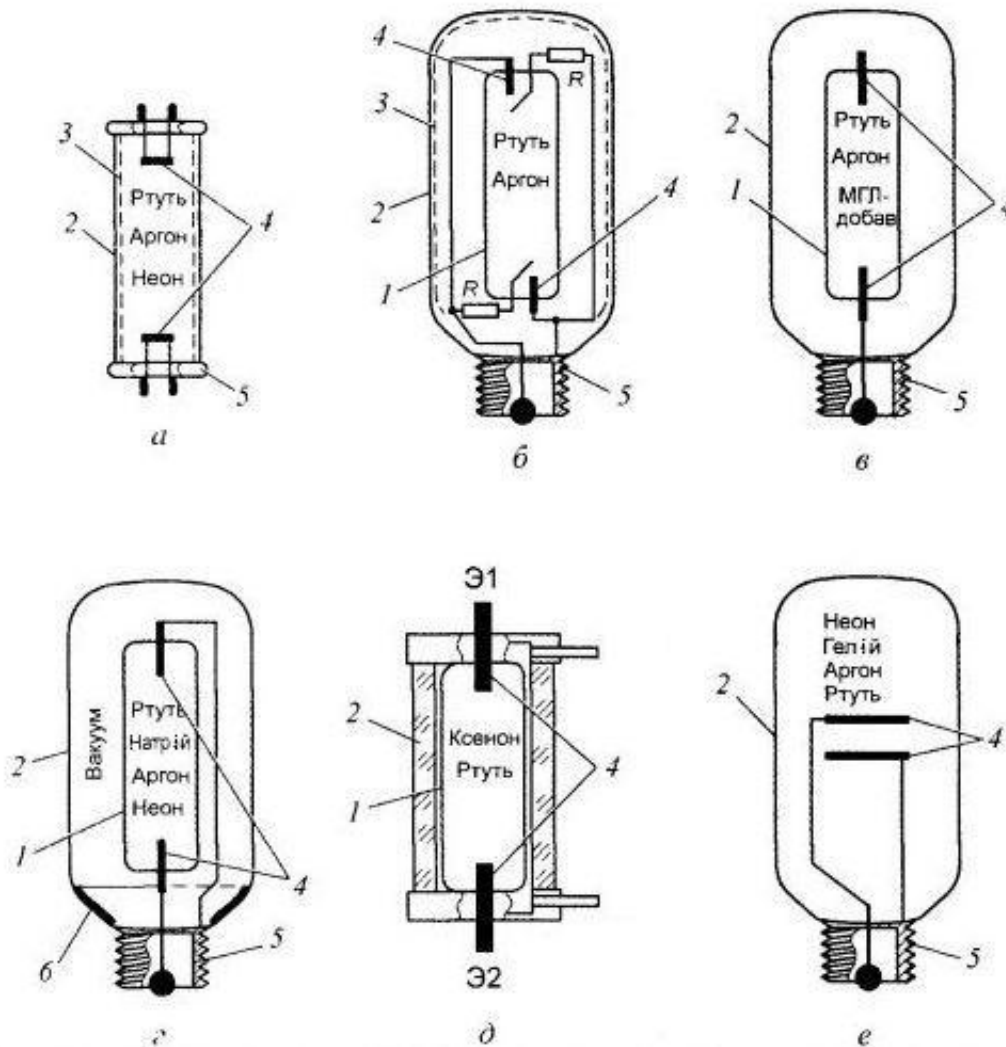
- ртутні лампи низького тиску (до 1,04 Па) – типу ЛЛ і високого тиску 0,3–0,5 МПа – типу ДРЛ з виправленою кольоровістю (для штучного внутрішнього – ЛЛ і зовнішнього – ДРЛ освітлення);
- металогалогенні – типу ДРИ (для загального освітлення спортивних споруд, виставок, кольорових кінозйомок і т. п.);
- натрієві низького і високого тиску – типу ДНаТ (для зовнішнього освітлення і великих внутрішніх площ);
- ксенонові – типу ДКсТ (для освітлення великих відкритих просторів, архітектурних споруд і теплиць);
- тліючого світіння – типу ТН і дугового розряду – типу ДНеСГ (для індикації і сигналізації) [11].

Переваги ГЛ:

- висока світловіддача (від 60 до 100 лм / Вт);
- значний термін служби (від 10 до 15 тис. годин);
- різний спектр світла: ультрафіолетовий (УФ); видимий; інфрачервоний (ІЧ).

## Недоліки:

- складне включення в мережу. Для запалювання необхідна висока напруга. Для стійкого горіння в ланцюг кожної лампи вмикається баласт, що обмежує струм розряду;
- залежність характеристик від теплового режиму, тому що температура визначає тиск парів робочої речовини. Нормальний режим встановлюється після закінчення деякого часу після включення;
- пульсація світлового потоку.



**Рисунок 8 – Принципові схеми конструкцій ГЛ**

*а* – ЛЛ; *б* – ДРЛ; *в* – ДРИ (МГЛ); *г* – ДНаТ; *д* – ДКсТ; *е* – ТН

1 – розрядна трубка (пальник) з прозорого кварцевого скла, стійкого до дії високих температур і наповнювачів;

2 – колба прозора (для ДКсТВ – циліндр з фланцями і патрубками для охолоджуючої води, яка подається в зазор) з вольфрамового скла;

3 – люмінофор, нанесений на стінки колби;

4 – електроди з тугоплавкого металу (вольфрам, ніобій і т.п.), активовані;

5 – цоколь (різьбовий Е27 або Е40, штирьовий та ін.);

6 – газопоглинач барієвий для підтримки вакууму

### 2.3.1 Ртутні лампи

Найбільше застосування для оптичного випромінювання отримали ртутні лампи низького тиску (типу ЛЛ) і високого тиску (типу ДРЛ).

ГЛНТ (ЛЛ) – це протяжні люмінесцентні лампи низького тиску, в яких невидиме УФ випромінювання ртутного розряду перетворюється люмінофором у видиме.

По виду розряду різняться:

- ЛЛ дугового розряду з гарячими електродами, з попереднім підігрівом;
- ЛЛ тліючого розряду з холодними електродами, без попереднього підігріву.

У залежності від способу запалювання ЛЛ можуть бути стартерного, швидкого або миттєвого запалювання.

Освітлювальні ЛЛ загального призначення, зазвичай, дугового розряду стартерного запалювання, в прямій колбі для мереж з напругою 220 В.

Принцип дії заснований на перетворенні ультрафіолетового випромінювання (УФВ), отриманого при розряді в парах ртуті, у видиме за допомогою люмінофора при тиску до 10 Па.

Включають люмінесцентну лампу в електричну мережу тільки послідовно з баластовим резистором, що обмежує зростання струму в лампі, і таким чином оберігає її від руйнування. У мережах змінного струму в якості баластного резистора застосовують конденсатор або котушку з великим індуктивним опором – дросель (рисунок 9).

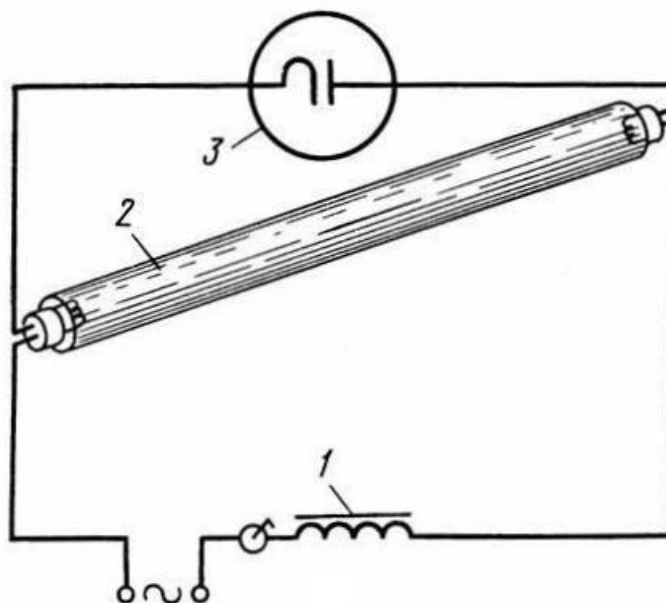


Рисунок 9 – Стартерне запалювання люмінесцентної лампи  
1 – дросель, 2 – лампа, 3 – стартер

Запалювання люмінесцентної лампи відбувається наступним чином. При включенні лампи між електродами виникає тліючий розряд, тепло якого нагріває рухливий біметалічний електрод. При нагріванні до певної температури рухливий електрод стартера, згинаючись, замикається з нерухомим, утворюючи електричний ланцюг, по якому протікає струм, необхідний для попереднього підігріву електродів лампи. Підігріваючись, електроди починають випускати електрони. Під час протікання струму в ланцюзі електродів лампи розряд в стартері припиняється, в результаті температура рухливого електрода стартера зменшується і, розгинаючись, повертається у вихідне положення, розриваючи електричний ланцюг лампи. При розриві до напруги мережі додається ЕРС самоіндукції дроселя і імпульс підвищеної напруги, що виникає в дроселі, викликає дуговий розряд у лампі і її запалювання. З виникненням дугового розряду напруга на електродах лампи і паралельно з'єднаних з ними електродах стартера знижується на стільки, що виявляється недостатньою для виникнення тліючого розряду між електродами стартера. Якщо запалювання лампи не відбудеться, то на електродах стартера з'явиться повна напруга мережі і весь процес повториться.

До переваг люмінесцентних ламп відносяться: відносна простота, значний діапазон з погляду передачі кольору, відносно висока світловіддача, значний термін служби. До недоліків можна віднести: миготіння лампи, наявність пускорегулюючої апаратури (ПРА), малий діапазон потужностей, чутливість до зниження напруги, обмежений температурний діапазон роботи, старіння лампи.

Трубчасті люмінесцентні лампи низького тиску з дуговим розрядом у парах ртуті по кольоровості випромінювання поділяються на білого світла (ЛБ, колірна температура 3500 К), тепло-білого кольору (ЛТБ, 2700 К), холодно-білого кольору (ЛХБ, 4850 К), денного світла (ЛД, 6500 К) і лампи денного світла з виправленою кольоровістю (ЛДЦ).

При включенні ламп у мережу змінного струму коефіцієнт пульсації всіх типів ламп складає 24 % (крім ламп ЛДЦ – 41 %). Нормальна робота ламп регламентується при температурному режимі від 5 до 40 °С. При зниженні живильної напруги на 10 % лампа не запалюється, при зменшенні напруги на 20 % запалена лампа тухне, при підвищеній вологості підвищується напруга запалювання лампи.

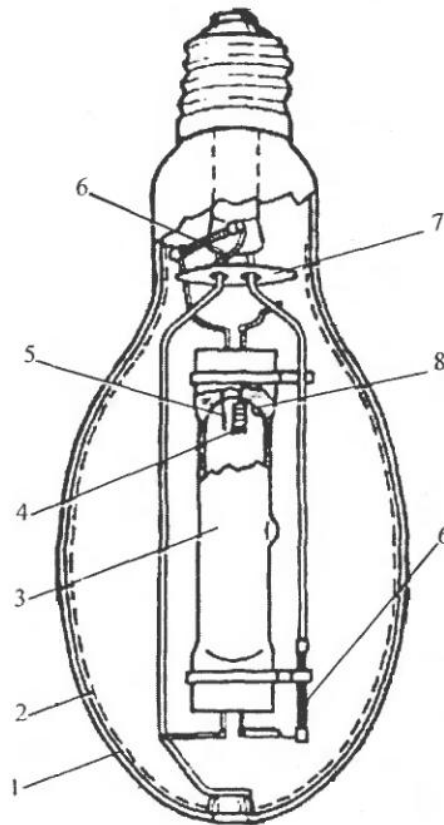
Потужність ламп 4 – 150 Вт, світловіддача 75 – 80 лм/Вт, термін служби до 12000 – 25000 годин, але до кінця цього терміну світловий потік ламп знижується до 60 % від початкового.

Принципова схема пристрою представлена на рисунку 8, а.

**ГЛВТ (типу ДРЛ)** – це дугові ртутні люмінесцентні лампи високого тиску овальної форми, в яких невидиме УФ випромінювання ртутного розряду перетворюється на видиме люмінофором.

Ртутні кварцеві лампи високого тиску, конструкція яких представлена на рисунку 10, заповнені аргоном, мають малі габарити і високий тиск (0,3 – 0,5 МПа), що дозволяє підвищити температуру розрядної трубки до 700 – 750 °С. Збільшення питомого навантаження, в порівнянні з люмінесцентною, дозволяє підвищити яскравість лампи в 10 разів.

До переваг ртутних ламп високого тиску, крім високої яскравості, можна віднести: великий діапазон потужностей, високу світловіддачу, значний термін служби, нормальну роботу при низьких температурах. До недоліків ламп можна віднести відносно високу вартість, миготіння лампи, наявність ПРА, чутливість до зниження напруги, погану передачу кольору.



**Рисунок 10 – Ртутна лампа високого тиску**

1 – зовнішня колба скляна, 2 – шар люмінофора, 3 – розрядна трубка із кварцевого скла, 4 – робочий електрод, 5 – запалюючий електрод, 6 – обмежувальні резистори в ланцюзі запалюючого електрода; 7 – екран, 8 – ртуть

Лампи запалюються і горять при зниженні температури до мінус 25 °С, процес розпалювання ламп триває 5 – 7 хвилин, при раптовій перерві живлення лампи гаснуть і починають знову розпалюватися тільки

після охолодження протягом приблизно 10 хвилин. При відхиленні напруги мережі  $\Delta U_m$  в межах  $\pm(10-15)\%$  номінального значення зміна світлового потоку  $\Phi_l$  і потужності  $P_l$  виражаються співвідношеннями

$$\frac{\Delta \Phi_l}{\Phi_l} \approx \frac{2,5 \Delta U_m}{U_{ном}} \quad \text{і} \quad \frac{\Delta P_l}{P_l} \approx \frac{2 \Delta U_m}{U_{ном}}.$$

Для полегшення запалювання більшість ламп мають, крім двох основних електродів, ще допоміжні.

Коефіцієнт пульсації світлового потоку ламп 63 – 74 %, діапазон потужностей 400 – 2000 Вт на напругу 220 і 380 В, світловіддача ламп 50 – 70 лм/Вт. Середня тривалість горіння ламп складає 10 тисяч годин.

Лампи, в основному, використовуються для зовнішнього освітлення і освітлення приміщень із висотою стель понад 4 м на промислових підприємствах, де відсутні вимоги правильної передачі кольору.

Принципова схема конструкції також представлена на рисунку 8, б.

### 2.3.2 Компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ)

КЛЛ призначена для заміни ламп розжарювання потужністю 40, 65, 75 і 100 Вт в освітлювальних установках загального освітлення.

Конструкція КЛЛ показана на рисунку 11.

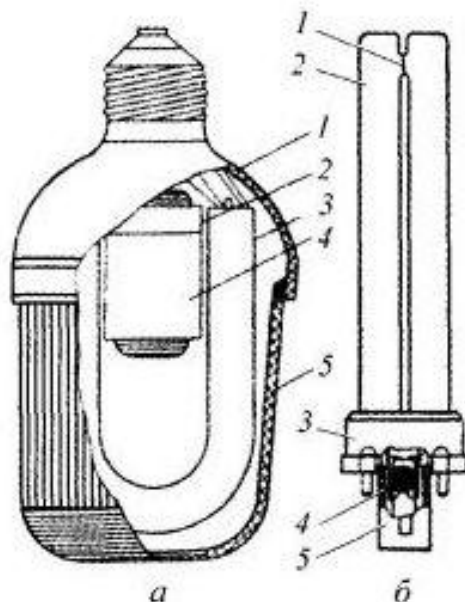


Рисунок 11 – Конструктивне виконання світильника (а) і лампи (б):

а: 1 – пластмасовий корпус з цоколем E27; 2 – плата кріпильна (стартер та ін.);

3 – розрядна трубка U-подібна; 4 – електромагнітний ПРА;

5 – ковпак світлорозсіювальний.

б: 1 – перемичка між двома розрядними трубками; 2 – розрядна трубка U-подібна; 3 – ковпачок металевий; 4 – стартер з конденсатором в цоколі; 5 – цоколь G23

Розрядна трубка: діаметр – 10 мм. Заповнена аргонно-ртутною сумішшю при тиску – 400 Па (3 мм рт. ст.). Розрядний струм – 0,1...0,25 А. Оптимальний тиск парів ртуті і максимальний світловий потік  $\Phi_{max}$  при температурі 43...45 °С.

Переваги КЛЛ: висока світловіддача і значний термін служби, енергоекономічність (одна лампа за свій термін служби економить близько 300 кВт·год електроенергії), простота в експлуатації.

Особливості експлуатації:

1) час запалювання КЛЛ в межах 10 с. Протягом 1 хв. світловий потік лампи досягає 65 % номінального значення. У наступні 8 – 10 хв. горіння лампи він досягає максимуму;

2) спад світлового потоку до кінця терміну служби складає не більше 30 %;

3) оскільки елементи лампи розташовані в замкненому об'ємі, то температура досягає, при її роботі «цоколем вгору»:

80 – 90 °С – в зоні цоколя,

50 – 55 °С – в нижній частині світлорозсіювального ковпака.

Це несприятливо відбивається на роботі її елементів, тому в корпусі й ковпаку передбачені вентиляційні отвори;

4) матеріал ковпака (полікарбонат) термостійкий в широкому діапазоні робочих температур;

5) радіоперешкоди і пульсація світлового потоку не перевищують норми;

6) відсутня можливість включення на підвищену частоту через використання електромагнітних ПРА.

Хоча КЛЛ мають такі важливі переваги, як значна світловіддача (50 лм/Вт) та термін служби (5000 год), до повної заміни ЛР вони не готові з огляду на чисельні недоліки: мають більші розміри, ніж ЛР; мала яскравість світлого тіла, що робить їх придатними тільки для дифузного, не направлено освітлення; гірше перенесення кольорів, ніж у ЛР; немає можливості щодо регулювання світла затемненням; значна вартість.

### **2.3.3 Безелектродні компактні люмінесцентні лампи (БКЛЛ)**

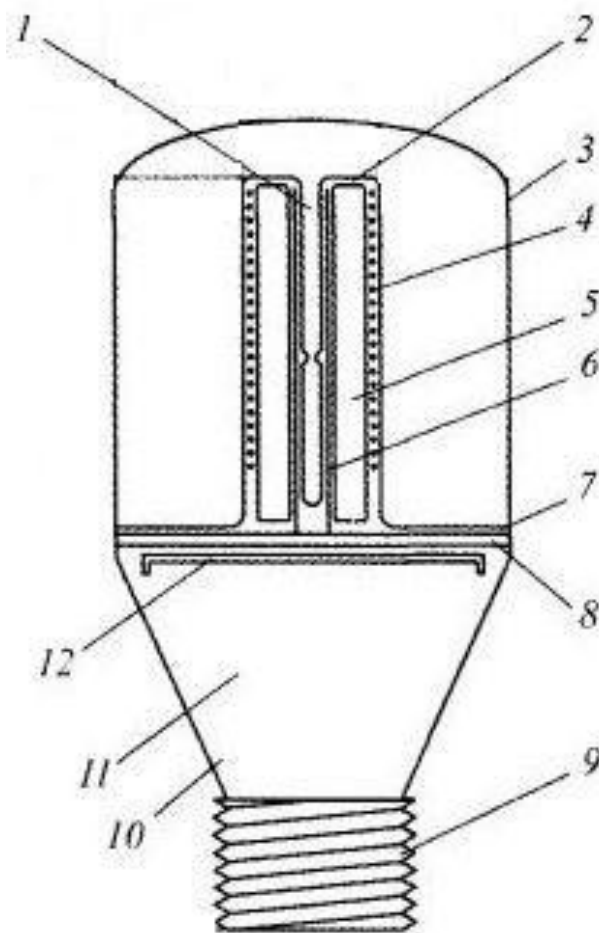
На початку 90-х років на заміну малоефективних ЛР була розроблена БКЛЛ з частотою збудження 2,65 МГц (торгова марка «Genura»).

Світловіддача відносно низька – 48 лм/Вт, а термін служби – 15 тис. год. – дещо більший, ніж у сучасної КЛЛ (10 тис. год.). Термін служби обмежений надійністю ПРА, розташованого в цоколі лампи і має при частоті 2,65 МГц відносно низький ККД (0,9). Зниження робочої частоти до 100 – 170 кГц підвищує світловіддачу і ККД ПРА до 0,92 –



0,94. Крім того, при зниженій частоті зменшуються електромагнітні перешкоди, створювані котушкою і плазмою розряду.

Конструкція БКЛЛ представлена на рисунку 12. Поверхня колби і порожнини на стороні розряду покриті захисним люмінофором. Між захисним покриттям і люмінофором нанесений тонкий шар відбиваючої світло суміші (діоксид алюмінію).



**Рисунок 12 – Конструкція БКЛЛ із частотою збудження 100..200 кГц:**

1 – штангель; 2 – порожнина; 3 – колба; 4 – котушка індуктивності; 5 – феритове осердя;  
6 – охолоджуючий циліндр; 7 – феритовий диск; 8 – охолоджуючий диск;  
9 – цоколь; 10 – база; 11 – ПРА (не зображено); 12 – ізолюючий диск

Збуджуючий контур розташований в порожнині колби і складається з наступних елементів:

1) котушка індуктивності (4) з 60 витків з низьким опором на частоті 50...0,400 кГц;

2) порожнє феритове осердя (5), зовнішній діаметр – 15 мм, внутрішній – 9 мм, висота – 50 мм. Матеріал осердя має малі втрати на частоті 100...300 кГц при магнітної індукції 0,08 – 0,2 Тл, що відповідає умовам запалювання і горіння лампи;

3) феритовий диск (7) розташований на дні колби і утворює магнітне коло з осердям, що збільшує індуктивність збуджуючого контуру і водночас «відводить» магнітне поле від цоколя (9) лампи, де розташований ПРА (11). Це дозволяє зменшити магнітні наведення на елементах ПРА, чутливих до магнітного поля.

Для охолодження феритового осердя (5) і котушки індуктивності (4) призначений контур, що складається з наступних елементів:

а) охолоджуючий порожнистий мідний циліндр (6), розташований коаксиально між осердям (5) і штангелем (1);

б) охолоджуючий диск (8), з'єднаний з металевою частиною цоколя (9), що передає у світильник тепло, що відводиться мідним циліндром від осердя котушки і стінок порожнини.

### **2.3.4 Металогалогенні лампи (ДРИ)**

Металогалогенна лампа, конструкція якої представлена на рисунку 13, являє собою ртутну лампу високого тиску, у колбу якої вводяться добавки у вигляді галогеноїдів різних металів. Галогеноїди металів випаровуються легше ніж метали, що дозволяє широко варіювати спектральний розподіл випромінювання і збільшити світловіддачу в порівнянні з лампами ДРЛ.

До переваг металогалогенних ламп можна віднести: високий рівень передач кольору, високу світловіддачу, відсутність люмінофорного покриття, широкий діапазон потужностей, значний термін служби. До недоліків ламп відносять: миготіння лампи, наявність ПРА, залежність світлового потоку від положення лампи, відносно високу вартість.

Лампа типу ДРИ (дугова ртутна з випромінюючими добавками) за конструкцією подібна до ламп ДРЛ, однак не має люмінофорного покриття і додаткових електродів, які її підпалюють. Запалювання лампи відбувається при імпульсній напрузі 2–6 кВ, розпалюються лампи трохи швидше, ніж лампи ДРЛ. Спектр випромінювання ламп забезпечує високу якість передачі кольору, вищий світловий ККД в порівнянні з лампами ДРЛ.

Коефіцієнт пульсації ламп типу ДРИ складає 20 – 30 %, світловіддача 70–95 лм/Вт. При горизонтальному розміщенні ламп їхній світловий потік на 15 – 18 % нижче, ніж при вертикальному. Діапазон потужностей 250 – 3500 Вт, лампи потужністю 2000 Вт і більше включаються на напругу 380 В. Термін служби ламп 5000 – 10000 годин, кращі зразки закордонних фірм до 20000 годин.

Принципова схема конструкції лампи також представлена на рисунку 8, в.

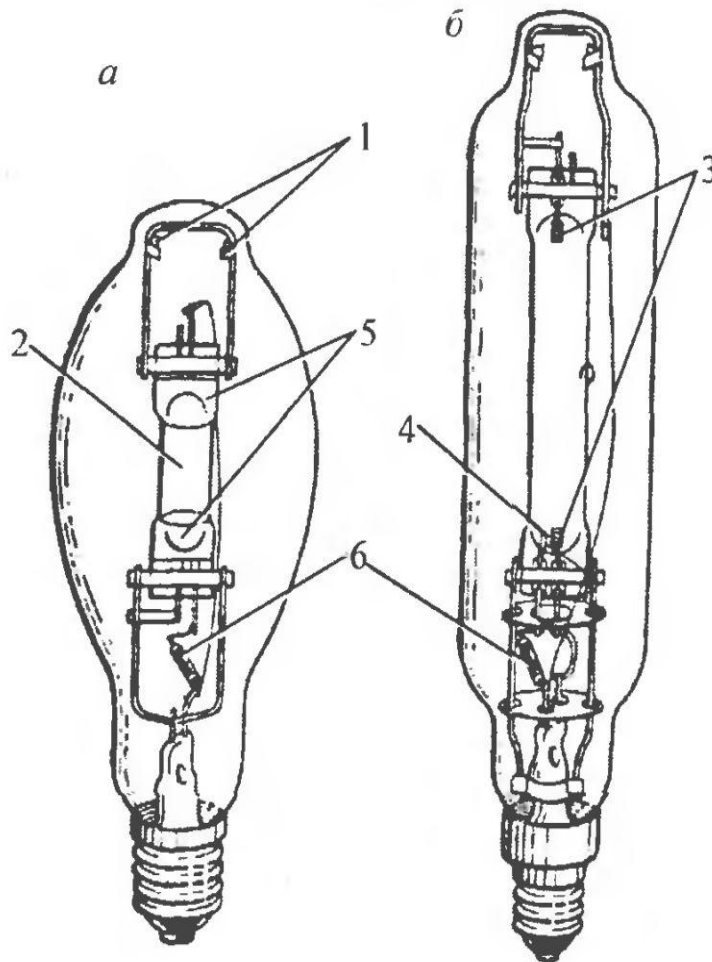


Рисунок 13 – Загальний вигляд металогалогенних ламп:

*a* – лампа 400 Вт в еліпсоїдальній прозорій колбі;

*б* – лампа 2000 Вт в циліндричній прозорій колбі;

1 – пружні розпірки; 2 – розрядна трубка; 3 – основні електроди;

4 – запалюючий електрод; 5 – утеплювальне покриття;

6 – обмежувальний термостійкий опір

### 2.3.5 Натрієві лампи

Це одне із найефективніших джерел видимого випромінювання: найвища світловіддача в групі ГЛ і незначне зниження світлового потоку при тривалому терміні служби.

