

**МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВА  
УКРАЇНИ**

**Миколаївський національний аграрний університет**

Кафедра енергетики аграрного виробництва

**Конспект лекцій з дисципліни  
«ЕЛЕКТРИЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ ТА ОПРОМІНЕННЯ»**

**Миколаїв 2014**

Укладачі:

Циганов О.М., асистент кафедри енергетики аграрного виробництва Миколаївського НАУ;

Садовий О.С., асистент кафедри енергетики аграрного виробництва Миколаївського НАУ;

Друкується згідно з рішенням методичної ради МДАУ,  
протокол № від «    »                    200    року.

Наклад \_\_\_\_ прим. Підписано до друку \_\_\_\_\_

Надруковано у видавничому відділі МДАУ.

54010, Миколаїв вул. Паризької комуни,9

## ПЕРЕДМОВА

Розвиток сільськогосподарського виробництва все більше базується на сучасних технологіях, які використовують електричну енергію. Відомі її переваги (проста передача, розподілення, відсутність негативного впливу на зовнішню середу) роблять електроенергію найбільш зручною для використання людиною. Разом з традиційним її використанням для механічного приводу робочих машин, все більш розповсюджуються процеси, в яких електроенергія переходить в інші види. Це може проходити в спеціальному приладі (перетворювачі) чи в самому технологічному об'єкті (воді, землі та ін.).

Методи електротехнології характеризуються високою ефективністю, універсальністю, їх можна використовувати для впливу на рослини, тварин та їх середу життя, елементи живлення (добрива, корму, вода) і сільськогосподарську продукцію. При цьому підвищуються якість оброблених матеріалів. Таке, насіння рослин, які пройшли обробку в електричному полі, мають більшу енергію проростання, кращу всхожість, забезпечують високий врожай.

Електричний розряд дозволяє економно і з більшою міцністю з'єднувати металеві деталі, дробити в порошок кам'яні глиби, перетворювати безплідні землі в врожайні, давати стимул для росту рослин та знищувати сорняки.

За допомогою перемінних елетромагнітних і електричних полів різної частоти можливо вибірково нагрівати магнітні та діамагнітні матеріали, закаляти поверхні сталей, сушити сільськогосподарські продукти і пастеризувати їх.

Ефективне виконання електротехнічних процесів, а також їх вдосконалення невідлучно зв'язано з автоматизацією, успішне використання яких засновано на глибокому розумінні внутрішніх фізичних процесів, які проходять в установках.

Без штучного освітлення сьогодні не може обійтись не одна промисловість. В сільському господарстві світло електричних ламп впливає не тільки на продуктивність тварин чи птахів, але і змінює сам технологічний процес, сприяє його переходу на автоматичний режим. Наприклад, при виробництві яєць курей розм'ящують в без віконних приміщеннях при штучному освітленні, що дозволяє в будь яку пору року автоматично змінювати тривалість доби таким чином, щоби підтримувати найбільшу продуктивність птиці.

Ще більш значної зміни внесло випромінювання електричних ламп в рослинництві. В більшості регіонах нашої держави завдяки штучному оптичному випромінюванню можна отримати насіння овочевих у зиму і в кінці її отримати свіжі огірки, а у ранню весну – помідори. Електричні випромінювальні установки на селекційних станціях дозволяють в декілька разів прискорити виведення нових сортів високопродуктивних рослин.

Автоматизовані системи штучного освітлення і випромінювання в сільськогосподарському виробництві значно підвищують продуктивність праці, продуктивність тварин, птахів та рослин.

Раціональне використання електротехнічних, освітлювальних та випромінювальних установок вимагає знання їх будови і методів розрахунку.

## **УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ**

КСВ – крива розподілення сили випромінювання;  
ККД – коефіцієнт корисної дії;  
ЕРС – електрорушійна сила;

## ТЕМА 1.

### §1. ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ

#### §1.1. Природа оптичного випромінювання. Основні поняття і визначення. Отримування та перетворення оптичного випромінювання.

Всі тіла в природі, температура яких вище абсолютного нуля, випромінюють в навколишнє середовище енергію.

Випромінювання це одна з форм матерії, що має масу спокою, що дорівнює нулю та рухається у вакуумі зі швидкістю  $C=2,988*10^8$  мс<sup>-1</sup>. Воно характеризується хвильовими та квантовими властивостями.

Випромінювання розповсюджується в просторі у вигляді електромагнітної хвилі, що представляє собою періодичне коливання напруженостей електричного та магнітного полів. Розповсюдження електромагнітних хвиль у просторі супроводжується переносом енергії по напрямку руху хвиль; тобто енергія випромінювання переноситься в просторі електромагнітними хвилями.

Випромінювання характеризуються довжиною хвилі ( $\lambda$ ), швидкістю ( $C$ ) та частотою ( $\nu$ ), які взаємозв'язані;

$$\nu = \frac{C}{\lambda}$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі [мкм, мм, м] ( $1\text{ м} = 10^6$  мкм =  $10^9$  нм);

$C$  – швидкість розповсюдження [м\*с<sup>-1</sup>];

...  $\nu$  – частота [с<sup>-1</sup>].

Енергія випромінюється тілами безперервно, якимись порціями (дисперсно). Мінімальну порцію енергії випромінювання називають квантом енергії. Квант енергії випромінювання  $Q_e$  дорівнює добутку сталої величини  $h$  на частоту випромінювання  $\nu$ :

$$Q_e = h\nu,$$

де  $h$  – постійна Планка, дорівнює  $6,626*10^{-34}$  Дж\*с.

Згідно фотонної теорії, випромінювання розглядається як потік частинок випромінювання, які були названі фотонами. Таким чином, фотоматеріальна частинка масою

$$m_{cp} = \frac{Q_e}{c^2}$$

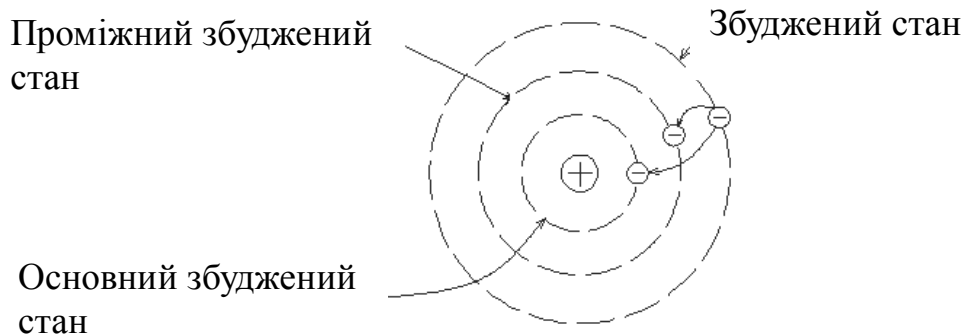
Для оптичної частини спектру  $m=10^{-30} \dots 10^{-35}$  г.

Електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі від 1 нм до 1 мм, що лежить в області між рентгенівськими променями та радіовипромінювання називають оптичним випромінюванням.

	1 нм						1 мм			
Рентгенівські випромінювання	Оптичне випромінювання									Радіохвилі
	380			760						
	Ультрафіолетове випромінювання 200 280 315			Видиме випромінювання			Інфрачервоне випромінювання 1400 3000			
	Зона С	Зона В	Зона А				Зона А	Зона В	Зона С	

Спектр електромагнітних випромінювань

Оптичне випромінювання виникає в результаті переходу електрону на більш низький енергетичний рівень (меншу орбіту обертання навколо ядра атома)



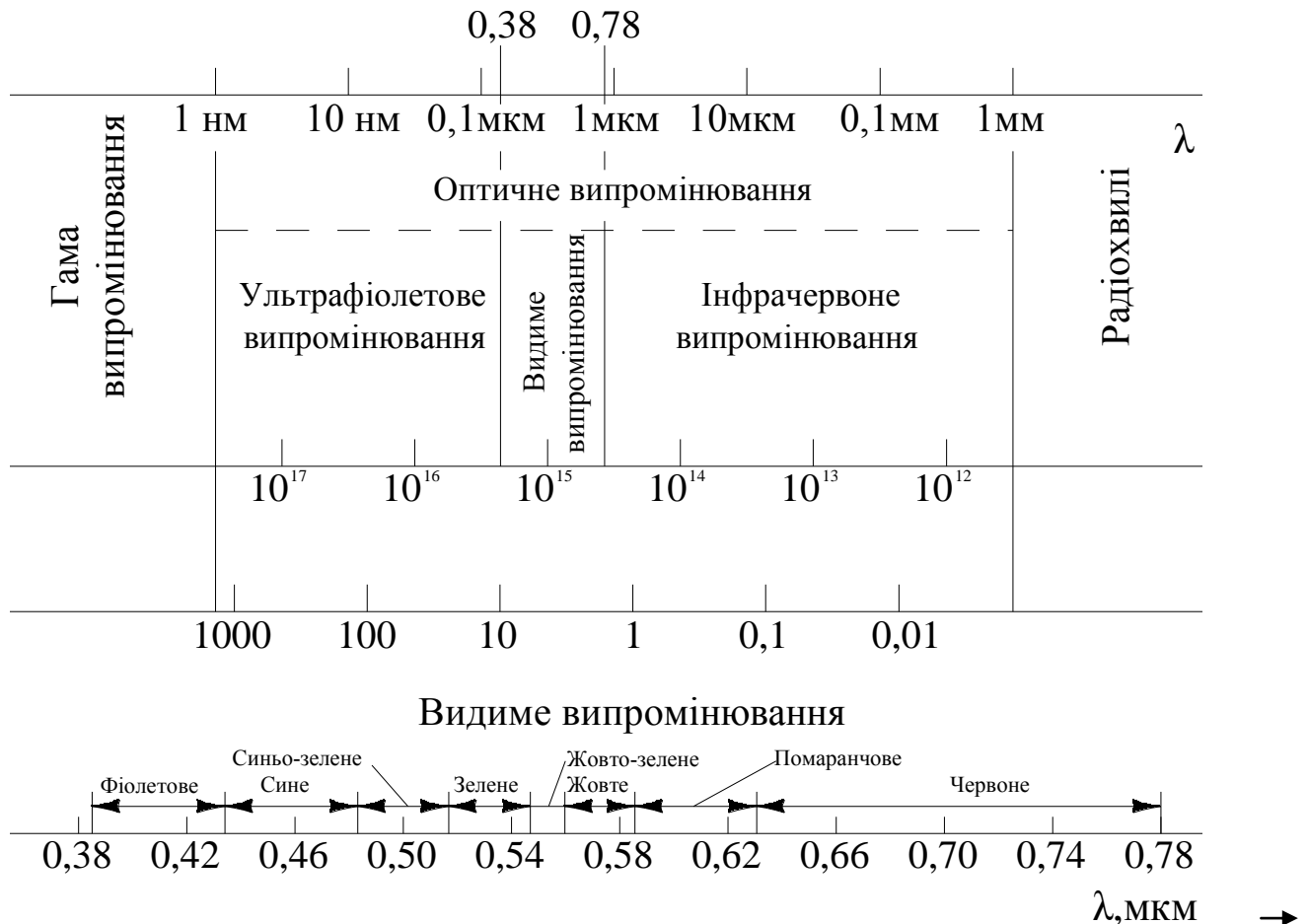
В початковий момент елементарні частинки речовини знаходяться в стані енергетичної рівноваги. Позитивний заряд ядра атома врівноважується від'ємними зарядами електронів, що обертаються навколо ядра. При підведенні ззовні (з навколишнього середовища) до нейтральних атомів визначеної енергії, запас її в частинці (атомі) збільшується. При досягненні якогось значення енергії, що залишилася в атомі, його електрони збуджуються, тобто частина електронів (в основному верхнього рівня) переходять на іншу більш високу орбіту. Електрон не в змозі знаходитись довгий час в збудженому стані та повертається на свою стійку орбіту. При переході з більш високої на низьку орбіту, електрон віддає надлишкову енергію у вигляді випромінювання. Випромінювання енергії відбувається порцією, квантом. Величина кванту енергії залежить від будови атома, його структури, кількості енергетичних рівнів, на які може піднятися електрон. Енергія кванта визначається різницею енергії енергетичних рівнів електрона. Відрізняють резонансне та нерезонансне випромінювання.

Нерезонансне випромінювання – випромінювання що виникає в результаті переходу електронів з одного збудженого стану в інше з меншою енергією, але не на основне не збуджене.

Резонансне випромінювання — випромінювання, що виникло в результаті переходу електронів зі збудженого стану в не збуджене.

## §1.2. Спектр оптичного випромінювання, його характеристики та використання окремих ділянок

Сукупність випромінювань, розміщених в ряд в порядку зміни довжини хвилі або частоти коливань, називаються спектром.



### Спектральне розподілення електромагнітного випромінювання

(Діапазон зміни довжини хвилі випромінювання  $\lambda$  великий — від долей міліметра до кілометрів.)

Спектр умовно ділять на три ділянки. Випромінювання з  $\lambda$  від 1 мм до сотень кілометрів називають радіохвилями, йому належать дуже малі частоти.

(Джерелами радіохвиль є промислові установки, радіопередатчики)

Короткохвильові випромінювання з  $\lambda$  від 1 нм та менше називаються рентгенівськими та гама-променями.

(Ці випромінювання виникають при розпаданні радіоактивних елементів, наприклад, урану, при гальмуванні потоків електронів в рентгенівській трубі.)

Частота таких коливань дуже висока.

Випромінювання з  $\lambda$  від 1 нм до 1 мм називають оптичним. Спектр оптичних випромінювань ділять по три ділянки:

- інфрачервоне випромінювання –  $\lambda$  від 1 мм до 780 нм;
- видиме випромінювання –  $\lambda$  від 780 нм до 380 нм;
- ультрафіолетові випромінювання -  $\lambda$  від 380 до 10 нм.

Розподілення потоку випромінювання по спектру це якісна характеристика

випромінювання. Випромінювання ділять на прості та складні. До простих відносяться однохвильові випромінювання, тобто випромінювання якої-небудь довжини хвилі або частоти вони називаються монохромними. Інтенсивність монохромного випромінювання визначається добутком енергії кванту на число фотонів  $h_{\lambda}$ , що проходить крізь замкнутий контур простору  $W_{\lambda}$  за час, та називається потоком монохроматичного випромінювання  $\Phi_{\lambda}$  з довжиною хвилі  $\lambda$ .

$$\Phi_{\lambda} = W_{\lambda} \frac{h_{\lambda}}{\tau}.$$

Більшість випромінювачей має складний склад променів, розподілений уздовж шкали довжин хвиль, що називається спектром випромінювання. Складаний спектр випромінювання можна представити як суму монохроматичних потоків;

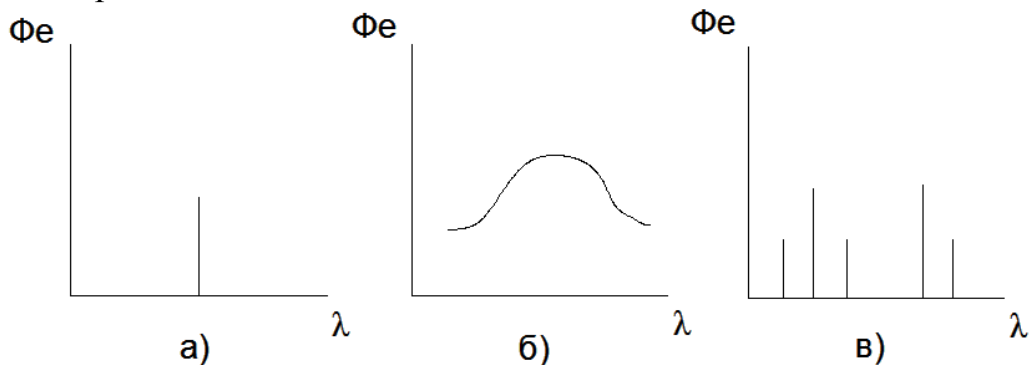
$$\Phi = \sum_{\lambda_n}^{\lambda_k} \Phi_{\lambda},$$

де  $\lambda_k$  та  $\lambda_n$  - відповідно кінець та початок діапазону довжин хвиль електромагнітних коливань.

Складні випромінювання по виду спектрів бувають лінійчасті, полосаті та суцільні.

Лінійні спектри — система світлих ліній, розділених темними проміжками. Їх випромінюють речовини, що знаходяться в газоподібному стані.

Джерела теплового випромінювання та газорозрядні мають суцільні та лінійчасті спектри.



Спектри оптичного випромінювання; а) просте; б) складне суцільне; в) складне лінійчасте



## ТЕМА 2

### §2. ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ СВІЛОТЕХНІКИ

#### §2.1. Енергія та потік випромінювання

Енергію, яка переноситься випромінюванням оптичної області спектру, називають енергією випромінювання  $Q_e$ .

Потужність (кількість енергії в одиницю часу) випромінювання оптичного діапазону спектру називається потоком випромінювання  $\Phi_e$ .

Для заміру потоку випромінювання використовується загальноприйнята одиниця потужності — ВАТТ:  $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж} \cdot \text{с}^{-1} = 6,25 \cdot 10^{18}$

Потік випромінювання за кінцевий інтервал часу  $t$  визначається по формулі;

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt}; [\text{Вт}] = [\text{Дж/с}],$$

де  $Q_e$  - енергія випромінювання джерела за інтервал  $t$ .

Для опису розподілення потоку випромінювання по спектру (в залежності від довжини випромінювання) користуються поняттям спектральної щільності потоку випромінювання  $\varphi_{e\lambda}$ :

$$\varphi_{e\lambda} = \frac{\Delta\Phi_\lambda}{\Delta\lambda};$$

де  $\Delta\Phi_\lambda$  - однорідний потік на ширині полоси  $\Delta\lambda$ , де виміряний однорідний потік.

Якщо відома спектральна щільність потоку випромінювання  $\varphi_{e\lambda}$ , то;

$$\Phi_e = \int_{\lambda=1\text{мм}}^{\lambda=1\text{мм}} \varphi_e(\lambda) d\lambda.$$

При лінійному спектрі:

$$\Phi_e = \int_{i=1}^n \varphi_{e\lambda i},$$

де  $\varphi_{e\lambda i}$  – потік випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda_i$ .

Розподілення потоку по спектру характеризується спектральною щільністю випромінювання

$$\varphi_{e\lambda} = \frac{d\Phi_{e\lambda}}{d\lambda}, [\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1}]$$

Розподілення потоку в просторі (просторова щільність потоку випромінювання) сила випромінювання  $I_e$ . Представляє собою відношення потоку випромінювання до тілесного кута  $\omega$  з вершиною в точці розміщення джерела в межах якого цей потік розповсюджується та рівномірно розподіляється.

Тілесний кут — це конічний кут, вершиною якого є центр сфери будь-якого радіусу, а основою його є частина поверхні цієї сфери, на яку опирається конус.

Тілесний кут в один стерадіан відповідає куту конусу з вершиною в центрі сфери, відсікаємому в сфері, радіусом  $r$ , площу поверхні  $S = r^2$ ;

$$\omega = \frac{S}{r^2} [\text{стеродіан}],$$

$$\omega = \frac{A}{R^2}.$$

Найбільший тілесний кут:  $4\pi = 4 \cdot 3,14 = 12,56$  стерadianів.

Поверхнева плотність випромінювання це відношення потоку випромінювання  $\Phi$  до площі поверхні  $A_B$ , яка його випромінює;

$$M = \frac{\Phi_e}{A_B} \left[ \frac{\text{Лм}}{\text{м}^2} \right] = [\text{Лк} - \text{люкс}].$$

Опроміненість — відношення потоку випромінювання  $\Phi$  до площі  $A$ , на яку він падає:

$$E = \frac{d\Phi_e}{dA_B} [\text{Лк}].$$

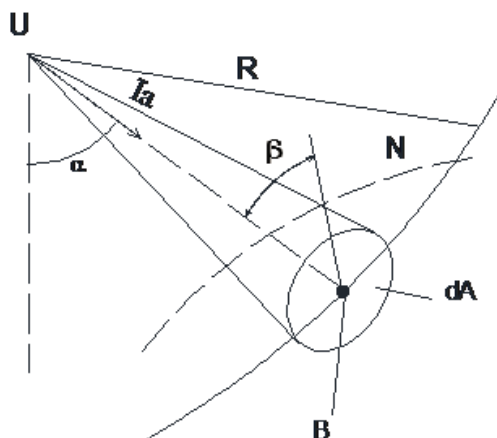
Якщо потік випромінювання світловий, то опроміненість називається освітленістю.

За наведеною формулою визначається середня опроміненість.

Опроміненість точки на поверхні можна собі уявити, якщо площу навколо неї скоротити до безкінечно малої величини:

$$E_e = \frac{d\Phi}{dA}.$$

Виділимо на приймачі елементарну площину з точкою  $B$ .



Для побудування елементарного тілесного кута, основа його повинна бути перпендикулярною до радіусу сфери  $R$ . Для цього елементарну площину  $dA$  спростуємо на площину, нормальну радіусу.

$d\omega$  — тілесний кут.

$$d\omega = dA \cdot \cos \beta / R^2$$

Потік в елементарному куті  $d\Phi = I_d \cdot d\omega$

Визначимо освітленість:

$$E_B = I_\alpha \cos \beta / R^2 - \text{основний закон світлотехніки.}$$

Освітленість від точкового джерела в точці  $B$ , розміщеній на площині, пропорційна силі випромінювання (силі світла) від цього джерела в напрямлені до точки косинусу кута падіння проміння на площину та обернено-пропорційна квадрату відстані між джерелом та точкою.