У натрієвих лампах, конструкція яких представлена на рисунку 14, використовується резонансне випромінювання ліній 589 і 589,6 нм, що забезпечує їм високу світловіддачу. Перевагами ламп, крім найвищої світловіддачі, є висока стабільність світлового потоку, незалежність світлового потоку від відхилень напруги, відсутність люмінофорного покриття, високий термін служби. До недоліків ламп відносять їх найнижчу з усіх ламп передачу кольору, високий коефіцієнт пульсації, наявність ПРА.

Натрієві джерела світла бувають двох видів: низького тиску (НЛНТ) і високого (НЛВТ).

У натрієвих лампах низького тиску (0,2 – 1,2 Па) розряд протікає в парах інертних газів і парах натрію. Електроди оксидні, спіральні. Напруга запалювання – 500 В, час розгоряння – 15 хв., пульсація світлового потоку майже 100 %, нечутливість до температури навколишнього середовища. Жовте монохроматичне світло забезпечує хорошу видимість при низьких рівнях освітленості, в тумані. Лампи використовуються для освітлення автострад, тунелів, площадок товарних станцій і т. ін. Світловіддача ламп складає до 180 лм/Вт.

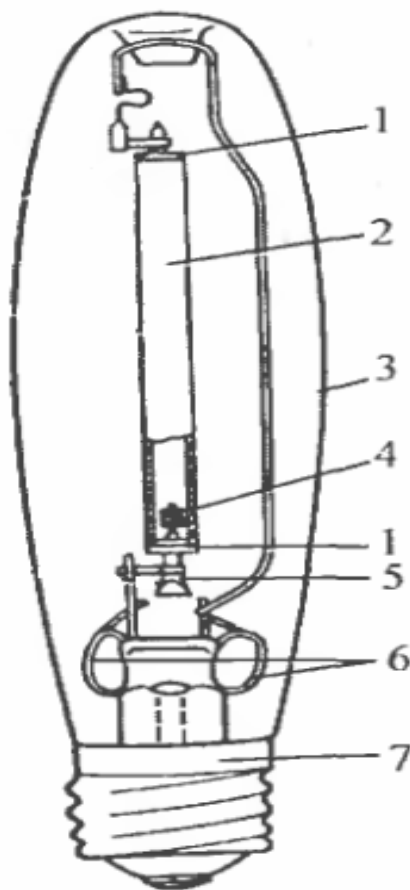


Рисунок 14 – Натрієва лампа:

1 – керамічна заглибка, 2 – керамічна світлопропускаюча трубка, 3 – зовнішня колба з тугоплавкого скла, 4 – електрод, 5 – ніобієвий штангель; 6 – барієвий геттер; 7 – цоколь

У натрієвих лампах високого тиску пальник заповнений сумішшю парів натрію (Na), ртуті (Hg) і ксенону (Kc) при високому тиску.

Натрій – джерело випромінювання, електронів та іонів. Ртуть – буферний газ для підвищення температури розряду і зниження теплових втрат. Ксенон – запалюючий газ, підвищує світлову віддачу за рахунок зниження теплопровідності плазми.

При високому тиску (4 – 14 кПа) резонансні лінії натрію розширюються зі зміною кольоровості випромінювання в бік сонячного

світла (час розгоряння до 7 хв). Запалювання лампи здійснюється від імпульсного джерела високої напруги порядку 2500 В. Час повторного запалювання згаслої лампи до 3 хв. Колір випромінювання золотисто-білий ( $T_{\kappa} = 2100\text{K}$ ), колірну температуру можна підвищити, збільшивши тиск парів натрію, але знизиться світлова віддача.

Матеріалом пальника є кераміка, яка стійка до тривалої дії парів натрію при  $T < 1600\text{C}$ , із загальним коефіцієнтом пропускання видимого випромінювання до 95 %. Зовнішня колба вакуумована, тиск 0,01 Па підтримується газопоглиначем.

Лампи типу ДНаТ (дугові натрієві трубчасті) мають коефіцієнт пульсації 82 %, світловіддачу 100 – 170 лм/Вт, за конструкцією подібні до ламп ДРИ. Використовуються лампи для освітлення вулиць, площ і великих відкритих просторів.

Корисний термін служби натрієвих ламп складає 10000 – 15000 годин. Для натрієвих ламп характерна стабільність світлового потоку в часі, так за 10000 годин експлуатації їхній світловий потік знижується на 15 – 20 %. Відхилення напруги практично не впливають на світловий потік ламп.

Принципова схема конструкції натрієвої лампи також представлена на рисунку 8, з.

### **2.3.6 Ксенонові лампи**

Електричний розряд у ксеноновій лампі здійснюється в газі ксеноні (Кс) під тиском в декілька МПа від імпульсного джерела при напрузі близько 30 кВ і забезпечує колірну температуру від 6000 до 6300 К.

До переваг ксенонових ламп відносять: добру передачу кольору, високу концентрацію потужності в одній лампі, високу світловіддачу, можливість освітлення великих площ при малій кількості ламп. До недоліків ламп можна віднести короткий термін служби, високий коефіцієнт пульсації, наявність ПРА, високу вартість, санітарні обмеження по освітленості.

Ксенонові лампи типу ДКсТ (дугова ксенонова трубчаста) мають діапазон потужностей від 0,5 до 100 кВт, лампи виконуються без охолодження чи з водяним охолодженням. Охолодження дозволяє зменшити габарити і збільшити світловіддачу. Період розгоряння ламп практично відсутній, повторне запалювання ламп можливо після її повного охолодження через 5–10 хвилин після відключення лампи. Світловіддача ламп складає 120–150 лм/Вт, коефіцієнт пульсацій – порядку 130 %. Термін служби ламп обмежений 2000 годинами і обумовлений значною температурою поверхні розрядної трубки (750 – 800 °С).

Використовуються лампи для освітлення кар'єрів, сортувальних станцій і т. п., при цьому освітленість не повинна перевищувати 150 лк за санітарними нормами.

Принципова схема конструкції лампи представлена на рисунку 8, д.

### **2.3.7 Лампи тліючого світіння**

Лампи тліючого світіння (ЛТС) – це джерела світла, принцип дії яких заснований на використанні катодного тліючого світіння.

ЛТС являє собою скляний балон, в який упаяні два електроди, розташовані близько один до одного. Внутрішня порожнина балона заповнена неон-гелієвою сумішшю з домішкою аргону, іноді додається ртуть.

Активовані електроди мають різну форму. При роботі від мережі змінного струму обидва електроди світяться по черзі з частотою мережі, на постійному – тільки з'єднаний з негативним полюсом.

Неон дає помаранчево-червоне світіння, добавка ртуті – синювато-білі тони. Випромінювання має малу інерційність і може чудово модулюватися з частотою до 22 кГц.

Світлова віддача – від 0,2 до 1,0 лм/Вт, потужність – до 10 Вт; можливе покриття з середини люмінофором. Термін служби – не менше 1000 год, обмежується при поглинанні газо-наповнювача і потемнінні колби електродів через розпилення.

Включення в мережу через резистор, вбудований в ніжку або в цоколь (для великих ЛТС), або окремо послідовно з лампою (для невеликих ЛТС),

ЛТС, в основному, застосовуються як індикатори, але, крім цього, вони мають багато інших спеціальних застосувань.

Принципова схема конструкції лампи представлена на рисунку 8, е.

## **2.4 Індукційні лампи**

Для виробництва джерел світла вимушено застосовуються ртуть, свинець, кадмій, барій та інші елементи. Екологічний стан істотно можна покращити за рахунок збільшення терміну служби джерела світла, що містять шкідливі речовини.

Крім того, обслуговування освітлювальних установок в деяких випадках вимагає значних витрат, порівняно з вартістю встановленого обладнання (тунелі, будівлі з високими стелями і т. ін.).

Головний фактор, що впливає на термін служби ЛЛ – це стан електродів. Можливі два напрямки продовження терміну служби ламп:

1) удосконалення електродів;

2) повна відмова від електродів;

Максимальний термін служби можна отримати тільки у безелектродних ламп (індукційних).

Якщо у звичайній ЛЛ електричний струм створює стовп розряду між розігрітими електродами, то в індукційній (безелектродній) високочастотний газовий розряд створюється електромагнітним полем.

Існує п'ять видів безелектродних ламп, з яких розглядається тільки перший:

- 1) ртутні індукційні люмінесцентні лампи;  
найбільш освоєні із них:  
типу «QL» фірми «Philips» (Нідерланди),  
типу «Endura» фірми «Osram» (Німеччина),  
типу «Genura» фірми «General Electric» (США);
- 2) мікрохвильові (СВЧ), сірчані;
- 3) фосфоресцюючі;
- 4) радіоактивного принципу дії;
- 5) біоактивного принципу дії.

В основі роботи індукційної лампи (ІЛ) закладено три основних принципи:

– ємнісного розряду (Є-розряд) – герметична розрядна колба розміщується між двома металевими пластинами (аналог конденсатора), на які подається напруга ВЧ. Характеризується низькою ефективністю розряду і швидким зносом люмінофора;

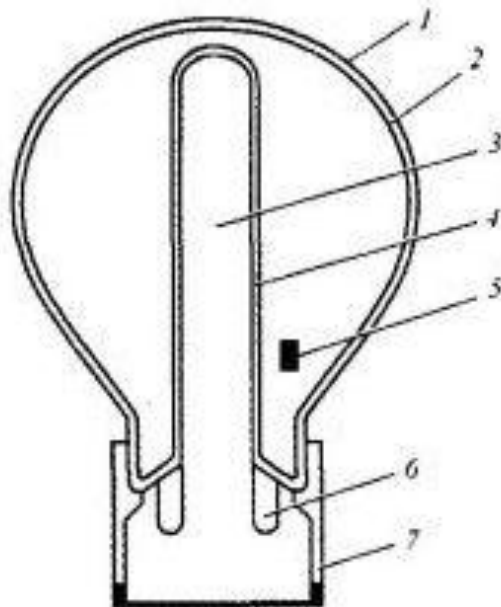
– мікрохвильової плазми (СВЧ-розряд) – застосовується джерело СВЧ (кілька ГГц), характеризується великими габаритами виробу і високою вартістю;

– індукційного розряду (І-розряд) – індукційна котушка охоплює розрядну трубку або розміщується всередині неї. Змінний магнітний потік котушки створює електричне поле, що підтримує плазму розряду. Цей принцип найбільш прийнятний для розробки ІЛ освітлювальних установок.

Переваги ІЛ: різноманітність форм джерела світла, широкий діапазон світлового потоку, відсутність електродів, дуже великий термін служби, незалежність терміну служби від числа циклів «включення-відключення», миттєве запалювання, відсутність миготіння при роботі.

Недоліки ІЛ: великі розміри розрядної трубки, обмежений діапазон потужності, низький світловий потік ( $\Phi_{max} = 12000$  лм), чутливість до температури навколишнього середовища, нестандартні характеристики ламп, різне конструктивне виконання у різних виробників, висока вартість комплекту «лампа ЕПРА».

Уявлення про конструктивне виконання сучасної безелектродної індукційної лампи типу «QL» (фірми «Philips») дає рисунок 15.



**Рисунок 15 – Конструкція ІЛ типу «QL»:**

1 – колба; 2 – шар люмінофора; 3 – порожнина для індуктора;  
 4 – ніжка; 5 – капсула з амальгамою на ніжці;  
 6 – основна капсула з амальгамою; 7 – лампотримач

Основні елементи індукційної лампи:

- колба (1) для створення об'ємного газового розряду;
- шар люмінофора (2), наноситься на внутрішню поверхню колби, для перетворення невидимого ультрафіолетового випромінювання у видиме;
- порожнина індуктора (3), для розміщення джерела електромагнітного поля;
- ніжка (4), межа порожнини феритового осердя;
- капсула з амальгамою (5) на ніжці (допоміжна) ;
- основна капсула з амальгамою (6), для створення умов виходу лампи в робочий режим і забезпечення стабільності роботи її;
- лампотримач (7), для кріплення в світильнику.

Принцип дії ІЛ пояснює рисунок 16.

Для запуску лампи формується запалюючий імпульс з напругою близько 1300 В і тривалістю 15 мс. Індуктор (феритове осердя з обмоткою) аналогічний первинній обмотці трансформатора, по якій іде струм  $I_p$ . Роль вторинної обмотки виконує розряд у парах ртуті низького тиску.

Створюване електромагнітне поле ( $I_s$ ) високої частоти (ВЧ) індуктором забезпечує газовий розряд у парах ртуті. Виникає ультрафіолетове випромінювання (УФВ), на яке впливає люмінофорне покриття. Люмінофорне покриття перетворює УФВ у видиме світло.



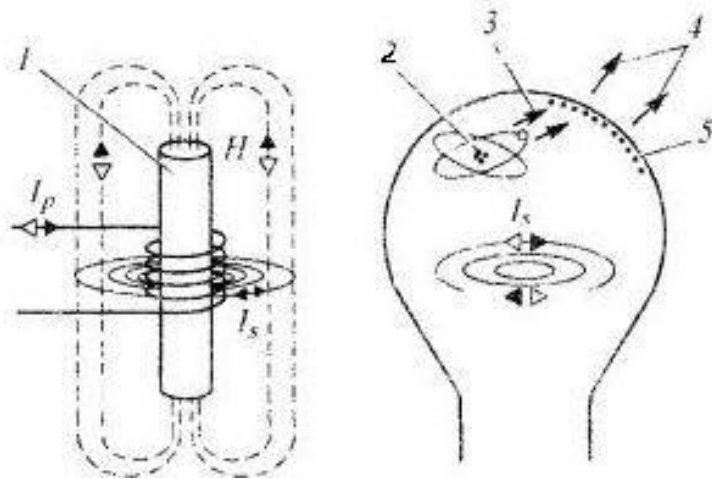


Рисунок 16 – Принцип дії індукційної лампи:

1 – феритове осердя; 2 – атом ртуті; 3 – ультрафіолетове випромінювання;  
4 – видиме світло; 5 – люмінофорне покриття

## 2.5 Світлодіоди

**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 17.

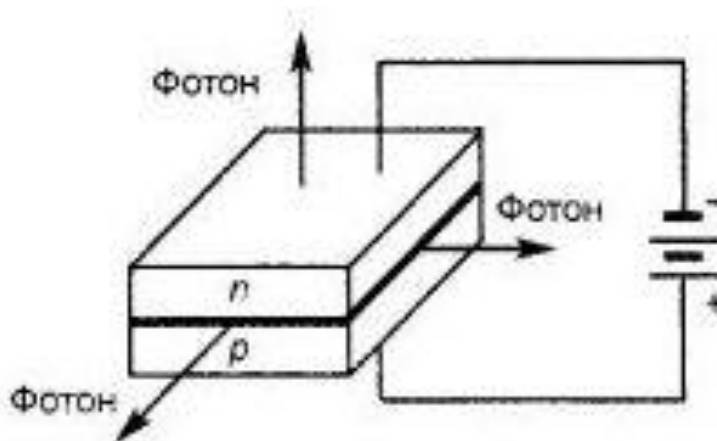


Рисунок 17 – Схематичний вигляд світлодіоду з «р-n» переходом

Якщо до цього переходу подати невелику напругу (декілька вольт) прямої полярності (до «п»-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.

Типова конструкція СД представлена на рисунку 18.

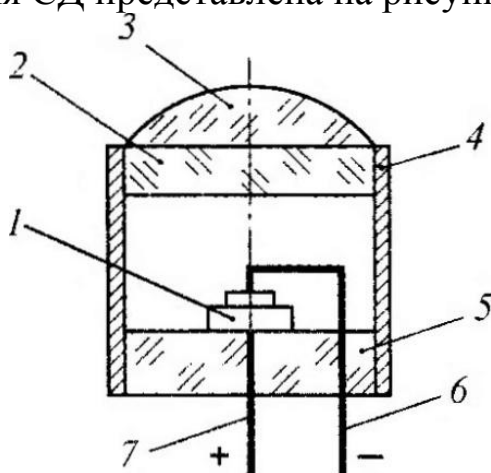


Рисунок 18 – Типова конструкція світлодіода:

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 кристала (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, споживана світлодіодом, частково перетворюється на світло, а частково в тепло, нагріваючи його. Збільшення на переході температури понад 80 °С призводить до різкого зниження світлового потоку, що вимагає тепловідведення. Однак зміна температури на переході практично не впливає на довжину хвилі випромінювання.

Відведення теплоти можна поліпшити трьома способами:

- 1) збільшенням контактної площі, особливо поблизу «анода».
- 2) збільшенням відстаней між світлодіодами розташованими на платі.
- 3) гарним тепловим контактом світлодіода з платою.

На рисунку 19 представлені інші види конструкцій світлодіодів.

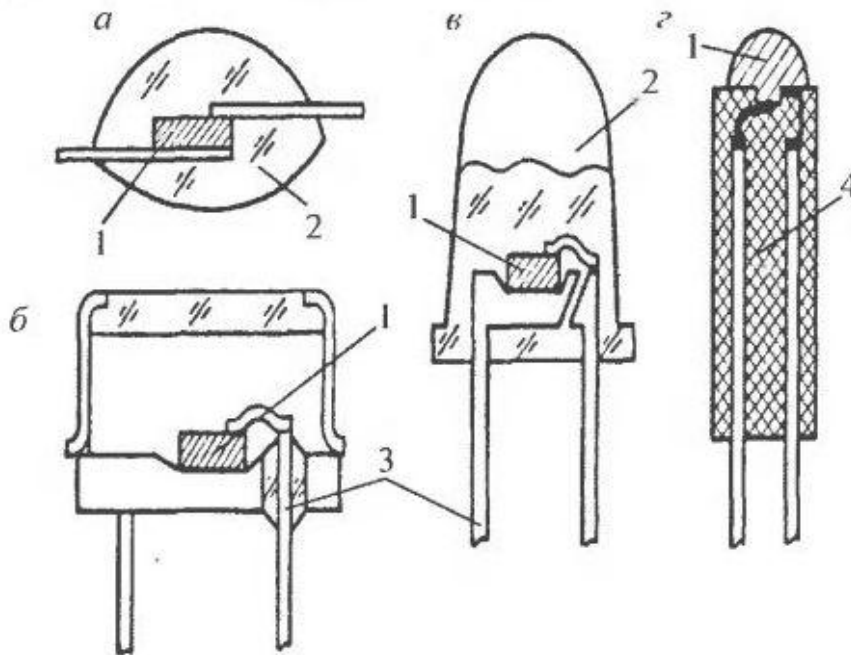


Рисунок 19 – Конструкції деяких видів світлодіодів:

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

### 2.5.1 Світлодіоди білого світіння

Основою загального робочого освітлення є світлодіоди білого світіння. Отримати біле світіння можна одним із трьох способів:

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

2) Змішуванням блакитного світіння світлодіода з випромінюванням люмінофора (наприклад, жовто-зеленого або зелено-червоного), збуджуваного цим світінням. Цей спосіб найбільш простий і економічний.

Підбором кристалів створюється спектр випромінювання для збудження люмінофора. Кристал покривається шаром гелю з порошком люмінофору. Товщина шару така, щоб частину блакитного випромінювання збуджував люмінофор, а частина проходила, без поглинання.

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

*Висновок.* З'єднанням випромінювань більше 3-х кольорів можна отримати біле світло з індексом перенесення кольорів близьким до 100 %. В 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 500–1000 мкд, які застосовуються для сигналізації в системах відображення інформації;

– світлодіоди із струмом живлення 30–100 мА, силою світла 1 – 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, 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 світлодіода. 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 світлодіода.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) також є показником ефективності використання світлодіодом електричної енергії. ККД значно залежить від форми спектра 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 25–30 лм/Вт, колірною температурою  $T_k = 6000 - 8500$  К і загальним індексом перенесення кольорів  $R_a = 80$ , а кольорові (червоні) – зі світловою віддачею 50 лм/Вт.

### 2.5.2 Світлодіодні освітлювачі

Світлодіодні освітлювачі (СДО), конструкція яких представлена на рисунку 20, білого світіння зі збільшеним світловим потоком (більше 15 лм) розроблено на основі кристалічних «чипів» великої площі, із збільшеним робочим струмом і покращеною конструкцією тепловідведення.

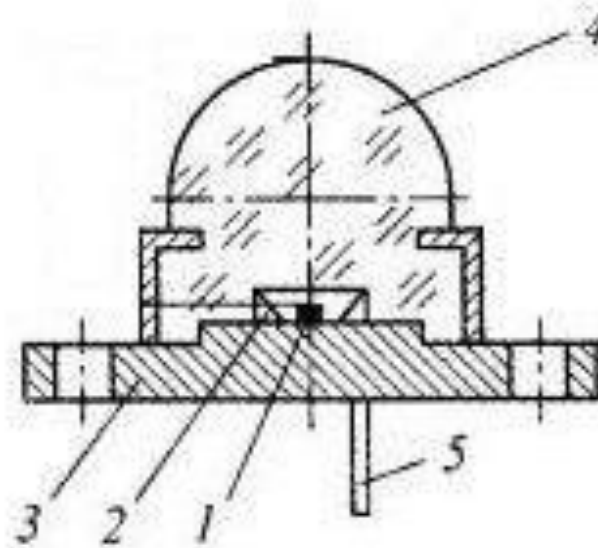


Рисунок 20 – Конструкція світлодіодного освітлювача (переріз):

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.

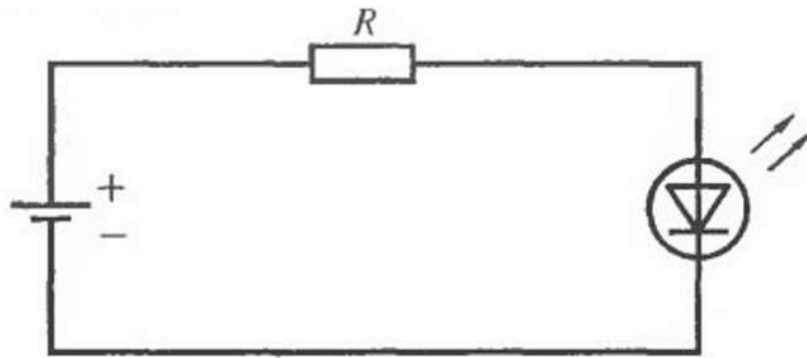
Площа активної області від 0,7 до 1,1 мм<sup>2</sup>. Якщо кристал не покривають люмінофором, то його впроваджують у прозорий полімер (зерна розміром від 1 до 2 мкм).

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. Нагрівання корпусу в порівнянні з навколишнім середовищем не повинно перевищувати 10°C.

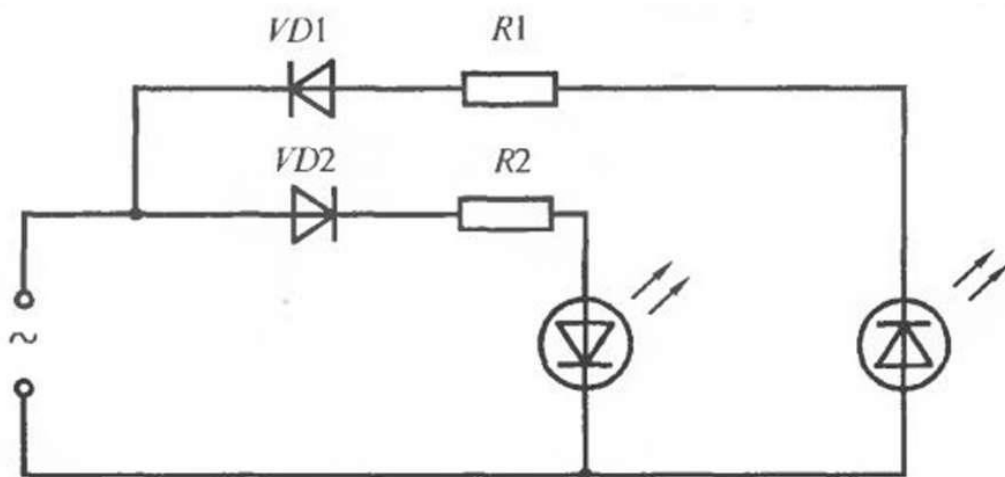
### 2.5.3 Схеми підключення світлодіодів

Світлодіод (СД) повинен живитися від джерела стабілізованого струму. Для живлення світлодіода від батарейки необхідний струмообмежуючий резистор  $R$  (рисунок 21).



**Рисунок 21 – Схема підключення світлодіода 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 22.



**Рисунок 22 – Схема підключення світлодіода 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 широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) – метод, дуже поширений у сучасній електроніці. Це дозволяє створювати спеціальні керуючі пристрої – контролери з функцією плавної зміни яскравості (диммери) і кольорів (колор-чейнджери), що можна ефективно використовувати в системах декоративного освітлення.

## Контрольні запитання до розділу 2

1. Які показники використовують для характеристики джерел світла?
2. Як класифікуються джерела світла?
3. Конструкція лампи розжарювання, принцип її роботи та область застосування.
4. Конструкція люмінесцентної лампи низького тиску, принцип її роботи та область застосування.
5. Конструкція лампи високого тиску – типу ДРЛ, принцип її роботи та область застосування.
6. Конструкція натрієвих ламп низького і високого тиску – типу ДНаТ та область їх застосування.
7. Конструкція ксенонових ламп – типу ДКсТ та область їх застосування.
8. Конструкція індукційних ламп, принцип їх роботи та область застосування.
9. Принцип роботи світлодіодних джерел світла.
10. Конструкція світлодіодного освітлювача.
11. Схеми підключення світлодіодів до джерел постійного та змінного струму.

## 3 ОСВІТЛЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

### 3.1 Загальні поняття

**Світловий прилад** – це сукупність джерела світла, оптичної системи, пускорегулюючого апарата і допоміжної арматури.

Оптична система світлового приладу призначена для перерозподілу світлового потоку. Пускорегулюючий апарат забезпечує необхідний режим запалювання, розгоряння і роботи газорозрядних ламп. Допоміжна арматура призначена для кріплення джерела світла, вмикання його в мережу, захисту від механічних ушкоджень і несприятливих чинників навколишнього середовища.

Світлові прилади поділяють на:

- **світильники** – освітлювальні прилади ближнього світла, що перерозподіляють світло всередині значних тілесних кутів (до  $4\pi$ );
- **прожектори** – освітлювальні прилади дальнього світла, що перерозподіляють світло всередині малих тілесних кутів;
- **опромінювачі** – оптичні прилади впливу на біологічні об'єкти ультрафіолетовим, видимим або інфрачервоним опроміненням;
- **проектори** – світлові прилади, що розподіляють світло лампи з концентрацією світлового потоку на поверхні малого розміру або в малому об'ємі;
- **світлосигналізаційні пристрої** – світлові прилади, що призначені для світлової сигналізації розташування маяка (світлові маяки) або для регулювання руху транспорту і людей (світлофори).

Надалі підлягають розгляду тільки освітлювальні прилади, тобто світильники і прожектори.

Освітлювальні прилади класифікуються за світлотехнічними показниками, призначенням і умовами експлуатації.

### 3.2 Світлотехнічні показники світильників

До світлотехнічних показників світильників відносять: характер світлорозподілу, коефіцієнт корисної дії, захисний кут.

За характером світлорозподілу світильники поділяють на п'ять класів, а в кожному класі виділяють сім типів.

Клас світильника визначається відносним значенням світлового потоку, що випромінюється в нижню півсферу, до світлового потоку світильника в цілому (таблиця 3).

Тип світильника визначає крива сила світла (КСС); типи кривих сили світла наведено в таблиці 4.



Таблиця 3 – Класи світорозділу світильників

Позначення класу	Найменування класу	Доля світлового потоку в нижню півсферу, $\Phi_{\downarrow}, \%$
П	Прямого світла	$\Phi_{\downarrow} > 80$
Н	Переважно прямого світла	$60 < \Phi_{\downarrow} \leq 80$
Р	Розсіяного світла	$40 < \Phi_{\downarrow} \leq 60$
В	Переважно відбитого світла	$20 < \Phi_{\downarrow} \leq 40$
О	Відбитого світла	$\Phi_{\downarrow} \leq 20$

Таблиця 4 – Типи кривих сили світла світильників

Позначення типа КСС	Тип КСС	Зона напрямів максимальної сили світла, град.
К	Концентрована	0 – 15
Г	Глибока	0 – 30; 180 – 150
Д	Косинуса	0 – 35; 180 – 145
Л	Напівширока	35 – 55; 145 – 125
Ш	Широка	55 – 85; 125 – 95
М	Рівномірна	0 – 90; 180 – 90
С	Синусна	70 – 90; 110 – 90

Вид типів КСС приведений на рисунку 23.

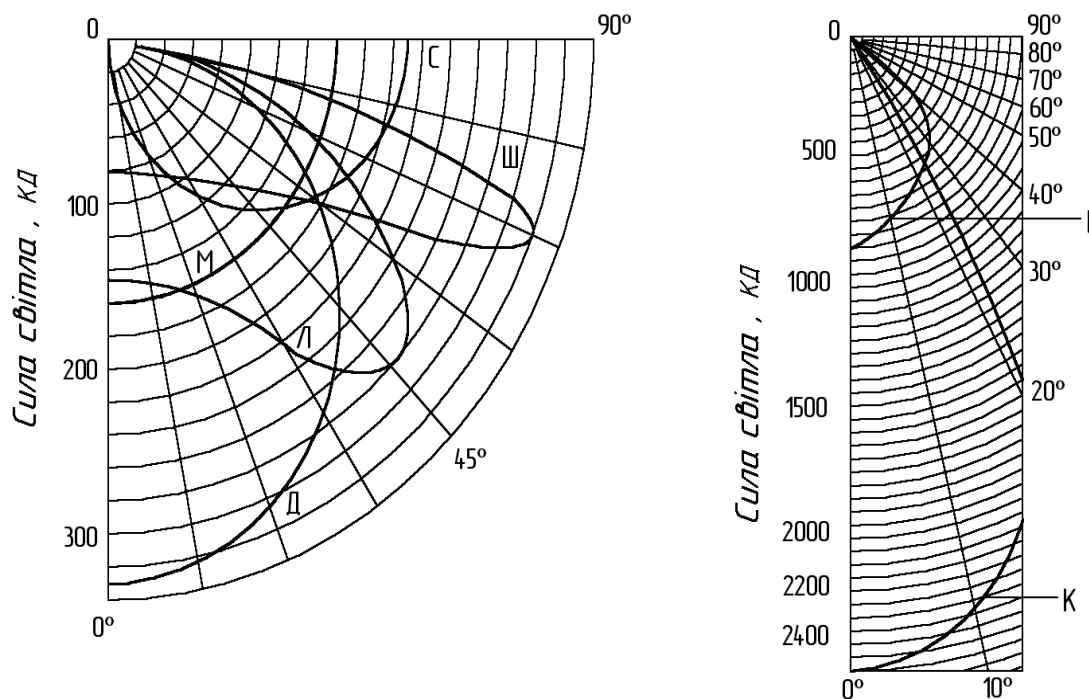


Рисунок 23 – Криві сили світла світильників

Для порівняння кривих сили світла світильників, що мають різноманітне число, потужність і колірність ламп, ці криві будуються для умовної лампи зі світловим потоком у 1000 лм. Таким чином, фактична сила світла в заданому напрямку визначеного типу світильника буде відповідати значенню по кривій сили світла, помноженому на коефіцієнт  $c$ :

$$c = \frac{\Phi_l}{1000},$$

де  $\Phi_l$  – фактичний світловий потік лампи (ламп) світильника, лм.

ККД світильника  $\eta_{cv}$  являє собою відношення світлового потоку світильника  $\Phi_{cv}$  до сумарного світлового потоку ламп  $n \cdot \Phi_l$  у цьому світильнику

$$\eta_{cv} = \frac{\Phi_{cv}}{n \cdot \Phi_l},$$

де  $n$  – кількість ламп у світильнику.

Захисний кут світильника (рисунок 24) характеризує ступінь захисту ока від впливу частин джерела світла, що випромінюють. Захисний кут  $\beta$  визначається зі співвідношення

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h}{(R + r)},$$

де  $h$  – відстань від тіла розжарювання лампи до площини вихідного отвору;

$R$  – радіус вихідного отвору світильника;

$r$  – радіус кільця тіла розжарювання лампи.

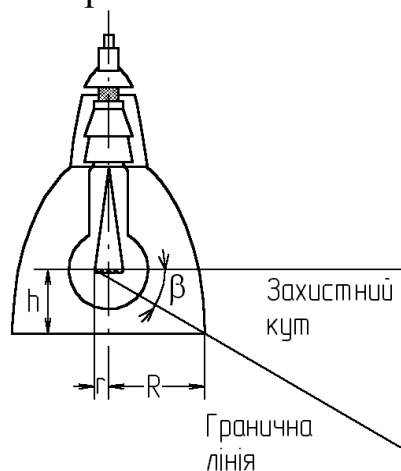


Рисунок 24 – Захисний кут світильника

Для люмінесцентних ламп, закритих ґратчастим затінювачем, що являє собою систему відбиваючих (просвічуючих) пластинок, які перетинаються під прямими кутами, захисний кут визначається відношенням висоти планок, що утворюють елемент ґратки, до відстані між сусідніми планками.

### 3.3 Світлотехнічні характеристики прожекторів

Основна відмінність прожектора від світильника полягає в значно більшій концентрації світлового потоку джерела світла, що підвищує коефіцієнт підсилення прожектора і дозволяє створювати необхідну освітленість на відділених предметах.

Основними світлотехнічними характеристиками прожекторів є крива розподілення сили світла, кут розсіювання, коефіцієнт підсилення і ККД.

Світлорозподілення прожекторів характеризується кривими розподілення сили світла в прямокутній системі координат, в якій за вісь ординат приймається направлення оптичної вісі прожектора (максимальної сили світла), а по осі абсцис відкладаються значення кутів розсіювання в горизонтальній площині, яка проходить через оптичну вісь прожектора.

Стосовно кута розсіювання світлового потоку прожектора, то використовується поняття номінального кута розсіювання або корисного кута розсіювання. Під номінальним кутом розсіювання розуміють кутову ширину пучка прожектора, в межах якої сила світла знижується до 0,1 максимального значення. Корисним кутом розсіювання називають кутову ширину прожектора, в межах якої забезпечується задана освітленість на розрахунковій площині.

Коефіцієнт підсилення прожектора визначається відношенням максимальної сили світла прожектора до середньої сферичної сили світла джерела світла.

Під ККД прожектора розуміють відношення світлового потоку, який випромінюється в межах корисного кута розсіювання, до світлового потоку джерела світла.

### 3.4 Пускорегулюючі апарати

*Пускорегулюючий апарат (ПРА)* – це пристрій, за допомогою якого газорозрядна лампа одержує живлення від електричної мережі, забезпечує необхідний режим запалювання лампи і роботу в номінальному режимі. ПРА забезпечує стійку роботу лампи при відхиленнях напруги, а також може виконувати деякі інші функції: підігрів електродів, підвищення напруги для запалювання лампи, компенсацію реактивної потужності

світильника, зниження пульсації світлового потоку, зменшення впливу радіоперешкод та ін.

Основним елементом всіх ПРА є запалюючий пристрій (ЗП).

Схемне рішення будь-якого ПРА багато в чому визначає переваги освітлювального приладу. Правильний вибір запалюючого пристрою (стартера) дозволить збільшити термін служби джерела світла, підвищити ККД (до 90 %), поліпшити експлуатаційні характеристики.

Саме процес запалювання визначається стартером, що створює умови запалювання люмінесцентних ламп: електронна емісія при підвищеній напрузі на електродах в момент запалювання.

Можливі два способи запалювання газорозрядних ламп:

– «холодне», без попереднього підігріву електродів перед запалюванням;

– «гаряче», з попереднім підігрівом електродів перед запалюванням.

**«Холодне запалювання».** При такому способі запалювання основним завданням запалюючого пристрою є створення потужного імпульсу напруги на електродах газорозрядних ламп і збереження його до моменту переходу до дугового розряду. Це обґрунтовується слабкою емісією холодних електродів.

Такі умови можна створити, застосувавши помножувачі напруги або резонансні схеми, виконані на імпульсних трансформаторах, ємностях, діодах тощо.

Істотною перевагою таких схем є можливість використання ламп із перегорілою спіраллю. При всіх перевагах цей спосіб має підвищену небезпеку і велику вартість, тому застосовується рідше, ніж «гаряче».

**«Гаряче запалювання».** При такому способі запалювання електронна емісія більш інтенсивна, а схеми запалюючого пристрою різноманітніші. За принципом побудови можливі два варіанти запалюючого пристрою:

– з фіксованим часом нагрівання (1-й і 2-й тип);

– з нефіксованим часом нагрівання (3-й тип).

*1-й тип.* Недорога дросельна схема на базі теплового реле з біметалевою пластиною. Стартер тліючого розряду. Процес запалювання має випадковий характер.

*2-й тип.* Напівпровідниковий стартер. Біметалева пластина відсутня. Імпульс запалювання – амплітудне значення напруги мережі. Випадкове запалювання виключене. Характерний для більшості схем електронного запалювання. Вартість елементної бази висока. Обґрунтування – необхідність створення стабільних характеристик прогрівання електродів і запалювання люмінесцентних ламп.

*3-й тип.* Тиристорний стартер. Найпростіший, зручний і перспективний. Добре узгоджується нагрівання електродів із подачею імпульсу запалювання в потрібний момент.

### 3.4.1 Електромагнітні пускорегулюючі апарати

Прості електромагнітні ПРА (ЕмПРА) для люмінесцентних ламп містять тільки два основних елементи: дросель і стартер. На нього покладені три основні завдання: пробій, запалення і стабілізація робочого режиму лампи.

Але й у цієї простої схеми є недоліки:

- 1) необхідний опір ( $Z_{op}$ , Ом) для стандартних люмінесцентних ламп, що визначається за формулою ( $Z_{op} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$ ), кілька «сотень» Ом. При  $f = 50$  Гц індуктивність ( $L$ ) досягає значень 1 Гн. Виходить великий і масивний дросель, який має значні втрати потужності;
- 2) запалювання ненадійне, іноді потрібно кілька спроб, що знижує термін служби (особливо при частих виключеннях);
- 3) непомітна для людського ока пульсація світлового потоку при зміні напруги мережі з частотою 50 Гц. Таке освітлення викликає стомлення і не рекомендується в офісних приміщеннях.

### 3.4.2 Електронні пускорегулюючі апарати

У порівнянні з електромагнітними ПРА, електронні ПРА (ЕПРА) мають наступні переваги:

- вищий ККД;
- можливість регулювання світлового потоку при роботі люмінесцентних ламп в системі «лампа-ПРА»;
- немає миготіння люмінесцентних ламп при включенні і пульсації світлового потоку при роботі.

Структурна схема сучасного ЕПРА представлена на рисунку 25.

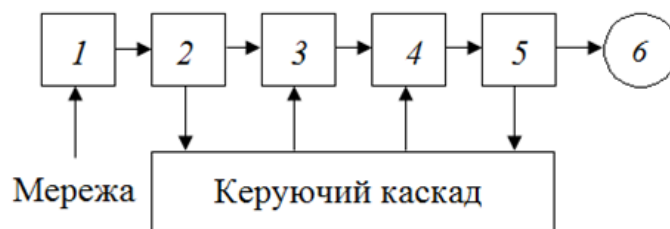


Рисунок 25 – Структурна схема ЕПРА:

- 1 – фільтр; 2 – випрямляч; 3 – коректор; 4 – підсилювач;  
5 – вхідний каскад; 6 – джерело світла

Застосування ЕПРА з автоматичною підтримкою рівня освітленості на робочому місці (з урахуванням природного освітлення) дозволить економити до 70 % електричної енергії, що витрачається на освітлення.

Основними елементами ЕПРА є:

- фільтр (1) призначений для зменшення впливу високочастотних перешкод радіоприйому, він складається з індуктивностей та ємностей;

- випрямляч (2), зібраний за мостовою схемою, для випрямлення змінного струму;
- коректор (3) на потужних транзисторах, для корекції форми імпульсу споживаного струму;
- підсилювач (4) на польових транзисторах, для посилення потужності сигналу, що надходить на вхідний каскад;
- вхідний каскад (5) призначений для формування запалюючого імпульсу, що підводиться до джерела світла. По суті він є традиційним ПРА;
- керуючий каскад на мікросхемах, призначений для управління силовими транзисторами.

Така схема ЕПРА забезпечує:

- нагрівання електродів лампи;
- запалювання, стабілізацію параметрів при роботі;
- захист від перевантаження не лише в робочому режимі, але і на холостому ходу (без лампи).

Більшість ЕПРА в даний час випускаються «холодного» включення (без попереднього підігріву електродів). Вони цілком придатні для освітлювальних приладів з числом включень на добу не більше п'яти.

Недоліком ЕПРА «холодного» включення є відсутність можливості регулювання світлового потоку ламп.

### 3.4.3 Інтелектуальні пускорегулюючі апарати

Зазвичай стандартні ЕПРА регулюють один параметр: потужність чи струм лампи, що забезпечує їх експлуатацію або при постійній потужності, або при постійному струмі.

Для скорочення типів освітлювальних приладів потрібний ЕПРА, що керує комбінацією ламп з одною геометрією, але різною потужністю.

Для їх узгодження спроектований ЕПРА з мікроконтролерним управлінням («Osram»), блок-схема такого ЕПРА представлена на рисунку 26.

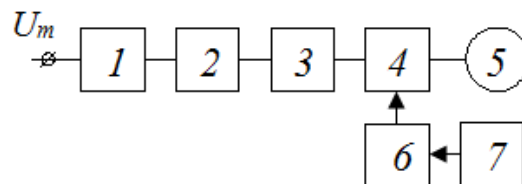


Рисунок 26 – Блок-схема електронного ПРА з МК-управлінням:

- 1 – фільтр; 2 – випрямляч; 3 – коректор; 4 – інвертор; 5 – джерело світла;  
6 – мікроконтролер; 7 – задавач параметрів

Від стандартного (аналогового) ЕПРА він відрізняється лише тим, що осердя замінено мікроконтролером (МК).

Його перевагою є здатність зберігати у своїй пам'яті різноманітні комбінації для освітлювальних приладів у цифровій формі і вибирати будь-який із наборів за потребою.

Застосування мікроконтролерного управління освітленням дозволить виробникам скоротити число типів ЕПРА, освітлювальних приладів, вартість, витрати.

З'являється можливість здійснення різних рівнів освітленості при стандартному обладнанні.

### 3.4.4 Схеми запалювання

#### 3.4.4.1 Схема «холодного» запалювання з запалюючим пристроєм на змножувачі напруги

Призначена для запалювання освітлювального пристрою з одною люмінесцентною лампою потужністю 20, 30, 40 або 80 Вт тривалого терміну служби.

Принципова електрична схема запалювання з блоком запалювання та живлення (БЗЖ) представлена на рисунку 27.

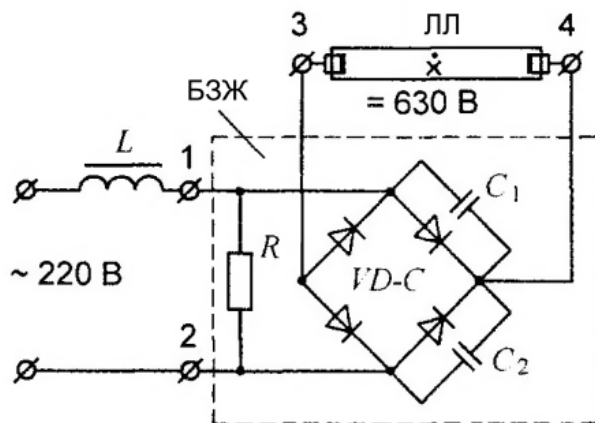


Рисунок 27 – Принципова електрична схема запалювання люмінесцентних ламп з БЗЖ:

БЗЖ – блок запалювання та живлення; VD-C – діодно-конденсаторна схема множення;  
L – дросель; R – розрядний резистор

Блок запалювання та живлення являє собою діод-конденсаторну схему множення, що дає на виході імпульс напруги постійного струму 630 В, стартерного виконання.

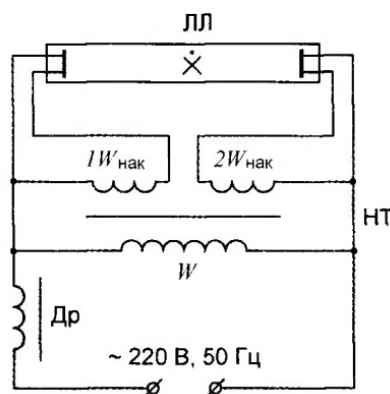
Принцип дії: при підключенні схеми до мережі (220 В, 50 Гц) на будь-якій півхвилі заряджаються конденсатори  $C_1$  і  $C_2$  до 630 В. При напрузі 630 В постійного струму здійснюється електричний розряд у парах ртуті й атмосфері аргону в лампі. Утворюється сильне ультрафіолетове випромінювання (УФВ). Невидиме ультрафіолетове випромінювання перетворюється люмінофором у видиме випромінювання (світло).

Особливості:

- блок запалювання та живлення забезпечує роботу люмінесцентної лампи з перегорілою (обірваною) спіраллю.
- відновлюється робота люмінесцентної лампи, якщо почався «миготливий режим», чи вона згасла. Для цього досить у лампотримачі лампу повернути на  $180^\circ$  або блок-стартер (блок запалювання та живлення) в стартеротримачі;
- резистор  $R$  забезпечує зняття надмірної напруги з конденсаторів  $C1$  і  $C2$ ;
- призначені для заміни стартерів тліючого розряду і виконані у тих же габаритах.

**3.4.4.2** *Схеми «холодного» безстартерного запалювання люмінесцентної лампи:*

– *трансформаторна* (рисунок 28). Найбільш проста і розповсюджена з безстартерних схем швидкого запалювання. Призначена для застосування у важкодоступних для обслуговування місцях і при температурі навколишнього середовища нижче  $5^\circ\text{C}$ .



**Рисунок 28 – Трансформаторна схема запалювання люмінесцентної лампи:**

HT – накальний трансформатор; W – первинна обмотка HT;  
 $1W_{\text{нак}}$ ,  $2W_{\text{нак}}$  – вторинні обмотки HT для нагріву електродів ЛЛ, Др – дросель

При нормальній роботі люмінесцентної лампи електроди не відключаються від накаливальних обмоток трансформатора (HT), здійснюється частковий підігрів.

При включенні в мережу люмінесцентної лампи з холодними (без попереднього підігріву) електродами на  $1W_{\text{нак}}$  та  $2W_{\text{нак}}$  виникає підвищена напруга.

Електроди нагріваються, емісія посилюється, люмінесцентна лампа запалюється. Ультрафіолетове випромінювання перетворюється на світло люмінофором;



– резонансна (рисунок 29). Призначена для роботи у важкодоступних для обслуговування місцях і при низьких температурах навколишнього середовища (нижче 5 °С).

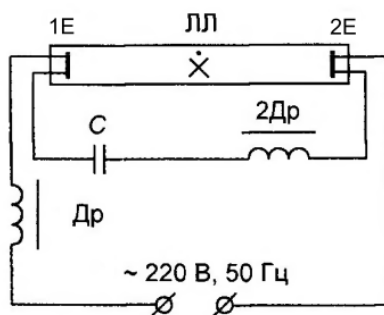


Рисунок 29 – Резонансна схема швидкого запалювання люмінесцентної лампи

При включенні в мережу люмінесцентної лампи утворюється резонансний контур. При резонансі електроди швидко розігріваються, а напруга на електродах зростає в 1,5 – 2 рази (по відношенню до напруги мережі).

При виникненні достатньої емісії та імпульсу запалювальної напруги люмінесцентна лампа запалюється і стає провідником, умова резонансу порушується.

Ультрафіолетове випромінювання перетворюється на світло люмінофором, а електроди при роботі люмінесцентної лампи залишаються в режимі самонакалювання;

– *миттєвого запалювання*. Призначена для роботи у вибухонебезпечних приміщеннях.

Особливістю таких схем є створення на холодних електродах імпульсу напруги в 6 – 7 разів більше робочого.

У цьому випадку спеціальні пристрої потрібні для створення імпульсу, а люмінесцентні лампи з посиленими електродами, оскільки процес запалювання важчий, ніж із нагрітими електродами.

Термін служби люмінесцентної лампи знижується на 30 %, а висока напруга небезпечна для життя і вимагає спеціальних заходів безпеки при обслуговуванні.

Переваги:

- висока надійність запалювання і роботи лампи;
- невибагливість до низьких температур.

Недоліки:

- велика вартість;
- підвищена втрата потужності;
- більші габарити, ніж у стартерних.

### 3.4.4.3 Схема включення газорозрядної лампи високого тиску (ГЛВТ)

Призначена для ламп високого тиску з виправленою колірністю типу ДРЛ (рисунок 30).

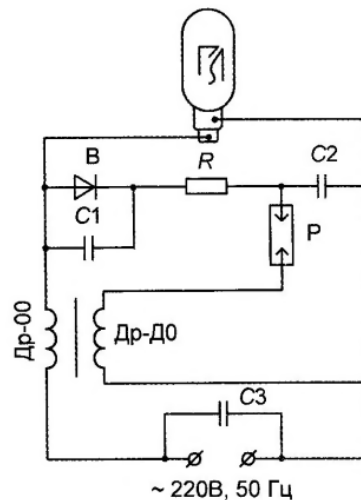


Рисунок 30 – Принципова електрична схема запалювання дугової ртутної люмінесцентної лампи (ДРЛ):

Др (Др-00, Др-Д0) – дросель з двома обмотками (основною, додатковою);

В – випрямляч; R – обмежувач реактор, С1 – конденсатор захисний випрямляча; С2 – конденсатор накопичувачий; Р – розрядник;

С3 – конденсатор обмеження впливу перешкод радіоприйому

Принцип дії: при підключенні живлення формується ланцюг заряду С2 (мережа – Др-00 – В – R – С2 – мережа), який забезпечує його заряд до необхідного значення напруги (200 В). При повному заряді С2 пробивається повітряний простір «Р», а ємність розряджається через «Др-Д0», створюючи імпульс високої напруги, який запалює лампу. При розряді ультрафіолетове випромінювання, що виникає, перетворюється люмінофором у світло.

Для виправлення колірності в звичайних лампах типу ДРЛ застосовується спеціальний люмінофор, який додає до ртутного розряду випромінювання, якого не вистачає, в червоній області спектра.

Лампи типу ДРЛ випускаються 2-х і 4-х електродні. Перевагою 4-х електродної лампи, в порівнянні з 2-х електродною, є простіша схема запалювання і не потрібно спеціального запалюючого пристрою: В, С1, R, С2, Р, Др-Д0.

Лампи типу ДРЛ стійкі до атмосферних впливів, їх світловий потік і процес запалювання не залежать від температури навколишнього середовища. Потік номінальний встановлюється через 5 – 7 хв. після включення, а повторно – через 10 – 15 хв., тобто після повного охолодження.

### 3.4.4.4 Схема включення газорозрядної лампи з пристроєм імпульсним запалюючим універсальним

Пристрій імпульсний запалюючий універсальний – це пристрій-генератор з ємнісним накопичувачем  $EE$  і напівпровідниковим ключем паралельного підпалу, призначений для металогалогенних (типу ДРИ) і натрієвих (типу ДНаТ) ламп (рисунок 31).

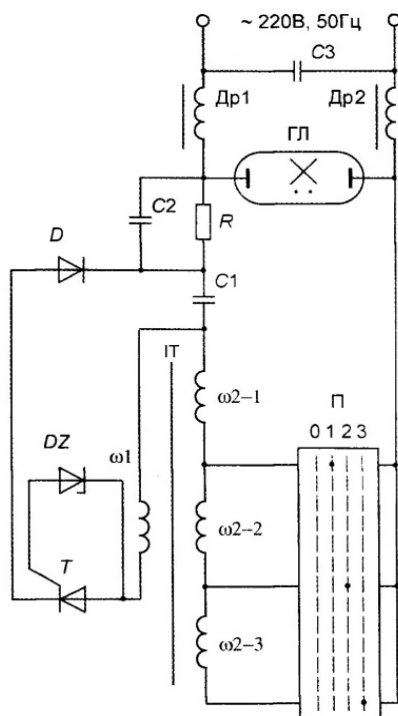


Рисунок 31 – Принципова електрична схема включення газорозрядної лампи з пристроєм імпульсним запалюючим універсальним:

ІТ – імпульсний трансформатор з обмотками;  $\omega 1$  – первинна обмотка;  $\omega 2$  – вторинні обмотки (регулюючі); П – перемикач; R – C2 – сформовувач імпульсів; C1 – конденсатор; Т – тиристор; D – діод для захисту «Т» по зворотній напрузі; DZ – стабілітрон; C3 – конденсатор обмеження впливу перешкод радіоприйому

Принцип дії: при підключенні лампи до мережі конденсатор C1 заряджається (по ланцюгу: мережа – Др1 – R – C2 – C1 – П – Д2 – мережа) до величини напруги стабілізації стабілітроном DZ, що призведе до появи сигналу на управляючому електроді тиристора Т.