Кількість випромінювання, отриманого за якийсь час, називають дозою випромінювання енергетичною експозицією  $H_e$ :

$$H_e = \int_{t_1}^{t_2} E_e dt, [Bm \cdot m^{-2} \cdot c] = [Дж \cdot m^{-2}].$$

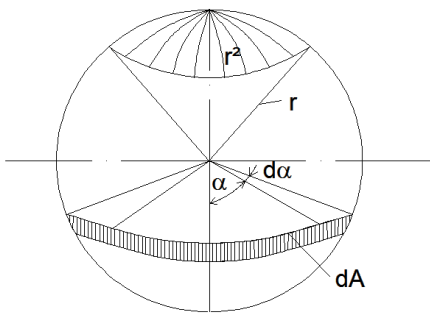
Таким чином, енергетичні характеристики оптичного випромінювання наступні:

## Енергетичні характеристики оптичного випромінювання

Енергія випромінювання $Q_e$ , Дж	Потік випромінювання $\Phi_e$ , Вт	Сила випромінювання $I_e$ , Вт/ср	Опроміненість (щільність опромінювання) $E_e$ , Вт/м <sup>2</sup>	Енергетична світлімість (щільність випромінювання)	Енергетична експозиція (доза опромінювання) $H_e$ , Дж/м <sup>2</sup>
--------------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------	--	--	--

### §2.2. Крива сили випромінювання та розрахунок по ній потоку випромінювання

Тілесний кут  $\omega$  вимірюється відношенням площини  $S$ , яку він вирізає на поверхні сфери, що описана з її обертання, до квадрату радіусу  $r$  цієї сфери.



На практиці частіше користуються зональним тілесним кутом, який створюється двома конічними поверхнями та представляють собою різницю двох тілесних кутів. Елементарний зональний тілесний кут  $d\omega$  обмежений двома співвісними конічними поверхнями, твірні яких зміщені на кут  $d\alpha$ ;

$$d\omega = \frac{dA}{r^2},$$

де  $dA$  — площа поверхні сферичного поясу, яку вирізають дві конічні поверхні

$$dA = 2\pi r r \cdot \sin \alpha d\alpha = 2\pi r^2 \sin \alpha d\alpha,$$

де  $\alpha$  - кут розкриття конусу.

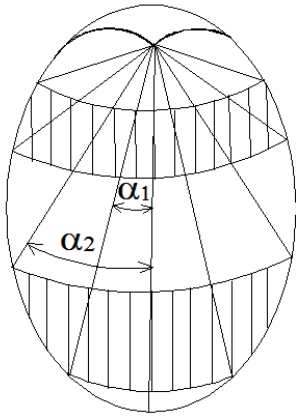
Тоді

$$d\omega = 2\pi \sin \alpha d\alpha.$$

Відомо, що сила випромінювання (просторова щільність світлового потоку випромінювання) визначається відношенням потоку випромінювання  $d\Phi_e$  до тілесного кута  $d\omega$  з вершиною в точці розміщення джерела, в межах якого рівномірно розподілений цей потік

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

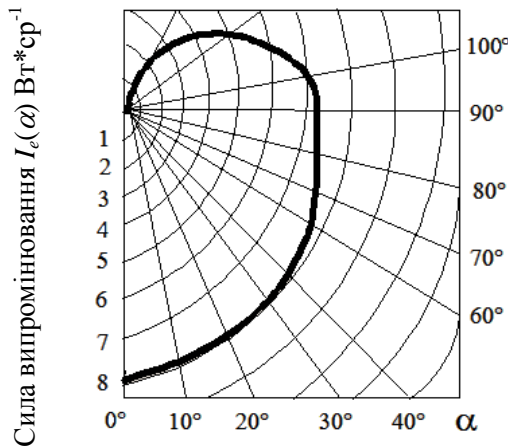
Розподілення сили випромінювання джерел в різних напрямках простору частіше представляється у вигляді графіків, таблиць чи математичних виразів. Якщо зобразити значення сили випромінювання джерела в різних напрямках радіус векторами, довжина яких буде визначатися в прийнятому напрямку простору, то частина простору, обмежена замкнутою поверхнею, що представляє собою геометричне місце кінців радіус – векторів сили випромінювання, називають фотометричним тілом випромінювання.



Фотометричне тіло випромінювання симетричне відносно осі джерела та може бути прийняте за тіло обертання. Для симетричних випромінювачей розподілення випромінювання світла може бути представлено повздожньою кривою розподілення сили випромінювання (КСВ), отриманій як результат перерізу фотометричного тіла будь якою площиною, що проходить крізь вісь випромінювання.

КСВ будують в полярних координатах.

Фотометричне тіло випромінювання



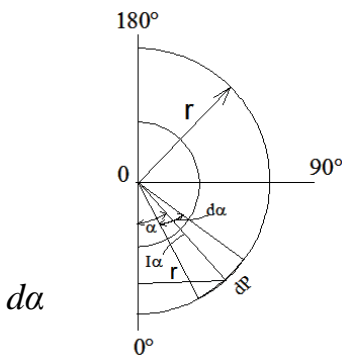
Крива сили випромінювання

Інколи виникає необхідність розрахувати світловий потік випромінювання по заданому розподіленню сили світла.

Нехай симетричне відносно вісі випромінювача розподілення сили світла задано повздожньою кривою.

Для малих кутів  $d\alpha$  маємо  $d\alpha \approx \text{tg} \alpha d\alpha$ . Тоді можна записати  $dl \approx r d\alpha$ ;

$$d\omega = \frac{S}{r^2} = \frac{2\pi r^1 dl}{r^2} = \frac{2\pi \cdot \sin \alpha \cdot r d\alpha}{r^2} = 2\pi \sin \alpha d\alpha.$$



Вважаючи, що сила світла в межах елементарного кута постійна та рівна  $I_\alpha$ , ми можемо написати, що світловий потік випромінювання:

$$d\Phi = I_\alpha d\omega = 2\pi I_\alpha \sin \alpha d\alpha,$$

Або

$$\Phi = 2\pi \int_0^\pi I_\alpha \sin \alpha d\alpha.$$

Розбиваючи простір на ряд конічних тілесних кутів, що заключені між кутами відкриття  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_n$ , можна визначити потік випромінювання, що розповсюджується в межах кожної зони.

$$\Phi_{\alpha_1-\alpha_2} = 2\pi(I_\alpha)_{cp} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha d\alpha = 2\pi(I_\alpha)_{cp} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) = I_{\alpha_{cp}} \Delta_{\omega_{\alpha_1-\alpha_2}},$$

де  $\Delta_{\omega_{\alpha_1-\alpha_2}}$  – зональний тілесний кут, що розглядається.

### §2.3. Опроміненість від точкового джерела горизонтальної поверхні, сфери, циліндру

У відповідності з визначенням опроміненості маємо, що опроміненість

$$E = \frac{d\Phi_e}{dS},$$

де  $d\Phi_e$  - потік, що приходить на одиницю опроміненості поверхні  $dS$ ,

з іншого боку,  $d\Phi_e = I_\alpha d\omega$ . З визначення тілесного кута

$$d\omega = \frac{dS \cos \beta}{l^2},$$

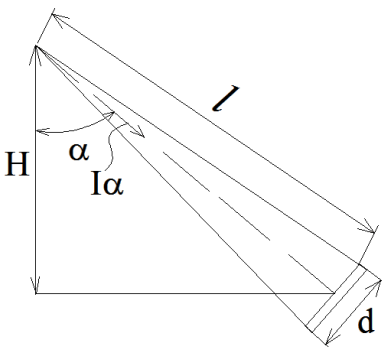
Опроміненість поверхні від точкового джерела.

$$\text{Тоді } d\Phi_e = \frac{I_{e\alpha} dS \cdot \cos \beta}{l^2}$$

$$\text{або } E_e = \frac{I_{e\alpha} \cos \beta}{l^2}$$

При проектуванні опромінювальних установок важливо знати середню опроміненість тіл різної форми.

1) Тіло у вигляді диску діаметром  $d \leq 0,5\ell$ :



Площа опромінювання:

$$S_o = \frac{\pi d^2}{4}.$$

Тілесний кут:

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4\ell^2}.$$

Потік в тілесному куту:

$$\Phi = I_{e\alpha} \cdot \omega = \frac{I_{e\alpha} \pi d^2}{4\ell^2}.$$

Опромінюваність диску

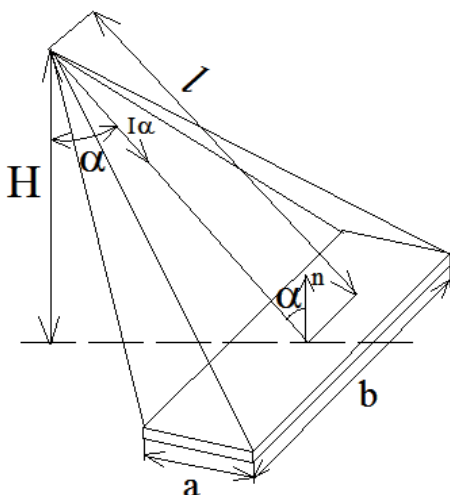
Середня опромінюваність:

$$E = \frac{\Phi}{S_o} = \frac{I_\alpha \pi d^2 \cdot 4}{4\ell^2 \pi d^2} = \frac{I_\alpha}{\ell^2} = \frac{I_\alpha \cdot \cos \alpha}{H^2},$$

де  $H = \ell \cdot \cos \alpha$  - висота підвісу опромінювача.

2) Опромінюване тіло – горизонтальна прямокутна пластина розміром  $a, b$ :

Площа опромінення:



$$S_0 = a \cdot b.$$

Тілесний кут:

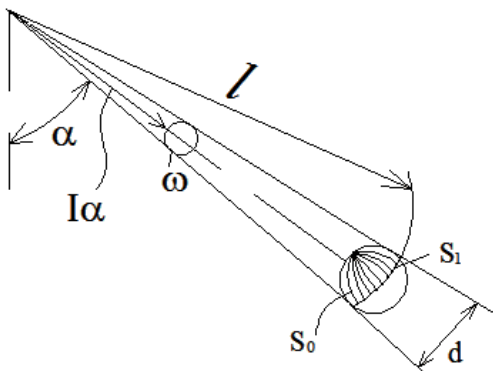
$$\omega = \frac{a \cdot b \cdot \cos \varepsilon}{l^2}.$$

Тоді опромінюваність:

$$E_r = \frac{I_{e\alpha} a \cdot b \cdot \cos \alpha}{l^2 a \cdot b} = \frac{I_{e\alpha} \cdot \cos \alpha \cdot \cos \alpha^2}{H^2}.$$

Опромінюваність пластини

3) Опромінюване тіло сфера діаметром  $d$ :



Площа опромінювання:

$$S_0 = \frac{\pi d^2}{2}.$$

Площа перерізу сфери:

$$S_1 = \frac{\pi d^2}{4}.$$

Тілесний кут:

$$\omega = \frac{S_1}{l^2} = \frac{\pi d^2}{4l^2}.$$

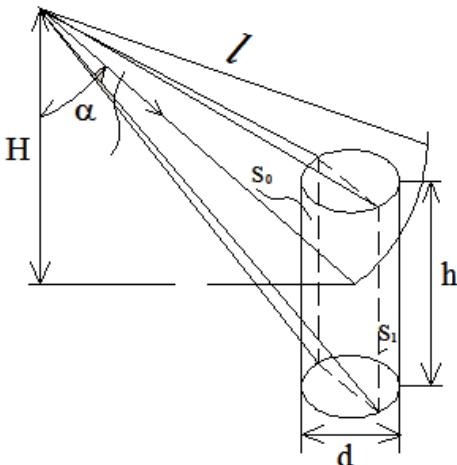
Потік, що падає на сферу:

$$\Phi = I_{e\alpha} \cdot \omega.$$

Тоді опромінюваність:

$$E_{cp} = \frac{\Phi}{S_0} = \frac{I_{e\alpha} \pi d^2 2}{\pi d^2 4l^2} = 0,5 I_{e\alpha} \frac{\cos \alpha}{H^2}$$

4) Опромінюємо тіло – циліндр діаметром  $d$  та висотою  $h$ :



Площа опромінювання:

$$S_0 = \frac{\pi d h}{2}.$$

Площа перерізу циліндру:

$$S_1 = d h.$$

Тілесний кут:

$$\omega = \frac{d h}{l^2}.$$

Тоді опроміненість:

$$E_u = \frac{\Phi}{S_0} = \frac{I_{e\alpha} d h 2}{l^2 \pi d h} = \frac{2 I_{e\alpha} \cos^2 \alpha}{\pi H^2} = 0,64 \frac{I_{e\alpha} \cos^2 \alpha}{H^2}.$$

Якщо проаналізувати отримані формули опромінюваності різних тіл, то можна ввести єдину формулу.

$$E = k_{\Phi} \frac{I_{e\alpha} \cos^2 \alpha}{H^2},$$

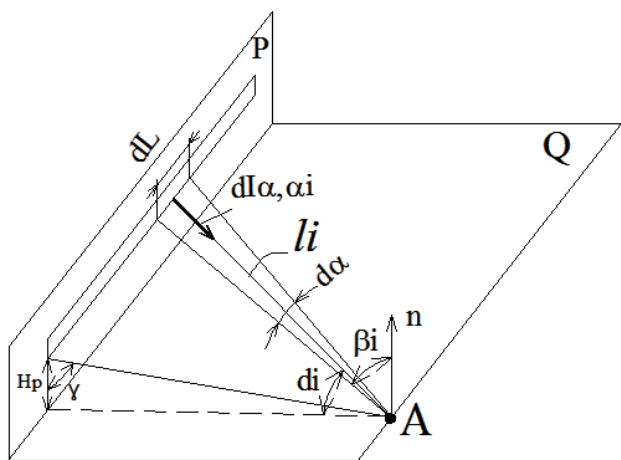
де  $k_{\Phi}$  – коефіцієнт форми поверхні тіла.

Форма поверхні тіла	Значення коеф. $k_{\Phi}$
Плоска:	
Нормальна	1
Горизонтальна	$\cos \alpha$
Сферична	0,5
Циліндрична	
Нормальна	0,64
Повздовжня	$0,64 \cos \alpha$

## §2.4. Опромінюваність горизонтальної поверхні від лінійного випромінювача

Розглянемо випадок, коли лінія, що світиться, паралельна розрахунковій площині.

Положення розрахункової точки вибираємо так, щоб її проекція на площину  $P$  співпадала з проекцією кінця лінії, що світиться на розрахункову площину  $Q$ . Виділимо на розрахунковій лінії, що світиться, безкінечно малий елемент  $dL$ , положення якого відносно розрахункової точки  $A$  визначається висотою розміщення  $H_p$  та кутами  $\gamma$  та  $\alpha_i$ .



Освітленість в точці  $A$  від елемента лінії, що освітиться  $dL$ :

$$dE_A = \frac{dI_{\gamma_i \alpha_i} \cdot \cos \beta_i}{l_i k_3},$$

де  $dI_{\gamma_i \alpha_i}$  – сила випромінювання елемента лінії, що світиться по напрямку до точки  $A$ ;  $\beta$  – кут між вектором сили випромінювання  $dI_{\gamma_i \alpha_i}$  та нормаллю до опромінювальної поверхні в контрольній точці;  $l_i$  – відстань від елемента лінії, що світиться  $dL$  до розрахункової точки;  $k_3$  коефіцієнт запасу.

Ввівши поняття сили випромінювання з одиниці довжини лінії що світиться  $I_{\gamma}$  та вважаючи, що в площині осі лінії що світиться (повздовжньої площини) розподілення сили випромінювання згідно з закону косинуса, що справедливо для

більшості люмінесцентних світильників, буде мати вид:

$$dI_{\gamma, \alpha_i} = I_{\gamma} dL \cos \alpha_i$$

або:

$$\left. \begin{aligned} \cos \beta_i &= \frac{H_p}{l_i} \\ l_i &= \frac{H_p}{\cos \gamma \cdot \cos \alpha_i} \\ dL \cos \alpha_i &= l_i d\alpha_i \end{aligned} \right\}$$

Отримаємо:

$$dE_A = \frac{I_{\gamma}}{H_p k_3} \cos^2 \gamma \cos^2 \alpha_i d\alpha_i \quad (*)$$

Опроміюваність в точці А від всієї лінії що світиться, визначається інтегруванням \* по довжині лінії L;

$$E_A = \int_L dE_A = \frac{I_{\gamma}}{H_p k_3} \cos^2 \gamma \int_0^{\alpha_k} \cos^2 \alpha_i d\alpha_i.$$

Підставивши  $\cos^2 \alpha_i = \frac{1 + \cos^2 \alpha_i}{2}$  та проінтегрувавши отримаємо:

$$E_A = \frac{I_{\gamma}}{2H_p k_3} \cos^2 \gamma \left( \alpha_k + \frac{\sin^2 \alpha_k}{2} \right),$$

де  $I_{\gamma}$  – сила світла на одиницю довжини лінії що світиться, в площині: перпендикулярній до осі лінії  $\gamma = \arctg \frac{P}{H_p}$ ;  $d$  – кут, під яким видно лінії що світяться з точки розрахунку;  $H_p$  – висота розміщення лінії що світиться під освітлювальною поверхнею.

Силу опроміювання на одиницю довжини лінії в площині, перпендикулярній до її осі з деяким наближенням можливо визначити за формулою;

$$I_{\gamma} = \frac{\Phi}{\pi^2 L},$$

де  $\Phi$  – потік лінії що світиться.

## **§2.5. Приймачі променевої енергії та їх характеристики.**

Тіла в природі, в яких відбувається поглинання та перетворення оптичного випромінювання називають приймачами оптичного випромінювання.

Поглинаюче приймачем випромінювання як один з видів енергії переходить в інші види енергії: хімічну або теплову енергію або в комбінацію цих енергій.

Створений вид енергії називається енергією фотопродукту  $W_{\text{фп}}$ . Відношення всіх видів енергії, накопиченій у фотопродукті до енергії потоку випромінювання, що упало на цей приймач є коефіцієнтом поглинання або поглинання приймача  $g_s$ ;



$$g_s = \frac{d\Phi_{\phi n}}{\Phi d\tau} = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi} = \alpha$$

По закону збереження енергії  $Q_e = Q_{e\Phi} + \Delta Q_n$  поглинання енергії повинна рівнятися сумі перетворених енергій;

$$\alpha = g_{st} + g_{sx} + g_{s\lambda} + \rho_{SA} + \dots$$

де  $g_{st}$  – ККД перетворення випромінювання в тіло, теплова чутливість;

$g_{sx}$  – чутливість хімічних та біохімічних зв'язків в  $g_{s\lambda}$  - енергетична чутливість;

$g_{st}$  – фоточутливість (люмінесценція).

Формула залишається справедливою і для монохроматичного випромінювання:

$$\alpha_\lambda = g_{\lambda t} + g_{\lambda x} + \rho_{\lambda e} + \dots$$

Визначення  $g_\lambda$  в багатьох випадках є складним або неможливим. Тому в розрахунках користуються поняттям відносної спектральної чутливості.

Розділяють інтегральну чутливість та спектральну чутливість.

Інтегральна чутливість оцінює чутливість до складного випромінювання та характеризується відношенням поглинаючої та ефективно перетвореної енергії до всієї падаючої на приймач;

$$g = C \frac{Q_{e\alpha}}{Q_e},$$

де  $C$  – коефіцієнт, що визначає вибір одиниць вимірювання величини;

$Q_{e\alpha}$  – енергія поглинена та ефективно перетворена в приймачі в інший вид енергії;

$Q_e$  – вся енергія випромінювання, що падає на приймач.

Однак більшість приймачів володіє вибірковою чутливістю до випромінювання різних довжин хвиль. Залежність, що визначає чутливість до монохроматичного випромінювання різної довжини хвилі називають спектральною чутливістю приймача

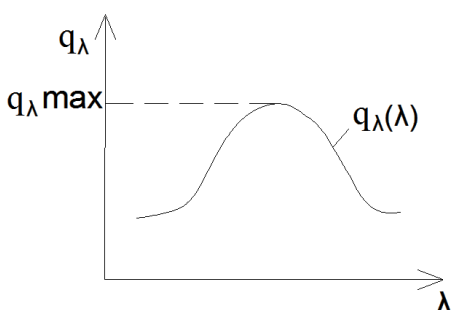
$$q_\lambda = C \frac{d\Phi_{e\alpha\lambda}}{d\Phi_{e\lambda}}$$

де  $\Phi_{e\alpha\lambda}$  – поглинений та ефективно перетворений в приймачі потік монохроматичного (однорідного) випромінювання;

$\Phi_\lambda$  – повний потік монохроматичного (однорідного) випромінювання, що падаючий на приймач

В більшості приймачів спектральна чутливість залежить від довжини хвилі, падаючого на нього однорідного випромінювання. Такі приймачі називають вибілковими (селективними).

Графічно це виглядає так:  $q_\lambda = f(\lambda) = q_\lambda(\lambda)$



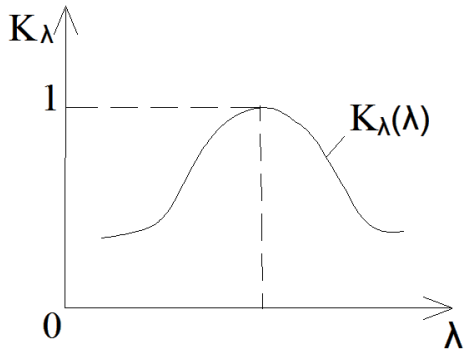
В окремій частині спектру спектральна чутливість має максимум  $q_{\lambda \max}$ .

Якщо всі інші значення  $q_{\lambda(\lambda)}$  розділити на  $q_{\lambda \max}$ , то отримаємо відносну спектральну чутливість;

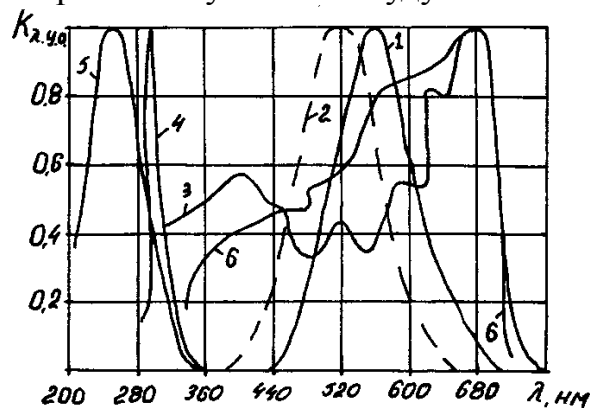
$$K_{\lambda(\lambda)} = \frac{q_{\lambda(\lambda)}}{q_{\lambda \max}}$$

$q_{\lambda}$  – максимальна спектральна чутливість приймача до постійного по величині та спектральній інтенсивності випромінювання.