Тиристор Т відкриється, конденсатор C1 розрядиться по ланцюгу  $\omega 1$  – Т – D, формується імпульс підвищеної напруги на електродах лампи. Процес повторюється.

При створенні умов імпульси, що надходять, забезпечать запалювання лампи і світлове випромінювання.

Основний недолік схем паралельного запалювання – шунтування ланцюга дросель-мережа (при запалюванні), що зменшує амплітуду імпульсу (зменшується індуктивність дроселя).

### 3.4.4.5 Схема «гарячого» запалювання зі стартером тліючого розряду

Призначена для запалювання люмінесцентної лампи і забезпечення її нормальної роботи (рисунок 32). Принцип дії: при підключенні люмінесцентної лампи до мережі формується електричний ланцюг: дросель – електроди люмінесцентної лампи – стартер, під напругою. У стартері йде в цей час «тліючий розряд» між біметалічними пластинами і нагріває їх. Пластини нагріваються і, згинаючись, замикають ланцюг. Починається інтенсивний нагрів електродів лампи, в результаті якого виникає термоелектронна емісія.

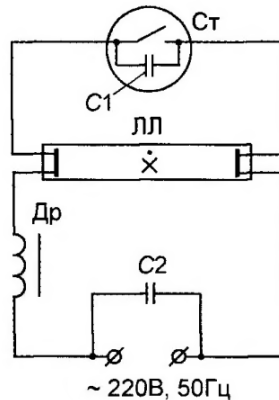


Рисунок 32 – Схема імпульсного запалювання люмінесцентної лампи 1-го типу

На схемі:

Ст – стартер, призначений для автоматичного включення і відключення попереднього нагрівання електродів. Являє собою теплове реле, поміщене в скляний балон, наповнений інертним газом (зазвичай – неон). Електроди стартера – це дві біметалічні пластини з зазором 2 – 3 мм.

Др – дросель, призначений для створення імпульсу запалювання, обмеження струму і стійкої роботи люмінесцентної лампи. Наявність індуктивності знижує  $\cos\phi$  до значення 0,5 – 0,6.

C1, C2 – конденсатори, призначені для придушення перешкод радіоприймання і підвищення  $\cos\phi$ , відповідно.

До моменту створення умов запалювання біметалічні пластини охолоджуються і розмикають ланцюг у стартері. У момент розмикання, завдяки дроселю, виникає імпульс підвищеної напруги, що викликає потужний дуговий розряд і запалювання лампи. Виникає невидиме ультрафіолетове випромінювання, яке під дією люмінофора перетворюється на світлове випромінювання.

Після запалювання люмінесцентної лампи напруга на лампі і стартері зменшена і недостатня для нового розряду, стартер при нормальній роботі

люмінесцентної лампи не працює. Якщо запалювання не відбулося, процес повторюється знову.

При низькій вартості ПРА недоліками є низька надійність стартера і велика пульсація (стробоскопічний ефект).

Стробоскопічний ефект – це сприйняття об'єкта, що обертається, в пульсуючому світлі нерухомим.

Для усунення цього недоліку в 1-фазній мережі застосовується попарне включення люмінесцентної лампи зі штучним зрушенням фаз (з розщепленою фазою) найчастіше (рисунок 33), а в 3-фазній мережі – включають лампи 3-лампового освітлювального приладу в різні фази.

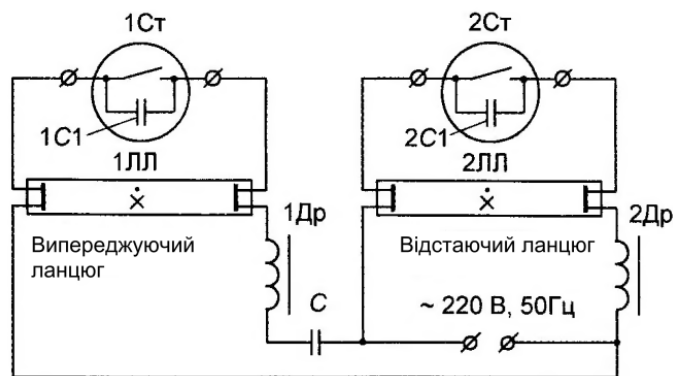


Рисунок 33 – Компенсована схема запалювання люмінесцентної лампи

У ланцюг 1ЛЛ включено 1Др і С – струм в ланцюзі випереджає напругу по фазі, а в ланцюг 2ЛЛ включений 2Др – струм в ланцюзі відстає від напруги. Підбором індуктивностей 1Др, 2Др і ємності С можна домогтися збігу максимального ( $\Phi_{1max}$ ) потоку 1ЛЛ і мінімального ( $\Phi_{2min}$ ) потоку 2ЛЛ, що значно знизить коефіцієнт пульсації. Така схема включення люмінесцентної лампи називається антистробоскопічною компенсованою.

#### 3.4.4.6 Схема з тиристорним електронним запалюючим пристроєм і нефіксованим часом нагріву електродів люмінесцентної лампи

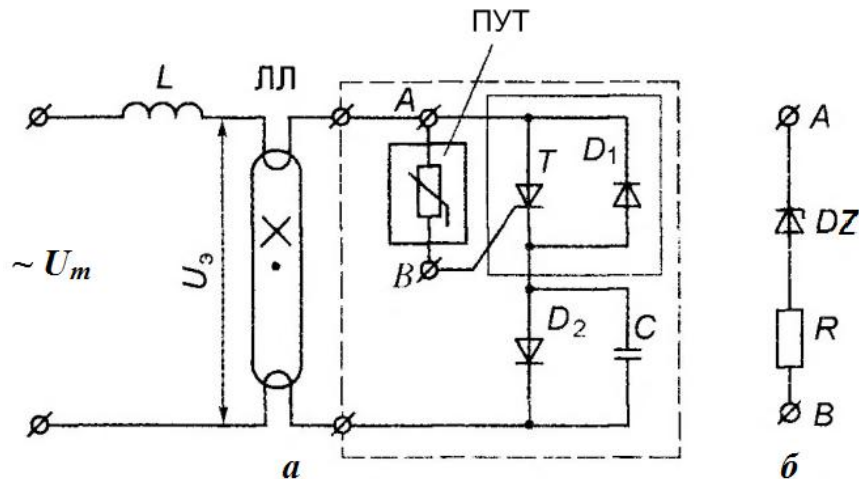
Схема виконана із застосуванням товстоплівкової технології для електронного запалюючого пристрою, що значно знизило її вартість (рисунок 34).

Принцип дії: при підключенні схеми до мережі ( $U_m$ ) і досягненні в 1-ий позитивний напівперіод на ПУТ потенціалу відкриття ( $\phi_{\text{вк}}$ ) тиристор переходить у стан «провідності». Виникає ланцюг зі струмом ( $i_r$ ), який підігріває електроди люмінесцентної лампи. Підігрів електродів триває до моменту закриття (відключення) тиристора в 1-ий негативний напівперіод при потенціалі закриття ( $\phi_{\text{зк}}$ ) на пристрій управління тиристором. Так відбувається в кожен період до нагрівання електродів, забезпечуючи

емісію запалювання (автоматичне регулювання часу запалювання). При досягненні умов запалення і закриття Т виникає імпульс ЕРС самоіндукції, достатній для запалювання люмінесцентної лампи.

Величина імпульсу запалювання регулюється підбором елементів ПУТ (наприклад,  $R$ ) і ємності ( $C$ ).

Недоліком цієї схеми є ланцюг з нелінійною вольт-амперною характеристикою, що дає велику різницю по струму включення тиристора Т.



**Рисунок 34 – Принципова електрична схема запалювання люмінесцентної лампи з електронним запалюючим пристроєм 3-го типу (а), варіант нелінійної напруги (б):**

Т – тиристор;  $D_1$  – діод розрядний; DZ – стабілітрон; L – дросель;  
ПУТ – пристрій управління тиристором, нелінійний елемент

#### **3.4.4.7** *Варіанти схем запалювання люмінесцентної лампи з електронним пускорегулюючим апаратом*

В електронному пускорегулюючому апараті (ЕПРА) для обмеження струму також використовується дросель, але в даному випадку він монтується з внутрішнім генератором високої частоти, близько 50 кГц.

Індуктивність дроселя зменшується пропорційно збільшенню частоти ( $10^3$  раз), що ефективно знижує втрати потужності.

Однак дросель занадто малий, а накопиченої в ньому енергії недостатньо для запалювання лампи, тому в електронному пускорегулюючому апараті паралельно люмінесцентній лампі підключається конденсатор С, який утворює разом із дроселем послідовний резонансний контур (рисунок 35).

Електронні пускорегулюючі апарати позбавлені недоліків електромагнітних пускорегулюючих апаратів і мають переваги:

1) Підвищена ефективність електронної пускорегулюючої апаратури дає до 30 % економії електричної енергії, порівняно зі

світильниками з електромагнітною пускорегулюючою апаратурою (ЕмПРА).

2) Допускають роботу при входній напрузі постійного струму, що важливо для аварійного освітлення.

3) Дозволяють регулювати світловий потік люмінесцентної лампи (додаткові пристрої).

4) Існує можливість одним електронним запалюючим пристроєм керувати кількома люмінесцентними лампами в багатолампових світильниках з урахуванням виходу їх з роботи.

Є можливість введення заборон і обмежень (наприклад, нагрівання електродів і т.ін.).

Світлова віддача люмінесцентної лампи при роботі на ВЧ значно вища.

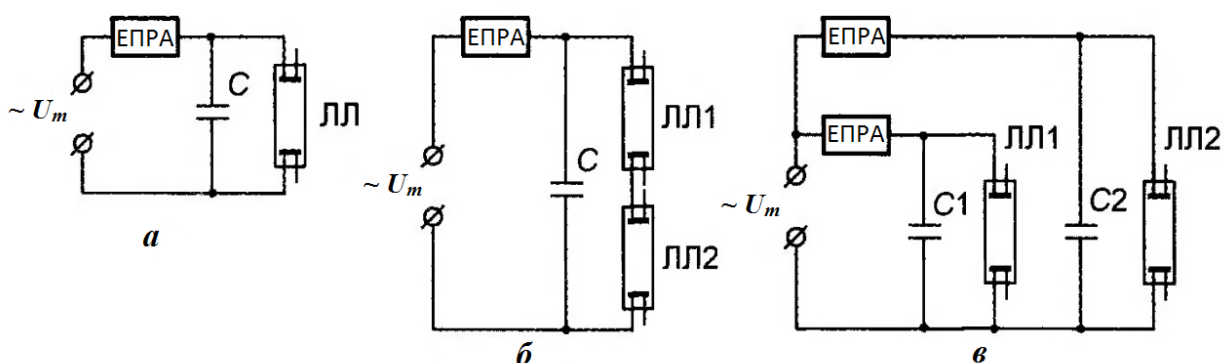


Рисунок 35 – Принципові електричні схеми включення світильників з ЕПРА: однолампового (а), 2-х лампового послідовно (б) і паралельно (в)

#### 3.4.4.8 Схема включення безелектродної люмінесцентної лампи

Призначена для запалювання та забезпечення стабільної роботи індуктивної безелектродної люмінесцентної лампи (рисунок 36).

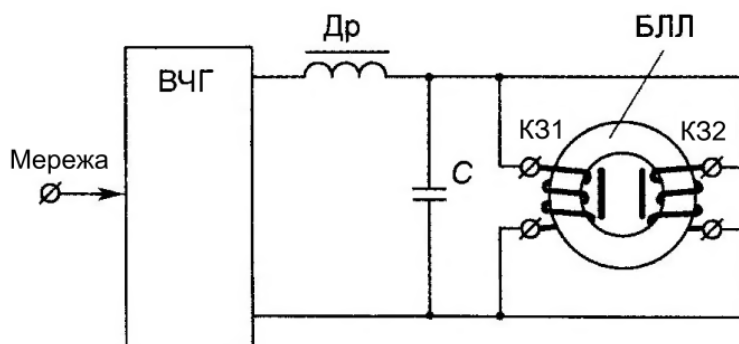


Рисунок 36 – Принципова електрична схема запалення безелектродної люмінесцентної лампи (БЛЛ):

БЛЛ – безелектродна люмінесцентна лампа; КЗ1 та КЗ2 – котушки збудження, з'єднанні паралельно; Др – дросель; С – ємність послідовного резонансного контуру; ВЧГ – високочастотний генератор

Принцип дії: при підключенні до мережі працює ВЧГ і дає в схему запалювання струм високої частоти (230 кГц). При проходженні високочастотного струму через КЗ1 та КЗ2 створюється електромагнітне поле високої частоти. Енергія поля забезпечує розряд в розрядній колбі і підтримування його в стані плазми. Діє принцип трансформатора, в якому КЗ1 та КЗ2 – первинні обмотки, а плазма – вторинна одновиткова. Виникає невидиме ультрафіолетове випромінювання, яке перетворюється люмінофором у видиме (світло).

### **3.5 Класифікація світильників за призначенням і умовами експлуатації**

За призначенням світильники підрозділяються на виробничі, транспортні, для суспільних будинків, для освітлення помешкань, відкритих просторів та ін.

За умовами експлуатації світильники класифікують залежно від способу установки і виконання.

За способом установки розрізняють підвісні, стельові, настільні, настінні та ін. світильники.

За виконанням світильники бувають загальнопромислового і вибухостійкого виконання.

Загальнопромислове виконання світильників передбачає їх захист від потрапляння сторонніх предметів і проникнення пилу, а також захист від проникнення вологи.

Ступінь захищеності корпусу світильника (Index Protection, IP) характеризується двома параметрами: ступінь захисту світильника від проникнення в корпус твердих часток та пилу; ступінь захисту світильника від проникнення в корпус вологи.

Ступінь захисту IP класифікують за стандартом ГОСТ 14254-2015 «Изделия электротехнические. Оболочки. Степени защиты. Обозначения. Методы испытаний», який є аналогом Європейських норм EN.60529.

Код IP складається з двох цифр. Перша цифра – захист від потрапляння в середину твердих предметів та пилу:

- 0\* – Незахищено;
- 1\* – Захищено від твердих часток розміром понад 50 мм;
- 2 – Захищено від твердих часток розміром понад 12 мм;
- 3 – Захищено від твердих часток розміром понад 2,5 мм;
- 4 – Захищено від твердих часток розміром понад 1 мм;
- 5 – Пилозахищено;
- 6 – Пилонепроникно.

**\* Заборонено використовувати прилади з таким захистом в освітленні. Мінімально допустимий рівень захисту IP20.**



Друга цифра – захист від вологи:

0\*\* – Незахищено;

1\*\* – Захищено від крапель води, що падають вертикально;

2\*\* – Захищено від крапель води, що падають під кутом до вертикалі до 15°;

3 – Захищено від води, що падає у вигляді дощу;

4 – Захищено від суцільного кроплення;

5 – Захищено від водяних струменів;

6 – Захищено від сильних водяних струменів;

7 – Захист від впливу вологи при нетривалому зануренні в воду;











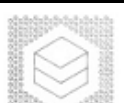



8 – Захищено від впливу вологи при тривалому зануренні в воду.

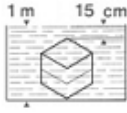

**\*\* Заборонено використовувати прилади з таким захистом у вуличному освітленні. Мінімально допустимий рівень захисту IP23.**

Тобто, наприклад, світильник, що має код IP65, пилонепроникний та захищений від водяних струменів.

Також широко застосовується позначення IP за допомогою піктограм, наведених у таблиці 5.

**Таблиця 5 – Піктограми для позначення ступеня захисту корпусу світильника (IP)**

Захист від пилу		Захист від вологи	
0		0	
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	
5		5	
6		6	

		7	
		8	

Вибухостійке виконання світильників розрізняють для підземних виробіток шахт і рудників, небезпечних за газом і пилом, і для внутрішньої і зовнішньої установки на підприємствах галузей промисловості, де можливо утворення вибухонебезпечних сумішей. Залежно від рівня вибухозахисту розрізняють світильники підвищеної надійності проти вибуху, вибухобезпечні й особливо вибухобезпечні.

Умовне позначення світильників повинно відповідати наступному:

- для світильників, розрахованих на різні способи кріплення, вказують основний спосіб кріплення;
- номер серії світильників і номер модифікації для житлових приміщень присвоює головна організація за видом продукції;
- у однолампових світильниках цифру 1, що означає кількість ламп у світильнику, та знак «х» не вказують;
- кліматичне виконання УХЛ та категорію розміщення світильників для освітлення житлових приміщень та громадських будівель дозволяється не вказувати;
- умовні позначення на наносяться на вперше розроблені та розроблені з 1975 року світильники.

Умовне позначення світильників в яких застосовуюся лампи різної потужності або різних типів (наприклад, люмінесцентні і розжарювання або люмінесцентні і еритемні), повинні отримувати позначення:

- основного типу джерела світла;
- способу установки світильника;
- основного призначення світильника;
- номера серії світильника;
- числа і потужності основного типу ламп;
- числа і потужності ламп іншого типу або іншої потужності, які вказують в дужках, при цьому повинна вказуватись цифра 1, яка вказує число ламп;
- номер модифікації світильника;
- кліматичне виконання і категорія розміщення (рисунок 37).

Допускається додатково до умовного позначення привласнювати світильникам умовну назву.



Застосування умовної назви без умовного позначення не допускається.

*Приклади умовних позначень світильників:*

– підвісний світильник для промислових будівель з двома прямими трубчастими люмінесцентними лампами потужністю 40 Вт кожна, серії 01, модифікації 024, кліматичного виконання УХЛ, категорії розміщення 4:

Світильник ЛСП01 – 2×40-024 УХЛ4

– підвісний світильник для промислових будівель з однією лампою розжарювання загального призначення потужністю 500 Вт, серії 05, модифікації 016, кліматичного виконання У, категорії розміщення 3:

Світильник НСП05-500-016 У3

– підвісний світильник для громадських будівель з двома прямими трубчастими люмінесцентними лампами потужністю 40 Вт кожна і однією еритемною люмінесцентною лампою потужністю 30 Вт, серії 02, модифікації 005, кліматичного виконання УХЛ, категорії розміщення 4:

Світильник ЛС002-2×40/1×30/-005 УХЛ4

– настільний світильник з двома лампами розжарювання загального призначення потужністю 40 Вт кожна, серії 02, модифікації 005, кліматичного виконання УХЛ, категорії розміщення 4 для освітлення житлових приміщень:

Світильник ННБ02-2×40-005 УХЛ4 «Орфей»

### **Контрольні запитання до розділу 3**

1. Які прилади називають освітлювальними і як вони підрозділяються за призначенням?
2. Які показники світильників належать до світлотехнічних, на які класи та типи вони поділяються?
3. Які способи запалювання газорозрядних ламп існують та які їх особливості?
4. Для яких цілей використовують пускорегулюючі апарати і які бувають їх різновиди?
5. Класифікація світильників за призначенням і умовами експлуатації.
6. Як характеризується ступінь захищеності корпусу світильника?
7. У якому вигляді виконується умовне позначення світильників, в яких застосовуюся лампи різної потужності або різних типів?

## 4 СВІЛОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА ПРОЕКТУ

### 4.1 Загальні відомості

Першим етапом проектування системи освітлення об'єкту є його аналіз, необхідний для отримання повного уявлення про об'єкт освітлення. На другому етапі обирають вид і систему освітлення.

Норми освітлення побудовані на основі класифікації робіт, основною ознакою котрих є найменший розмір об'єктів, що розрізняються. При розмірі деталей менше 0,15 мм (відстань від ока 0,5 м) роботи відносяться до I розряду, тобто до робіт найвищої точності. При розмірах об'єктів від 0,15 до 0,3 мм – до другого (II) розряду зорових робіт (дуже високої точності), при розмірах від 0,3 до 0,5 мм до III розряду (високої точності), при розмірах від 0,5 до 1 мм – до розряду (середньої точності), при розмірах від 1 до 5 мм – до V розряду (малої точності), більше 5 мм – до VI розряду (груба, дуже мала точність). До VII розряду відносяться роботи, де освітлення необхідне для зменшення контрасту між деталями, що світяться, і фоном. До VIII розряду відносяться роботи, де необхідне лише загальне спостереження за процесом.

Залежно від розряду робіт, що виконуються, коректуються рівні освітленості, якісні показники освітлювальних установок, до яких відносять показник засліпленості (дискомфорту), пульсації освітленості, кольоропередачу, нерівномірність розподілу освітленості.

Світлотехнічна частина проекту також передбачає вибір найефективнішого світильника для конкретного приміщення з урахуванням можливих обмежень, а також принцип розміщення світильників.

При проектуванні світлотехнічної частини слід також враховувати умови експлуатації освітлювальної установки.

### 4.2 Вибір виду і системи освітлення

Штучне освітлення проектується двох видів: загальне і комбіноване, коли до загального додається місцеве освітлення робочих місць. Якість і економічність освітлювальних установок залежить від правильності вибору системи освітлення.

*Систему загального освітлення* застосовують для освітлення всього приміщення, в тому числі й робочих поверхонь. Загальне освітлення може здійснюватись двома способами: з рівномірним і нерівномірним розміщенням світильників під стелею освітлюваного приміщення. Освітлення з рівномірним розміщенням світильників застосовують, якщо в виробничих приміщеннях технологічне устаткування розміщене

рівномірно по всій площі з однаковими умовами зорової роботи і необхідно забезпечити рівномірне освітлення. Якщо в приміщеннях є робочі поверхні, що вимагають різних умов освітлення, то для створення на них необхідної освітленості світильники розміщують локалізовано, залежно від розміщення робочих поверхонь або виробничого устаткування.

**Локалізоване освітлення** необхідно передбачати в приміщеннях із стаціонарним крупним устаткуванням (венткамери, пічні відділення тощо), у приміщеннях, де робочі місця розміщені групами, зосереджені на окремих ділянках, а також у приміщеннях, на різних ділянках яких виконуються роботи різної точності, що вимагають неоднакових рівнів освітленості. Локалізоване освітлення дає змогу знизити встановлену потужність освітлювальної установки, але створює підвищену нерівномірність розподілу яскравості в полі зору.

**Систему комбінованого освітлення** (загального і місцевого) застосовують у приміщеннях з точними зоровими роботами, які вимагають високого ступеня освітленості. За такої системи одна частина світильників освітлює тільки робочі місця (світильники місцевого освітлення), а друга – все приміщення, переважно проходи і коридори (загальне освітлення). Для безпосереднього освітлення робочих місць на верстатах або поблизу від робочих місць встановлюють світильники місцевого освітлення, які спрямовують світло у потрібному напрямі, майже повністю ліквідують тіні і виблиски, при необхідних потужностях ламп створюють високу освітленість на робочих місцях.

Освітленість робочих місць, що створюють світильники загального освітлення при комбінованій системі, має становити 10 % від нормованої для комбінованого освітлення. Використання в приміщеннях тільки місцевого освітлення нормами заборонено.

За функціональним призначенням електричне освітлення поділяють на робоче, аварійне і спеціальне (чергове), охоронне, вказівне.

**Робоче освітлення** влаштовують в усіх приміщеннях. Воно створює на робочих поверхнях нормовану освітленість.

**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 для безпечної евакуації людей при аварійному вимкненні робочого освітлення має забезпечувати освітленість не менш як

0,5 лк. Таке освітлення встановлюють у прохідних приміщеннях, коридорах і на сходах, що служать для евакуації людей з адміністративних споруд, де працюють або перебувають одночасно більше як 50 чол., а також у приміщеннях, де можуть перебувати більше як 100 чол.

Для аварійного освітлення потрібно використовувати лампи розжарення або люмінесцентні 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 нанесеним знаком.

### 4.3 Рівні освітленості

Спеціальними стандартами нормується рівень освітленості на робочій площині в залежності від розряду робіт. При цьому робоча площина може бути горизонтальною, вертикальною або похилою. Якщо не дається інформація відносно рівня горизонтальної робочої площини, то вона приймається на рівні 0,8 м від підлоги.

У більшості випадків у довідковій літературі подаються мінімальні нормовані значення освітленості. Нижче наведені показники освітлення для деяких приміщень в Україні (див. таблицю 6) та в країнах ЄС (див. таблицю 7).

Таблиця 6 – Показники освітлення для деяких приміщень в Україні

Об'єкт освітлення	Освітленість, лк	Показник дискомфорту, не більше	Коефіцієнт пульсації освітленості, %, не більше
Кабінети і робочі кімнати	300	40	15
Проектні зали, конструкторські, креслярські бюро	500	40	10
Читальні зали	300	40	15
Конференц-зали	300	60	20
Лабораторії	400	40	10
Фойє	150	90	-
Вестибюлі	150	-	-

Таблиця 7 – Показники освітлення для деяких приміщень в країнах ЄС

Об'єкт освітлення	Освітленість, лк	Граничний показник блиску
Офіси: – загальний – монітори	500	19
	300–500	19
Конструкторські бюро: – загальні – для креслення	500	16
	750	16
Банки і будівельні компанії: – бухгалтерія, офісні площі – площі для відвідувачів	500	19
	300	19

#### 4.4 Показник засліпленості

Поверхні, що світяться, котрі мають високу яскравість (світильники, стелі, панелі, вікна, що світяться), розташовані на периферії поля зору працівників, викликають засліпленість або відчуття дискомфорту, а також знижують чуттєвість та інші функції зору.

Засліплююча дія промислових освітлювальних установок регламентується показником засліпленості  $F$ .

Показник засліпленості  $\epsilon$ , в загальному випадку, функцією наступних величин:

- параметрів освітлювальної установки (висоти підвісу світильників над робочою поверхнею і відносною відстані між світильниками);
- типу світильників;
- параметрів освітлюваного приміщення і коефіцієнта відбивання робочої поверхні.

Показник засліпленості визначається за емпіричним виразом в залежності від вищевказаних величин або перевіряється забезпечення заданого показника за довідковими таблицями.

Показник засліпленості має нормовані значення 20, 40, 60 і 80. Показник засліпленості не повинен перевищувати таких значень: 20 одиниць для I і II розрядів робіт при постійному перебуванні людей в приміщенні і 40 – при періодичному; 40 – для III, IV, V, VII розрядів при постійному перебуванні і 60 при періодичному; 60 – для VI та VIII розрядів при постійному перебуванні і 80 при періодичному.

Для суспільно-адміністративних будівель засліплююча дія світильників оцінюється показником дискомфорту  $M$ . Показник дискомфорту може бути визначений за емпіричним виразом або за спеціалізованими довідковими таблицями.



Нормовані значення показника дискомфорту складають відповідно до терміну перебування людей в приміщенні 15 і 25 для I розряду робіт, 40 і 60 для II розряду, 60 і 90 для III розряду в залежності від рівня освітленості.

#### 4.5 Пульсація випромінювання

При живленні газорозрядних ламп змінним струмом мають місце пульсації подвійної частоти. Для кількісної оцінки глибини пульсації використовують поняття коефіцієнта пульсації  $K_{n,i}$ , котрий визначається виразом

$$K_{n,i} = \frac{\Phi_{max} - \Phi_{min}}{2\Phi_{сер}} \cdot 100 \%$$

Дослідження показали, що збільшення коефіцієнта пульсації світлового потоку з 5 до 55 % призводить до зниження функцій зору на 24 – 28 %.

Око реагує на зміну в часі яскравості або освітленості робочого місця. Глибина пульсації освітленості, що регламентується в нормах, оцінюється коефіцієнтом пульсації освітленості  $K_n$

$$K_n = \frac{E_{max} - E_{min}}{2E_{cp}} \cdot 100 \%$$

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.

Як приклад коефіцієнти пульсацій деяких ламп залежно від способу включення наведені в таблиці 8.

Передача кольору характеризує вплив спектрального складу випромінювання джерела на зорове сприйняття кольорових об'єктів в порівнянні зі сприйняттям при освітленні опорним джерелом.

Таблиця 8 – Зміна коефіцієнта пульсації ламп в залежності від схеми їх включення

Джерело світла	Спосіб включення		
	Одна фаза	Дві фази	Три фази
Люмінесцентні лампи:			
– ЛБ	24	10	3
– ЛДЦ	41	17	5
Дугові ртутні високого тиску ДРЛ	65	31	7
Дугові ксенонові ДКсТ	130	60	15

#### 4.6 Передача кольору

Якість передачі кольору оцінюється методом «контрольних кольорів» і виражається індексом передачі кольору  $R_a$ . Шкала індексу передачі кольору побудована таким чином, що індекс 100 має джерело з такою ж передачею кольору, як у опорного джерела, а індекс 50 – стандартна люмінесцентна лампа з  $T_{цв.к} = 3000 K$ . Джерела світла за якістю передачі кольору приблизно поділяються на три класи: високої ( $R_a \geq 85$ ), середньої ( $85 > R_a \geq 70$ ) та низької ( $R_a < 70$ ) якості.

Для ламп ДРЛ нормується відносна місткість червоного випромінювання (у %).

#### Контрольні запитання до розділу 4

1. Основні ознаки норм освітлення побудованих на основі класифікації робіт.
2. Які бувають види і системи освітлення?
3. Як нормується рівень освітленості на робочій площині?
4. Що таке показник засліпленості та як його визначають?
5. Що таке пульсація випромінювання, як вона впливає на функції зору і які шляхи її зменшення?

# 5 ОСНОВНІ МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ОСВІТЛЕНOSTІ

## 5.1 Вихідні дані

Для проведення розрахунку необхідно мати наступні вихідні дані:

1) Коефіцієнт відбиття

Можливі випадки:

– стіни і стеля пофарбовані в білий колір, вікна закриті білими шторами, тоді коефіцієнт відбиття  $\rho = 70\%$ ;

– побілені стіни при незашторених вікнах, побілена стеля в сирих приміщеннях або світла дерев'яна стеля,  $\rho = 50\%$ ;

– бетонна стеля в брудних приміщеннях, бетонні стіни з вікнами,  $\rho = 30\%$ ;

– стіни та стеля з великою кількістю пилу, червоно-коричневі нештукатурені поверхні, стіни з темними шпалерами,  $\rho = 10\%$ .

2) Криві просторових і відносних ізолюкс.

Для розрахунку вибраних світильників необхідно мати криві просторових ізолюкс (ліній однакової освітленості). Ці криві будуються для умовної лампи зі світловим потоком 1000 лм (рисунок 38). Такі криві будуються для точкових джерел (ламп розжарювання, ДРЛ, ДРИ).

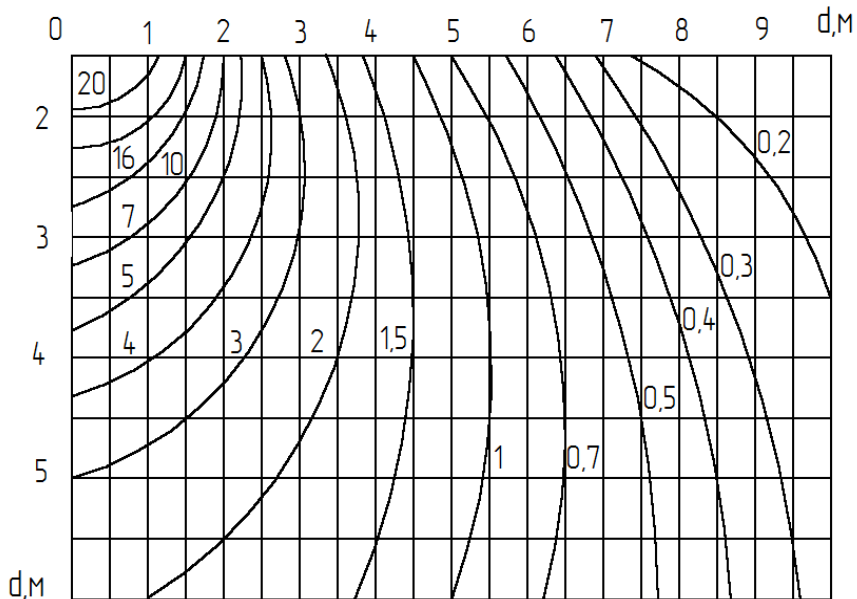


Рисунок 38 – **Криві просторових ізолюкс світильників**

**h** – висота підвісу світильника, м;

**d** – відстань від проекції світильника до точки на площині, що розглядається, м

Для люмінесцентних джерел користуються кривими відносних ізолюкс, де по осям відкладаються відносна довжина лінії  $L'$ , що світиться, та відносна відстань від проекції осі лінії  $p'$  до точки, що розглядається (рисунок 39).

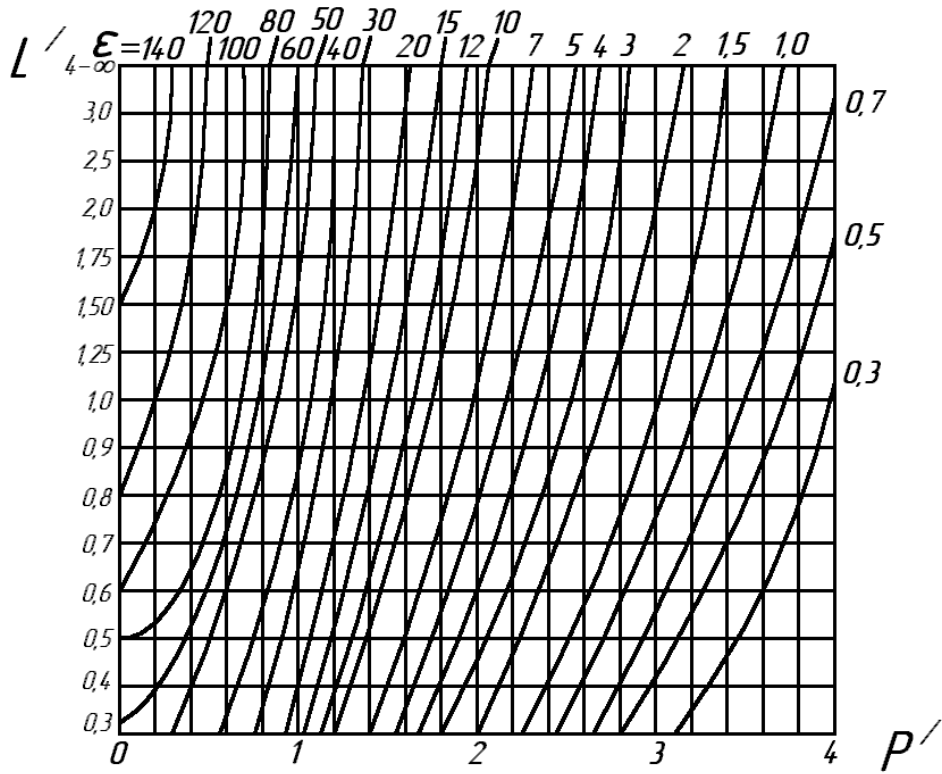


Рисунок 39 – Криві відносних ізолюкс світильників

$$p' = \frac{p}{h}; \quad L' = \frac{L}{h}.$$

3) Крива сили світла (будується для умовної лампи в 1000 лм), вид кривої наведений на рисунку 40.

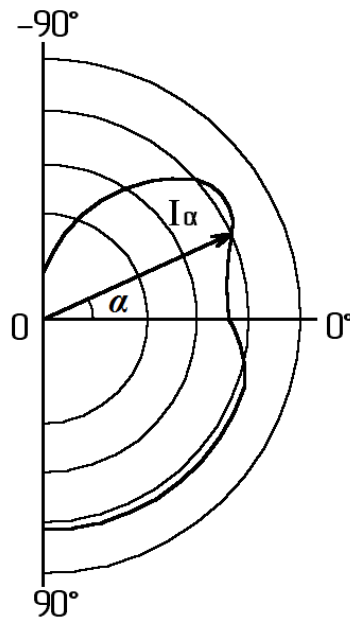


Рисунок 40 – Крива сили світла

4) План розміщення світильників

При системі загального освітлення світильники можна розміщувати над освітлювальною поверхнею рівномірно або локалізовано. У разі рівномірного освітлення світильники розміщують правильними симетричними рядами, створюючи при цьому відносно рівномірну освітленість по всій площі, а при локальному – індивідуально для кожного робочого місця або ділянки виробничого приміщення, забезпечуючи потрібні освітленості лише на робочих місцях.

На рисунку 41 *a* показано розміщення світильників загального освітлення по висоті приміщення. Мінімальна висота підвісу над освітлюваною поверхнею визначається умовами обмеження засліплювальності та вимогами доступності їх обслуговування.

Відстань від стелі до світильника  $h_c$  в основному беруть  $0,5 \div 0,7$  м, рівномірність розподілу яскравості по стелі забезпечується при відношенні  $h_c / h = 0,2 \div 0,25$ . У разі використання відбивання стель у світильників, що випромінюють частину світлового потоку у верхню півсферу, має бути  $h_c \geq 0,25 \cdot L$  ( $L$  – відстань між світильниками або рядами).

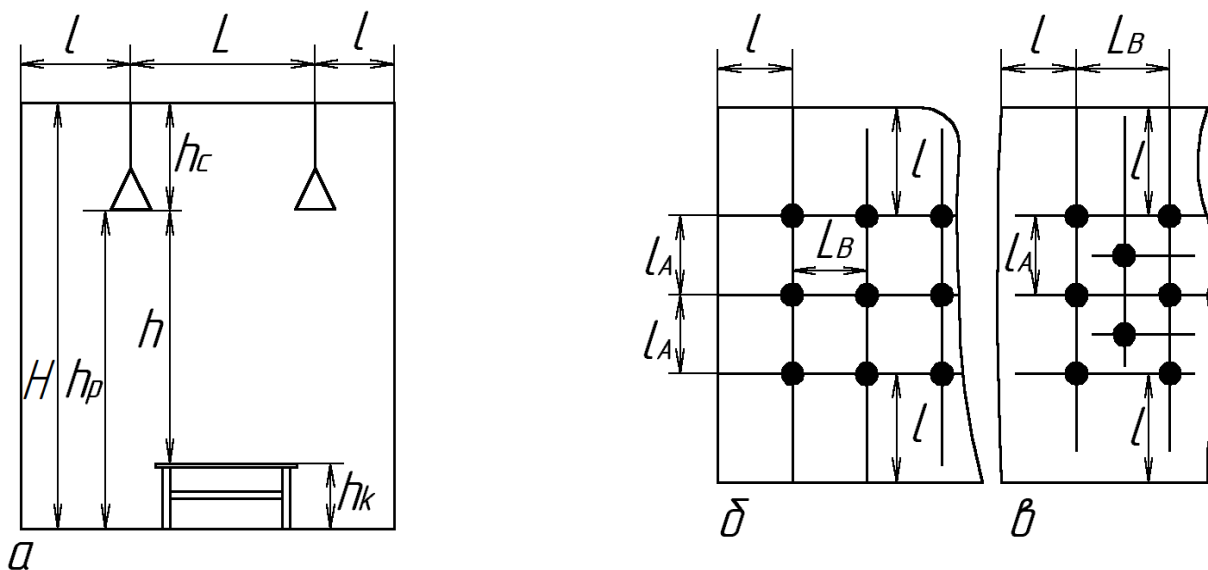


Рисунок 41 – Схеми розміщення світильників:  
*a* – в розрізі; *б, в* – в плані

У приміщеннях із мостовими кранами світильники слід розміщувати на рівні з фермами ( $h_c = 0$ ), а якщо світильники обслуговуються з мостових кранів, висота світильників над настилем мостових кранів має бути не меншою за 1,8 м. Тоді

$$h_c = H - h_k - 1,8,$$

де  $h_k$  – висота від підлоги до настилу крану.

Для інших приміщень рекомендується брати

$$h_c = (0,2 \div 0,25) \cdot (H - h_p).$$

Практикою встановлена висота підвісу світильників від підлоги  $h_p = 2,1 \text{ м}$  в разі встановлення на стояках уздовж огорож технологічних площ і  $h_p \geq 3,5 \text{ м}$  — в разі встановлення на стінах і стелях площ верхніх позначок.

При загальному рівномірному освітленні кращими варіантами; розміщення світильників з лампами розжарювання і ДРЛ є розміщення їх по кутах прямокутника (рисунок 41, б), в шаховому порядку (рисунок 41, в). Якщо світильники розміщують по кутах квадрата ( $L_A = L_B$ ) або по кутах рівностороннього трикутника  $L_A = \sqrt{3} \cdot L_B$ , можна дістати найбільш рівномірний розподіл світла по всій площі приміщення. Вибір відстані між світильниками залежить від типу світильника, висоти його підвісу над робочою поверхнею  $h$  (іноді спосіб розміщення світильників залежить від архітектурних або будівельних умов).

Необхідно враховувати, що збільшення відстані між світильниками і потужності кожного з них посилюють нерівномірність розподілу освітленості на освітлювальній поверхні, оскільки при цьому освітленість під світильниками набагато більша, ніж освітленість точок між ними. При частому розміщенні світильників нерівномірність розподілу освітленості знижується, однак в цьому разі необхідно застосовувати лампи малої потужності з невеликим світловим потоком, а це спричинює підвищення витрат електроенергії і першочергових витрат (збільшення кількості світильників і обсяги монтажних робіт). Отже, вибираючи відстань між світильниками, необхідно знайти таку, яка забезпечувала б найменшу встановлену потужність освітлювальної установки й достатню рівномірність освітленості.

Існує три методи розрахунку освітленості:

- метод світлового потоку (коефіцієнт використання);
- точковий метод;
- метод питомої потужності.

## 5.2 Метод світлового потоку

Цей метод враховує параметри приміщення і відбиваючу здатність стелі, підлоги, стін; при цьому рівень освітленості, тип і кількість світильників обираються попередньо.

Перевагою методу є його відносна простота, але він не дає можливості визначити освітленість в конкретній точці.

Загальний світловий потік знаходиться за формулою

$$\Phi = \frac{E_{min} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{\eta},$$

де  $E_{min}$  – мінімальна освітленість, лк;

$K_3$  – коефіцієнт запасу, враховує старіння світильників;

$Z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення

$$Z = \frac{E_{сер}}{E_{min}} = 1,1 \div 1,15;$$

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку (він залежить від ККД та кривої розподілу сили світла світильника, коефіцієнтів відбивання стелі, підлоги та стін, висоти підвісу світильника над поверхнею та конфігурації приміщення, яка визначається показником приміщення – індексу приміщення  $i$ )

$$\eta = \frac{\Phi_{корис}}{\Phi_{сум}}.$$

Індекс приміщення визначається виразом

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)},$$

де  $A, B$  – довжина, ширина приміщення,

$h$  – висота підвісу світильника.

$$h = H - h_{св} - h_{р.н},$$

$h_{св} = 0,2$  м – відстань світильників від перекриття,

$h_{р.н} = 0,8$  м – висота розрахункової поверхні над підлогою.

Приблизну кількість світильників визначають за виразом:

$$N_{св} = \frac{A \cdot B}{L^2},$$

де  $L = h \cdot \lambda$  – відстань між світильниками,

$\lambda$  – коефіцієнт, що залежить від типу кривої сили світла.

Для точкових джерел на основі розрахунків приймається кількість світильників  $N$ , тоді світовий потік окремої лампи визначається за формулою

$$\Phi_l = \frac{E_{min} \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta}.$$

За  $\Phi_l$  обираємо світильник, світовий потік світильника  $\Phi_{cv}$  повинен знаходитися в межах  $0,9 \cdot \Phi_l \leq \Phi_{cv} \leq 1,2 \cdot \Phi_l$ , в іншому разі необхідно змінити кількість світильників і повторити розрахунок.

Для люмінесцентних світильників приймається конкретний світильник і згідно загального розрахункового світлового потоку визначається кількість світильників

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_{cv}},$$

де  $\Phi_{cv}$  – світловий потік прийнятого світильника, лм.

Перевірка правильності вибору люмінесцентного освітлення здійснюється за виразом

$$0,9 \cdot \Phi \leq N \cdot \Phi_{cv} \leq 1,2 \cdot \Phi.$$

### 5.3 Точковий метод

Даний 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.

1) Для точкових джерел світловий потік окремої лампи

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E_{min} \cdot K_z}{\mu \cdot \sum_{i=1}^n e_i},$$

де  $E_{min}$  – мінімальна освітленість, лк;

$K_z$  – 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;  
 $\mu$  — 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 (рисунок 38) 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 інтерполяванням між числами, вказаними для найближчих кривих. Визначаючи  $\sum_{i=1}^n e_i$ , враховують усі світильники, що освітлюють точку, в межах шкали  $d$  графіків.

Як правило, в якості контрольної точки обирають точку з мінімальною освітленістю, тобто таку, для якої  $\sum_{i=1}^n e_i$  має найменше значення в межах приміщення або робочої поверхні. Точки, що лежать безпосередньо біля стін не враховують. Такою контрольною точкою може бути центр діагоналі або бічної сторони квадрата, прямокутника чи трикутника залежно від особливостей вибраного розміщення світильників. Якщо вони розміщені в один ряд, рекомендується вибирати контрольні точки вздовж лінії, віддаленої від стіни на  $1/5$  ширини приміщення (рисунок 42).

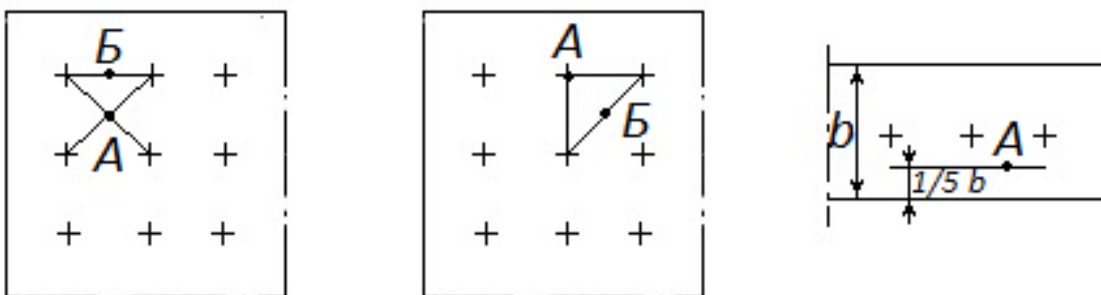


Рисунок 42 – Характерні контрольні точки

Значення  $\mu$  беруть в межах 1,0...1,2. Воно залежить від коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщень, характеру світлорозподілу тощо.

За обчисленим значенням потоку  $\Phi$  підбирають найближчі стандартні лампи, потік яких має відрізнятись від розрахованого не більше ніж на 10 – 20 %. Якщо не можна вибрати лампу з таким допуском, коригують розміщення світильників та їх кількість.

При використанні кривої сили світла світильника горизонтальна освітленість визначається виразом

$$E_{\Gamma} = \frac{c \cdot I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha}{h^2},$$

де  $c$  – коефіцієнт, що враховує реальний світловий потік лампи по відношенню до умовного

$$c = \frac{\Phi_{c\phi}}{1000},$$

$I_{\alpha}$  – сила світла по кривій під кутом  $\alpha$  ;

$\alpha$  – кут падіння світла на робочу поверхню (рисунок 43).

Для вертикальної освітленості

$$E_B = \frac{c \cdot I_{\alpha} \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha}{h^2}.$$

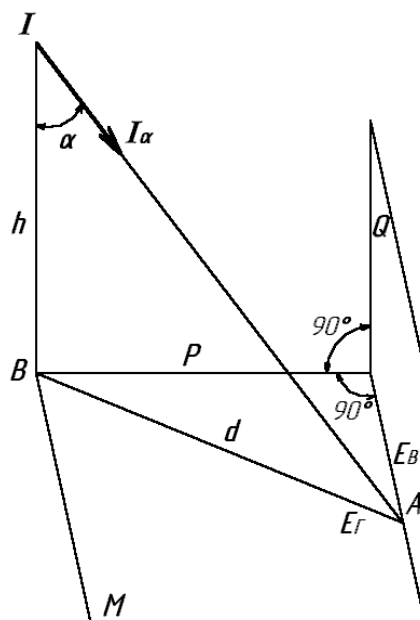


Рисунок 43 – Схема розрахунку освітленості точковим методом

2) Для люмінесцентних світильників питомий світловий потік  $F'$  (лм/м) визначається виразом

$$F' = \frac{1000 \cdot E_{min} \cdot K_3 \cdot h_p}{\mu \cdot \sum_{i=1}^m \varepsilon_i},$$

де  $\varepsilon$  – відносна освітленість, обчислена для розрахункової висоти 1 м і густини потоку лампи в ряду світильників 1000 лм/м;

$h_p$  – рекомендована висота підвісу світильників

$$h_p = \frac{L}{\lambda};$$

$L$  – відстань між світильниками;

$\lambda$  – коефіцієнт, що залежить від типу кривої сили світла.

Значення  $\varepsilon$  для люмінесцентних ламп є функцією відносних розмірів

$$p' = \frac{p}{h}; \quad L' = \frac{L}{h},$$

де  $p$ ,  $L$ ,  $h$  можна визначити з рисунку 44.

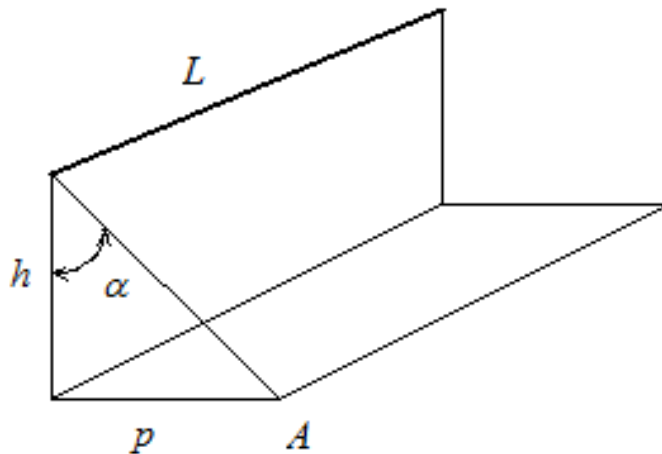


Рисунок 44 – Розрахункова схема

Контрольна точка ( $A$ ) має знаходитися напроти кінця світильника. В інших випадках можна поділити лінію на дві частини, умовні освітленості від яких додаються, або доповнити лінію умовним відрізком, умовні освітленості яких віднімаються (рисунок 45).

Необхідний світловий потік ламп у ряді дорівнює

$$\Phi = F' \cdot L_{заг},$$

де  $L_{заг}$  – довжина лінії світильників, м.

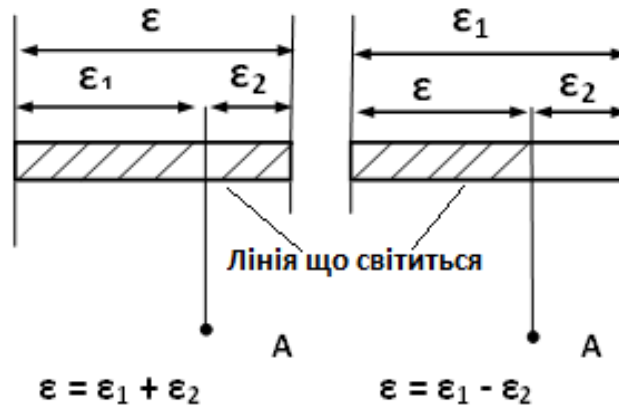


Рисунок 45 – Визначення відносної освітленості точок, що не лежать проти кінця лінії, що світиться

Необхідну кількість світильників в лінії можна знайти

$$N_{св} = \frac{\Phi}{n \cdot \Phi_l},$$

де  $\Phi_l$  – світловий потік лампи, лм;

$n$  – кількість ламп у світильнику.

Прийнятий люмінесцентний світильник має певну довжину  $l_{св}$ , перевіряється можливість розміщення розрахованої кількості світильників в довжину лінії  $L_{заг}$

$$L_{заг} \geq N_{св} \cdot l_{св}.$$

Якщо  $L_{заг} < N_{св} \cdot l_{св}$ , то треба прийняти світильник з більшим світловим потоком (зменшити кількість світильників) і повторити перевірку.

Якщо  $L_{заг}$  значно перевищує добуток  $N_{св} \cdot l_{св}$ , слід прийняти світильник з меншим світловим потоком (збільшити кількість світильників) і повторити перевірку.

#### 5.4 Метод питомої потужності

Метод питомої потужності – найпростіший метод розрахунку загального рівномірного освітлення. Він використовується для оцінювальних розрахунків.

Питома потужність характеризує собою потужність, що приходиться на одиницю площі поверхні, що освітлюється ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ )

$$\omega_{num} = \frac{P \cdot N}{S},$$

де  $N$  – кількість світильників;

$P$  – потужність ламп в кожному світильнику, Вт;

$S$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>.

Розрахункове значення питомої потужності визначається

$$\omega_{розр} = \omega_{num} \cdot \frac{E_{min}}{100} \cdot \frac{K_3}{K_{з.табл}} \cdot K_p,$$

де  $\omega_{num}$  – питома потужність при освітленості 100 лк і табличних значеннях коефіцієнту запасу  $K_{з.табл}$  і коефіцієнтів відбиття, Вт/м<sup>2</sup>;

$E_{min}$  – мінімальна освітленість в приміщенні, лк;

$K_3$  – фактичний коефіцієнт запасу;

$K_p$  – коефіцієнт поправки при реальних коефіцієнтах відбиття по відношенню до табличних.