Відносна спектральна чутливість – величина безрозмірна. Нею зручніше користуватися для оцінки спектральної чутливості різних приймачів. Вона також може бути виражена графічно.



Функції відносної спектральної чутливості будуються в координатах  $K$  та  $\lambda$ .



Відносні спектральні характеристики деяких приймачів, що використовуються для розрахунків освітлювальних та опромінювальних приладів в с/г:

- 1 – очі людини вдень; 2 – очі людини вночі; 3 – зеленого листа; 4 – шкіра тварини; 5 – бактерій; 6 – фотосинтезу.

З кривих видно, що всі розглянуті приймачі випромінювання селективні. Приймачі випромінювання різних груп значно відрізняються спектральними характеристиками.

Око людини та зелений лист сприймає випромінювання в майже однаковому спектральному інтервалі. Однак ті монохроматичні випромінювання, які око сприймає краще за все (550... 560 нм), для зеленої рослини найменш ефективні. Це означає, що одиниці та величина однієї системи не можуть бути використані взамін одиниць та величин іншої, якщо невідомі співвідношення між ними. Ці співвідношення залежать від спектрального складу випромінювання.

### ТЕМА 3.

#### §3. СВІТЛОВА ДІЯ ДЖЕРЕЛ ВИПРОМІНЮВАННЯ.

### §3.1. Взаємодія оптичного випромінювання з приймачами та поняття ефективного потоку.

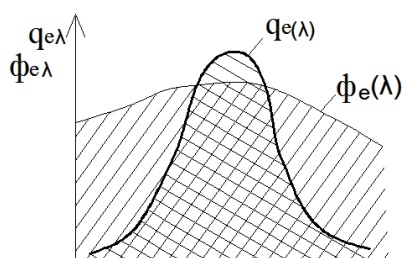
Енергія, що попала на приймач викликає позитивну, а у випадку сильного опромінення негативну дію і називається ефективною енергією.

Ефективну енергію за час її дії можна розглядати як ефективний потік.

Ефективний потік – це потужність випромінювання, поглинання приймачем, що визиває в ньому якусь корисну (ефективну) дію та іншими словами ефективний потік це потужність випромінювання, що оцінюється по рівню реакції на нього приймача енергії випромінювання (наприклад, реакція ока на світло).

Якщо відома спектральна густина потоку випромінювання  $\varphi_{e\lambda}$ , то площа фігури під кривою спектральної густини представляє собою потік випромінювання джерела. Якщо на цьому ж графіку побудувати графік спектральної чутливості  $q_{e\lambda}$ , то ефективний потік визначається площею фігури, що заштрихована двічі. Таким чином ефективний потік:

$$\Phi_{ef} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} g_{e\lambda}(\lambda) \cdot \Phi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda,$$



Визначення ефективного  $\lambda$  потоку.

Якщо використовувати поняття відносної спектральної чутливості:

$$K_{\lambda(\lambda)} = \frac{q_e(\lambda)}{q_e(\lambda)_{\max}},$$

тоді

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

### §3.2. Системи світлових величин та одиниці їх вимірювання.

Всі приймачі оптичного випромінювання поділяються на 4 групи. Для кожної з цих груп прийнята своя система ефективних величин та одиниць вимірювання.

Світлова система ефективних величин. Еталонний приймач око людини.

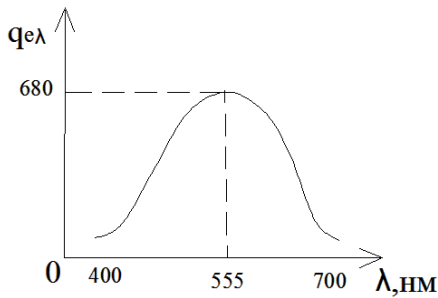
В цій системі оцінюється світлова, фотоперіодична та терапевтична дія видимого випромінювання.

Основною ефективною величиною в цій системі величин являється світловий потік  $\Phi$ . Одиницею світлового потоку являється люмен (Лм). 1 Лм дорівнює потоку випромінювання абсолютно чорним тілом за площею  $0,5305 \text{ мм}^2$  при температурі затвердівання платини ( $2042^{\circ}\text{K}$ ).

Однорідне випромінювання потужністю 1 Вт при  $\lambda = 0,555 \text{ мкм}$  складає 680 Лм світлового потоку. Число 680 – світловий еквівалент потужності

випромінювання.

Максимальне значення спектральної чутливості середнього ока людини дорівнює 680 Лм/Вт при довжині хвилі випромінювання  $\lambda=0,555$  мкм.



Спектральна чутливість ока людини

Тому, якщо необхідно в загальному потоку випромінювання визначити світловий потік, то використовується формула;

$$\Phi = 680 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} q_{e\lambda}(\lambda) \cdot K_{e\lambda}(\lambda) d\lambda ,$$

для монохромного випромінювання:

$$\Phi = 680 \sum_{i=1}^n K_e(\lambda_i) \Phi_{e\lambda_i} ,$$

де  $K_e(\lambda_i)$  – відносна спектральна чутливість приймача:

$$K_e(\lambda_i) = \frac{q(\lambda_i)}{q(\lambda)_{\max}} ;$$

де  $q(\lambda_i)$ ,  $q(\lambda)_{\max}$  – спектральна світлова чутливість приймача до випромінювання відповідно з довжиною хвилі  $\lambda_i$  та до випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda_{\max}$  (при якому чутливість максимальна).

Далі аналогічно як для системи енергетичних величин, будемо мати;

Сили світла – просторова щільність світлового потоку:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \left[ \frac{\text{лм}}{\text{ср}} \right] = [\text{кандела}] = [\text{кд}];$$

Сила світла є одна основних величин системи СИ.

Освітленість – відношення світлового потоку до площі, на яку він розповсюджується:

$$E = \frac{d\Phi}{dS}; [\text{люкс}] = [\text{лк}];$$

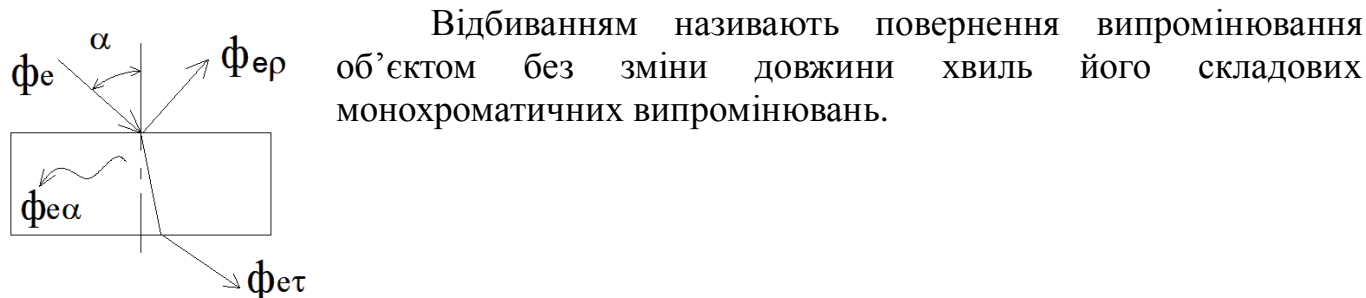
Одиниця освітленості – люкс (лк) має розмірність люмен на квадратний метр. Освітленість поверхні не залежить від її властивостей та від напрямлення, в якому поверхня розглядається.

світимість  $M = \frac{d\Phi}{dS}; [\text{лк}];$

експозиція  $H = \int_{\tau_1}^{\tau_2} E(\lambda) d\tau; [\text{лк} \cdot \text{с}].$

### §3.3. Світлові властивості тіл.

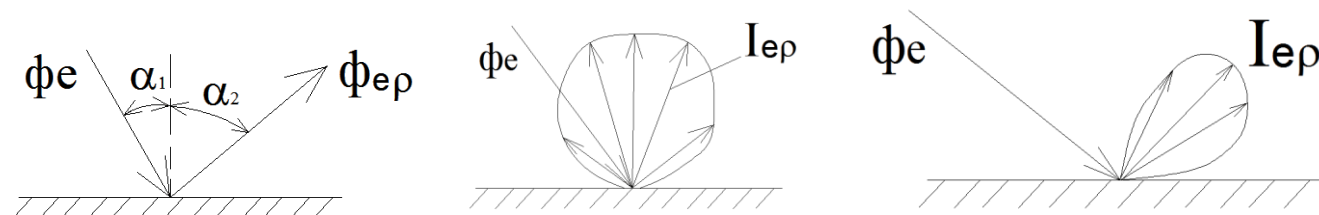
Вплив оптичного випромінювання на приймачі залежить від їх оптичних властивостей. Основні оптичні властивості приймачів характеризуються: відбиванням, поглинанням та пропусканням.



Відбиванням називають повернення випромінювання об'єктом без зміни довжини хвиль його складових монохроматичних випромінювань.

### Взаємодія оптичного випромінювання з приймачем

Відрізняють три види відбивання;



а) направлення (дзеркальне)    б) дифузне (розсіяне)    в) направлено-розсіяне

При проходженні потоку випромінювання крізь прозоре тіло може бути заломлення випромінювання або його пропускання.

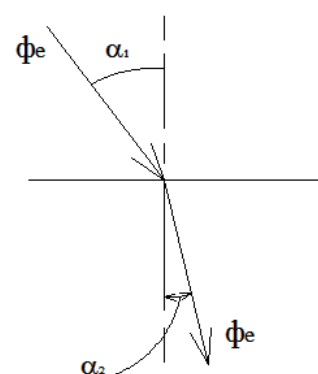
Заломленням випромінювання називається зміна його напрямку при переході з одного прозорого середовища в інше. Промінь падаючий та промінь заломлений лежить в одній площині з перпендикуляром до поверхні розділу в точці падіння променя.

Показник заломлення:

$$n = \frac{U_2}{U_1} = \frac{C}{U}$$

де  $C$  – швидкість світла в вакуумі.

Абож:



$$n = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2}$$

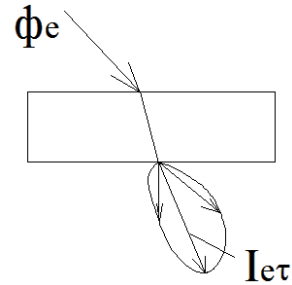
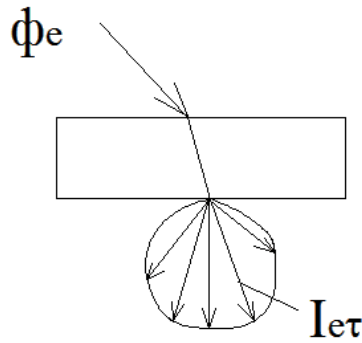
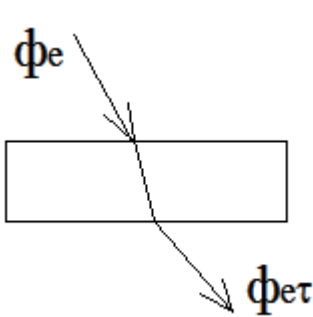
$\alpha_1, \alpha_2$  – відповідно, кут падіння та відбивання променя.

Пропусканням називається проходження випромінювання крізь середовище без зміни довжин хвиль відповідно його монохроматичних випромінювань.

направлене

дифузне (розсіяне)

направлено-розсіяне



Для кількісної оцінки оптичних властивостей тіл вводять інтегральні коефіцієнти:

поглинання  $\alpha = \frac{\Phi_{e\alpha}}{\Phi_e};$

відбивання  $\rho = \frac{\Phi_{e\rho}}{\Phi_e};$

пропускання  $\tau = \frac{\Phi_{e\tau}}{\Phi_e};$

очевидно, що  $\alpha + \rho + \tau = 1,$

де  $\Phi_e$  – падаючий потік,

де  $\Phi_{e\alpha}, \Phi_{e\rho}, \Phi_{e\tau}$  – потік поглинальний, відбиваючий, пропускаючий.

Для характеристики тіл, здатних поглинати, відбивати та пропускати випромінювання визначеної довжини, хвилі випромінювання, тобто монохроматичного випромінювання, вводять поняття спектральних коефіцієнтів поглинання  $\alpha_\lambda$ , відбивання  $\rho_\lambda$  та пропускання  $\tau_\lambda$ ;

$$\alpha_\lambda = \frac{\Phi_{e\lambda d}}{\Phi_{e\lambda}}; \quad \rho_\lambda = \frac{\Phi_{e\lambda\rho}}{\Phi_{e\lambda}}; \quad \tau_\lambda = \frac{\Phi_{e\lambda\tau}}{\Phi_{e\lambda}}$$

Інтегральні коефіцієнти пов'язані зі спектральними коефіцієнтами з наступними відношеннями:

$$\rho = \frac{\int_{1\text{нм}}^{1\text{мм}} \varphi_\lambda(\lambda) \rho_\lambda(\lambda) d\lambda}{\int_{1\text{нм}}^{1\text{мм}} \varphi_\lambda(\lambda) d\lambda}; \quad \alpha = \frac{\int_{1\text{нм}}^{1\text{мм}} \varphi_\lambda(\lambda) \alpha_\lambda(\lambda) d\lambda}{\int_{1\text{нм}}^{1\text{мм}} \varphi_\lambda(\lambda) d\lambda}; \quad \tau = \frac{\int_{1\text{нм}}^{1\text{мм}} \varphi_\lambda(\lambda) \tau_\lambda(\lambda) d\lambda}{\int_{1\text{нм}}^{1\text{мм}} \varphi_\lambda(\lambda) d\lambda};$$

Де в чисельнику приведений потік складного випромінювання відповідно відбивання, поглинання та пропускання, а в знаменнику падаючий потік



де  $C = \frac{\tau S_{zp}}{l^2} = const$  для даного ока.

Таким чином, освітленість на сітчатці, що визначає рівень відчуття світла, пропорційна величині:

$$L_{я} = \frac{dI_{\alpha}}{dS_1 \cos \alpha} = const$$

де  $L_{я}$  – яркість поверхні в точці А площі  $S_1$ .

Яскравість - відношення сили світла  $dI_{\alpha}$ , що випромінюється елементом поверхні  $dS_1$  в даному напрямку, до площі проекції цієї поверхні на площину, перпендикулярну до того ж напрямку  $dS_1 \cos \alpha$ .

Оптичне випромінювання видимого діапазону, попадаючи на сітчатку ока, оможе визвати різноманітні кольорові відчуття.

Якщо світловий потік, що створює відчуття білого кольору, розкласти за допомогою призми на монохроматичні потоки, то кожен з них, як було доказано Ньютоном, буде викликати відчуття того чи іншого кольору. Кольорове відчуття, що виникає при впливі на око монохроматичного світлового потоку, залежить від довжини хвилі випромінювання. Відомо, що око здатне відрізнати більше 150 відтінків кольору. Ці кольорові відтінки плавно переходять один з одного, створюючи сім умовних ділянок, відповідаючи найбільш характерним кольорам: червоному, помаранчевому, жовтому, синьому, блакитному, фіолетовому.

Кольори, що виникають в нашій свідомості в результаті впливу на око монохроматичних світлових потоків різних довжин хвиль називають спектральними кольорами. Довжину хвилі випромінювання, що відповідає даному кольору називають кольоровим тоном. Однак, будь-який зі спектральних кольорів, будучи розбавленим білим кольором, створює безліч відтінків цього кольору в залежності від співвідношення білого та спектрального чистого кольору. Звідси витікає, що кольоровий тон ще не характеризує колір. Тому вводять поняття чистоти кольору  $P$ , яка визначається долею монохроматичного світлового потоку в світловому потоці даної суміші (визначається у %).

Кольоровий тон та чистота кольору є якісними характеристиками кольору або як характеристика кольоровості.

Повна характеристика кольору повинна включати в себе на ряду з якісними показниками і кількісний показник яскравості оцінюємого випромінювання (при малих яскравості випромінювання синього кольору буде сприйматися блакитним, жовтий–коричневим).



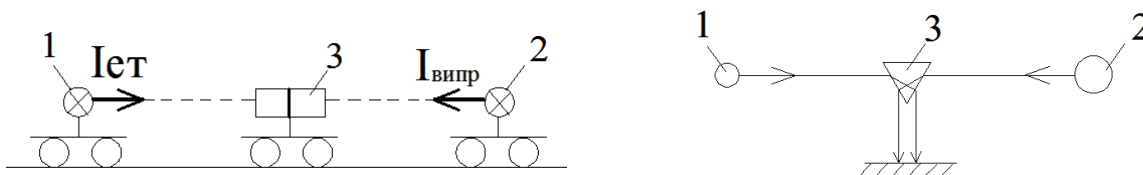
## ТЕМА №4

### §4. СВІТЛОВІ ВИМІРЮВАННЯ

#### §4.1. Методи вимірювання оптичного випромінювання

Вимірювання оптичних характеристик джерел випромінювання та випромінювачей можуть здійснюватися візуальними та фізичними методами.

Візуальні вимірювання ґрунтуються на урівнюванні яскравостей двох суміжних полів порівняння.



Візуальне вимірювання оптичного випромінювання:

1 – еталонне джерело; 2 – джерело, що визначається 3 – призма (фотометрична голівка)

Індикатором є око людини. Якщо в якості індикатора використовуються фізичні прилади: фотоелементи, фотоелектронні помножувачі, балометри та ін. Тоді метод вимірювання є фізичним.

Основні переваги фізичної фотометрії:

1. Здатність фізичних приймачів променевої енергії до безпосередньої кількісної оцінки вимірюючих величин;
2. Здатність фізичних приймачів здійснювати вимірювання не тільки в видимій області, а і в інфрачервоному та ультрафіолетовому.

#### §4.2. Вимірювальні приймачі оптичного випромінювання, їх класифікація та характеристика.

Вимірювання оптичного випромінювання засновано на перетворенні енергії цього випромінювання в електричну (теплову, хімічну енергію випромінювання).

Прилади фізичного вимірювання оптичного випромінювання складаються з:

- приймача випромінювання;
- джерела живлення;
- панелі спостереження, проградуєваної в тих чи інших одиницях ефективних величин. (мікрометр, мілівольтметр).

Для вимірювання оптичного випромінювання найбільш розповсюджені приймачі, що ґрунтуються на тепловій та фотоелектричній дії оптичного випромінювання.

Фотоелектричні приймачі енергії випромінювання, в яких безпосередньо перетворюється в електричну енергію.

По механізму виникнення фотоефекту приймачі діляться на:

- 1) фотоелементи із зовнішнім фотоефектом;

- 2) фотоелементи із внутрішнім фотоелементом;
- 3) фотоелементи в запираючому шарі (вентильні фотоелементи).

Фотоелементи із зовнішнім фотоелементом іспускають електрони в навколишнє середовище під дією поглинаючого ними випромінювання.

Катод світло чуттєвий, напилений (калієвий, сурменоцезієвий) шар.

Анод кільце з тонкої нікелевої проволочки.

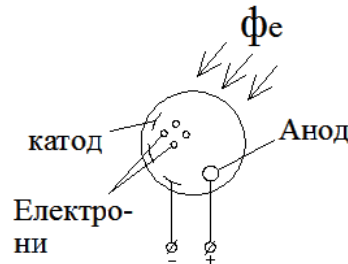


Схема будови фотоелементу із зовнішнім фотоелементом.

Фотоелементи можуть бути вакуумні та газонаповнені. В газонаповнених приймачах фотострум збільшується за рахунок іонізації інертних газів в колбі.

Чутливість  $80 \div 120 \text{ мкА} \cdot \text{мкА} \cdot \text{лм}^{-1}$

Різновидом фотоелементів з зовнішнім фотоелементом є фотоелектронні помножувачі (коефіцієнт підсилення досягає  $10^7$ )

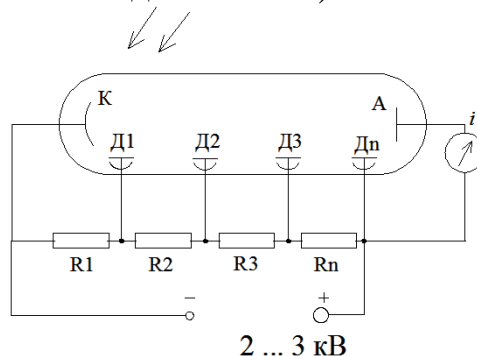


Схема будови фотоелектронного помножувача.

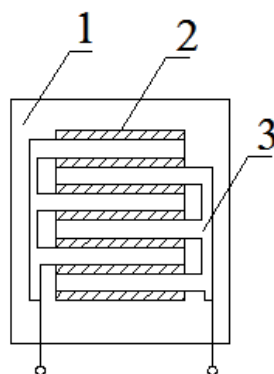


Схема будови фотоелементу із внутрішнім фотоелементом:  
1 – ізоляція; 2 – фоточутливий шар; 3 – контактна сітка.

Фотоелемент із внутрішнім фотоелементом, внутрішній фотоелемент проявляється в зміні провідності матеріалів під дією оптичного випромінювання напівпровідниковий опір під впливом поглиненої енергії випромінювання вивільняє

електрони з кристалічної решітки. Найбільш розповсюджені селенові фотоелементи (германієві, селен-телуронні та ін.). Чутливість – 300 – 750 мкА\*лм<sup>-1</sup>

Фотоелемент із запираючим шаром.

Дія заснована на явищі виникнення ЕРС на електродах приладах при впливі на нього оптичного випромінювання. На границі напівпровідника та електрода виникає запираючий шар. При опроміненні електрони переходять крізь запираючий шар та накопичуються на пластині, а зворотній їх перехід не можливий, в результаті виникає ЕРС. Ці фотоелементи не потребують додаткових джерел живлення.