Для точкових світильників потужність однієї лампи (Вт) визначається виразом

$$P = \frac{\omega_{розр} \cdot S}{N}.$$

Вибирають лампу з найближчою до розрахункової потужністю. Якщо її потужність буде відрізняться 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

$$N = \frac{\omega_{розр} \cdot S}{P_n},$$

Для проведення електричних розрахунків для газорозрядних ламп необхідно враховувати і реактивну потужність. Загальне освітлювальне навантаження  $S_{осв}$  (кВА)

$$S_{осв} = \sqrt{P_{осв}^2 + Q_{осв}^2},$$

де  $P_{осв}$  – розрахункова активна потужність освітлення, кВт;

$Q_{осв} = P_{осв} \cdot tg\phi$  – розрахункова реактивна потужність освітлення, квар;

$tg\phi$  – відповідає  $cos\phi$  світильника.

## 5.5 Зовнішнє освітлення

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 таблицею 9.

Розрахунок середньої яскравості дорожнього покриття виконується за методом коефіцієнта використання світильника по яскравості, значення якого наведені в ДСТУ-Н Б В.2.5-83:2016 для застарілих типів світильників (РКУ–400 та ін.) Для світильників однотипних з ЖКП 01-400-002 можна використовувати в практичних розрахунках дані, які при установці поздовжньої осі некруглосиметричного світильника під кутом  $\varphi$  до горизонту мають значення, показані в таблиці 10 (для гладкого дрібнозернистого асфальтобетонного покриття).

Для магістралей категорій А і Б (див. таблицю 9) регламентований показник засліпленості освітлювальної установки (ОУ) не повинен перевищувати 150. Для освітлювальної установки вулиць і доріг категорії В, а також для освітлювальної установки, нормованих за середньою освітленістю, мінімальна висота розташування освітлювального приладу обмежується, виходячи з умов обмеження засліпленості відповідно до таблиці 11.

**Таблиця 9 – Нормовані значення середньої яскравості дорожнього покриття і середньої горизонтальної освітленості для вулиць, доріг і площ різних категорій**

Категорія об'єкта по освітленню	Вулиці, дороги і площі	Найбільша інтенсивність руху в обох напрямках, транспортних одиниць на годину	Середня яскравість покриття, кд/м <sup>2</sup>	Середня горизонтальна освітленість, лк
А	Магістральні дороги, магістральні вулиці загальноміського значення	Понад 3000	1,6	20
		Понад 1000 до 3000	1,2	20
		Від 500 до 1000	0,8	15
В	Магістральні вулиці районного значення	Понад 2000	1,0	15
		Понад 1000 до 2000	0,8	15
		Від 500 до 1000	0,6	10
		Менше 500	0,4	10
С	Вулиці та дороги місцевого значення	500 і більше	0,4	6
		менше 500	0,3	4
		одиначні автомобілі	0,2	4

### **5.5.1 Вибір, розташування і спосіб установки світильників**

В установках зовнішнього освітлення при середній яскравості покриття 0,4 кд/м<sup>2</sup> і вище та середньої освітленості 4 лк і вище слід переважно застосовувати світильники з газорозрядними джерелами або напівширокий світлорозподіл. Не допускається застосування прожекторів, а також відкритих ламп без освітлювальної арматури. Схеми розташування світильників (ліхтарів) на магістралях промислових підприємств повинні відповідати наведеним на рисунку 47. На закругленнях вулиць з радіусом кривих у плані по осі проїжджої частини 60 – 125 м світильники при їх односторонньому розміщенні повинні розміщуватися по зовнішній стороні вулиці відповідно рисунку 48 а, освітлення перехресть в одному рівні слід виконувати відповідно до схеми рисунку 48 б, в.

Таблиця 10 – Значення коефіцієнтів використання за освітленістю та яскравістю для освітлювального приладу типу ЖКП 01–400–002

φ, град	β, град	Значення $U_E$ и $U_L$ при відношенні ширини розрахункової смуги до висоти установки освітлювального приладу $b/h$						
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
		<b>Значення коефіцієнта використання за освітленістю <math>U_E</math></b>						
0	0;180	0,21	0,31	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38
10	0	0,22	0,34	0,39	0,41	0,43	0,43	0,44
10	180	0,16	0,22	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27
20	0	0,20	0,34	0,40	0,44	0,45	0,46	0,46
20	180	0,15	0,19	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21
30	0	0,16	0,27	0,39	0,43	0,46	0,47	0,48
30	180	0,09	0,12	0,14	0,15	0,15	0,16	0,1
		<b>Значення коефіцієнта використання за яскравістю <math>U_L</math></b>						
0	0;180	0,050	0,069	0,076	0,079	0,081	0,082	0,082
10	0	0,049	0,072	0,081	0,085	0,087	0,088	0,088
10	180	0,038	0,052	0,056	0,057	0,058	-	-
20	0	0,046	0,070	0,083	0,087	0,090	0,092	0,092
20	180	0,032	0,040	0,046	0,048	-	-	-
30	0	0,040	0,067	0,079	0,085	0,089	0,090	0,090
30	180	0,024	0,029	0,030	-	-	-	-

Типи опор зовнішнього освітлення повинні прийматися відповідно до технічних правил з економного витрачання основних будівельних матеріалів.

Підвіс світильників на вулицях з повітряною електричною мережею загального призначення слід виконувати на опорах цієї мережі. При цьому світильники повинні розташовуватися нижче проводів цієї мережі або по інший бік опори; допускається встановлювати консольні світильники вище проводів зазначеної мережі за умови, що відстань в плані від краю світильника до найближчого проводу не менше 0,6 м. Консольні світильники встановлюються, як правило, під кутом  $150^\circ$  до горизонту. Опори повинні розташовуватися на відстані не менше 0,6 м від лицьової грані бортового каменя до зовнішньої поверхні цоколя опори і не ближче 1,5 м від різного роду в'їздів.



Таблиця 11 – Мінімально допустима висота встановлення світильників в залежності від їх світлорозподілу

Крива сили світла за ГОСТ 17677–82	Найбільший світловий потік джерел світла в ОП, установок на одній опорі, лк	Найменша висота установки, м, при	
		ЛР	ГЛ
Напівширока	Менше 5000	6,5	7
	Від 5000 до 1000	7	7,5
	Більше 10000 до 20000	7,5	8
	Більше 20000 до 30000	–	9
	Більше 30000 до 40000	–	10
	Більше 40000	–	11,5
Широка	Менше 5000	7	7,5
	Від 5000 до 10000	8	8,5
	Більше 1000 до 20000	9	9,5
	Більше 20000 до 30000	–	10,5
	Більше 30000 до 40000	–	11,5
	Більше 40000	–	13

### 5.5.2 Розрахунок кроку ліхтарів або окремих світильників при нормуванні середньої яскравості

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 рисунку 46, не враховує прямі ділянки магістралей, для яких крок ліхтарів або окремих світильників розраховується за формулою (ДСТУ-Н Б В.2.5-83:2016):

$$L = \frac{1}{\pi \cdot B_n \cdot b \cdot K_z} \sum_{i=1}^M \eta_{B_i} \cdot F_{\lambda_i} \cdot m_i,$$

де  $L$  – крок ліхтарів (світильників), м;

$B_n$  – нормована середня яскравість, кд/м<sup>2</sup>;

$K_z$  – коефіцієнт запасу;

$b$  – ширина проїжджої частини вулиці чи дороги, м;

$M$  – кількість рядів світильників уздовж освітлюваної смуги (кожен ряд повинен складатися з однотипних світильників);

$\eta_{B_i}$  – коефіцієнт використання світильника по яскравості  $i$ -го ряду;

$F_{\lambda_i}$  – світловий потік ламп світильника  $i$ -го ряду, лм;

$m_i$  – число світильників ліхтаря, що відносяться до  $i$ -го ряду.

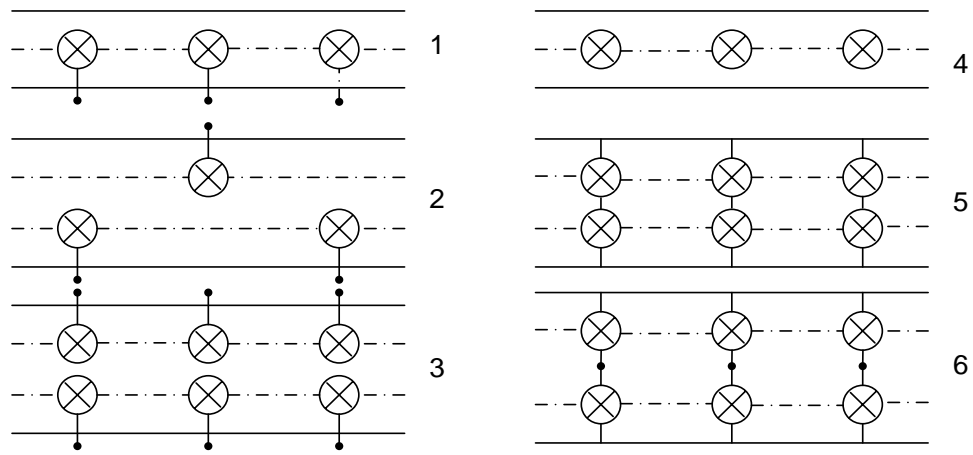


Рисунок 46 – Схема світильників в освітлювальній установці вулиць і доріг:

1 – одностороння; 2 – дворядна в шаховому порядку; 3 – дворядна прямокутна, 4 – осьова; 5 – дворядна прямокутна по осях руху 6 – дворядна прямокутна по осі вулиці

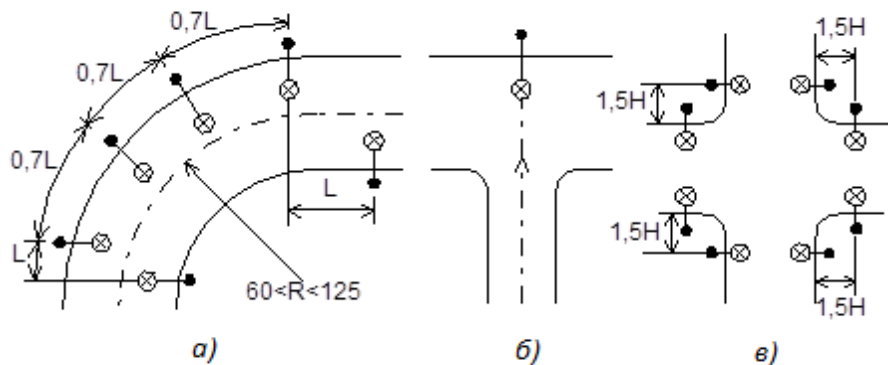


Рисунок 47 – Схема розташування світильників: а) на закругленні; б) на примиканні; в) на перетині; Н – висота встановлення світильників

### 5.5.3 Розрахунок кроку ліхтарів або окремих світильників при нормуванні середньої освітленості

Нормативний документ ДСТУ-Н Б В.2.5-83:2016 регламентує при нормованій середній освітленості крок ліхтарів (відстань між опорами) або окремих світильників розраховувати за формулою:

$$L = \frac{1}{\pi \cdot E_n \cdot b \cdot K_3} \sum_{i=1}^N (\eta_{E_i} \cdot F_{l_i} \cdot m_i)$$

де  $E_n$  – нормована освітленість;

$\eta_{E_i}$  – коефіцієнт використання по освітленості світильників  $i$ -го ряду.

Крок ліхтарів або світильників в районі пішохідного переходу та залізничного переїзду вибирається рівним  $1,5H$ , із зсувом  $0,75H$  в обидві сторони щодо осьової лінії переходу (переїзду), де  $H$  – висота установки світильника.

#### 5.5.4 Розрахунок показника засліпленості

Показник засліпленості  $F$  – це критерій оцінки сліпучої дії освітлювальної установки, значення якого визначається за формулою:

$$F = 570 \cdot a \cdot C_B \frac{\beta_{\text{сум}}}{K_z \cdot B_n},$$

де  $a$  – коефіцієнт нееквівалентності, що дорівнює: для ЛР–1; для ЛЛ і ДРЛ–1,3; для ДРИ – 1,1; для ламп ДНаТ – 0,9;

$K_z$  – коефіцієнт запасу;

$B_n$  – нормована середня яскравість, кд/м<sup>2</sup>;

$C_B$  – постійний коефіцієнт, що залежить від яскравості фону, визначається за графіком рисунка 48;

$\beta_{\text{сум}}$  – сумарна яскравість вуалюючої пелени, кд/м<sup>2</sup>:  $\beta_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^N \beta_i$

$N$  – число світильників;

$\beta_i$  – яскравість вуалюючої пелени, створюваної  $i$ -м рядом світильників.

Яскравість вуалюючої пелени від кожного ряду світильників визначається для спостерігача, що знаходиться на подовжній лінії посередині проїжджої частини даного напрямку руху, і розраховується за формулою:

$$\beta_i = \frac{m}{3300 \left[ (H - h)^2 + \Delta b_i^2 \right]} \left[ 0,88 \cdot (I_{75^\circ})_i + 0,82 \cdot (I_{80^\circ})_i + 2,1 \cdot (I_{85^\circ})_i + 1,55 \cdot (I_{90^\circ})_i \right],$$

де  $H$  – висота встановлення світильників, м;

$h$  – висота очей спостерігача над рівнем проїжджої частини, приймається рівної 1,5 м;

$\Delta b_i$  – відстань між лінією  $i$ -го ряду світильників і середньої поздовжньої лінією проїзної частини даного напрямку руху, м;

$m$  – число світильників ліхтаря, що відносяться до  $i$ -ого ряду;

$(I_{75^\circ})_i; (I_{80^\circ})_i; (I_{85^\circ})_i; (I_{90^\circ})_i$  – величина сили світла світильників  $i$ -го ряду в площині  $\beta = 90^\circ$  відповідно під кутами  $\alpha = 75, 80, 85, 90^\circ$ , кд.

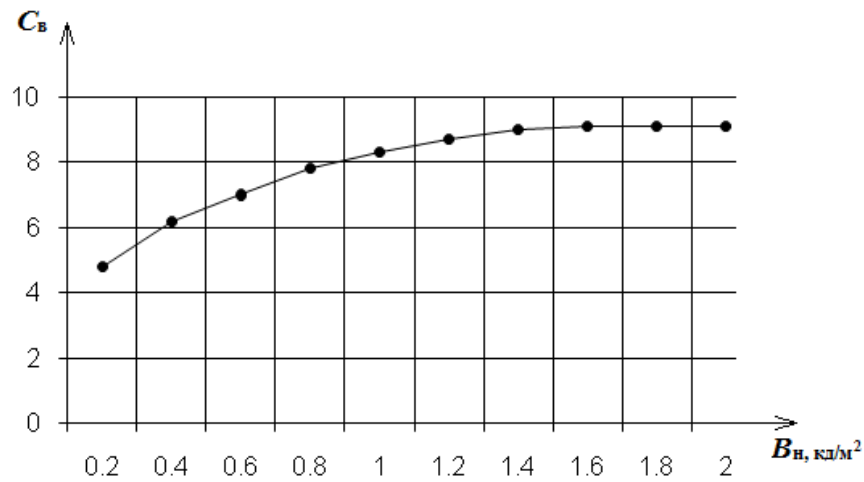


Рисунок 48 – Графік залежності постійного коефіцієнта  $C_v$  для розрахунку показника засліпленості від яскравості фону  $B_n$

### 5.5.5 Розрахунок мереж зовнішнього освітлення по втраті напруги

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 таблиці 12.

При визначенні розрахункових втрат прийнято, що зниження напруги у найбільш віддалених ламп дорівнює 5 % номінальної напруги ламп, а коефіцієнт завантаження трансформатора дорівнює 0,9.

Таблиця 12 – 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
1	2	3	4	5
20	6	5,5	5,5	5,5
35				
60				
100	0,5	6,0		
20	6	5,5	5,5	5,5
35				
60				
100				
160				
250	0,5	6,0		
400				
630 і вище	7	6,5	6,0	

### 5.5.5.1 Розрахунок освітлювальної мережі при рівномірному навантаженні фаз

Розрахунок перерізу проводів головної ділянки освітлювальної мережі зовнішнього освітлення по втраті напруги проводиться за наступними формулами:

а) для однофазних і двофазних ліній, а також трифазних ліній з окремим нульовим проводом:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N M_i}{C \cdot \Delta U},$$

б) для трифазних ліній з використанням нульового проводу мережі загального призначення:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N M_i}{C \cdot \Delta U} \left( 1 + \frac{a \cdot K}{\sqrt{P_{н.осв.}}} \right),$$

де  $S$  – переріз проводу, мм<sup>2</sup>;

$\sum_{i=1}^N M_i$  – сума моментів навантаження, добуток навантаження гілки на її довжину, кВт·м;

$\Delta U$  – 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 таблицях 13 і 14.

Наведені в таблиці 13 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 знаходяться з кривих рисунка 49.

Таблиця 13 – 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 14 – 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	-

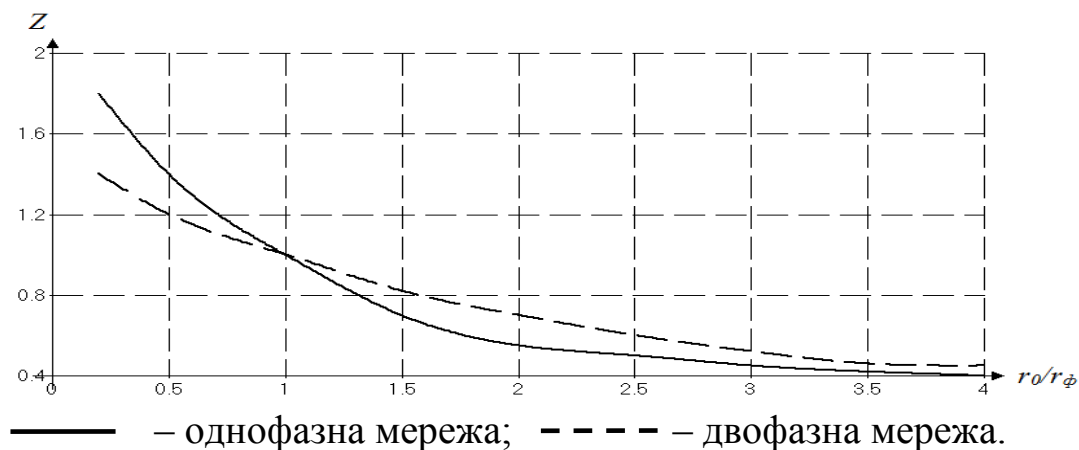


Рисунок 49 – **Графік для визначення поправки z**

Графік для визначення коефіцієнта  $z$  враховує відмінність перерізу нульового проводу від перерізу фазних проводів ( $r_0 / r_\phi$ ) і вид мережі.

### 5.5.5.2 Розрахунок мережі при нерівномірному навантаженні фаз

Розрахунок перерізів фазних проводів з включенням ламп на фазну напругу проводиться за наступними формулами:

а) для трифазної схеми з окремим нульовим проводом (3 фази + нуль):

$$F = \frac{3 \cdot M}{C \cdot \Delta U} (1 + K_{nc} \cdot m \cdot b);$$

б) для двофазної схеми (2 фази + нуль):

$$F = \frac{3 \cdot M}{C \cdot \Delta U} (1 + K_{nc} \cdot m \cdot b);$$

в) для трифазної схеми з використанням нульового проводу мережі загального користування (3 фази + загальний нульовий провід):

$$F = \frac{3 \cdot M}{C \cdot \Delta U} \left( 1 + \frac{a \cdot K_3}{\sqrt{P_{н. осв.}}} + K_{nc} \cdot m \cdot b \right);$$

де  $F$  – переріз фазного проводу зовнішнього освітлення,  $\text{мм}^2$ ;

$M$  – сума моментів навантажень в максимально навантаженій фазі лінії зовнішнього освітлення,  $\text{кВт} \cdot \text{м}$ ;

$m$  – співвідношення опорів нульового і фазного проводів;

$P_{н. осв.}$  – навантаження мережі зовнішнього освітлення,  $\text{кВт}$ ;

$K_{nc}$  – коефіцієнт несиметрії фазних навантажень, визначається з графіка рисунка 50;

$b$  – коефіцієнт, що залежить від співвідношення фазних навантажень, що визначається за таблицею 15.

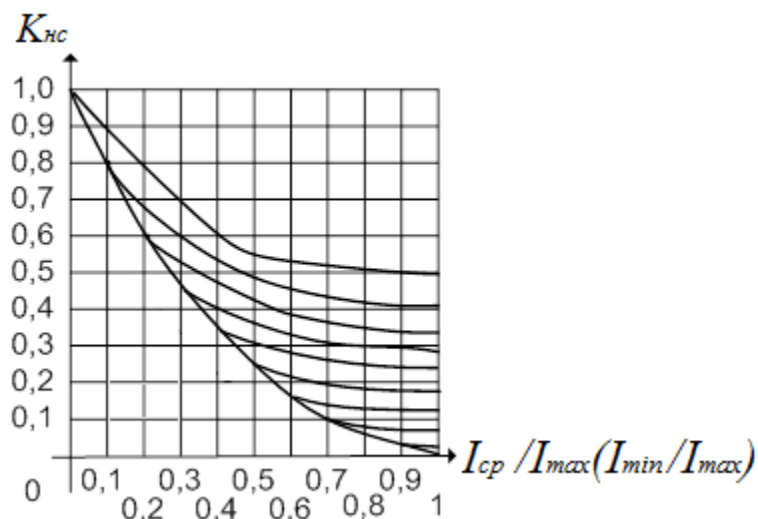


Рисунок 50 – Графік для визначення коефіцієнта несиметрії фазних навантажень

Таблиця 15 – Значення коефіцієнта  $b$  в залежності співвідношення фазних навантажень

Число фаз в лінії з напругою 380/220 В	Співвідношення навантажень у фазах, %			Коефіцієнт $b$
	A	B	C	
1	2	3	4	5
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
	100	50	100	1,2
	100	75	75	2,5
	100	75	100	1,3
2	100	0	-	1,0
	100	25	-	1,2
	100	50	-	1,3
	100	75	-	1,4
	100	100	-	1,0



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.

### 5.5.5.3 Розрахунок мереж з газорозрядними лампами по втраті напруги

Розрахунок, за відсутності індивідуальної компенсації реактивної потужності, слід проводити з урахуванням реактивного опору – для повітряних ліній при перерізі дроту  $16 \text{ мм}^2$  і вище і для кабельних ліній при перерізі  $50 \text{ мм}^2$  і вище. Замість допустимої втрати напруги ( $\Delta U, \%$ ) слід приймати допустиму величину падіння напруги ( $\Delta U', \%$ ), що враховує реактивні навантаження і опір, розраховується за виразом:

$$\Delta U' = \beta \cdot \Delta U ,$$

де  $\beta$  – коефіцієнт зниження допустимого значення втрат напруги, що враховує реактивне навантаження і опір, що визначаються з графіків рисунка 51.

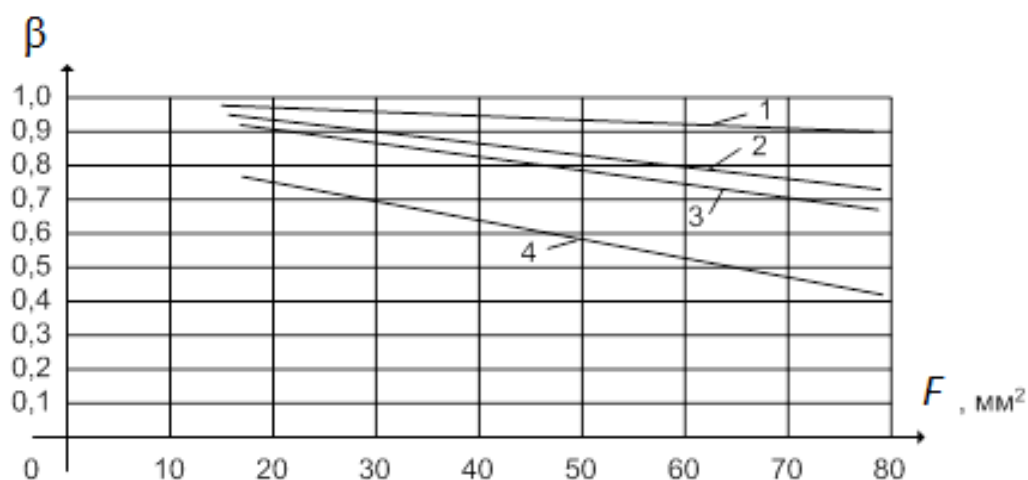


Рисунок 51 – Графік визначення коефіцієнта зниження допустимого значення втрат напруги:

- 1 – кабельна лінія,  $\cos \varphi = 0,9$  ; 2 – повітряна лінія,  $\cos \varphi = 0,9$  ;
- 3 – кабельна лінія,  $\cos \varphi = 0,5$  ; 4 – повітряна лінія,  $\cos \varphi = 0,5$

### 5.5.6 Розрахунок прожекторного освітлення

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, слід попередньо знайти необхідний сумарний потік  $\Phi_{\text{сум}}$ , користуючись виразом

$$\Phi_{\text{сум}} = E_n \cdot S \cdot K_z \cdot K_n,$$

де  $E_n$  – потрібна (нормована) освітленість, лк;

$S$  – освітлювальна площа, м<sup>2</sup>;

$K_z$  – 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.

Якщо відомий сумарний потік, то необхідну кількість прожекторів, необхідна для освітлення даної площі, визначається за формулою

$$N_{\text{пр}} = \frac{\Phi_{\text{сум}}}{\Phi_{\text{л}} \cdot \eta_{\text{пр}}},$$

де  $\Phi_{\text{л}}$  – світловий потік лампи прожектора, лм;

$\eta_{\text{пр}} = 0,35 \div 0,37$  – ККД прожектора.

Висота установки прожектора визначається за формулою

$$h \geq \sqrt{\frac{I_{\text{max}}}{300}},$$

де  $I_{\text{max}}$  – максимальна (осьова) сила світла прожектора, кд.

Знаючи кількість прожекторів і висоту їх установки, можна визначити освітленість в окремих точках площі, користуючись точковим методом.

Прожектор заливаючого світла випускає пучок променів у вигляді конуса з кутом  $\beta$ , який утворює світлову пляму, за формою близьку до еліпса з більшою віссю СД (рисунок 52).

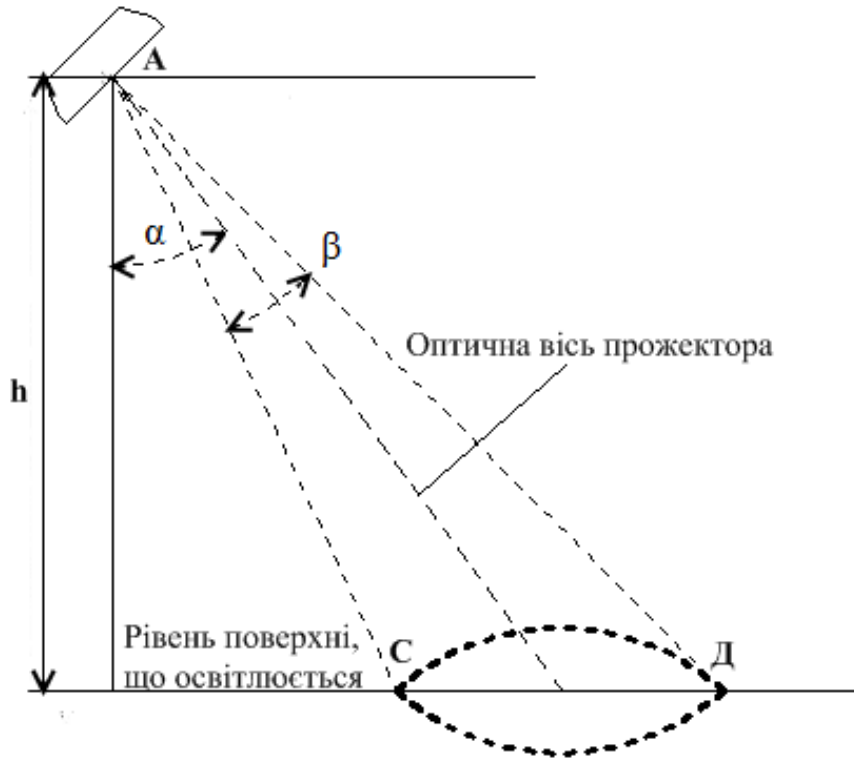


Рисунок 52 – Світлова пляма прожектора

Освітленість у точках, розташованих на осі еліпса, визначається за формулами:

а) горизонтальна освітленість

$$E_2 = \frac{I_a \cdot \cos^3 \alpha}{K_3 \cdot h^2},$$

б) вертикальна освітленість

$$E_e = E_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

де  $I_a$  – сила світла променя прожектора, спрямованого під кутом, кд;

$h$  – висота підвісу прожектора;

$\alpha$  – кут, утворений оптичною віссю пучка променів прожектора і вертикаллю до освітлюваної площі.

Оптимальний кут нахилу оптичної осі прожектора – це кут, при якому площа світлової плями (еліпса) максимальна, а освітленість відповідає нормам – визначається за формулою

$$\gamma = \arcsin \sqrt{m + n \cdot E_0^{\frac{2}{3}}},$$

де  $m$  і  $n$  – коефіцієнти кутів розсіювання прожекторів в горизонтальній і вертикальній площинах, де  $m$  – безрозмірна величина,  $E_0 = K_3 \cdot E \cdot h^2$  – при освітленні одним прожектором,  $E_0 = 0,5 \cdot K_3 \cdot E \cdot h^2$  – якщо світлові плями прожекторів перекривають одна одну.

Коли потрібно визначити освітленість вертикальної поверхні, оптимальний кут визначається за формулою

$$\gamma_e = 2 \cdot \arctg \left( \frac{I_{max}}{E_e \cdot h^2} \right).$$

Наведений метод розрахунку є спрощеним, але цілком прийнятним для практичних цілей.

Більш точний метод розрахунку за відносною освітленістю полягає в наступному. У цьому випадку робочою характеристикою прожектора є ізолюкси освітленості на умовній площині, перпендикулярній його оптичній осі, розташованій на відстані 1 м, які можна знайти в довіднику для кожного типу прожектора. Далі методом проектування з умовної площі на розрахункову можна побудувати ізолюкси на освітлюваній поверхні.

### **Контрольні запитання до розділу 5**

1. Які вихідні дані необхідно мати для проведення розрахунку освітленості?
2. Особливості методу світлового потоку для розрахунку освітленості.
3. Особливості точкового методу для розрахунку освітленості.
4. Які переваги методу питомої потужності перед іншими під час розрахунку освітленості?
5. З якою метою встановлюють зовнішнє освітлення і які вимоги щодо нього під час проектування?
6. Які показники визначаються під час розрахунку прожекторного освітлення?
7. За яким методом виконується розрахунок середньої яскравості дорожнього покриття?

## **6 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК**

### **6.1 Напруга освітлювальних мереж**

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, і 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 з 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;

- заборона 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: тих, що являються складовою частиною аварійного освітлення, під'єданого до незалежного джерела живлення; тих, 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.

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.

## **6.2 Схеми живлення освітлювальних установок**

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 освітлювальні навантаження живляться 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 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 кожну 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 підключається на одну фазу групової мережі, не повинна перевищувати:

- для ламп розжарювання, ДРЛ, ДРИ і натрієвих – до 20;
- для люмінесцентних ламп – до 50;
- для ксенонових ламп потужністю 10 кВт і вище – не більше однієї.

У конструктивному виконанні живильні лінії виконуються чотирипровідними при мережі з заземленою нейтраллю і трифазними в мережах з ізольованою нейтраллю. Групові лінії можуть бути однофазними (1ф + N), двофазними (2ф), двофазними з нульовим проводом (2ф + N), трифазними (3ф) і трифазними чотирипровідними (3ф + N). 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 (рисунок 53). 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.

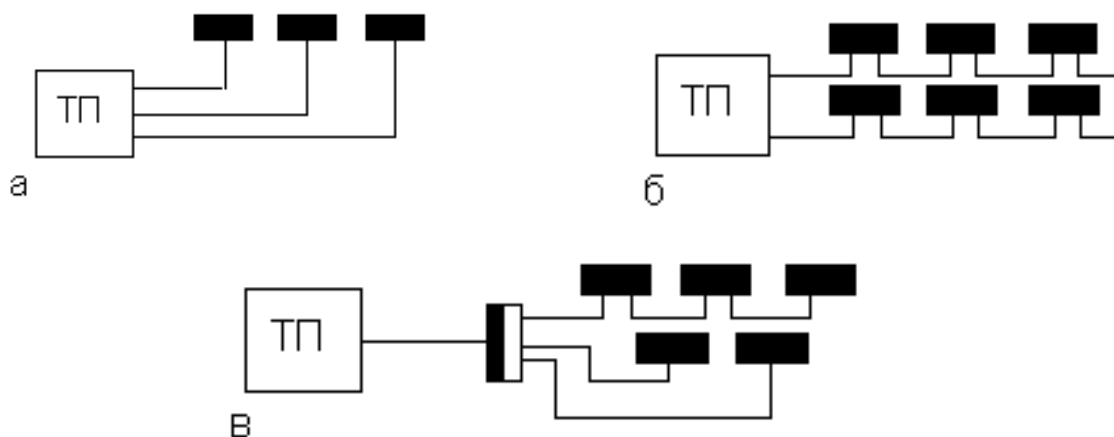
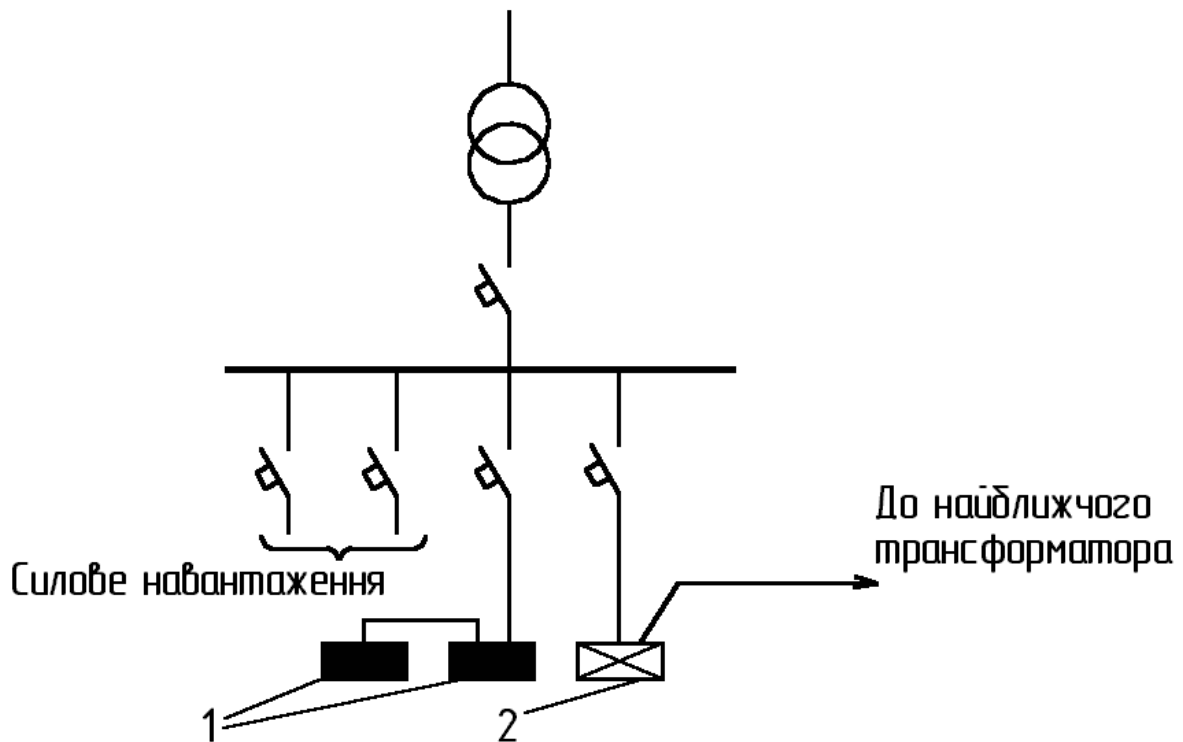


Рисунок 53 – Різновиди схем живлення освітлювальних установок  
а – радіальна схема; б – магістральна схема; в – змішана схема

Для споживачів третьої категорії по надійності живлення, а в деяких випадках – і для другої категорії при використанні однострансформаторних підстанцій для живлення силових споживачів освітлювальні мережі як робочого, так і аварійного освітлення живляться від цього трансформатора (рисунок 54). Для підвищення надійності живлення аварійного освітлення варто передбачати можливість його підключення до найближче розташованого іншого трансформатора за допомогою кабельної перемички.

При двотрансформаторних підстанціях (рисунок 55) 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 низькій стороні забезпечить живлення освітлювальних установок від іншого трансформатора. Система аварійного освітлення живиться перехресним способом, тобто від іншого трансформатора по відношенню до трансформатора робочого освітлення.



**Рисунок 54 – Схема живлення освітлювальної установки від однострансформаторної підстанції:**

- 1 – групові щитки робочого освітлення;**
- 2 – щиток аварійного освітлення**



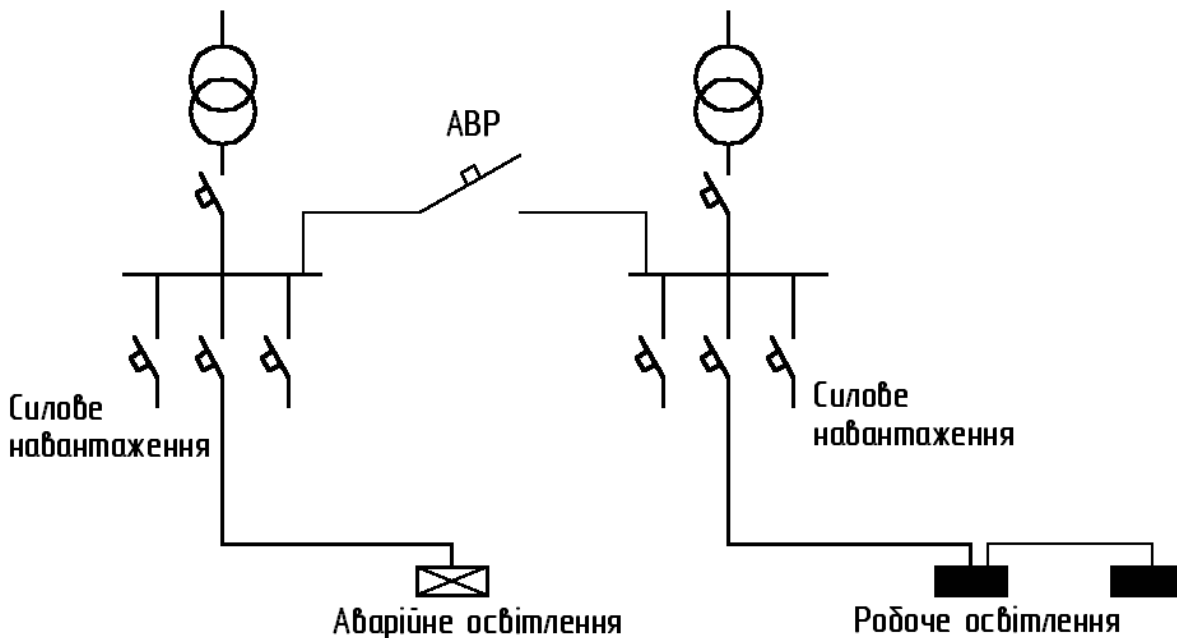


Рисунок 55 – Схема живлення освітлювальної установки від двотрансформаторної підстанції

### 6.3 Визначення розрахункових навантажень системи освітлення

Розрахункова потужність освітлювальної установки визначається на підставі світлотехнічного розрахунку після вибору потужності і кількості світильників, тобто відповідно до встановленої потужності світильників.

Для освітлювальних установок з лампами розжарювання розрахункова потужність ( $P_{роз}$ , кВт) визначається виразом

$$P_{роз} = \kappa_n \cdot \sum_{i=1}^n P_{ном_i},$$

де  $\kappa_n$  – коефіцієнт попиту;

$\sum_{i=1}^n P_{ном_i}$  – сумарна встановлена потужність усіх світильників, кВт;

$n$  – кількість груп світильників.

Для освітлювальних установок з газорозрядними лампами необхідно враховувати втрати в ПРА

$$P_{роз} = \kappa_n \cdot K_{ПРА} \cdot \sum_{i=1}^n P_{ном_i},$$

де  $K_{ПРА}$  – коефіцієнт додаткових втрат, значення коефіцієнта для різних типів ПРА відповідних типів ламп приведений в таблиці 16.

Таблиця 16 – Значення  $K$  для різних типів пускорегулювальних апаратів

№ п/п	Тип лампи	Тип ПРА	$K$
1	Люмінесцентна біла (ЛБ)	Звичайний електромагнітний	1,22
		Електромагнітний з пониженими втратами	1,14
		Електронний	1,1
2	КЛЛ	Звичайний електромагнітний	1,27
		Електромагнітний з пониженими втратами	1,15
		Електронний	1,1
3	ДРЛ, ДРИ	Звичайний електромагнітний	1,05
		Електромагнітний з пониженими втратами	1,1
		Електронний	1,1
4	ДНаТ	Звичайний електромагнітний	1,1
		Електромагнітний з пониженими втратами	1,1
		Електронний	1,06

Коефіцієнти попиту для розрахунку навантажень робочого освітлення в мережі живлення наведені в таблиці 17.

Таблиця 17 – Значення коефіцієнтів попиту для різних споживачів

Характеристика споживачів	$K_n$
Дрібні будівлі виробничого характеру	1,0
Виробничі будівлі, що складаються з окремих великих прольотів	0,95
Виробничі будівлі, що складаються з декількох окремих приміщень	0,85
Проектні і конструкторські організації	0,85
Школи, ПТУ	0,8
Підприємства громадського харчування	0,8
Підприємства побутового обслуговування	0,8
Готелі та адміністрації	0,7

Коефіцієнт попиту для групової мережі освітлення і всіх ланок мережі аварійного освітлення приймається рівним 1,0.

## 6.4 Вибір перерізу провідників за допустимим струмом навантаження

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  $+25^{\circ}\text{C}$  та  $+15^{\circ}\text{C}$ , при відмінності фактичних температур від зазначених використовується таблиця коефіцієнтів перерахування, наведена в ПУЕ.

Отже, умовою перевірки обраного перерізу провідника за допустимим струмом навантаження є

$$I_{дон} > I_{роз},$$

де  $I_{роз}$  – розрахунковий струм, що протікає по провіднику, А.

Для проведення порівняння необхідно визначити максимальний розрахунковий струм кожної ділянки освітлювальної мережі. Розрахунковий струм в залежності від системи виконання мережі визначається виразами:

– для однофазних двопровідних мереж (1ф + N)

$$I_p = \frac{P \cdot 10^3}{U_\phi \cdot \cos \varphi};$$

– для двофазних двопровідних мереж (2ф + N)

$$I_p = \frac{P \cdot 10^3}{2 \cdot U_\phi \cdot \cos \varphi};$$

– для трифазних чотирипровідних мереж (3ф + N)

$$I_p = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{P \cdot 10^3}{3 \cdot U_\phi \cdot \cos \varphi},$$

де  $P$  – розрахункова потужність, кВт;

$U_{\phi}, U_{л}$  – відповідно фазна і лінійна напруга, В;

$\cos\varphi$  – коефіцієнт потужності, 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.

## 6.5 Розрахунок освітлювальної мережі за втратами напруги

Цей метод розрахунку передбачає забезпечення допустимих рівнів напруг на джерелах світла.

Зниження напруги щодо номінальної пов'язано зі зменшенням світлового потоку світильників і, у кінцевому рахунку, рівнів освітленості на робочих місцях.

Збільшення напруги щодо номінальної пов'язано з додатковою витратою енергії світильником і зменшенням його терміну служби, останнє особливо важливо для ламп розжарювання.

Відповідно до ГОСТ 13109–97 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

$$\Delta U_{м} = U_{xx} - \Delta U_{тр} - U_{min},$$

де  $\Delta U_{м}$  – допустима втрата напруги в мережі;

$U_{xx}$  – напруга холостого ходу трансформатора (на 5% вища за номінальну);

$\Delta U_{mp}$  – 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).

Втрата напруги в трансформаторі (%) визначається виразом

$$\Delta U_{mp} = \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi),$$

де  $U_a, U_p$  – відповідно активна і реактивна складові напруги короткого замикання трансформатора ( $U_{кз}$ ), % ;

$\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності навантаження вторинного ланцюга трансформатора;

$\beta$  – коефіцієнт завантаження трансформатора (відношення розрахункового навантаження трансформатора до його номінальної потужності).

Активна і реактивна складові напруги короткого замикання трансформатора (%) визначаються виразами

$$U_a = \frac{100 \cdot P_{кз}}{S_{ном.тр}};$$

$$U_p = \sqrt{U_{кз}^2 - U_a^2},$$

де  $P_{кз}$  – втрати потужності короткого замикання трансформатора, кВт;

$S_{ном.тр}$  – номінальна потужність трансформатора, кВА.

Для трансформаторів, що випускаються серійно, значення  $S_{ном.тр}$ ,  $P_{кз}$ ,  $U_{кз}$  вказуються в каталогах на трансформатори.

Розрахунок освітлювальної мережі, як правило, ведеться без урахування індуктивного опору провідників.

Розрахункове значення втрати напруги на кожній ділянці освітлювальної мережі (%) визначається виразом

$$\Delta U = \frac{M}{C \cdot F},$$

де  $M$  – момент освітлювального навантаження, кВт·м;

$C$  – постійний коефіцієнт, що залежить від номінальної напруги, обраної системи мережі і матеріалу провідника (дивись таблицю 18);

$F$  – переріз провідника, обраного за умовами нагрівання, мм<sup>2</sup>.

Таблиця 18 – Значення коефіцієнта  $C$

Напруга мережі, В	Система мережі і роду струму	Коефіцієнт $C$ для провідників	
		мідних	алюмінієвих
380/220	Трифазна з нульовим проводом	77	46
380/220	Двофазна з нульовим проводом	34	20
220	Однофазна двопровідна змінного або постійного струму	12,80	7,70
220/127	Трифазна з нульовим проводом	25,60	15,50
220	Трифазна трипровідна	25,60	15,50
220/127	Двофазна з нульовим проводом	11,40	6,90
127	Однофазна двопровідна змінного струму	4,30	2,60
110	Двопровідна змінного або постійного струму	3,20	1,90
36	Трифазна	0,68	0,42
36	Двопровідна змінного або постійного струму	0,34	0,21
24	Те ж	0,153	0,092
12	Те ж	0,038	0,023

Момент освітлювального навантаження визначається в залежності від схеми підключення світильників і їхньої потужності. Так, для схем, наведених нижче (рисунок 56), моменти будуть мати значення:

$$1 - M = P \cdot L;$$

$$2 - M = P_1 \cdot L_1 + P_2 (L_1 + L_2) + P_3 (L_1 + L_2 + L_3) = L_1 (P_1 + P_2 + P_3) + L_2 (P_2 + P_3) + L_3 P_3;$$

$$3 - M = P_{\text{сум}} (L_0 + L / 2)$$

При складній розгалуженій мережі втрата напруги визначається для кожної окремої ділянки.

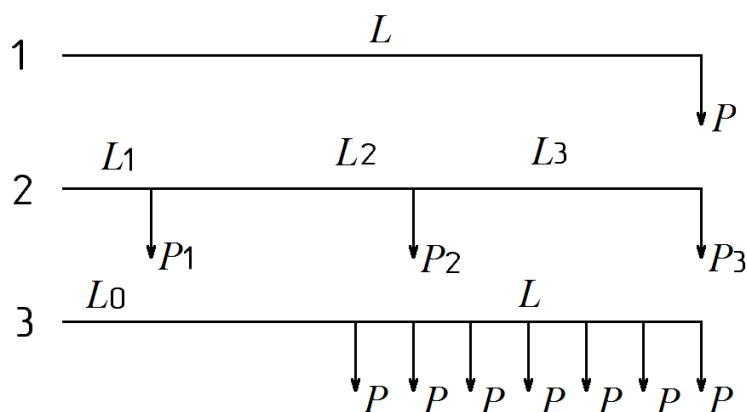


Рисунок 56 – Схеми підключення світильників

## 6.6 Вибір перерізів провідників за механічною міцністю

Після вибору перерізів провідників необхідно зробити перевірку найменших допустимих перерізів провідників за механічною міцністю згідно з таблицею 19.

Таблиця 19 – Значення найменших перерізів провідників за механічною міцністю

Провідники	Мінімальний переріз, мм <sup>2</sup>	
	міді	алюмінію
Проводи для підключення світильників: – загального освітлення всередині будинку – загального освітлення поза будинком – підвісних місцевого освітлення	0,5 1,0 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

Для приєднання переносних і пересувних електроприймачів повинні застосовуватися тільки мідні гнучкі провідники.

При тросових підвісках в залежності від навантаження сталеві троси варто застосовувати діаметром 1,95 – 6,5 мм<sup>2</sup>.

## 6.7 Розрахунок мереж на мінімум провідникового матеріалу

У деяких випадках необхідно вирішити задачу виконання освітлювальної мережі при мінімальній витраті провідникового матеріалу і дотриманні умови забезпечення допустимої втрати напруги.

Сутність розрахунку полягає у визначенні перерізу ділянки мережі, прийнятті стандартного перерізу, визначенні втрати напруги на цій ділянці і наявної втрати напруги на інших ділянках.

Розрахунок починається з головної ділянки і послідовно ведеться до кінцевих ділянок.

Переріз ділянки мережі ( $F$ , мм<sup>2</sup>), виходячи з мініимальної витрати провідникового матеріалу, ведеться за виразом

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n M_i + \sum_{j=1}^l \alpha_j \cdot \sum_{g=1}^k m_g}{C \cdot \Delta U},$$

де  $\sum_{i=1}^n M_i$  – сума моментів усіх ділянок з тією же кількістю проводів, що й

у розглянутій ділянці, кВт·м;

$n$  – кількість ліній з системою мережі головної ділянки;

$m_g$  – момент інших ділянок мережі, що розглядається, кВт·м;

$k$  – кількість ділянок різних з системою мережі головної ділянки;

$\alpha_j$  – коефіцієнт приведення моментів, що визначається за таблицею 20;

$l$  – кількість систем мережі, що відрізняється від головної ділянки;

$C$  – коефіцієнт (таблиця 18);

$\Delta U$  – наявна втрата напруги, %.

Таблиця 20 – Коефіцієнт приведення моментів

Система мережі	Система відгалуження	Значення коефіцієнта $\alpha$
Трифазна з нулем	Однофазна	1,83
Те ж	Двофазна з нулем	1,37
Двофазна з нулем	Однофазна	1,33
Трифазна	Двофазна	1,15

Як приклад розглянемо розрахунок мережі, наведеної на рисунку 57, на мінімум провідникового матеріалу. Окремі ділянки позначені цифрами,



кількість ліній на кожній ділянці позначена рисками, величина наявної втрати напруги для всієї мережі складає  $\Delta U$ .

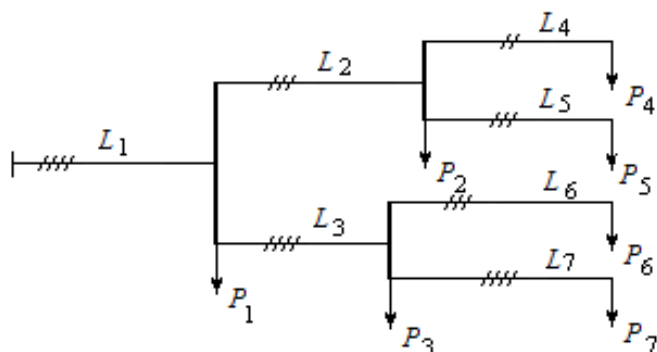


Рисунок 57 – Розрахункова схема освітлювальної мережі

Розрахунок починається з ділянки 1, переріз на цій ділянці визначиться виразом у загальному вигляді

$$F_1 = \frac{M_1 + M_3 + M_7 + \alpha_{4-3} \cdot (m_2 + m_5 + m_6) + \alpha_{4-2} \cdot m_4}{C_4 \cdot \Delta U},$$

де – індекси при  $\alpha$  позначають перехід від однієї системи мережі до іншої, наприклад,  $\alpha_{4-3}$  означає перехід від чотирипровідної лінії до трипровідної, у цьому випадку необхідно використовувати коефіцієнт 1,37 (таблиця 20); індекс при  $C$  вказує на число проводів у лінії, у приведеному випадку – трифазна з нулем.

$M_1$  – момент навантаження на першій ділянці

$$M_1 = L_1 \cdot (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7).$$

Інші моменти визначаються аналогічно.

Отриманий переріз ділянки округляється до найближчого більшого стандартного перерізу  $F_{1cm}$  і визначається фактична втрата напруги на ділянці 1

$$\Delta U_1 = \frac{M_1}{C_4 \cdot F_{1cm}}.$$

Переріз на ділянці 2 визначиться як

$$F_2 = \frac{M_2 + M_5 + \alpha_{3-2} \cdot m_4}{C_3 \cdot (\Delta U - \Delta U_1)}.$$

Перерізи на ділянках 4 і 5 визначаються після визначення  $\Delta U_2$  відповідно

$$F_4 = \frac{M_4}{C_2 \cdot (\Delta U - \Delta U_1 - \Delta U_2)};$$

$$F_5 = \frac{M_5}{C_3 \cdot (\Delta U - \Delta U_1 - \Delta U_2)}.$$

Переріз на ділянці 3 визначиться як

$$F_3 = \frac{M_3 + M_7 + \alpha_{4-3} \cdot m_6}{C_4 (\Delta U - \Delta U_1)}.$$

Аналогічно визначаються перерізи на ділянках 6 і 7.