Щоб вибрати приймач випромінювання, необхідно знати його характеристики. Основними характеристиками приймача випромінювання є: інтегральна чутливість; спектральна чутливість; вольт амперна характеристика; фотоелектричні характеристики ( $I = f(\Phi)$ ;  $I = f(E)$ ); границя чутливості; постійна часу; опір та ін.

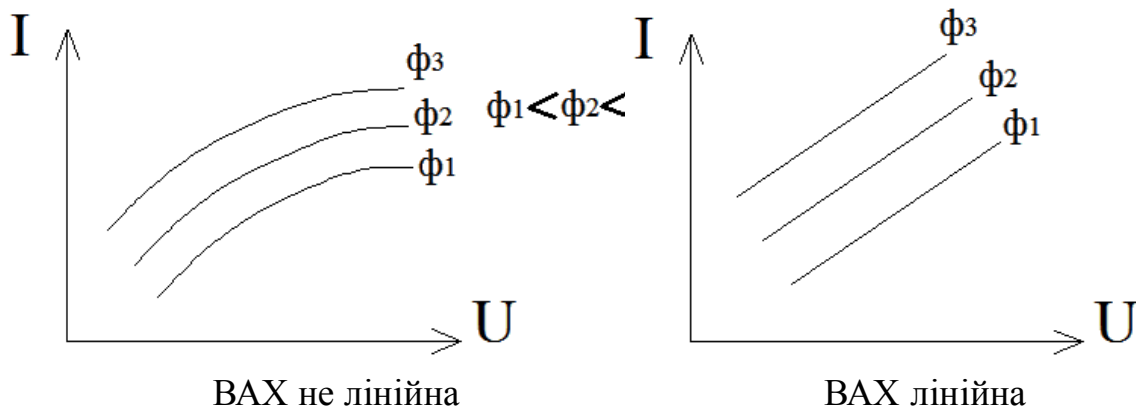
Інтегральна чутливість  $q = \Delta i / \Delta \Phi [A \cdot лм^{-1}]$

Спектральна чутливість  $q_{\lambda} = \Delta i / \Delta \Phi_{\lambda}$

Відносна спектральна чутливість

$$K_{(\lambda)} = \frac{q\lambda_i}{q\lambda_{max}}$$

Вольт-амперна характеристика;



Фотоелектричні характеристики  $I = f(\Phi)$

Приймачі випромінювання вибирають за їх характеристикою. При цьому необхідно щоб:

1. інтегральна чутливість приймача охоплювала весь діапазон довжин хвиль вимірювального оптичного випромінювання.
2. спектральна чутливість приймача випромінювання приладу вимірювання оптичного випромінювання повинна відповідати спектральній чутливості сталого приймача.

**§4.3. Вимірювання освітленості, сили світла, світлового потоку.**

Для вимірювання освітленості застосовують фотометричні прилади, (люксметри).

Вимірювання світлового потоку здійснюється в кульових фотометрах, що представляють собою порожнисту кулю, зафарбовану всередині білою дифузною відбиваючою фарбою. Ця куля може бути діаметром від 0,5 до 2,5м. Випробувальне джерело, розміщене всередині фотометру, посиляє в усі боки світловий потік  $\Phi_{дж}$ ,

який при попаданні на внутрішню поверхню, віддзеркалюється від неї;  $\rho\Phi_{дж}$ , де  $\rho$  - коефіцієнт віддзеркалення. Після першого віддзеркалення цей потік повторно потрапить на стінки та також віддзеркалиться  $\rho^2\Phi_{дж}$  та ін. В результаті багаторазових віддзеркалень на внутрішній поверхні фотометру встановиться деякий світловий потік  $\Phi$ , величина цього потоку визначається із закону збереження енергії, згідно якого величина світлового потоку джерела повинна дорівнювати потоку, поглиненому в середині кульового фотометра в процесі багаторазових віддзеркалень.

$$\Phi_{дж} = \Phi(1 - \rho)$$

або

$$\Phi = \Phi_{дж} + \frac{\Phi_{дж}}{1 - \rho} = \Phi_{дж} + \Phi_0,$$

де  $\Phi_{дж}$  - складова прямого потоку джерела

$$\Phi_0 = \frac{\Phi_{дж}\rho}{1 - \rho} - \text{складова потоку багаторазових віддзеркалень.}$$

Світловий потік  $\Phi_0$  рівномірно розподілений на внутрішній поверхні шарового фотометра, та створює однакову освітленість всіх її ділянок:

$$E_{зн} = \frac{\Phi_0}{S_{зн}} = \frac{\rho\Phi_{дж}}{(1 - \rho) \cdot 4\pi \cdot r^2},$$

де  $r$  - радіус шару.

З цього виразу видно, що освітленість внутрішньої поверхні шарового діаметру пропорційна світловому потоку випробовуючого джерела світла.

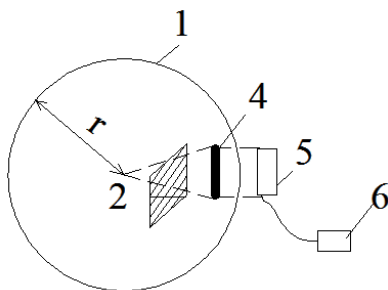


Схема вимірювання світлового потоку за допомогою шарового фотометра:

- 1 - шаровий фотометр; 2 - джерело світла;
- 3 - непрозорий білий екран; 4 - молочне скло;
- 5 - селеновий фотоелемент; 6 - люксметр.

Світлимість зовнішньої поверхні:

$$M = E_{зв}\tau,$$

де  $\tau$  - коефіцієнт пропускання світла молочним склом,

$$E_{зв} = \frac{M}{\tau},$$

$$\Phi_{дж} = \frac{M(1 - \rho)4\pi \cdot r^2}{\rho\tau} = CM,$$

де  $C = \frac{M(1 - \rho)4\pi \cdot r^2}{\rho\tau}$  - const шарового фотометру.

При вимірюванні світлового потоку в шаровому фотометрі користуються методом заміщення. При цьому на початку в фотометрі встановлюють джерело з відомим потоком (еталонний) та вимірюють освітленість  $E_{ет}$ , а потім вимірюють освітленість  $E_{дж}$  випробовуємого джерела. Шуканий світловий потік визначається з відношення

$$\Phi_{дж} = \Phi_{ET} \frac{E_{дж}}{E_{ET}}$$

Таким чином, можливо визначити потік вимірюємого джерела при відомих параметрах еталонного джерела (потік  $\Phi_{ET}$  та освітленість  $E_{ET}$ ) та освітленість від вимірюємого джерела.

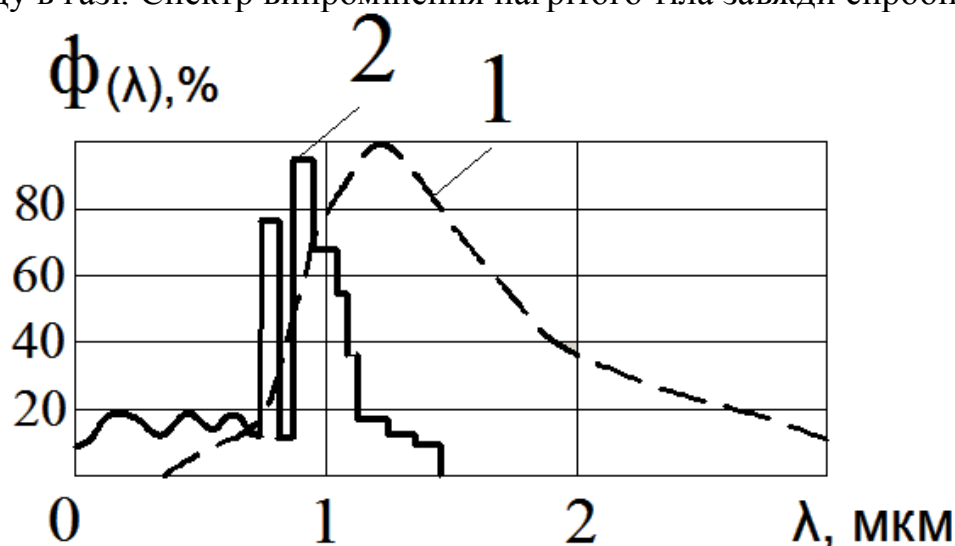
### Електричні джерела оптичного випромінювання. Світлові прилади та опромінювані:

#### Основні характеристики електричних джерел випромінювання

Штучними джерелами оптичного випромінювання називають пристрій, що призначений для перетворення якого-небудь виду енергії в оптичне випромінювання.

Найчастіше в електричних джерелах оптичного випромінювання електрична енергія перетворюється в основному двома способами; через нагрів тіла електричним струмом; крізь електричний розряд в газах та парах металів.

Розглянемо спектр випромінювання нагрітого твердого тіла та електричного розряду в газі. Спектр випромінювання нагрітого тіла завжди спробний (крива 1).



Спектр випромінювання електричних джерел:

- 1 – при нагріві тіла електричним струмом;
- 2 – при електричному розряді в ксеноні

Для електричного розряду в газі або парах металів характерний або полосатий спектр (крива 2), або ж лінійчастий, що складається з окремих монохроматичних випромінень.

У відповідності з принципом перетворення електричної енергії джерела випромінювання поділяються на теплові та розрядні.

Для характеристики електричних джерел оптичного випромінювання використовують наступні основні показники.

1. Енергетичні:
  - Енергетичний коефіцієнт корисної дії лампи

$$\eta_{e.l} = \Phi_{e.l} / P_l$$

де  $\Phi_{e.l}$  - повний потік випромінювання лампи, Вт;

$P_l$  – потужність лампи, Вт.

- Ефективний КПД лампи

$$\eta_{ef.l} = \Phi_{ef.l} / P_l = \int_0^{бескон} \Phi_{(\lambda)} k_{(\lambda)} d_{(\lambda)} / P_l$$

де  $\Phi_{ef.l}$  - ефективний потік випромінення лампи, Вт.

- Ефективний ККД потоку випромінення лампи

$$\eta_{ef.l} = \Phi_{ef.l} / \Phi_{e.l.}$$

Усі енергетичні показники джерела випромінення взаємопов'язані

$$\eta_{ef.l} = \eta_{e.l} \cdot \eta_{ef.n}$$

2. Світлотехнічні;

- спектральний склад випромінення лампи  $\Phi_{(\lambda)}$ , Вт/нм;

- ефективний потік випромінення лампи  $\Phi_{ef.l}$  (світловий – лм, фотосинтезний – фт, вітальний – віт, бактерицидний – бк);

- ефективна віддача лампи (лм/Вт, фт/Вт, віт/Вт, бк/Вт)

$$q_{max} \cdot \eta_{ef.l} = q_{max} \int_0^{бесконечн} \Phi_{(\lambda)} k_{(\lambda)} d_{(\lambda)} / P_l$$

3. Електротехнічні:

- номінальна потужність лампи  $P_l$ , Вт;

- номінальна напруга лампи  $U_{лн}$ , В

- номінальна напруга мережі  $U_{с-н}$ , на яку розрахована лампа.

4. Експлуатаційні;

- корисний термін  $\tau_l$  служби лампи, Г., середня тривалість роботи до моменту зміни одного з її параметрів більше межі, встановлений стандартом (корисний термін служби – технічно та економічно доцільний час горіння лампи, повний термін служби – час роботи лампи до виходу її з ладу).

До експлуатаційних показників відносять залежності основних параметрів лампи від відхилень напруги мережі;  $\Phi_{ef.l}(U_c)$ ,  $P_l(U_{с-н})$ ,  $\tau_l(U_c)$  та інші.

### Будова ламп розжарювання

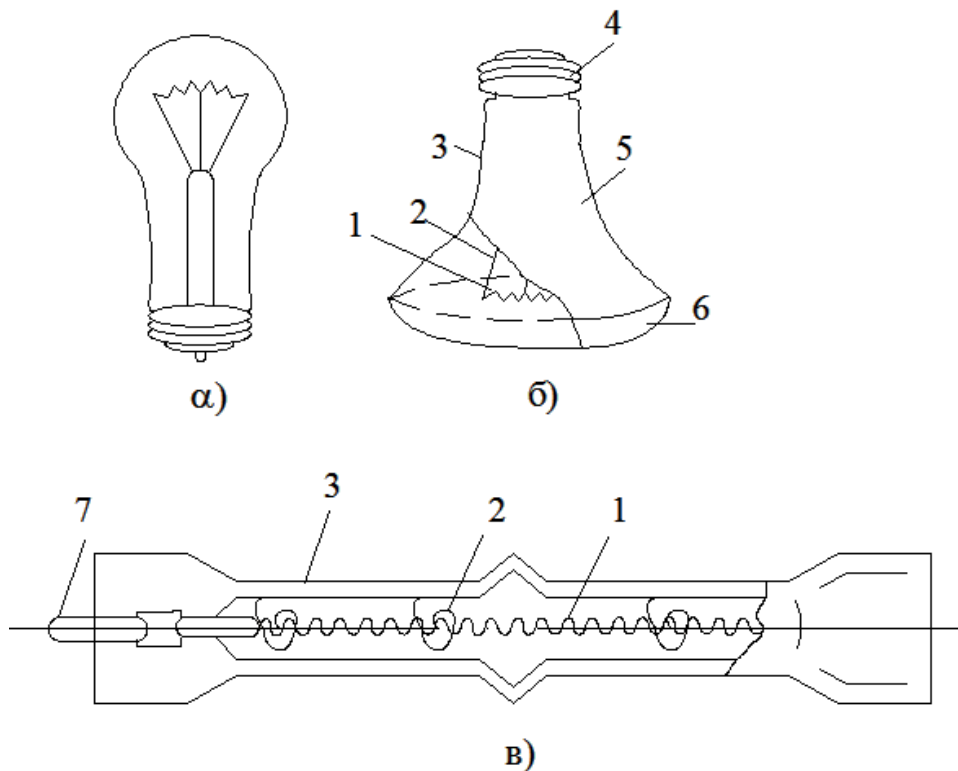
Основна частина електричної лампи розжарювання – тіло розжарювання, що виконане з вольфрамової проволочки круглого перерізу. Тіло розжарювання розміщене в скляній колбі для захисту від окислювальної дії кисню повітря, зафіксовано за допомогою утримувачем.

Форми колб ламп накалювання можуть бути різноманітними від кулеподібної до циліндричної. Для включення лампи в електричне коло на колбі знаходиться цоколь. Який в залежності від умов експлуатації може бути різьбовим, штифтовим, циліндричним, та ін.

Крім прозорих колб використовують матові, молочні, призначені для

зменшення сліплячої яскравості тіла накалу.

В лампах деяких типів передбачені відбивачі, що виконані у вигляді дзеркального або дифузійного напилення на внутрішній поверхні колби.



Конструкція ламп:

а - Розжарювання загального призначення;

б - інфрочервана дзеркальна

в - лінійна галогена.

1 – тіло розжарення; 2 – тримачі натиск, 3 – колба, 4 – цоколь, 5 – внутрішній дзеркальний відбивач; 6 – зона нанесення плівки світло фільтру; 7 – контактний вивід.

Світлотехнічні характеристики ламп розжарювання тісно пов'язані з температурою тіла розжарювання, робоча температура якого обмежування, робоча температура якого обмежується не тільки температурою плавлення вольфраму, а і його інтенсивним розпиленням. В результаті випаровування зменшується переріз вольфрамової проволочки, а вольфрам що випарувався осідає на колбі лампи, знижуючи її прозорість. Для зменшення розпилення вольфраму передбачена спеціальна конструкція тіла розжарювання. Крім того колби наповнюють інертними газами (аргоном, криптоном).

При виготовленні нитки розжарювання у вигляді спіралі знижується розпилення вольфраму. Тому лампи роблять зі спіральним, біспіральним та три спіральним тілом накалювання.

Для зниження негативного впливу розпилення вольфраму на показники роботи ламп, всередину колби вводять дозовану кількість іоду. Такі лампи називають галогенними. При температурі  $300 \dots 1200^{\circ}\text{C}$  пари іоду з'єднуються біля стінки колби з відірвавшимися від спіралі частинами вольфраму та утворюють іодид вольфраму  $\text{WI}_2$ , концентрація якого біля стінок колби підвищується. Під дією дифузії  $\text{WI}_2$  переміщується до центру колби.

Біля тіла розжарювання при температурі 1400... 1600<sup>0</sup>С молекули іодіду вольфраму розпадаються та атоми вольфраму осідають на тілі накалу. Вивільнившись іод знову задіюється в оборотному циклі та перешкоджає осіданню вольфраму що випарувався на колбі.

Зовнішні конструктивні відмінності галогенних ламп – кварцева циліндрична колба малого об'єму, що має два виводи на кінцях. Вольфрамова спіраль закріплена на тримачах, витягнута по осі трубки. Довге спіральне тіло розжарювання потребує особливих умов експлуатації: лінійні галогенні лампи можуть працювати тільки в горизонтальному положенні.

Основні конструктивні признаки ламп розжарювання позначені в їх маркуванні, яка починається з букв.

Наприклад:

БКМТ 215-225-100 – лампа розжарювання, біспіральна, криптонова в матованій колбі, напруга мережі 220 В, потужність 100 Вт.

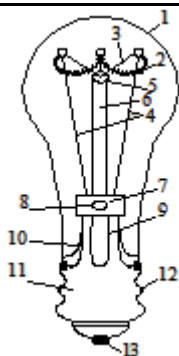
Лінійні галогенні лампи розжарювання позначаються буквами КГ (кварцова галогенна), інфрачервоні галогенні лампи – буквами КГТ.

Інфрачервоні негалогенні лампи виконують з внутрішнім дзеркальним відображенням. Колба може бути прозорою або ж виготовленою з кольорового скла.

Наприклад:

ЦКЗС 215-225-250-1 – інфрачервона (ИК), дзеркальна (З), колба синя (С), напруга мережі 220 В, потужність 250 Вт, номер розроблення 1.

### Лампи накаливання загального призначення



Складається зі скляної колби 1; тіла накалу 2, що виконаний з вольфрамової проволочки; молібденових крючків 3, що надають визначену форму тілу накалу та перешкоджають його провисанню; електродів з нікелю 4, що призначені для подачі напруги на тіло накалу; скляного стрижня (штабка) 6, в верхній частині якого є стовщення (лінзочка) 5, куди в паянні крючки; пологого циліндру 10, з опресованою верхньою частиною (лопаткою) 7, в якій з'єднані штабик, електроди та відкачка трубка 9 з отвором 8; цоколі, що складається з металевих стакану з різьбою 12, до якого припаяний один з електродів та контактної шайби 13 з припаяним другим електродом, контактна шайба кріпиться до стакану скломасою 11, цоколь з'єднаний з колбою спеціальною мастикою.

Головною частиною лампи накалу є тіло накалу, яке може представляти собою нитку, спіраль, біспіраль, три спіраль, має різноманітні розміри та форми. Тіло накалу виконують з вольфраму температура плавлення якого 3650 К. Для забезпечення нормальної роботи розкального вольфрамового тіла накалу необхідно



ізолювати його від кисню. Для цього тіло накалу розміщують або в без кисневого середовищі (вакуумні лампи), або в середовищі інертних газів або їх сумішей не реагуючих з матеріалом тіла накалу.

### Основні характеристики ламп розжарювання

Згідно з законом теплового випромінення показники роботи ламп розжарювання повністю залежать від температури тіла розжарювання.

Маючи високий енергетичний ККД ( $\eta_{e.l} = 70...90\%$ ), світловий ККД не перевищує 3,5%. У видимій частині спектру в ламп розжарювання переважають помаранчево-червоні випроміненою з довжиною хвилі  $\lambda = 600...780nm$ . Блакитних випромінень з довжиною хвилі  $\lambda = 380...450nm$  в 10 разів менше. Такий спектральний склад не забезпечує необхідної кольоропередачі.

Галогенові лампи розжарювання в порівнянні з лампами загального призначення мають велику світлову віддачу. В інфрачервоних ламп температура тіла розжарювання менше ніж в звичайних освітлювальних. Це дозволяє в 6...10 разів збільшити термін їх роботи при інфрачервоному ККД біля 80%.

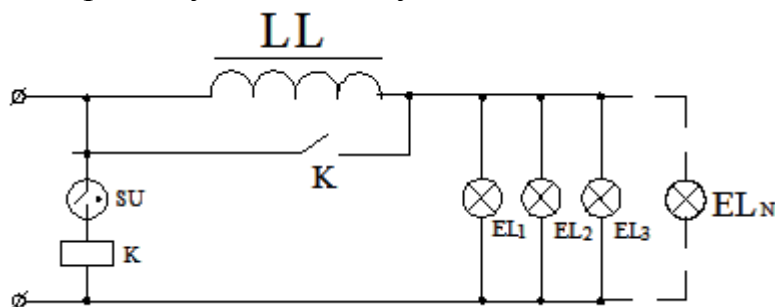
Світлова віддача ламп розжарювання залежить також від конструктивного виконання тіла розжарювання та від наповнення колби. При рівних потужності та номінальній потужності світлова віддача криптонових ламп вище, ніж аргонових.

Експлуатаційні показники ламп розжарювання, як і світлотехнічні, багаточому визначаються режимом роботи тіла розжарювання. Корисний термін роботи ламп розжарювання загального призначення 1000 год. Гарантійний термін 700 год. Корисний термін роботи галогенних ламп в 2 рази вище 2000 год. Термін роботи інфрачервоної лампи 6000... 10000 год.

Необхідно відзначити що питомий опір вольфраму, як і усіх чистих металів, збільшується з температурою та при температурах  $1400\div 1800^{\circ}C$  відрізняється від значень при кімнатній температурі 12-20 разів. Це спричиняє різкі кидки струму при вмиканні, який перевищує встановлене значення в 12-20 разів. Як наслідок цього вихід з ладу відбувається в момент включення.

Термін роботи ламп можливо значно підвищити, попередньо розігрівши спіраль поступово підвищуючи напругу або ж початковим вимкненням на низьку (10%) напругу.

Перший спосіб реалізується в тиристорних обмежувачах напруги. Другий спосіб використовується в наступній схемі.



SU – стартер від розрядної лампи що використовується в якості реле часу. Індуктивність визначається в залежності від потужності підключеної групи ламп  $\sum P_l$

$$X_L \approx \frac{0,8U_n^2}{\sum P_L}; L = \frac{X_L}{\omega}$$

На протязі терміну роботи ЛР світловий потік постійно знижується із-за розпилення спіралі. Зниження потоку може спричинятися також забрудненом ламп та світильників, тому необхідно регулярна чистка не рідше 1 разу на 6 місяців, а в установках з підвищеним виділенням пилу не рідше 1 разу в 3місяці. При перегоранні спіралі лампи можливе виникнення електричної дуги, що приводить до спіканню спіралі в кільцо або ж відгортання кінця електроду, що може призвести до руйнування скла колби та виникненню пожежі. Тому в особливо небезпечних в пожежному відношенні приміщеннях колба лампи повинна мати додатковий захист, наприклад ковпак світильника.

### **Розрядні джерела випромінення**

Низька економічність ламп розжарювання є причиною створення більш економічних джерел світла, що основані на електричному розряді в газах та парах металів.

### **Люмінесценція**

Порушити рівно вісний стан молекули або атома можливо не тільки при нагріванні. Іонізація матеріалу це нерівно вісний стан, що супроводжується де іонізацією. В останньому випадку вивільнення енергії супроводжується випроміненням фотонів. Такі явища можливі в газах, парах металів та твердих матеріалах, що називаються люмінесценцією.

Люмінісцирують ті речовини, кристалічна структура яких дозволяє концентрувати енергію у визначених вузлах. Такою речовиною є фосфор та деякі інші мінерали. Ці речовини називаються люмінофорами.

В залежності від способу введення енергій відрізняються наступні види люмінесценції.

1) Хемілюмінесценція – свічіння суміші речовин при хімічній реакції між ними;

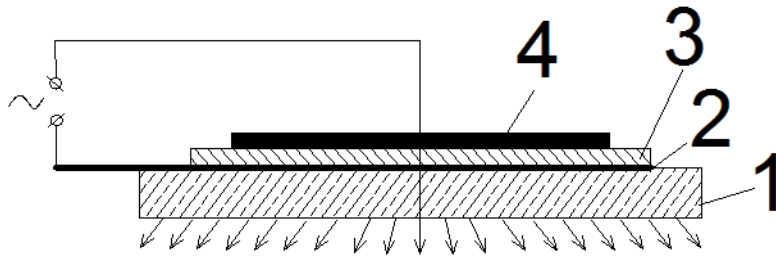
2) Біолюмінесценція – свічіння біологічних об'єктів (світлячки, деякі морські організми)

3) Катодолюмінісценція – свічіння люмінофору під непружними ударами електронів (використовуються в кінескопах TV та ЕЛТ осцилографів та інших пристроях індикації)

4) Електролюмінісценція – свічіння люмінофору під дією змінного або пульсуючого електричного поля.

Люмінофор, одночасно служить ізолятором, розміщується між двома електродами, один з яких прозорий.

Електролюмінісцентна панель

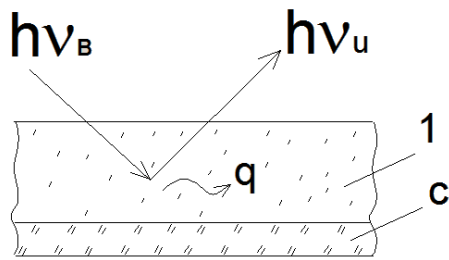


- 1) Скло
- 2) Прозорий провідник;
- 3) Електролюмінофор;
- 4) Електрод.

ККД 2%. Термін служби 3000 год. Застосовуються для сигнальних та індикаторних пристроїв.

Електричний струм перетворюється у випромінення в світло діодах, роль люмінофору в яких виконує р-п – перехід. ККД год. Застосовуються для сигналізації, індикації та як випромінюючий елемент в оптронах.

5) Фотолюмінісценція – свічення люмінофору під дією фотонів оптичного випромінення.



- $h\nu$  - квант збудження;
- $h\nu_4$  - квант випромінення;
- л - люмінофор;
- q - втрати перетворення;
- с – скло;

Схема перетворення випромінення.

По закону збереження енергії  $h\nu_B = h\nu_U + q$ ;

$$\Rightarrow h\nu_B > h\nu_U, \nu_B > \nu_U, \text{ Т.ЯК. } \nu = c/\lambda$$

Довжина хвилі збудження коротше довжини хвилі випромінення люмінофору, тобто ультрафіолетове випромінення в люмінофорі повинно перетворитися в більш довгохвильове, наприклад в видиме.

Це явище використовується в люмінесцентних лампах.

Свічення люмінофору також викликають рентгенівські промені, радіоактивні випромінення, високочастотні електромагнітні коливання (радіохвилі), тертя та інше. По довго тривалості після свічення люмінісценція ділиться на флуоресценцію (швидко потування) та фосфоресценцію (довготривале після свічення).

Розряд в газах та парах металів

Носіями електрики є електрони та іони. Під дією космічних променів та радіоактивних випромінень Землі в будь якому газовому середовищі та в атмосфері

Землі створюється деяка кількість іонів, але їх існування не довготривале, вони рекомбінуються. Можливо штучно, наприклад, електромагнітним полем високої частоти, створити іони в газовому проміжку та отримати струм, тобто розряд в газі. Такий розряд називається несамостійний. Якщо в ізолюваному просторі зменшити тиск в газі нижче 10Па, то ймовірність рекомбінацій різко зменшується, іони зберігаються біль довгий час. Якщо ввести в цей простір два електроди та прикласти до из різницю потніалів, то виникне поле в якому іони починають рухатися до відповідних електродам.

При малому тиску легше іонізуючи гази (неону) та відносно високій напрузі, прикладеній до електродів виникає тліючий розряд (протікає струм) що супроводжується світінням (частина іонів рекомбінуються з виділенням фотонів).

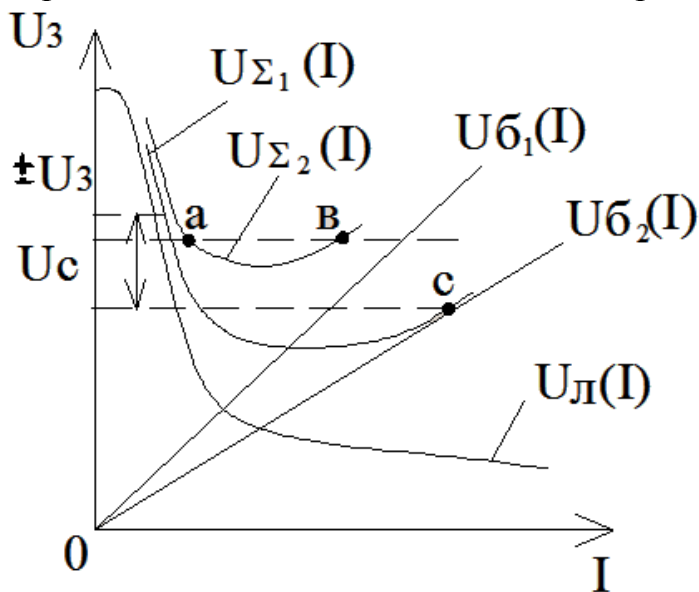
Інтенсивність випромінення тліючого розряду мало, тому для освітлення це область газового розряду не використовується.

Підвищений тиск ускладнює запалювання розряду, але при цьому можливо отримати великі щільності струмів, тобто більше носіїв електрики та високу інтенсивність свічіння.

При у цьому опір між електродного проміжку швидко падає до нуля. Такий розряд називається дуговим та використовується в розрядних лампах.

### Запалювання та стабілізація дугового розряду в лампах

При досягненні на розрядному проміжку напруги, що дорівнює напрузі запалювання дугового розряду, процес утворення заряджених частинок в між електродному проміжку розвивається лавино образно (падаюча вольт амперна характеристика -  $U_n(I)$ , за період часу  $10^{-5} \dots 10^{-7}$ с струм може збільшуватися в 100 та більше разів, та нечим не обмежений може призвести до руйнування лампи.



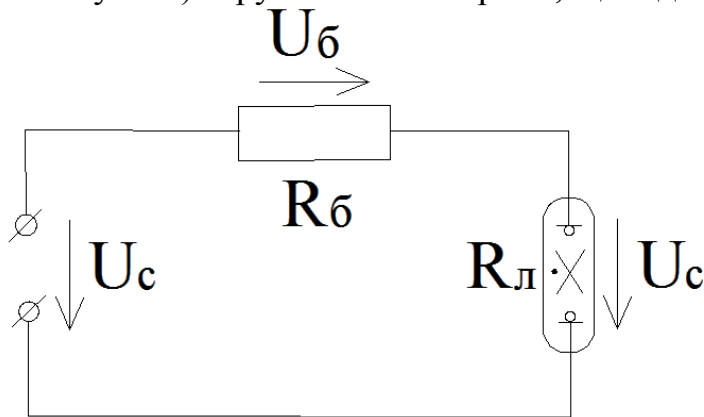
Стабілізація дугового розряду в лампі при активному баластному опорі.

Струм обмежують за допомогою опору, що вникається послідовно з лампою і називається баластним. Вид вольт-амперної характеристики ртутних та натрієвих ламп-падаючий, тому для їх роботи необхідно обов'язково використовувати баластний опір.

Напруга запалювання дугового розряду перевищує напругу джерела

живлення. Тому в схемах включення розрядних ламп застосовують імпульс підвищеної напруги або напругу запалювання дугового розряду знижують до значення напруги живлення. Це досягається шляхом іонізації розрядного проміжку за рахунок попереднього підігріву електронів лампи або введення в розрядний проміжок додаткового підпалюючого електроду.

Після запалення дугового розряду необхідно за допомогою баластного опору обмежити (стабілізувати) струм в лампі на рівні, що відповідає її потужності.



Принципова схема включення розрядних ламп з падаючою ВАХ

Розглянемо умови стабілізації дугового розряду при живленні лампи від мережі постійного струму. Стійкий режим роботи дугового розряду буде забезпечений при наступних умовах:

$$U_c = U_l + U_b \quad *$$

$$R_b = R_l > 0, \quad **$$

де  $U_c$  - напруга мережі, В;  $U_l, U_b$  - напруга на лампі та на баласті, В;  $R_b, R_l$  - опір баласту та лампи, Ом.

## Додатки

### Фотометричні параметри випромінювання

Енергетичні параметри			Світлові параметри			Формула
Параметр	Позначення	Одиниця вимірювання	Параметр	Позначення	Одиниця вимірювання	
Потік випромінювання	$\Phi_e$	Вт	Світловий потік	$\Phi_v$	лм	$\Phi = dW/dt$ де $W$ - енергія випромінювання
Сила випромінювання	$I_e$	Вт/ср	Сила світла	$I_v$	кд	$I = d\Phi/d\Omega$ де $\Omega$ - тілесний кут
Енергетична світимість	$M_e$	Вт/м <sup>2</sup>	Світимість	$M_v$	лм/м <sup>2</sup>	$M = d\Phi/dS$
Енергетична яскравість	$L_e$	Вт/(ср·м <sup>2</sup> )	Яскравість	$L_v$	кд/м <sup>2</sup>	$L = \frac{dI}{dS \cos \varphi}$
Енергетична освітленість (опроміненість)	$E_e$	Вт/м <sup>2</sup>	Освітленість	$E_v$	лк-лм/м <sup>2</sup>	$M = d\Phi/dS$

Опір лампи-величина змінна та від'ємна. В будь який момент часу

$$R_a = -dU_a / dI_a$$

де  $U_a$  та  $I_a$  – напруга, на лампі та силі струму,  $A$ , в ній.

У відповідності з умовою \*\*розряд можна стабілізувати лише не зростаючій гілці вольт амперної характеристики (ВАХ). Таку сумарну ВАХ сієми в цьому може створити баластний опір.

Баластний опір з ВАХ  $U_{b1}(I)$  забезпечує сумарну ВАХ схеми  $U_{\Sigma 1}(I)$ , яка пересікає лінію напруги мережі  $U_c$  в точках а та б.

В точці а, що знаходиться на подаючій гілці сумарної ВАХ, дотримується лише одне з двох умов стабілізації розряду. Тому розряд буде розвиватися до точки б, що знаходиться на зростаючій гілці сумарних ВАХ. Для точки б, виконуються дві умови \*\*. Відповідно, стабілізація розряду можливо лише в точці б.

Окрім стабілізації розряду баластний опір повинно забезпечувати стійку, без гасіння, роботу лампи при відхиленні напруги мережі.

Баластний опір з ВАХ  $U_{b1}(I)$  цієї стійкості не забезпечує.

При відхиленні напруги мережі на  $\Delta U_c$  немає точки перетину сумарної ВАХ  $U_{\Sigma 1}(I)$  та лінії напруги мережі ( $U_c - \Delta U_c$ ). Це означає зупинення розряду та гасіння лампи.

Щоб забезпечити стійкість розряду в прийнятних умовах відхилення напруги, необхідно баластний опір меншого значення з ВАХ  $U_{b2}(I)$ .

В цьому випадку сумарна ВАХ лампи та баласту  $U_{\Sigma 2}(I)$  забезпечить стабілізацію розряду в точці С.

Розрядні лампи (РЛ) класифікуються

- по тиску в робочому стоні-низького тиску ( 0,1 ... 104 Па), високого ( $3 \cdot 10^4 \dots 10^6$  Па) та надвисокого (більше 106 Па) тиску.
- по наповнювачу (атмосфера розряду) – ртутня, натрієве, кадмієве, ксеонове та ртутне гапогенними домішками.
- по формі колби – трубчасті, шарові кільцеві, U-образні
- по призначенню – освітлювальні, еритемні (вітальні) бактерицидні, фітолампи для рослин
- по числу електродів або фаз-двух-трьох-чотирьох електрод, одно та трифазні.

Тиск впливає на спектр випромінювання ртуті. При низьких тисках спектр наближується до монохроматичному ( 80% випромінювання приходить на довжину хвилі 254мм ) В лампах високого тиску спектр випромінювання лінійчастий, в лампах СВД наближається до сплошного .

По принципу генерування оптичного випромінювання джерела ділять на : електролюмінісцентні, фотолюмінісцентні.

Електролюмінісценція – випромінювання, що спускається атомами, молекулами, іонами речовини в результаті збудження їх електричною енергією.

Фотолюмінісценція – випромінювання речовини під впливом енергії

поглиненого ним оптичного випромінювання ( при цьому довжина хвилі випромінювання завжди більше довжини поглиненого оптичного випромінювання .)

По виду електричного розряду джерела бувають:

- дугового розряду ( щільність розряду струму  $I_p=10^{-2}\dots 10^{-4}$  А/см<sup>2</sup>)
- тліючого розряду (щільність розряду струму  $I_p=10^{-2}\dots 10^{-4}$  А/см<sup>2</sup>)
- імпульсного розряду

Принципи дії електролюмінесцентного джерела оптичного випромінювання.

Під час напруги, що прикладене до електродів, між ними протікає електричний струм ( електрони, іони ) В початковий момент запалювання лампи електричний струм протікає тільки в середовищі аргону. Збільшенням температури випаровується ртуть та струм переходить на пари ртуті.

Будова газорозрядних джерел оптичного випромінювання

а) електролюмінесцентний б) фотолюмінесцентний

Електрична енергія витрачається на нагрів, збудження, та іонізацію атомів та молекул аргону та ртуті ( на нагрів.лампи)

Спектр випромінювання залежать від тиску в лампі ( низький тиск  $\lambda=254$  нм, високий  $\lambda=248,254,265,277,302,564$

Іонізація атомів та молекул збільшує електричний струм в трубці.

Принцип дії фотолюмінесценції

Під дією напруги що прикладена до електродів між ними протікає електричний струм. Електрони та іони співударяючись с атомами ртуті та аргону, збуджують їх. Аргон та ртуть існують оптичне випромінювання яке поглинається люмінофором та перетворює в більш довгохвильове оптичне випромінювання, тобто у видиме.

Пристрій та робота розрядних ламп низького тиску

Розрядна лампа низького тиску ( тиск ртуті  $\leq 1,5$  Па) представляє собою циліндричну скляну колоду з нанесенням на внутрішню поверхню шару люмінофору 1) З ввареними по кінцях скляними ніжками 2) На ніжці змонтований вольфрамовий електрод 3) Виконаний у вигляді біспіралі, кінці якої виведені до цоколя 4) з контактними штирками 5) Колба

Електроди покриті оксидом – окислами щелочно-земельних металів, що забезпечують високу термоелектронну емісію.

Всередину колби після відкачування повітря вводять аргон та невелику кількість ртуті. Завдяки облизується розчинення вольфрамової спіралі. Інше її призначення – в суміші з парами ртуті полегшати запалювання лампи.

Електрична енергія в енергію оптичного випромінювання перетворюється при електричному розряді в парах ртуті. Енергетичний ККД цього процесу може перевищувати 65% однак видиме випромінювання складає не більш 2% від підведеної енергії. Основна доля випромінювання зосереджене в ультрафіолетовій



області спектру у вигляді монохроматичних потоків.

Електричний розряд в порах ртуті при низькому тиску що потужне джерело бактерицидного випромінювання .

Колба бактерицидної лампи ( ДБ – дугова бактерицидна ) низького тиску виконана зі спеціального увіюлевого скла з високим коефіцієнтом пропускання УФ випромінювання в області С

Для отримання від розрядної лампи низького тиску випромінювання з більшою довжиною хвилі, ніж дає розряд в парах ртуті, використовують люмінофор, який наносять таким шаром на внутрішню поверхню колби. Такі лампи називаються люмініцентами.

Стартерна схема включення люмінесцентної лампи це стандартна схема, що забезпечує імпульсне запалювання лампи та стабілізацію в ній дугового розряду.

Для надійного запалювання люмінесцентної лампи її електроди попередньо нагрівають електричним струмом до температури біля 1000К. При цьому іонізується між електродний проміжок за рахунок термоелектронної емісії оксидного покриття електродів, а напруга запалювання знижується.

Підігрів електродів та запалювання дугового розряду в лампі здійснюються за допомогою стартера та дроселя. Стартер представляє собою мініатюрну газорозрядну лампу тліючого розряду. Один з електродів стартера біметалевим та при нагріванні міняє своє положення відносно іншого не рухомого електроду до короткого замикання з ним. Існують також напівпровідникові стартери.

Люмінісцентна лампа ЕL включення послідовно з індуктивним баластним опором LL, що представляє собою дросель з металевим осердям . Паралельно схемі підключений компенсуючий конденсатор С1, що підвищує коефіцієнт потужності установки з 0,5 ... 0,6 до 0,92 ... 0,95. Опір R, включений паралельно конденсатору, перед назначений паралельно конденсатору, перед назначений для розряду емності після включення схеми від мережі , так як провідність непрацюючої люмінесцентної лампи близьке до нуля.

Конденсатор С2 знижує радіоперешкоди, що утворюються дуговим розрядом. Збільшує довготривалість імпульсу високої напруги, виникає в дроселі та зменшує іскрінне контактів стартера в моменті їх розмикання.

Після включення схеми напруга мережі знаходиться приложенням до лампи. Висока напруга запалювання лампи не дозволяє їй загоратися ( $U_{зл} > U_c$ ). В цей час в стартері виникає тліючий розряд внаслідок того, що виділяється в тліючому розряді, достатньо для підвищення температури біметалевого електрода. В результаті він починає вигинатися в сторону нерухомого електроду.

Після замкнення контактів стартера утворюються послідовна мережа з біспіралей електродів лампи та дроселі. По ланцюгу потече струм, що перевищує номінальний струм лампи приблизно в 1,5 рази та сприяє швидкому розігріву електродів. Процес розігріву триває 1...3 с, поки біметалічний електрод стартера не охолоне та не розімкне ланцюг. За цей час електроди лампи встигають нагрітися та створити необхідну іонізацію розрядного проміжку. В кінці процесу розігріву контакти стартера розмикаються.

При розмиканні ланцюга струм, що протікає по обмотці дроселя, різко зменшується і в ньому виникає ЕРС самопродукції, сумарне значення ЕРС та напруги мережі достатньо для пробного розрядного проміжку в лампі та виникнення

дугового розряду. Лампа починає працювати ( встановлюється напруга горіння, що дорівнює приблизно напрузі мережі).

Після запалювання лампи електроди стартера лишаються розімкнутими та тліючий розряд в ньому не виникає так як напруга  $U_{т.а}$  горіння лампи, що прикладена до стартера, менше напруги  $U_{з.ст}$  його запалювання. Для надійної автоматичної роботи витримують наступні умови:

$$U_c \geq U_{з.ст} \geq U_{г.л}$$

### Конструкція стартера

Служить для автономного включення та виключення попереднього накалу електродів та представляє собою теплове реле, розміщене в скляно подібному балоні, що неповний інертним газом (неоном)

Реле має два електроди один з яких біметалевий, а інший металевий. Між електродами є зазор величиною 2-3мм. При напрузі запалювання стартера  $U_{з.ст}$  між його електродами виникає тліючий розряд. Вигибаючись біметалеві електрод замикає контакти неонові лампи. Розряд гасне, а електроди охолоджуються розмикаються. Щоб дугу при розмиканні електродів паралельно їм вмикаються конденсатор.

Дросель – Представляє собою обмотку, що намотана на осердя з листів електротехнічної сталі. Він полегшує запалювання лампи, а також обмежує струм та забезпечує стійку роботу лампи.

### Фізична основа роботи люмінесцентної лампи

Газаргон, що знаходиться в трубці, є гарним ізолятором, оскільки атоми та молекули газу в звичайних умовах представляють собою нейтральні незаряджені частинки.

Для проходження електричного струму крізь газ необхідно створити в ньому штучну електричну провідність, яка досягається іонізацією. При включенні лампи в електричну мережу процес іонізації газу відбувається за рахунок вільних електронів, що іспускаються електродами, нагрітими до  $800^{\circ}\text{C}$  ( термоелектричне емісія). Для збільшення виходу електронів з електродів вольфрамові спіралі покриваються тонким шаром окиснів ( щелолужбіземельних металів) барія, стронція, кальція).