Перевірка правильності розрахунків виконується, якщо дані втрати напруги не перевищують суми фактичних втрат напруги складових ділянок від початкової до кінцевої.

### **Контрольні запитання до розділу 6**

1. Яким нормативним документом регламентується живлення світильників загального освітлення?
2. Які різновиди схем живлення освітлювальних установок існують і які вимоги вони повинні забезпечити?
3. Який принцип розрахунку навантажень системи освітлення?
4. Вибір перерізу провідників за допустимим струмом навантаження.
5. Розрахунок освітлювальної мережі за втратами напруги.
6. Вибір перерізів провідників за механічною міцністю.
7. Яка послідовність розрахунку мереж на мінімум провідникового матеріалу?

## 7 ЕКОНОМІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

### 7.1 Економія витрат на систему освітлення

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 %, а з підвищенням вартості електроенергії може складати 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/м<sup>2</sup>, визначається за формулою

$$\omega_{num} = \omega_0 \cdot \left( \frac{k_z}{1,5} \right) \cdot \left( \frac{100}{\eta_{ce}} \right) \cdot \left( \frac{80}{H} \right),$$

де  $\omega_0$  – базове значення питомої встановленої потужності, приведене до освітленості 100 лк, коефіцієнту запасу 1,5, умовному ККД світильника 100 % і світловіддачі 80 лм/Вт;  $k_z$  – нормований коефіцієнт запасу;  $\eta_{ce}$  – ККД застосовуваного світильника, %;  $H$  – світловіддача застосовуваного джерела світла, лм/Вт.

Норми регламентують мінімальні значення ККД освітлювальних приладів та світловіддачі джерел світла (таблиця 21).

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

$$W = 10^{-3} \cdot \omega_{i num} \cdot T_i \cdot S_i,$$

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, м<sup>2</sup>.

Таблиця 21 – 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

Питома встановлена потужність  $\omega_{num}$  (Вт/м<sup>2</sup>) для діючої освітлювальної установки розраховується за формулою

$$\omega_{i \text{ num}} = \frac{\sum_{j=1}^n P_j \cdot N_j}{S_i},$$

де  $P_j$  – потужність, споживана комплектом лампа-баласт  $j$ -го типу, Вт;  $N_j$  – кількість ламп  $j$ -го типу, шт.;  $j$  – 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 (чи кращого) освітлення, що в результаті приводить 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 значних вигод вимагають лише дуже невеликих або взагалі нульових капітальних витрат. В інших випадках можуть знадобитися інвестиції капіталу в нове обладнання, і тоді необхідно зіставляти необхідні капітальні витрати з

економією експлуатаційних витрат. Часто термін окупності виявляється на подив малим.

Можна виділити наступні 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.

## **7.2 Контроль стану елементів системи освітлення і рівня напруги**

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 залиплених 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 рисунку 58 показана залежність деяких показників натрієвої лампи високого тиску від напруги мережі.

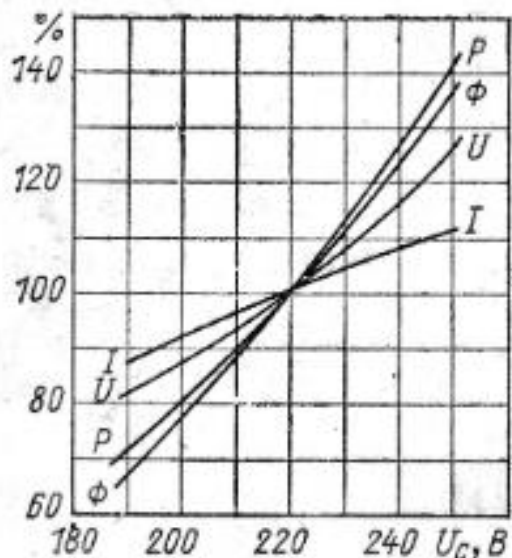


Рисунок 58 – Залежність показників натрієвої лампи високого тиску від напруги мережі

Збільшення напруги відносно номінальної призводить до збільшення енергії, яку споживають освітлювальні установки; значення можливої перевитрати електричної енергії наведені в таблиці 22.

Таблиця 22 – 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
Металогалоїдні	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 таблиці 23.

Для стабілізації напруги в освітлювальних устатках знаходиться 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 23 – 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

### **7.3 Організаційні питання економії електроенергії в освітлювальних установках**

При застосуванні до електричних ламп терміну «термін служби» він має два чітко визначених значення:

- інтервал часу, після якого лампа перестає працювати, це – тривалість горіння 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 ланцюги 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 заміною ламп повинна виконуватися тоді, коли вартість марно 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. п.) – один раз на місяць;

- з незначним виділенням – один раз на три місяці;

- установки зовнішнього освітлення – один раз на чотири місяці.

При проведенні регулярного протирання 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:

$$\Delta W = \alpha \cdot P \cdot k_n \cdot T,$$

де  $\alpha$  – частка економії електроенергії (процентна економія, поділена на 100);

$P$  – потужність світильників групи, що розглядається, кВт;

$T$  – час роботи освітлювальної установки, год.

Для підвищення коефіцієнта використання природного і штучного освітлення поверхні приміщень виробничих і громадських будівель варто фарбувати у світлі тони, що дозволить:

- знизити число встановлених світильників за умови забезпечення заданих норм освітленості;

- підвищити освітленість до нормованих значень при існуючому числі або незначному збільшенні числа світильників.

Усі поверхні деякою 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, однак їх варто регулярно фарбувати, мити або заново обклеювати для того, щоб забезпечити економічне використання освітлення. Відбиття від



кольорових поверхонь у кімнаті може позначитися на кількості і колірному складі світла на робочих поверхнях.

#### 7.4 Перехід на більш ефективні джерела світла

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

$$\Delta W = \Delta P_{oc} \cdot \kappa_n \cdot T_{oc},$$

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;

$\kappa_n$  – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження;

$T_{oc}$  – річне число 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 таблиці 24.

Таблиця 24 – 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

## 7.5 Управління освітленням

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 м<sup>2</sup>) з великою питомою встановленою потужністю освітлення (не менше 20 Вт/м<sup>2</sup>) необхідно передбачати дистанційне автоматичне чи ручне керування штучним освітленням, що дозволяє:

- вчасно включати і виключати (частково чи цілком) освітлювальну установку на початку і наприкінці робочих змін з урахуванням графіка виробничого обладнання: економія електроенергії при цьому 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 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 % у 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 таблиці 25.

Вибір конкретних засобів управління має здійснюватися відповідно до очікуваного освітлювального навантаження (таблиця 26). Наприклад, для зменшення використання електроенергії регулювання добового освітлення може бути доцільним для будівель з піковим навантаженням протягом світлової доби, але абсолютно недоречним для будівель з нічним піковим навантаженням. Для цього випадку є більш економічною адаптивна компенсація.

**Таблиця 25 – Рекомендовані засоби управління освітленням для місцевого використання**

Умови застосування	Засоби управління
Освітлювальна територія використовується непередбачувано (наприклад, приміщення, що зостаються 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

**Таблиця 26 – Вибір засобів управління освітлення на основі очікуваного графіка навантаження**

Графік навантаження	Спосіб регулювання	Засоби управління
 <p>Типовий графік робочого дня (9:00–17:00) з обмеженим електроспоживанням у вихідні</p>	Зниження пікового навантаження за рахунок використання засобів управління	Датчики руху та фотодатчики для робочих місць Реле часу для громадських місць
 <p>Тривале споживання</p>	Зниження непередбачуваного споживання за рахунок використання засобів управління	Датчики руху Ручний диммер Багаторівневий комутатор для адаптивної компенсації
 <p>Цілодобове споживання</p>	Зниження електроспоживання вдень і вночі за рахунок використання засобів управління	Ручний диммер Багаторівневий комутатор для адаптивної компенсації
 <p>Спонтанне споживання</p>	Багаторівневе регулювання за рахунок використання засобів управління	Ручний диммер Багаторівневий комутатор

За таблицею 27 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 27 – Рекомендовані засоби управління для різних приміщень

Стратегія	Засоби управління									
Тип приміщення	Настінний дагчик руху	Дагчик руху на стелю	Персональний дагчик руху	Таймер	Реле часу	Багаторівневий комутатор	Ручний настінний диммер	Бездротовий дистанційний диммер	Дагчик освітленості	Фотодагчик
Сільське господарство та легка промисловість			○		●	○			○	●
Студентські аудиторії		●				○	●	●		
Шкільні класи		●				●	●	●	○	●
Зали, приймальні, фойє					●	●			●	●
Конференц-зали	○	●		○		○	●	●		●
Зовнішнє освітлення		○			●	○			●	
Склади, сховища		●		●						
Бакалійні магазини, супермаркети		●		○	●	●			○	○
Гімназії		●				○			○	
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 роздрібно́ї торгівлі					○		○			○
Товарні склади		●		○	●	●				○

● – ефективне застосування; ○ – обмежене застосування

## 7.6 Інші можливості економії електроенергії в освітлювальних установках

Значні резерви економії електроенергії має заміна світильників на ефективніші, з вищим коефіцієнтом корисної дії. Так, світильники з опаловими розсіювачами мають коефіцієнт корисної дії близько 50 %. Заміна опалових розсіювачів на призматичні збільшує коефіцієнт корисної дії люмінесцентних світильників до 75 %. Високим рівнем ефективності відзначаються світильники з відкритими люмінесцентними лампами. Відсутність екранних та розсіювальних елементів дозволяє збільшити ККД світильників до 85 % і більше.

Можлива економія електричної енергії за рахунок використання світильників з найкращим для заданих умов світлорозподілом становить 15–20 % у приміщеннях невеликої висоти і 20–40 % – у високих. Так, заміною дифузійних люмінесцентних світильників на дзеркальні можна зменшити до 30 % витрати електроенергії.

Економію електричної енергії можна отримати за рахунок заміни ПРА на енергоефективне (з ПРА1 на ПРА2). Економія електроенергії визначається виразом

$$\Delta W = W \left( 1 - \frac{K_{ПРА2}}{K_{ПРА1}} \right),$$

де  $W$  – витрата електроенергії у приміщенні при використанні світильників з ПРА1, кВт·год;

$K_{ПРА1}$ ,  $K_{ПРА2}$  – відповідно коефіцієнт втрат в існуючому світильнику і світильнику з більш ефективним ПРА (значення коефіцієнтів втрат в ПРА наведені в таблиці 16).

Економію електричної енергії за рахунок стабілізації напруги в освітлювальних установках можна визначити виразами:

– для ламп розжарювання:

$$\Delta W = P_{НОМ} \cdot K_U^{1,58} \cdot T_P \cdot \left( 1 + \frac{\Delta U}{100} \right);$$

– для люмінесцентних ламп з компенсувальними пристроями в пускорегулювальній апаратурі типу 2хУБК:

$$\Delta W = P_{НОМ} \cdot (1,11 \cdot K_U - 1,11) \cdot T_P \cdot \left( K_{ПРА} + \frac{\Delta U}{100} \right) \cdot \cos \varphi;$$

– для ламп типу ДРЛ:

$$\Delta W = P_{НОМ} \cdot (2,43 \cdot K_U - 1,43) \cdot T_P \cdot \left( K_{ПРА} + \frac{\Delta U}{100} \right) \cdot \cos \varphi,$$

де  $P_{НОМ}$  – номінальна потужність освітлювальної установки;

$$K_U = \frac{U_{\Phi} - U_{НОМ}}{U_{НОМ}} \text{ – відносне відхилення напруги;}$$

$U_{\Phi}$  – фактичний рівень напруги;

$K_{ПРА}$  – коефіцієнт, який враховує втрати потужності в пускорегулювальній апаратурі;

$\Delta U$  – втрата напруги в мережі;

$T_P$  – річне число годин використання освітлювальної установки.

Для приміщень з епізодичним використанням освітлювальної установки там, де можливо знизити освітленість, можна одержати економію за рахунок зниження напруги. Економічний ефект наведений у таблиці 28.

Таблиця 28 – Економія електроенергії при зниженні напруги ламп

Тип лампи	Рівень напруги, % $U_{НОМ}$	Світловий потік, % $\Phi_{НОМ}$	Економія електроенергії, % $W_{НОМ}$
Розжарювання	90	68	15
	85	56	23
Ртутні типу ДРЛ	90	67	24
	85	51	36
Люмінесцентні з компенсованим ПРА	90	90	13
	85	84	19
Ксенонові типу ДКСТ	90	55	35
	85	33	53

### 7.7 Методичні рекомендації щодо розрахунку споживання та економії електроенергії в освітлювальних установках

1. Розрахунок встановленої потужності освітлювальної установки, Вт

$$P_i = P_{\lambda} \cdot K \cdot N,$$

де  $P_i$  – потужність освітлювальної установки  $i$ -го приміщення в обстежуваному об'єкті, Вт;  $P_{\lambda}$  – потужність лампи, Вт;  $K$  – коефіцієнт втрат в пускорегулюючій апаратурі (ПРА) освітлювальних приладів

(таблиця 23);  $N$  – кількість однотипних ламп в освітлювальній установці  $i$ -го приміщення.

2. Розрахунок річного фактичного споживання електричної енергії освітлювальної установки, кВт·год/рік

$$W = \sum_{i=1}^n W_i = \sum_{i=1}^n 10^{-3} P_i \cdot T_i \cdot K_i = 10^{-3} \cdot \omega_{i \text{ ном}} \cdot T_i \cdot S_i.$$

3. Розрахунок питомого фактичного споживання електричної енергії

$$w_1 = \frac{W}{\sum_{i=1}^n S_i},$$

де  $w_1$  – питома річне споживання електроенергії, кВт·год/м<sup>2</sup>.

4. Розрахунок потенціалу річної економії електроенергії в освітлювальній установці обстежуваного приміщення

$$\Delta W = \sum_{i=1}^n \Delta W_i \cdot b,$$

де  $\Delta W_i$  – потенціал річної економії електричної енергії для освітлювального приладу  $i$ -го приміщення від енергозберігаючого заходу, кВт·год/рік;  $b$  – коефіцієнт приведення  $i$ -го приміщення.

Коефіцієнт приведення визначають для обліку відхилення фактичної освітленості від нормативних значень за формулою

$$b = \frac{E_\phi}{E_n},$$

де  $E_\phi$  – фактичне значення освітленості в  $i$ -му приміщенні за даними інструментального енергетичного обстеження;  $E_n$  – нормоване значення освітленості в  $i$ -му приміщенні (СНиП 23-05–2010).

Фактичне середнє значення освітленості з урахуванням відхилення напруги в мережі від номінального розраховують за формулою

$$E_\phi = \frac{E'_\phi \cdot U_n}{U_n - \xi(U_n - U_{cp})},$$

де  $E'_\phi$  – виміряна середня фактична освітленість, лк;  $\xi$  – коефіцієнт, що враховує зміни світлового потоку лампи при відхиленні напруги мережі живлення (для ламп розжарювання – 4; для розрядних ламп – 2);  $U_n$  – номінальна напруга мережі, В;  $U_{cp} = \frac{U_1 + U_2}{2}$  – середнє фактичне значення напруги;  $U_1, U_2$  – значення напруги в електричній мережі освітлення на початку і в кінці вимірювання.

5. Розрахунок потенціалу економії електричної енергії при переході на інший тип джерела світла з більш високою світловіддачею, лм/Вт

$$\Delta W = W(1 - \delta \cdot k_3),$$

де  $\delta = \frac{H_1}{H_2}$  – коефіцієнт ефективності заміни типу джерела світла;  $H_1, H_2$  – відповідна світлова віддача старого і відповідно, нового джерела світла, лм/Вт;  $k_3$  – коефіцієнт запасу, що враховує зниження світлового потоку лампи протягом терміну служби (при заміні з близькими за значенням  $k_3$ , але з різною ефективністю,  $k_3$  виключається або коригується, крім випадку, коли обстеження проводиться після групової заміни джерел світла).

Розрахунок відносного зменшення встановленої потужності при частковій заміні ламп розжарювання на компактні люмінесцентні лампи з цоколем Е-27 здійснюється за формулою

$$\frac{\Delta P}{P} = \beta \cdot (1 - \delta \cdot b \cdot \gamma),$$

де  $\beta$  – частка потужності ЛР, що підлягають заміні на КЛЛ;  $\delta$  – відношення світловіддач ЛР і КЛЛ;  $b$  – відношення нормованих значень освітленості при ОП з КЛЛ та ЛР;  $\gamma$  – відношення коефіцієнтів запасу для КЛЛ та ЛР.

Економія електроенергії при цьому складе, кВт·год/рік

$$\Delta W = \Delta P \cdot T,$$

де  $T$  – час річного напрацювання освітлювальної устатки, год.



6. Розрахунок потенціалу економії електроенергії при підвищенні ККД існуючих освітлювальних приладів шляхом їх чищення, кВт·год/рік

$$\Delta W = W \cdot \lambda,$$

де  $\lambda = 1 - \left( \gamma_c + \beta_c \cdot e^{-\frac{t}{t_c}} \right)$  – коефіцієнт ефективності чищення світильників;

$\gamma_c, \beta_c, t_c$  – постійні для заданих умов експлуатації світильників (таблиця 29),

$t$  – тривалість експлуатації світильників між двома найближчими чистками.

До сприятливих загальних умов можна віднести наявність вентиляції, конструкцію світильника, що перешкоджає осадженню пилу на відбивач або розсіювач (конструктивно-світлотехнічна схема IV і вище згідно з СНиП 23–05-95).

Таблиця 29 – Значення постійних для заданих умов експлуатації світильників

Характеристика пиловиділення	Робоче приміщення	Загальні умови	$\gamma_c$	$\beta_c$	$t_c$ , год
Помірне	Кабінети і робоче приміщення громадських будівель, лабораторій	Сприятливі	0,05	0,95	10000
		Несприятливі	0,15	0,85	9000
Середнє	Виробничі цехи, склади борошна	Сприятливі	0,25	0,75	8000
		Несприятливі	0,35	0,65	7000

7. Розрахунок потенціалу економії електроенергії при підвищенні ефективності використання електроенергії за рахунок автоматизації управління освітленням

$$\Delta W = W_i \cdot (\rho - 1),$$

де  $\rho$  – коефіцієнт ефективності автоматизації управління освітленням, який залежить від рівня складності системи управління (таблиця 30).

Таблиця 30 – Значення коефіцієнта ефективності автоматизації керування освітленням для підприємств і організацій зі звичайним режимом роботи (1 зміна)

№ п/п	Рівень складності системи автоматичного керування освітленням	$\rho$
1	Контроль рівня освітленості і автоматичне включення та відключення системи освітлення при критичному значенні освітленості	1,1 – 1,15
2	Зонне управління освітленням (включення та відключення системи освітлення дискретно, в залежності від зонного розподілу природної освітленості)	1,2 – 1,25
3	Плавне управління потужністю та світловим потоком світильників залежно від розподілу природної освітленості	1,3 – 1,4

8. Оцінка економії електроенергії при заміні світильників за спрощеної оцінки (заміна світильників на аналогічні за світлорозподілом і розташуванням) розрахунок економії виконується наступним чином

$$\Delta W = W_i \left( 1 - \rho \cdot k_s \cdot \alpha \cdot \frac{K_1}{K_2} \right),$$

де  $\alpha = \frac{\eta_1}{\eta_2}$  – коефіцієнт, що враховує підвищення ККД світильника;  $\eta_1$  – паспортне значення ККД існуючих світильників;  $\eta_2$  – паспортне значення ККД запланованих до установаження світильників.

Розрахунок економії електроенергії при заміні світильників має враховувати всі заходи, тому їх слід виключати при розрахунку загальної економії електроенергії в  $i$ -му приміщенні.

#### 9. Загальні витрати на освітлення

Загальні річні витрати на освітлювальні установки приміщення (будівлі) складаються з капітальних і експлуатаційних витрат і можуть бути оцінені за такою узагальненою формулою

$$C = N \cdot \left[ \frac{0,01 \cdot (c_1 C_1 + c_2 C_2)}{n} + t \cdot a \cdot P + t \cdot \frac{C_3}{\tau} + t \cdot \frac{C_4}{\tau} + \frac{R}{n} \right],$$

де  $C$  – сумарні річні витрати на освітлення;  $N$  – загальне число ламп у всіх світильниках освітлювальної установки;  $n$  – кількість ламп в одному

світильнику;  $c_1$  – ціна світильника;  $C_1$  – сплата відсотків, амортизація, % (для  $C_1$ );  $c_2$  – вартість монтажу світильників, кабелів і електроустановочних пристроїв;  $C_2$  – сплата відсотків, амортизація, % (для  $C_2$ ),  $a$  – вартість 1 кВт·год електричної енергії;  $\tau$  – корисний термін служби лампи, год;  $C_3$  – ціна лампи;  $R$  – витрати на чищення одного світильника за рік.

За допомогою цієї формули можна наочно зіставити різні варіанти освітлення при проектуванні нових і реконструкції старих ОУ приміщень.

10. Розрахунок фактичного споживання електричної енергії на цілі зовнішнього освітлення

Для визначення фактичного середньомісячного споживання електричної енергії (кВт·год/міс) на цілі зовнішнього освітлення можна користуватися розрахунковою величиною активної енергії

$$W_{\text{міс}} = T_{\text{ср}} \cdot P_{\text{л}} \cdot K \cdot N_{\text{л}} \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot \sigma_3,$$

де  $T_{\text{ср}}$  – середньомісячна кількість годин роботи освітлювальної установки вуличного освітлення, год/міс.;  $P_{\text{л}}$  – номінальна потужність однієї лампи, кВт;  $N_{\text{л}}$  – кількість ламп, шт.;  $\sigma_1 = 0,9$  – коефіцієнт, що враховує втрати напруги в мережах;  $\sigma_2 = 0,9$  – коефіцієнт, що враховує пошкодження в мережах;  $\sigma_3 = 0,95$  – коефіцієнт, що враховує відсоток діючих світлоточок.

Вирішення проблеми енергозбереження передбачає перехід на використання енергоекономічної освітлювальної техніки та технологій [16].

### Контрольні запитання до розділу 7

1. Який енергетичний показник визначає раціональне споживання електричної енергії на цілі освітлення?
2. За якою формулою визначається річна економія електроенергії при заміні світильників на нові?
3. За яких умов потрібно проводити групову заміну ламп у освітлювальних установках?
4. Яку вигоду дає своєчасне чищення світильників та чищення вікон?
5. Які бувають види керування освітленням і як вони організуються?
6. Як розрахувати встановлену потужність освітлювальної установки?
7. Які бувають засоби управління освітленням для місцевого використання?

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Клюев С. А.* Освещение производственных помещений [Текст] / С. А. Клюев. – М. : Энергия, 1979. – 151 с.
2. *Епанешников М. М.* Электрическое освещение [Текст] / М. М. Епанешников. – М. : Энергия, 1978. – 352 с.
3. *Кнорринг Г. М.* Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения [Текст] / Г. М. Кнорринг. – Л.: Энергия, 1973. – 200 с.
4. *Кнорринг Г. М.* Справочная книга для проектирования электрического освещения [Текст] / Г. М. Кнорринг. – Л. : Энергия, 1976. – 448 с.
5. *Айзенберг Ю. Б.* Справочная книга по светотехнике [Текст] / Ю. Б. Айзенберг. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 972 с.
6. ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення / Київ: Мінбуд України, 2006. – 152 с. (Інженерне обладнання будинків і споруд).
7. *Кунгс Я. А.* Экономия электрической энергии в осветительных установках [Текст] / Я. А. Кунгс, М. А. Фаермарк – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.
8. *Правила* улаштування електроустановок. 3-тє вид., перероб. і доп. – Х. :Форт, 2010. – 736 с.
9. *Айзенберг Ю. Б.* Световые приборы [Текст]: учебник для электромеханических техникумов / Ю. Б. Айзенберг. – М. : Энергия, 1980. – 464 с.
10. *Саприка О. В.* Споживачі електроенергії (Лекції для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання спеціальності 7.090603 „Електротехнічні системи електроспоживання) [Текст] / О. В. Саприка, Ю. П. Кравченко. – Харків : ХНАМГ, 2006. – 74 с.
11. *Шеховцов В. П.* Осветительные установки промышленных и гражданских объектов [Текст] / В. П. Шеховцов. – М. : ФОРУМ, 2009. – 160 с.
12. *Козловская В. Б.* Электрическое освещение [Текст]: справочник. / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. – Минск : Техноперспектива, 2007. – 255с.
13. *Артемов А. И.* Электроснабжение промышленных предприятий в примерах и задачах [Текст] / А. И. Артемов. – Смоленск, 2000. – 300 с.
14. *Колесник Г. П.* Электрическое освещение: основы проектирования [Текст] : учебное пособие / Г. П. Колесник. – Владимир, 2006. – 123 с.
15. *Данилов О. Л.* Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов [Текст] / О. Л. Данилов, П. А. Костюченко. – М., 2006. – 668 с.

16. *Климова Г. Н.* Энергосбережение на промышленных предприятиях [Текст]: учебное пособие / Г. Н. Климова. – Томск, 2007. – 160 с.
17. *Справочная книга по светотехнике* / под ред. Ю. Б. Айзенберга. М. : Высшая школа, 1995. – 528 с.: ил.
18. *Захаров Н. И.* Освещение производственных помещений [Текст]: учебное пособие / Н. И. Захаров, Пермь, 2000. – 144 с.
19. *Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб.* / [Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П. Г. та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіровогр. нац. техн. ун-т. – Черкаси: видавець Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.

Навчальне видання

**Соловей** Олександр Іванович  
**Чернявський** Анатолій Володимирович  
**Ситник** Олександр Олексійович  
**Ткаченко** Валентин Федорович  
**Курбака** Галина Василівна

**СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.  
ЕЛЕКТРИЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ**

**Навчальний посібник**

*За редакцією О. І. Солов'я*

*Друкується в авторській редакції.*

*Комп'ютерна обробка Костенко О. А.*

---

Формат 60x84 1/16. Папір офісний. Друк цифровий. Гарн. Times New Roman.  
Ум. друк. арк. 7,67. Обл.-вид. арк. 9,96. Наклад 100 прим. Зам. № 18-127.

---

Видавець і виготівник ФОП Гордієнко Є.І.  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,  
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції Серія ДК № 4518 від 04.04.2013 р.  
Україна, 18000, м. Черкаси, тел./факс: (0472) 56-56-12, (067) 444-28-94  
e-mail: [book.druk@gmail.com](mailto:book.druk@gmail.com)