Електрони , вилитаючи з електродів, при своєму русі бомбардують нейтральні атоми газу та перетворюють їх в частинки, що володіють електричним зарядом. Процес іонізації газу неприливно збільшується а відносно , збільшується його електрична провідність. Тоді відбувається електричний розряд в лампі спочатку в атмосфері розрядженого аргону, а потім в парах ртуті, визиваючи сильне ультрафіолетове випромінення. Подаючи по поршньоподібний світло накопичувальний люмінофору, ультрафіолетове випромінювання перетворюється у видиме світлове випромінювання .

### Запалювання лампи

З початку на схему подається напруга мережі. Цієї напруги не достатньо для запалювання розряду в лампі  $U_{з} > U_c$ , але достатньо для запалювання стартера  $U_{з.ст} < U_m$ . Електроди стартера замикаються, струм в ланцюзі схеми декілька важче номінального :  $I_{з} \approx 1,2 I_n$   $U_a = U_{ст} = 0$ ;  $U_b \approx U_c$ . Електроди лампи розігріваються, викидаючи потоки вільних електронів з оксидного шару. Протікаючий по індуктивному баласту струм створює магнітне поле. В цей час електроди стартеру

охладжуються та розмикаються. Струм в схемі  $I \approx 0$ . Напруга на лампі  $U_a = U_m + E / E - EDC$  самоіндукції баласту, яка може бути різною по знаку та амплітуді. Якщо  $U_m + E \geq U_3$ , тоді лампа запалюється, якщо менше, то процес запалювання повториться.

В якості баласту також може бути використано активний опір.

#### Схема включення РЛ з активним баластом

Попередній розігрів електродів лампи забезпечується розжарювальним трансформатором TV. В якості активного баласту використовується (ЛР) лампа розжарювальна з опором R. Для зниження  $U_3$  застосовується металева полоска МП, прикріплена до зовнішньої сторони колби та заземлена. При її використанні підвищується напруженість поля в лампі, що дозволяє знизити  $U_3$ .

Недоліки схеми: значні втрати потужності на активному опорі баласту. Дана схема застосовується на постійному струмі, де індуктивний баласт не може застосовуватись. Для розігріву електроду лампи розжарювальний трансформатор залишається спеціальними схемами тиску стартерної.

#### Схеми включення РЛНТ

##### Двох лампова схема включення РЛНТ з розщепленою фазою

Це по суті дві розглянуті схеми, зібрані в одному світильнику. Струм в першому плечі встає від напруги приблизно на  $60^\circ$ , в другому плечі випереджує по величині, мало відрізняється від струму в кожному з плечей схеми, відстає від напруги на менший кут. Схема має високий  $\cos \phi$ , Струм в плечах схеми зміщених один відносно іншого на  $120^\circ$ . На стільки зміщені пульсуючі потоки випромінювання двох ламп. В результаті сумарний потік має значно меншу пульсацію.

Недолік стартерних схем включення – ненадійна робота стартера.

Для усунення цього недоліку, особливо в несприятливих атмосферних умовах застосовуються безстартерні схеми.

#### Резонансна схема

Ланцюг що складається з дроселя LL, розжарювальним трансформатором TV там ємності С, створює коливальний контур з власною частотою, близько до промислової.

При подачі напруги на схему напруга на конденсаторі перевищує напругу мережі в 2...2,5 разів.

Декілька зменшене обмоткою TV цієї напруги достатньо для запалювання лампи. Після запалювання ланцюга ємність – первинна обмотка трансформатора шунтується опором лампи, виводячи контур з резонансу.

#### Автотрансформаторна схема

В автотрансформаторном запуску підвищена напруга створюється гумованою напругою на обмотках W1, W2 та W3. Після запуску лампи обмотка W2 працює як додатковий індуктивний баласт, а обмотка W1 в виду її більшого оперу практично з роботи схеми виключається.

#### Розряди лампи високого тиску (РЛВТ)

Конструктивно РЛВТ відрізняється від РЛНТ меншими розмірами та відсутністю нагрівальних електродів.

Електрод представляє собою стрижень, на якому намотана вольфрамова спіраль з оксидним шаром. Відсутність попереднього розігрітого електроду потребує високої напруги запалювання. Його можливо досягти за допомогою

резонансу, або значною велечиною ЕРС самоіндукції баластного дроселя. Остання можливо отримати індукуванням ємністю, індуктивністю або замиканням дроселя на мережу.

Конденсатор С2, що підєднується короткочасно в послідовній ланцюг з дроселем LL, утворює з ним резонансний контур. В результаті резонансу напруга на дроселі та конденсаторі С2 підвищується приблизно в 2 рази порівняно з напругою розряду. Токопровідна полоса підключена до одного з електропровідними крізь конденсатор С3 нашої ємності. Конденсатор С1 призначений для підвищення коефіцієнту потужності схеми до 0,92...0,95.

Ємність С2 може бути замінена індуктивністю. Процес можливо автоматизувати ввівши в схему реле струму. При цьому ємність резонансного контуру після пуску може бути використана для компенсації реактивної потужності.

Для наповнення колб РЛВТ застосовуються ртуть в аргоні. Робочий тиск 105Па. Плазма розряду має високу температуру, тому лампа виготовляється з кварцового скла. В складі електроламп бактерицидне, еритемне та видиме випромінювання. Щоб отримати від лампи тільки спектр видимого випромінювання, її занурюють в додаткову колбу, покриту з зовні люмінофором. Для його збереження між двома колбами закачують вуглекислий газ. Це лампи типу – ДРЛ (Дугова Ртутна Люминсцентна)

Для спрощення схем включення лампи ДРЛ вони випускаються чотирьох електродними. Два додаткових електрода підключенні крізь терморезистори РК до протилежних електродів. Мала відстань між основним та додатковим електродом забезпечує високу надійність електричного поля та початок розряду. Цей розряд – джерело іонів всередині колби, та при їх достатній кількості виникає розряд між основними електродами. Опір цього розряду значно менше РК, тем більше що при нагріві величина останнього збільшиться. Розряд між основним та додатковим електродом гасне.

#### Лампа ДРЛ

- 1 – Зовнішня скляна колба
- 2 – шар люніморфу
- 3 – розрядна крубка з кварцового скла
- 4 – робочий електрод
- 5 – запалюючий електрод
- 6 – обмежувальні резистори РК в колі підпалюючих електродів

Покращити склад електроду РЛВТ можливо підвищенням електродів в деяких металів. Це металотопочені лампи (МГЛ) тиску ДРЛ. Склад домішок дозволяє отримати спектри випромінювання, сприятливі для ока людини та для рослин при високих ККД.

Схема включення лампи ДРЛ. Склад включення лампи ДРЛ відрізняється наявністю імпульсного запуску чого пристрою (ІЗП)

#### Схеми включення РЛ

В загальному випадку РЛ з'єднується з необхідними елементами обмеження струму та пристроїв запуску. Варіантів схем включення РЛ з цими елементами безліч. Більшість з них по своїм показникам перевищують розглянуті, а інші відповідають конкретним умовам експлуатації.

Резонансний запуск ламп частіше використовуються для запалення ламп РАВТ. При точному виборі ємності для резонансного запуску лампи по формулі  $C = 10b/102L \approx 0,01/L$

Можливо отримати на ємності що підключена до паралельної лампи напругу в 5...10 разів вище ніж в мережі. При використанні цього методу необхідно висока електрична міцність як конденсатора змінного струму, так і ізоляції дроселя.

Застосування такого методу для запуску РЛНТ дозволяє запалювати лампи без попереднього розігріву спіралі, використовувати лампи з обігрівальними спіралями електродів

При цьому штирі лампи з обіграними спіралями лампи с кожними сторін замикаються. Холодний запуск значно скорочує строк служби РЛНТ., тому данна схема рекомендується для пошкоджених ламп та установок, в яких лампи працюють декілька діб без виключення .

### Групова схема включення чотирьох електродних РЛВТ LL

Застосовується для вуличного освітлення. Груповий баласт LL, можливо встановити в щиту трансформаторної підстанції. Реактивна потужність ємкостей схеми забезпечує підвищену напругу в живлячій лінії стійку роботу лампи. Розрахунок виконується х наступних умов.

$$Uu^2 = (Ue - UI)^2 + UI^2 \quad Ue = 2UI$$

$Uu$  – напруга мережі

$Ue$  – напруга ємкості

$UI$  – напруга індуктивності

$Ua$  - напруга на лампі

$\Pi$  та  $UI$  – відомі з паспортних даних

Визн  $Ue$  та  $Xm$ ,  $UI$

Індуктивність на фазу  $L = \frac{UI}{w \sum I}$

Напівпровідниковий баласт все частіше застосовується. Головна мета баласту – обмежити струм. З найменшими втратами це можна зробити за допомогою схем на напівпровідникових приладах. В схемі в трині збільшується кількість перезапалювань лампи, це покращує ККД лампи. Дослідно встановлено , що зі збільшенням частоти живлення напруги збільшується ККД ламп.

### Системи та види освітлення

Систем освітлення дві – ( загальна/рівномірна та локалізована ) та комбінована, що містить як загальне так и місцеве освітлення.

При локалізовану освітленні норма освітлення витримується тільки в зоні найбільш відповідальної роботи та може відрізнятись від середньої освітленості на 25%. Мінімальна освітленість в цьому приміщенні може, в свою чергу, відрізнятись віж середньої освітленості також на 25%.

При системі загального рівномірного освітлення мінімальна освітленість повинна бути не менш  $0,9E_n$

При комбінованій системі освітлення нормується освітленість вижче ніж при загальному освітленні. Але висока освітленість створюється світильником місцевого освітлення. Від настольної лампи потужністю 60Вт можливо отримати на робочому місці освітленість 300 лк. А в підвісний світильник для отримання тієїж освітленості в кімнаті 15м<sup>2</sup> необхідно встановити дві лампи потужністю по 300Вт.

Одне тільки місцеве освітлення дуже втомне для зору. Необхідно крім місцевого освітлення мати загальне/освітлення віо якого 10%)

Під видом освітлення розуміють призначення освітлення : робоче, евакуаційне, аварійне, чергове, охоронне, архітектурне, рекламне та ін.

Робоче освітлення повинно забезпечувати нормовану освітленість в усіх точках робочої поверхні з відхиленням не більше – 10 + 20% мати якість в межах норм. Це основне освітлення.

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

Аварійне освітлення забезпечує продовження робіт у випадку відключення робочого освітлення, якщо можлива пожежа, отруєння людей, порушення технологічного процесу, порушення важливих робіт. Аварійне освітлення повинно встановлюватися в будь яких місцях можливого травмування. Освітленість приймається 5% нормованого робочого освітлення, але не менше 2лк в середині приміщення та 1лк для зовнішніх площадок.

Евакуаційне освітлення встановлюється в місцях, небезпечних для проходу людей, а також в основних проходах та на сходах, що призначені для евакуації людей з виробничих та громадських споруд не менше 0,5 лк в приміщеннях та 0,2 лк – на відкритих територіях.

Освітлюванні прилади Поділяються на світильники та прожектори.

Світильники містять лампи або декілька ламп, арматуру для кріплення лампи та зміни напрямку освітлювального потоку, а також елементи підключення та пуско-регулюючої апаратури (Для ДРЛ), Світильник призначених для перерозподілу світлового потоку в просторі захисту очей від спліячої дії лампи, джерела та навколишнього середовища, а також навколишнього середовища від джерела.

Лампи випромінюють світло практично в усіх напрямках. Це економічна частина всього нераціональною Для зміни напрямку потоку в світильнику встановлюється відбиває та світло пропускнуою елемент. Випромінювання тіло, відбиває та світлопропускаючий елемент складають оптичну систему світильника.

- 1- Лампа
- 2- Відбивач
- 3- Світлопропускаючий
- 4- Захисна сітка

Прожектори світлові приборі, що призначенні для дистанційного (віддаленого) освітлення поверхонь або об'єктів

## 2. Искусственные источники света

Светотехническая промышленность выпускает широкий ассортимент источников света, предназначенных для использования в различных осветительных установках.

Искусственным источником света называют устройство, предназначенное для преобразования какого-либо вида энергии в оптическое видимое излучение. В данном случае будет рассмотрен только один вид энергии - электроэнергия. По физической природе различают два вида излучения: тепловое и люминесцентное.

Возможна и их комбинация. Тепловым называют излучение, возникающее при нагревании тел.

Люминесцентным называют излучение, возникающее в твердых, жидких и газообразных веществах при действии на них различного рода возбуждений. Наиболее часто в качестве возбуждающего действия используют бомбардировку тел электронами. Вещества способные излучать люминесцентное излучение называют люминофорами. Тепловые излучатели, используемые для освещения называют просто лампами. Они бывают следующих типов.

### 2.1. Лампы накаливания

Главной частью лампы накаливания (ЛН) является тело накала. Тело накала, как правило, вольфрамовая проволока в виде нити, спирали и т.д. Тело накала изолируется от окружающей среды стеклянной колбой, имеющей токопровод в виде цоколя.

#### ***Достоинства***

1. Широкий сортамент по мощности, напряжению, условиям применения.
2. Непосредственное включение в сеть без дополнительных аппаратов.
3. Работоспособность при значительных отклонениях напряжения.
4. Незначительное снижение (~15%) светового потока к концу службы.
5. Почти полная независимость от условий окружающей среды.
6. Компактность.
7. Дешевизна и простота обслуживания.
8. Возможность недорогого регулирования светового потока.

#### ***Недостатки***

1. Низкая световая отдача (7 - 19 лм/Вт).

2. Плохая цветопередача (преобладает желто-красная часть спектра).
3. Ограниченный срок службы (порядка 1200 ч).
4. Низкая механическая прочность.
5. Резкое снижение срока службы при повышении напряжения.
6. Резкое снижение светового потока при снижении напряжения.

*Маркировка ламп накаливания (ЛН) общего назначения: XX напряжение - мощность; В - вакуумные; Г - газонаполненные; Б - биспиральные, газонаполненные; БК - биспиральные криптоновые; МГ - матированная колба; МЛ - молочная колба; ОП - с опалиновой колбой.*

Лампы накаливания имеют сплошной (непрерывный) спектр излучения. Из-за относительно низких рабочих температур тела накала при освещении усиливаются «теплые» цветовые тона и ослабляются «холодные» (зеленые, голубые, фиолетовые).

### **Таблица 2.1**

*Технические характеристики ламп общего назначения*

*напряжением 220В*

Мощность, Вт	15	25	40	40	60	60	100	100	150
Тип ЛН	В	В	Б	БК	Б	БК	Б	БК	Г
Ф, лм	105	220	400	460	715	790	1350	1450	2000

Мощность, Вт	150	200	200	300	500	750	1000
Тип ЛН	Б	Г	Б	Г	Г	Г	Г
Ф, лм	2100	2800	2920	4600	8300	13100	18600

Лампы накаливания включаются в электрическую цепь через патрон без каких-либо дополнительных устройств.

## **2.2. Газоразрядные лампы**

Принцип действия заключается в том, что оптическое излучение возникает в результате электрического разряда в газах, парах или их смесях. Газоразрядные лампы делятся на лампы люминесцентные низкого давления (ЛЛНД) и газоразрядные лампы высокого давления (ГЛВД).

### ***Достоинства***

1. Высокая световая отдача (до 90 лм/Вт).
2. Большой срок службы (до 15000 ч.).
3. Возможность иметь источник света различного спектрального состава.



4. Относительно низкая ослепляемость.
5. Малая зависимость светового потока при небольших отклонениях напряжения до 10% от номинального.

### **Недостатки**

1. Относительная сложность включения - отсюда большая стоимость.
2. Ограниченная единичная мощность, большие размеры.
3. Невозможность переключения ламп питающихся переменным током на постоянный ток.
4. Зависимость характеристик ламп от температуры окружающей среды, при низких температурах зажигание не гарантируется.
5. Значительное снижение светового потока к концу срока службы (в 1,5-2 раза), иногда с изменением спектра.
6. Вредные для зрения пульсации светового потока с частотой 100 Гц (для ламп с индуктивным или емкостным пуско-регулирующим аппаратом (ПРА)).
7. Возможное незагорание ламп при снижении напряжения более чем на 10%.

Принцип действия люминесцентных ламп низкого давления основан на электрическом разряде между двумя электродами, запаянными в прозрачную для оптического излучения колбу той или иной формы. Наибольшее распространение получили колбы цилиндрические в виде трубок большой длины относительно диаметра.

Вид разряда в основном тлеющий.

*Маркировка люминесцентных ламп (ЛЛ) общего назначения:* Д - дневного света, Б - белая, ХБ - холодно-белая, ТБ - тепло-белая, Ц - правильной цветопередачи, Р - рефлекторная, Е - естественно-белые, U и W - образные, К - кольцевые.

**Таблица 2.2**

*Технические характеристики ламп общего назначения*

*напряжением 220В*

Мощность Вт	Длина мм	Ф, лм						
		ЛБ	ЛТБ	ЛХБ	ЛД	ЛДЦ	ЛЕЦ	ЛТБЦ
30	909	2180	2020	1940	1800	1500	1400	
40	1214	3200	3100	3000	2500	2200	2190	
65	1514	4800	4850	4400	4000	3160	3400	1700
80	1514	5400	5200	5040	4300	3800	3800	

### **2.3. Газоразрядные лампы высокого давления**

В люминесцентных лампах высокого и сверхвысокого давлений

применяется дуговой разряд, отличающийся от тлеющего высокой плотностью тока на катоде  $10^2 - 10^4$  А/см<sup>2</sup> и малым катодным падением напряжения 5 - 15 В.

Наибольшее распространение получили лампы дуговые ртутные люминесцентные (ДРЛ). При отсутствии в лампе люминофора происходит сильное искажение цвета предметов (цветопередача).

Конструкции ртутных ламп высокого и сверхвысокого давления самые разнообразные, но в основном в виде колбы и трубчатые

**Таблица 2.3**

**Основные параметры ламп типа ДРЛ**

Тип лампы	Мощность лампы, Вт	Напряжение на лампе	Ток, А	Световой поток, клм
ДРЛ80	80	115	0,8	3,4
ДРЛ125	125	125	1,15	6,0
ДРЛ250	250	130	2,13	13,0
ДРЛ400	400	135	3,25	23,
ДРЛ700	700	140	3,4	40,0
ДРЛ1000	1000	145	7,5	57,0
ДРЛ2000	2000	270	8,0	120,0

Применение различных добавок в слой люминофора и паров редкоземельных элементов в разрядную трубку частично исправляют цветопередачу ламп. Конструкция и устройство лампы показано на рисунке.

#### **2.4. Световые приборы**

Световым прибором называется устройство, содержащее источник света и светотехническую арматуру и предназначенное для освещения или сигнализации. Световые приборы, расположенные от освещаемых объектов не больше 20-30 м носят названия светильников. Если расстояние больше то, они называются прожекторами.

Светильники перераспределяют свет лампы или ламп внутри больших телесных углов и формируют световой поток определенной формы в пространстве. Это свойство формировать световой поток носит название светораспределения светового прибора.

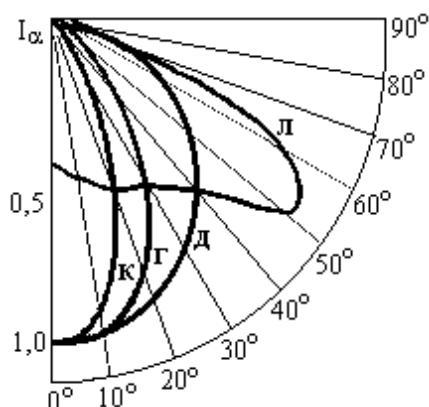
#### **Светораспределение светильников.**

Светораспределение характеризуется формой фотометрического тела. Под фотометрическим телом понимают часть пространства ограниченную поверхностью, соединяющую точки с одинаковой силой света. Если рассекать фотометрическое тело меридиональными плоскостями проходящими через центр источника света, то получим кривые силы света

светильника. Светораспределение светильника может быть исчерпывающе описано одной меридиональной кривой силы света (КСС).

Если кривая силы света симметрична относительно вертикальной оси то в каталогах обычно приводят изображение ее правой части в углах от  $0^{\circ}$  до  $180^{\circ}$ . Половину кривой в пределах от  $0^{\circ}$  до  $90^{\circ}$  называют нижней полусферой.

Некоторые типы кривых силы света показаны на рисунке.



Кривые силы света

ГОСТ устанавливает 7 типовых кривых силы света: К - концентрированная; Г - глубокая; Д - косинусная; Л - полуширокая; Ш - широкая; М - равномерная; С - синусная.

*Кривая силы света* это график зависимости  $I_{\alpha} = f(\alpha)$ , где  $\alpha$  - угол между направлением силы света и вертикалью.

Светильники с трубчатыми лампами имеют две плоскости симметрии, соответственно этому различаются поперечная и продольная кривые силы света.

Кривые распределения силы света как для светильников с лампами накаливания, так и для светильников с люминесцентными лампами, даются для условной лампы со световым потоком  $\Phi_{л} = 1000$  лм.

*Коэффициент усиления светильника* представляет собой отношение максимальной силы света  $I_{\max}$  в данном направлении к средней сферической силе света источника  $I_{\text{ср.сф}}$ .

*Коэффициентом полезного действия светильника* называют отношение светового потока светильника  $\Phi_{\text{св}}$  к световому потоку лампы  $\Phi_{л}$ .

Для ограничения слепящего действия от прямых лучей источника света каждый светильник имеет определенный защитный угол.

## 2.5. Выбор светильников

При выборе светильников необходимо учитывать следующие требования:

- светотехнические;
- экономические;
- эстетические;
- соблюдение условий, связанных с окружающей средой.

При проектировании освещения в принципе эти требования могут игнорироваться, кроме последнего. Конструкция светильников должна соответствовать условиям окружающей среды. Так во взрывоопасных помещениях светильники должны выбираться в пожароопасном и взрывоопасном исполнениях и т.д.

Все конструкции светильников, ламп и их характеристики приведены в [1,2], но так как их сортамент постоянно меняется, возможно, не весь их перечень включен в эти справочники.

### **3.Светотехнический расчет**

Светотехническая часть расчета в главной мере определяет технико-экономическую эффективность проекта. Главной задачей расчета является достижение нормируемых количественных и качественных показателей освещенности за счет правильного расположения и установки светильников и выбора метода расчета.

#### **3.1.Виды освещения**

Устройство освещения делятся на два вида рабочее и аварийное. В свою очередь, аварийное освещение подразделяется на аварийное освещение для продолжения работы и на аварийное освещение для эвакуации людей.

Аварийное освещение для продолжения работы необходимо, если прекращение нормальной работы из-за отсутствия освещения может вызвать следующее:

- взрыв, пожар, отравление людей;
- длительное нарушение технологического процесса
- нарушение работы жизненных центров предприятия: связь, электро- и водоснабжение и т. д.

Это освещение должно создавать на поверхностях, требующих обслуживания, освещенность не ниже 5% от нормируемой для общего освещения. При отсутствии особых требований освещенность должна находиться в пределах от 2 до 30 лк в зданиях и от 1 до 5 лк - вне их.

Аварийное освещение для эвакуации людей необходимо:

- в местах, опасных для прохода людей;
- по путям эвакуации людей из производственных и общественных зданий, где пребывает более 50-ти человек;

-во всех производственных помещениях с числом работающих более 50-ти человек;

-в производственных помещениях, выход из которых в темноте опасен из-за продолжающей работы оборудования;

-на лестницах жилых домов высотой 6 этажей и более.

Это освещение должно создавать в проходах освещенность 0,5 лк в помещениях и 0,2 лк - вне их.

Для аварийного освещения могут применяться лампы накаливания или люминесцентные.

Дуговые лампы не применяются из-за длительного времени загорания

Если светильники аварийного освещения не отличаются от рабочих типом или размером, то они должны быть отмечены специальными знаками.

Аварийное освещение может быть включено вместе с рабочим, дополнять его, либо включаться после отключения рабочего.

### 3.2. Нормы освещенности

Нормы устанавливают наименьшую освещенность, имея в виду, что она должна иметь место в «наихудших» точках освещаемой поверхности.

Нормы освещенности стандартизированы и должны выбираться в соответствии со шкалой освещенности: 0,2-0,3-0,5-1-2-3-5-10-20-30-50-75-100-150-200-300-400-500-600-750-1000-1250-1500-2000-2500-3000-4000-5000-6000-7500 лк.

Основные нормы для производственных и общественных помещений приведены в табл.4-1,4-4 [1].

Распределение освещенности по площади поля существенно зависит от типа светильника и отношения  $\lambda = L/h$  (табл.3.1). При уменьшении  $\lambda$  до нуля светильники сливаются в сплошной светящийся потолок и освещенность абсолютно равномерная.

Сближение светильников ведет к удорожанию устройства и обслуживания, а чрезмерное удаление - к резкой неравномерности освещенности.

Таблица 3.1

#### Рекомендуемые значения по выбору $\lambda$

Типовая кривая светильника	$\lambda$
Концентрированная	0,6
Глубокая	1,0
Косинусная	1,6
Равномерная	2,6
Полуширокая	1,8

Размер  $l$  принимается в пределах  $0,3 \div 0,5L$  в зависимости от наличия вблизи стен рабочих мест. Светильники с «точечными источниками света» располагаются по вершинам квадратных, прямоугольных или треугольных полей

При прямоугольных полях рекомендуется  $L_a/L_b \leq 1,5$ .

### 3.3. Выбор метода расчета освещения

В основном при проектировании осветительных установок применяются два метода расчета: метод коэффициента использования и точечный метод.

Метод коэффициента использования предназначен для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей при отсутствии крупных затеняющих объектов. Поэтому этот метод находит более широкое применение.

Точечный метод служит для расчета освещения как угодно расположенных поверхностей при любом распределении освещенности и любом затенении. Этот метод применяется в наиболее ответственных случаях, при локальном освещении.

#### Метод коэффициента использования

Этот метод предполагает, что предварительно произведен выбор типа светильников их количество и расположение.

При расчете в основном определяется необходимый световой поток ламп в каждом светильнике по формуле

$$\Phi = \frac{EkSz}{N\eta}, \quad (3.1)$$

где  $E$  - заданная минимальная освещенность, лк;  $k$  - коэффициент запаса;  $S$  - освещаемая площадь,  $m^2$ ;  $z$  - отношение  $E_{cp}/E_{мин}$ ;  $N$  - число светильников;  $\eta$  - коэффициент использования.

По выбранному световому потоку выбирается ближайшая стандартная лампа, поток которой не должен отличаться от расчетного больше, чем на  $-10 \div +20\%$ . При невозможности выбора корректируется количество светильников  $N$ .

При расчете люминесцентного освещения чаще всего первоначально намечается число рядов светильников, которое подставляется в формулу вместо  $N$ , тогда под  $\Phi$  подразумевается поток ламп одного ряда.

Эта формула используется и тогда, когда выбран тип ламп заранее,

особенно при люминесцентном освещении. В этом случае определяется количество ламп  $N$ .

Входящий в (3.1) коэффициент  $z$ , характеризующий неравномерность освещения, является функцией многих переменных и особенно зависит от отношения расстояния между светильниками к расчетной высоте ( $L/h$ ). При  $L/h$ , не превышающих рекомендуемых значений, можно принимать  $z=1,15$  для ламп накаливания и ДРЛ и  $z=1,1$  - для люминесцентных ламп при расположении светильников в виде светящихся линий.

Для определения коэффициента использования  $\eta$  находится индекс помещения  $i$ , и определяются предположительно коэффициенты отражения поверхностей помещения: потолка  $\rho_n$ , стен  $\rho_c$ , расчетной поверхности или пола  $\rho_p$  по табл. 3.2.

Индекс помещения находится по формуле

$$i = \frac{AB}{h(A+B)}, \quad (3.2)$$

где  $A$  - длина помещения;  $B$  - его ширина;  $h$  - расчетная высота.

Коэффициент использования с учетом коэффициентов отражения, индекса помещения и типа светильника определяется по табл. 5.3 - 5.18 [1].

#### 4. Электрический расчет

Для осветительных установок, как правило, должно применяться напряжение переменного тока при заземленной нейтрали не выше 380/220 В, для постоянного тока и переменного с изолированной нейтралью - не выше 220 В.

Напряжение 12 и 36 В применяется преимущественно для местного и переносного освещения.

Для обеспечения надежной работы газоразрядных ламп напряжение на них не должно быть ниже 90% номинального.

Напряжение у всех ламп не должно быть более 105% номинального.

При напряжении силовых приемников 380 В питание освещения, как правило, должно осуществляться от трансформаторов 380/220 В, общих для силовой и осветительной сети.

Установка самостоятельных осветительных трансформаторов необходима когда напряжение 380 В не может быть допущено по условиям электробезопасности (специальные электроустановки) или когда силовая нагрузка вызывает недопустимые колебания напряжения.

#### 4.1. Расчетная нагрузка осветительной сети

Расчетная нагрузка  $P_p$  - это нагрузка по которой производится расчет электрической сети, выбор сечения проводников, определяются уровни напряжения у источников света.

Если для силовых потребителей расчетная нагрузка резко отличается от установленной  $P_y$  (сумма номинальных мощностей всех потребителей), то для осветительных установок расчетная нагрузка примерно равна установленной мощности:

$$P_p = P_y k_c, \quad (4.1)$$

где -  $k_c$  коэффициент спроса.

При отсутствии данных по  $k_c$  его значение следует принимать равным. 1- Для мелких производственных зданий и торговых помещений, наружного освещения. 0,95- Для производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов. 0,9- для библиотек, административных зданий. 0,8- для производственных зданий, состоящих из большого числа отдельных помещений. 0,6- для складских помещений и электростанций, состоящих из большого числа отдельных помещений.

При расчете групповой сети и всех звеньев аварийного освещения  $k_c$  принимается равным 1

Расчетная нагрузка применяется в основном для выбора коммутирующего аппарата и проводов или кабеля, питающих магистральный осветительный щиток.

#### 4.2. Требования, предъявляемые к осветительным сетям

К расчету осветительных сетей предъявляются следующие требования.

1. Выбранные сечения проводов должны обеспечивать требуемые напряжения источников света. Снижение напряжения по отношению к номинальному не должно у наиболее удаленных ламп превышать следующих значений:

2,5% - у ламп рабочего освещения промышленных и общественных зданий, прожекторного освещения наружных установок;

5% - у ламп рабочего освещения жилых зданий, наружного освещения, выполненного светильниками, и аварийного освещения;

10% - у ламп 12-36 В.

2. Токовые нагрузки на отдельные провода не должны превышать допустимые значения, для выбранного сечения и материала.

3. Выбранные сечения проводов должны обеспечить механическую прочность при их монтаже и эксплуатации.

В зданиях следует применять кабели и провода с медными жилами. До



2001 г. допускались алюминиевые провода.

В жилых зданиях сечение медных проводников должны соответствовать расчетным значениям.

### 4.3. Расчет осветительной сети по потере напряжения

Расчет сети на потерю напряжения является основным.

Допустимая величина потерь напряжения в сети определяется из выражения

$$\Delta U_{\text{д}} = U_{\text{х.х}} - \Delta U_{\text{т}} - U_{\text{мин}}, \quad (4.2)$$

где  $\Delta U_{\text{д}}$  - допустимая величина потерь в сети;  $U_{\text{х.х}}$  - номинальное напряжение холостого хода трансформатора;  $\Delta U_{\text{т}}$  - потери напряжения в трансформаторе под нагрузкой;  $U_{\text{мин}}$  - допускаемое минимальное напряжение у удаленных ламп, все значения указаны в %.

Потеря напряжения в трансформаторе зависит от его мощности, загрузки и характера нагрузки:

$$\Delta U_{\text{т}} = \beta (U_{\text{а.т}} \cos \varphi + U_{\text{р.т}} \sin \varphi), \quad (4.3)$$

где  $\beta$  - коэффициент загрузки трансформатора;  $U_{\text{а.т}}$  и  $U_{\text{р.т}}$  - активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания трансформатора;  $\cos \varphi$  - коэффициент мощности трансформатора.

Значения  $U_{\text{а.т}}$  и  $U_{\text{р.т}}$  определяются следующими выражениями:

$$U_{\text{а.т}} = 100 P_{\text{к}} / P_{\text{н}}; \quad U_{\text{р.т}} = \sqrt{U_{\text{к}}^2 - U_{\text{а.т}}^2}, \quad (4.4)$$

где  $P_{\text{к}}$  - потери короткого замыкания;  $P_{\text{н}}$  - номинальная мощность трансформатора;  $U_{\text{к}}$  - напряжение короткого замыкания, %, значения  $U_{\text{к}}$  и  $P_{\text{н}}$  приводятся в паспортных данных трансформатора.

Напряжение холостого хода силовых трансформаторов, как правило, завышается, но не более 5%. Это ограничение накладывают источники света, напряжение на которых не должно превышать 5% от номинального.

Для определения потерь напряжения осветительная сеть разбивается на участки, рассчитываются потери напряжения на них, которые затем суммируются.

В общем виде потери напряжения в сети определяются по формуле

$$\Delta U = I (R \cos \varphi + X \sin \varphi), \quad (4.5)$$

где  $I$  - расчетный ток линии;  $R$ ,  $X$  - активное и индуктивное сопротивления линии.

При заданном номинальном напряжении, системе сети и материале проводников формулы упрощаются и принимают вид

$$\Delta U = \frac{M}{C \cdot s}, \quad (4.6)$$

где  $M$  - момент нагрузки, равный произведению нагрузки  $P$ , кВт, на длину линии  $L$ , м,  $s$  - сечение проводника,  $C$  - коэффициент, значение которого приведено в табл. 4.1

**Таблица 4.1**

**Значения коэффициента  $C$**

Система сети	Значение $C$ для проводников	
	медных	алюминиевых
Трёхфазная с нулем	72	44
Трёхфазная без нуля	72	44
Двухфазная с нулем	32	19,6
Однофазная	12	7,4
Двухфазная без нуля	36	22

В практических расчетах следует пользоваться таблицами моментов (табл. 4.2, 4.3, 4.4), позволяющими сразу находить сечение проводов участка линии для заданного момента и  $\Delta U$ . При этом предварительно сеть разбивается на участки, и для каждого участка назначается потеря напряжения  $\Delta U$  с таким расчетом, чтобы сумма падений напряжения не превышала допустимую для всей сети.

При расчете сети с газоразрядными лампами необходимо учитывать коэффициент мощности  $\cos\varphi$ . В настоящее время светотехническая промышленность поставляет комплектно с конденсаторами только люминесцентные светильники, поэтому в сетях для их питания коэффициент мощности можно не учитывать.

## Тема 1.2.1. Источники света. Лампы накаливания

Главной частью лампы накаливания (ЛН) является тело накала. Тело накала, как правило, вольфрамовая проволока в виде нити, спирали и т.д. Тело накала изолируется от окружающей среды стеклянной колбой, имеющей токопровод в виде цоколя.

### **Достоинства**

9. Широкий сортамент по мощности, напряжению, условиям применения.
10. Непосредственное включение в сеть без дополнительных аппаратов.
11. Работоспособность при значительных отклонениях напряжения.
12. Незначительное снижение (~15%) светового потока к концу службы.
13. Почти полная независимость от условий окружающей среды.
14. Компактность.
15. Дешевизна и простота обслуживания.
16. Возможность недорогого регулирования светового потока.

### **Недостатки**

1. Низкая световая отдача (7 - 19 лм/Вт).
2. Плохая цветопередача (преобладает желто-красная часть спектра).
7. Ограниченный срок службы (порядка 1200 ч).
8. Низкая механическая прочность.
9. Резкое снижение срока службы при повышении напряжения.
10. Резкое снижение светового потока при снижении напряжения.

*Маркировка ламп накаливания (ЛН) общего назначения: XX напряжение - мощность; В - вакуумные; Г - газонаполненные; Б - биспиральные, газонаполненные; БК - биспиральные криптоновые; МГ - матированная колба; МЛ - молочная колба; ОП - с опалиновой колбой.*

Лампы накаливания имеют сплошной (непрерывный) спектр излучения. Из-за относительно низких рабочих температур тела накала при освещении усиливаются «теплые» цветовые тона и ослабляются «холодные» (зеленые, голубые, фиолетовые).

### **Таблица 2.1**

*Технические характеристики ламп общего назначения*

*напряжением 220В*

Мощность, Вт	15	25	40	40	60	60	100	100	150
Тип ЛН	В	В	Б	БК	Б	БК	Б	БК	Г
Ф, лм	105	220	400	460	715	790	1350	1450	2000

Мощность, Вт	150	200	200	300	500	750	1000
Тип ЛН	Б	Г	Б	Г	Г	Г	Г
Ф, лм	2100	2800	2920	4600	8300	13100	18600

Лампы накаливания включаются в электрическую цепь через патрон без каких-либо дополнительных устройств.

### **Тема 1.2.2. Галогенные лампы накаливания**

Принцип действия галогенных ламп накаливания (ГЛН) заключается в образовании на стенке колбы летучих соединений - галогенидов вольфрама, которые испаряются со стенки, осаждаются на теле накала и возвращают ему, таким образом, испарившиеся атомы вольфрама.

Галогенная добавка в ЛН с вольфрамовым телом образует химический цикл. Так, если в колбе будет йод, то при температуре 300 - 1200 °С пары йода соединяются на стенке колбы с частицами вольфрама и образуют йодистый вольфрам  $WI_2$ .

Приближаясь к нити накала, уже при температуре выше 1600 °С йодистый вольфрам разлагается на атомы йода и вольфрама, и вольфрам оседает на нить и другие детали, имеющие температуру выше 1600 °С. Освободившиеся атомы йода вновь соединяются на стенках с вольфрамом. Таким образом, атомы йода являются как бы перевозчиками вольфрама со стенок колбы на нить.

Но чтобы организовать йодно - вольфрамовый цикл, необходимо выполнить следующие условия: 1) минимальная температура тела накала должна быть не менее 1600 °С; 2) температура внутренней стенки колбы 500 - 600 °С.

Устройство ГЛН: колба лампы - длинная узкая кварцевая трубка; тело накала - прямолинейная вольфрамовая спираль, закрепленная на держателях и выводы, впаянные в кварц по оси.

#### ***Достоинства***

1. ГЛН по сравнению с обычными лампами имеют более стабильный по времени световой поток при светоотдаче 22-26 лм/Вт.
2. Повышенный полезный срок службы – до 2000 часов.
3. Малые размеры и более прочная кварцевая колба.

#### ***Недостатки***

1. Агрессивность йода к металлическим деталям лампы.

2. Длинные линейные ГЛН невозможно долго эксплуатировать в вертикальном состоянии - галогенные добавки и газ разделяются, и цикл прекращается.

3. Высокая стоимость кварцевых трубок и в целом ламп.

### **Тема 1.2.3. Газоразрядные лампы**

Принцип действия заключается в том, что оптическое излучение возникает в результате электрического разряда в газах, парах или их смесях. Газоразрядные лампы делятся на лампы люминесцентные низкого давления (ЛЛНД) и газоразрядные лампы высокого давления (ГЛВД).

#### ***Достоинства***

6. Высокая световая отдача (до 90 лм/Вт).
7. Большой срок службы (до 15000 ч.).
8. Возможность иметь источник света различного спектрального состава.
9. Относительно низкая ослепляемость.
10. Малая зависимость светового потока при небольших отклонениях напряжения до 10% от номинального.

#### ***Недостатки***

8. Относительная сложность включения - отсюда большая стоимость.
9. Ограниченная единичная мощность, большие размеры.
10. Невозможность переключения ламп питающихся переменным током на постоянный ток.
11. Зависимость характеристик ламп от температуры окружающей среды, при низких температурах зажигание не гарантируется.
12. Значительное снижение светового потока к концу срока службы (в 1,5-2 раза), иногда с изменением спектра.
13. Вредные для зрения пульсации светового потока с частотой 100 Гц (для ламп с индуктивным или емкостным пуско-регулирующим аппаратом (ПРА)).
14. Возможное незагорание ламп при снижении напряжения более чем на 10%.

Принцип действия люминесцентных ламп низкого давления основан на электрическом разряде между двумя электродами, запаянными в прозрачную для оптического излучения колбу той или иной формы. Наибольшее распространение получили колбы цилиндрические в виде трубок большой длины относительно диаметра.

Вид разряда в основном тлеющий который характеризуется малой плотностью тока на катоде - от  $10^{-5}$  до  $10^{-2}$  А/см<sup>2</sup>, низким давлением газа в колбе и довольно большим падением напряжения на катоде - 50 - 400 В.

Свечение тлеющего разряда практически заполняет всю трубку. Столб разряда представляет собой плазму, состоящую из смеси нейтральных атомов, электронов и ионов. Внешнее электрическое поле, приложенное к столбу разряда между электродами, вызывает ускоренное движение электронов.

В результате соударения электронов с нейтральными атомами происходит выброс энергии в виде фотонов, которые покидают столб разряда и создают невидимое ультрафиолетовое излучение. При воздействии его на люминофор, возникает вторичное излучение в видимой части спектра. Но при низком давлении газа свечение его невелико. Усиливается свечение за счет люминофора, покрывающего внутреннюю стенку трубки.

*Маркировка люминесцентных ламп (ЛЛ) общего назначения:* Д - дневного света, Б - белая, ХБ - холодно-белая, ТБ - тепло-белая, Ц - правильной цветопередачи, Р - рефлекторная, Е - естественно-белые, *U* и *W* - образные, К - кольцевые.

**Таблица 2.2**

*Технические характеристики ламп общего назначения  
напряжением 220В*

Мощ- ность Вт	Длина мм	Ф, лм						
		ЛБ	ЛТБ	ЛХБ	ЛД	ЛДЦ	ЛЕЦ	ЛТБЦ
30	909	2180	2020	1940	1800	1500	1400	
40	1214	3200	3100	3000	2500	2200	2190	
65	1514	4800	4850	4400	4000	3160	3400	1700
80	1514	5400	5200	5040	4300	3800	3800	

## Лекция 2

### Тема 1.2.4. Натриевые лампы низкого давления

Теоретически самая высокая эффективность достигается в натриевых лампах низкого давления. Здесь электрическая энергия полностью преобразуется в видимое излучение. Видимое излучение этих ламп создается непосредственно разрядом в газе. Спектральная линия натрия соответствует 589 нм в то время как у ртутных ламп 253 нм (максимальная чувствительность глаза 512-555 нм). Теоретически светоотдача должна быть примерно 520 лм/Вт, но практически она не превышает

40% от нее т.е. 200-230 лм/Вт, так как 60% подводимой энергии тратится на поддержание температуры газового разряда

Светоотдача натриевых ламп в два раза выше чем у обычных люминесцентных

### **Недостатки.**

1. Процесс запуска лампы продолжается около 10 минут.
2. При включении лампа имеет красный цвет.

По мере прогрева цветощущение постепенно изменяется, и приблизительно через 10 минут она приобретает свой истинный желтый цвет, который не может быть изменен с помощью фильтров. Все объекты представляются как желтые или имеют оттенки желтого цвета. Поэтому такие лампы применяются в областях, где цветопередача не имеет важного значения.

### **Индукционные лампы**

Индукционная лампа основана на принципе разряда в газе низкого давления. Основная особенность лампы новой системы – это отсутствие электродов для ионизации газа. Внутри лампы встроен индуктор, который подключается к внешнему высокочастотному генератору с частотой 2,65 МГц. Индуктор создает электромагнитное поле внутри разрядной трубки. Переменное поле вызывает электрический ток в газе, что приводит к его ионизации. Принципиальное отличие этого электротехнологического достижения – продление службы лампы до 60000 часов. Индукционная лампа может гореть по 8 часов в день в течение приблизительно 20 лет.

Сетевой низкочастотный фильтр генератора обеспечивает электромагнитную совместимость устройства по цепи питания.

Время включения лампы меньше 0,1 секунды. Коэффициент мощности выше 0,9.

### **Тема 1.2.5. Лампы высокого давления**

В люминесцентных лампах высокого и сверхвысокого давлений применяется дуговой разряд, отличающийся от тлеющего высокой плотностью тока на катоде  $10^2 - 10^4$  А/см<sup>2</sup> и малым катодным падением напряжения 5 - 15 В.

Наибольшее распространение получили лампы дуговые ртутные люминесцентные (ДРЛ). При отсутствии в лампе люминофора происходит

сильное искажение цвета предметов (цветопередача).

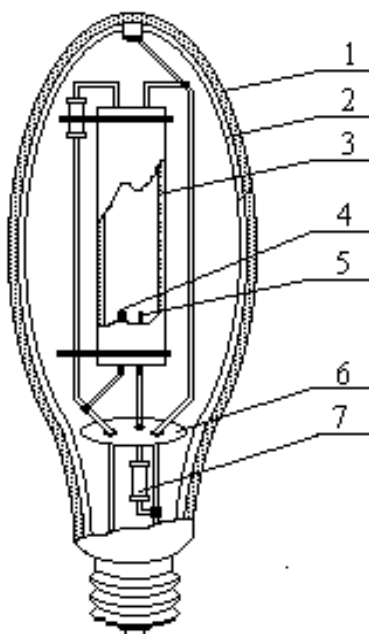
Конструкции ртутных ламп высокого и сверхвысокого давления самые разнообразные, но в основном в виде колбы и трубчатые

Таблица 2.3

**Основные параметры ламп типа ДРЛ**

Тип лампы	Мощность лампы, Вт	Напряжение на лампе	Ток, А	Световой поток, клм
ДРЛ80	80	115	0,8	3,4
ДРЛ125	125	125	1,15	6,0
ДРЛ250	250	130	2,13	13,0
ДРЛ400	400	135	3,25	23,
ДРЛ700	700	140	3,4	40,0
ДРЛ1000	1000	145	7,5	57,0
ДРЛ2000	2000	270	8,0	120,0

Применение различных добавок в слой люминофора и паров редкоземельных элементов в разрядную трубку частично исправляют цветопередачу ламп. Конструкция и устройство лампы показано на рисунке.



Конструкция лампы ДРЛ:

1-внешняя стеклянная колба;

2-слой люминофора;

3- разрядная трубка;

4- рабочий электрод;

5- зажигающий электрод;

6- отражающий экран;

7- ограничивающий резистор

В кварцевую трубку 3 налита ртуть и закачен аргон. Аргон служит для облегчения зажигания разряда и защиты электродов от распыления на начальной стадии разгорания лампы.

После зажигания дугового разряда между основными (4) и вспомогательными (5) электродами происходит нагревание разрядной трубки и испарение ртути. Давление ее паров повышается, вместе с тем, изменяются все характеристики разряда: растет напряжение мощность на



лампе, разряд стягивается в яркий светящийся шнур по оси трубки, растет поток излучения и КПД.

Этот процесс продолжается в течении  $5 \div 7$  мин до тех пор пока не испарится вся ртуть, после чего все параметры стабилизируются.

### ***Достоинства***

1. Высокая световая отдача ( до 60 лм/Вт).
2. Большой срок службы ( до 15000 ч.).
3. Компактность и большая мощность ламп.
4. Некритичность к условиям внешней среды.

### ***Недостатки***

1. Преобладание в спектре сине-зеленой части.
2. Возможность работы только на переменном напряжении.
3. Большая пульсация светового потока (стробоскопический эффект).
4. Необходимость в пускорегулирующей аппаратуре.
5. Большая длительность зажигания ( порядка 7-10 мин.).
6. Снижение светового потока к концу службы.

## **1.2.6.Металлогалогенные лампы.**

Металлогалогенные лампы по конструкции подобны ртутной лампе высокого давления.

Главное различие между ними состоит в том, что разрядная трубка в дополнение к ртути содержит ряд соединений металлов с галогенами – галогенидов. Эти соединения по достижении лампой номинального теплового режима частично испаряются и разлагаются в горячей центральной области дуги на галогены и парообразный металл, которые излучают световой поток с соответствующим спектром.

Металлогалогенные лампы также требуют включения балластного сопротивления в цепи питания.

Напряжение, ограниченное балластным сопротивлением, недостаточно, чтобы запустить лампу, поэтому необходимо внешнее пусковое устройство.

## **1.2.7.Натриевые лампы высокого давления**

В разрядную трубку натриевой лампы введены в избыточном количестве натрий и ртуть, чтобы создать в процессе работы лампы насыщенные пары и газовую смесь. Имеется также ксенон, облегчающий зажигание и ограничивающий теплоотвод от дуги разряда к стенкам трубки. Светоотдача составляет до 130 лм/Вт.

Лампы используются для наружного освещения всех типов и для

освещения цехов с высокими пролетами. В семах подключения используется дроссели и стартеры.

**Таблица 2.4**

**Основные характеристики источников света**

Тип источников света	Средний срок службы, ч	Индекс цветопередачи, Ra	Световая отдача, лм/Вт	Световая энергия, вырабатываемая за срок службы ( на 1 усл. Вт)	
				Млм*час	Относ.ед
Лампы накаливания общего назначения (ЛН)	1000	100	8-117	0.013	1
Люминесцентные лампы (ЛЛ)	10000-12000	92-57	48-80	0.900	69
Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ)	5500-8000	85	65-80	4.60	35
Дуговые ртутные лампы (ДРЛ)	12000-20000	40	50-54	0.632	48
Натриевые лампы высокого давления (НЛВД)	10000-12000	25	85-100	0.960	94
Металлогалогенные лампы (МГЛ)	3000-10000	65	66-90	0.780	60

**Лекция 3**

**Тема 1.3. Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ)**

Основные показатели, характеризующие уровень развития КЛЛ:

1. Типовой ряд номиналов мощности с учетом всех разновидностей современных конструкций КЛЛ: 5-55 Вт.
2. Диапазон световых потоков соответственно составляет  $\Phi_{л} = 200-4800$  лм.
3. Световая отдача для ламп с выносным ПРА лежит в пределах  $\eta = 50-80$  лм/Вт, а у ламп со встроенным ПРА - 40-65 лм/Вт.
4. Широкая цветовая гамма цветовых оттенков излучения с  $T_c$  от 2700К ("домашний" тепло-белый свет, максимально близкий к ЛН) до 6500К ("холодный" дневной свет).
5. С внедрением ЭПРА средний срок службы при стандартизированном цикле включений большинством ведущих фирм

повышен до 16 тыс. ч

б. Полная длина КЛЛ в зависимости от конструктивного исполнения и мощности находится в пределах от 105 мм (у лампы 5 Вт) до 535мм (55 Вт).

По конструктивным признакам КЛЛ разделяются на две большие группы: "А" — лампы для включения с выносными ПРА и штифтовыми цоколями; "Б" — лампы со встроенными ПРА и резьбовыми (или байонетными) цоколями.

#### *Характеристики КЛЛ:*

Баланс энергии излучения КЛЛ с двумя основными типами ПРА показывает более эффективное использование потребляемой энергии при включении ламп с ЭПРА: по сравнению с эксплуатацией в схемах с ЭмПРА суммарные тепловые потери в КЛЛ сокращаются более чем на 5%, увеличивая в равной мере и выход светового потока. (Потери мощности в ЭмПРА для КЛЛ могут достигать 40 % от мощности, потери же в ЭПРА — от 8 до 12 %.)

Высокое качество цветопередачи КЛЛ ( $R_a=82—85$ ) обусловлено применением в них трехкомпонентных люминофоров, применяемых уже в течение 25 последних лет в линейных ЛЛ диаметром 26 мм (алюминатные соединения различных элементов с гексагональной кристаллической решеткой, активированные редкоземельными элементами).

Типовыми критериями для определения наиболее весомого эксплуатационного параметра КЛЛ — полезного срока службы являются: снижение  $\Phi_{л}$  в процессе наработки в реальных условиях эксплуатации и кривая "смертности" ламп, характеризующая их процентную долю, продолжающую функционировать в ОУ к данному времени суммарной наработки.

На средний срок службы  $t$ , кроме неизбежного процесса старения люминофора и его ртутного загрязнения, большое влияние оказывает периодичность и число включений ламп. Режим включений, с учетом которого определяется средняя продолжительность безотказной наработки КЛЛ, это так называемый 3-часовой цикл: 165 мин. лампа работает, затем отключается на 15 мин., вновь включается на 165 мин. и т.д.

Переход с 3-часового на 8-часовой цикл включений может повысить на 50% по отношению к номинальному значению, указываемому в техдокументации и каталогах.

Высокая надежность электронных компонентов ПРА сделала КЛЛ практически "безразличными" к числу включений. Например, КЛЛ серии

Dulux EL допускают около 0,5 млн. включений без ущерба для срока службы.

В схемах включения КЛЛ применяются как индуктивные ЭмПРА, так и электронные аппараты ЭПРА с рабочей частотой 20 — 50 кГц, причем отмечается явное преобладание использования ЭПРА, особенно в "интегрированных" лампах группы "Б".

Потребление электроэнергии КЛЛ со встроенными ЭПРА составляет только 20% от сравнимой по световому потоку ЛЛ. Расход электроэнергии при работе КЛЛ не зависит от коэффициента мощности схемы и определяется только активной мощностью, фиксируемой обычным электросчетчиком. По сравнению с ЛН фактическое потребление тока у КЛЛ из-за невысокого коэффициента мощности ( $\cos\varphi=0,5$ ) снижается не до 20, а до 40 %, и это обуславливает соответственно снижение потерь в линии между источником питания и потребителем и дает дополнительную экономию.

В настоящее время выпускается множество "интеллектуальных" КЛЛ со встроенным ЭПРА и фотосенсором, встроенным в схему лампы и автоматически коммутирующим цепь питания при определенном уровне внешней засветки. Порог срабатывания фотореле может быть установлен на необходимый уровень наружной естественной освещенности, например 50 лк. При этом КЛЛ автоматически начнет функционировать в сумерки при снижении естественной освещенности до указанного значения и также автоматически отключится на рассвете, когда заданный уровень наружной засветки будет превышен. Области применения КЛЛ с фотосенсором: охранное и дежурное освещение помещений со светопроемами; светильники наружного освещения придомовых зон, номерные знаки зданий и т.д.

Как известно, вредное воздействие на окружающую среду при производстве электроэнергии тепловыми электростанциями в наибольшей степени обусловлено выбросом в атмосферу токсичной окиси углерода ( $\text{CO}_2$ ). Энергетиками подсчитано, что в среднем выработка каждого кВт-ч ЭЭ на ЭС, работающей на каменном угле, приводит к эмиссии 1 кг  $\text{CO}_2$ . В мировом масштабе загрязнение атмосферы выбросами ЭС в значительной мере способствует образованию "парникового эффекта", ведущего в конечном итоге к глобальному потеплению климата на Земле.

С этих позиций очевидно, что широкое применение КЛЛ вместо ЛН дает не только большую экономию первичных энергетических ресурсов и

потребляемой ЭЭ в ОУ, но и оздоравливает окружающую среду: при использовании на ЭС в качестве горючего твердых ископаемых происходит выделение не только  $\text{CO}_2$ , но и некоторого количества ртути.

При расчетах экономических преимуществ замены ЛН на КЛЛ следует учесть суммарный расход ЭЭ (на промышленное изготовление ламп и при их эксплуатации в течение срока службы в ОУ).

Одна КЛЛ мощностью 15 Вт со встроенным ЭПРА за свой  $t = 10\,000$  ч расходует 150 кВт-ч ЭЭ, на ее изготовление необходимо затратить примерно 2,4 кВт-ч; суммарный расход ЭЭ таким образом составляет 152,4 кВт-ч. За те же 10000 ч десять эквивалентных по  $\Phi_{\text{л}}$  обычных ЛН мощностью 75 Вт с  $t = 1000$  ч потребляют 750 кВт-ч ЭЭ, на производство этих 10 шт. ЛН потребляется 2,5 кВт-ч и общий расход ЭЭ достигает 752,5 кВт-ч, что в 5 раз больше, чем для КЛЛ.

Не вдаваясь в детали проблемы утилизации отработавших КЛЛ, следует отметить, что за счет усовершенствования технологий дозировки ртути ведущими фирмами ее содержание в КЛЛ уменьшено до минимально возможного уровня и не превышает 3 мг.

Далее представлены технические характеристики, габаритные размеры (рис.1-4), стоимости и внешний вид интегрированных КЛЛ с цоколями E27 и E14 производителей [PHILIPS](http://www.philips.com) (табл.2.5.).

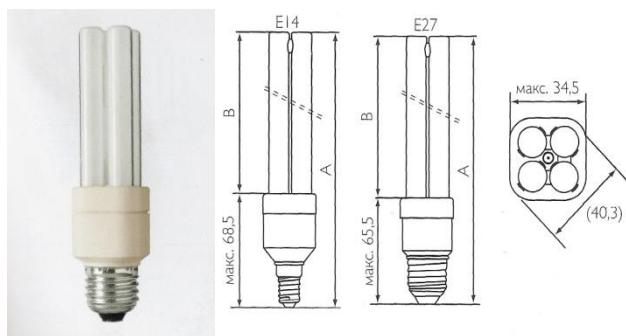


Рис.1

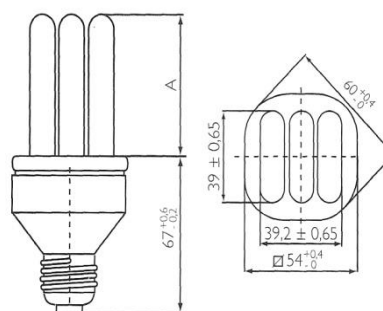


Рис.2

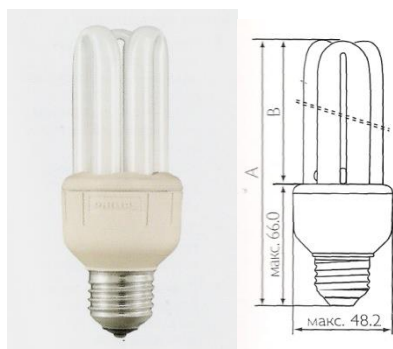


Рис.3

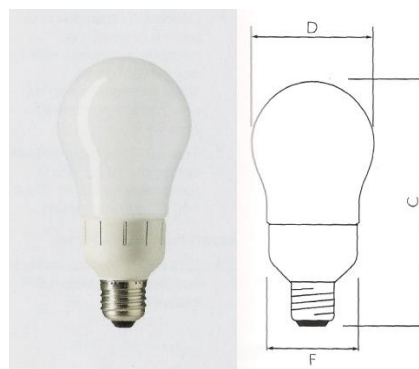


Рис.4

Таблица 2.5.

Тип	Мощн, Вт.	Цоколь	Свет. поток,лм	Срок сл, ч	d, мм.	l, мм.	Цена, руб.	Рис.
Master Electronic PL	8	E27	400	15000	34,5	120,2	310	1
Master Electronic PL	11	E27	670	15000	34,5	142,2	310	1
Master PL Electronic	15	E27	875	15000	60,2	126,3	310	2
Master PL Electronic	20	E27	1200	15000	60,2	145,3	310	2
Master PL Electronic	23	E27	1485	15000	60,2	160,3	320	2
Master PL Electronic	5	E14	230	15000	34,5	118,2	310	1
Master PL Electronic	8	E14	400	15000	34,5	123,2	310	1
Master PL Electronic	11	E14	600	15000	34,5	145,2	310	1
PL Electronic Pro	12	E27	650	10000	48,2	126,9	260	3
PL Electronic Pro	16	E27	900	10000	48,2	144,4	260	3
PL Electronic Pro	20	E27	1200	10000	48,2	165,6	260	3
PL Electronic Pro	23	E27	1500	10000	48,2	165,6	273	3
Ambiance Pro	9	E27	440	12000	64	136	210	4
Ambiance Pro	12	E27	640	12000	64	136	210	4
Ambiance Pro	16	E27	920	12000	69	152	225	4
Ambiance Pro	20	E27	1200	12000	74	172	240	4
Ambiance Pro	23	E27	1380	12000	74	172	260	4

Замена ламп накаливания на люминисцентные в 6 раз снижает электропотребление. В таблице 2.6. представлена сравнительные характеристики КЛЛ и ЛН

Таблица 2.6

**Сравнительные характеристики компактных люминисцентных ламп с лампами накаливания**

ЛН		КЛЛ		Отношение световой отдачи КЛЛ к ЛН, отн.ед.
Мощность, Вт	Световой поток, лм	Мощность, Вт	Световой поток, лм	
25	200	5	200	4,3
40	420	7	400	5,3
60	710	11	600	4,5

75	940	15	900	4,7
100	1360	20	1200	4,3
2x60	1460	23	1500	5,4

## Лекция 4

### Тема 1.4. Пускорегулирующие аппараты

Пускорегулирующий аппарат (ПРА) - это электротехническое изделие, обеспечивающее необходимый режим зажигания, разгорания и нормальной работы газоразрядных ламп (ГЛ).

Сложность включения ГЛ в электрическую сеть заключается в том, что для ее зажигания необходимо повышенное напряжение так как электроды расположены друг от друга на значительном расстоянии. Но после того как лампа зажглась т.е. возник тлеющий или дуговой разряд напряжение на лампе резко падает практически в два раза. Поэтому возникает задача уменьшить напряжение. В жесткой сети напряжения допустим 220 В, а рабочее напряжение на лампе обычно 100-110В. Погасить избыточное напряжение 90 ÷ 120 В сделать не просто. Если включить в цепь токоограничивающий резистор то это экономически нецелесообразно половина энергии, потребляемой лампой будет расходоваться на нагрев окружающей среды.

Поэтому в качестве токоограничивающего элемента применяют дроссель.

Но с применением дросселя в цепи питания резко снижается  $\cos\phi$ , появляется реактивная мощность, которую в свою очередь необходимо компенсировать. Все эти трудности преодолеваются различными способами.

Рассмотрим один из способов включения люминесцентных ламп низкого давления со стартером тлеющего разряда, принципиальная схема включения которого показана на рисунке.

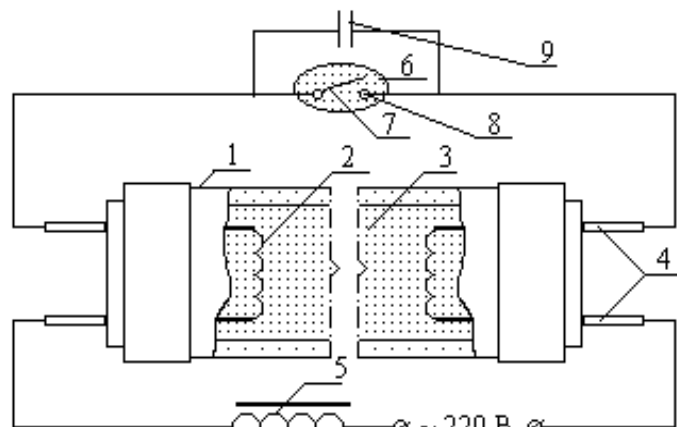


Схема включения ЛЛНД: 1-стеклянный корпус лампы; 2-нить

накала; 3-газ; 4- электроды; 5-дроссель; 6-стартер; 7- биметаллическая пластина; 8-контакт; 9-конденсатор

Стартер 6 представляет собой миниатюрную люминесцентную лампу с близкорасположенными электродами (2-3 мм). Поэтому тлеющий разряд возникает при напряжении меньше чем 220 В.

При подаче напряжения на лампу через ее нити накала 2 подается напряжение на электроды стартера где развивается тлеющий разряд. За счет температуры разряда начинает нагреваться биметаллическая пластина 7. Одновременно греются нити накала 2 лампы проходящим через них током.

Через некоторое время биметаллическая пластина стартера под действием температуры изогнется и замкнется с контактом 8. Тлеющий разряд в стартере прекращается. Ток через нити 2 лампы резко возрастает происходит быстрый их нагрев, Биметаллическая пластина стартера начинает остывать и через определенное время принимает исходное состояние размыкает контакт 8.

Если к этому времени нити лампы нагрелись до температуры порядка  $800^{\circ}$  С то вокруг них появляются облака свободных электронов и при разрыве контактов стартера на электродах лампы появляется напряжение 220 В и возникает тлеющий разряд между горячими нитями.

В дальнейшем горячее состояние электродов поддерживается бомбардировкой их электронами и положительными ионами.

В случае если нити не нагрелись до заданной температуры то цикл включения повторится вновь. Поэтому при включении люминесцентных ламп часто наблюдаются кратковременные вспышки.

После загорания лампы напряжение на ней падает примерно до 100 В, но этого напряжения не хватает для пробоя холодного промежутка стартера и при работе лампы он находится в отключенном состоянии. Остальная часть напряжения гасится на дросселе.

Конденсатор 9 уменьшает искрообразование на контактах стартера при их размыкании, кроме этого быстрый разрыв цепи стартера приводит к возникновению ЭДС на дросселе и перенапряжению на электродах лампы, что увеличивает вероятность загорания лампы.

Количество схем включения ламп очень разнообразное но принцип остается один и тот же. Необходимо создать повышенное напряжение при включении и обеспечить номинальное напряжение при ее работе. Схемы



включения ламп ДРЛ еще более сложные.

## **Тема 1.5. Световые приборы**

Световым прибором называется устройство, содержащее источник света и светотехническую арматуру и предназначенное для освещения или сигнализации. Световые приборы, расположенные от освещаемых объектов не больше 20-30 м носят названия светильников. Если расстояние больше то, они называются прожекторами.

Светильники перераспределяют свет лампы или ламп внутри больших телесных углов и формируют световой поток определенной формы в пространстве. Это свойство формировать световой поток носит название светораспределения светового прибора.

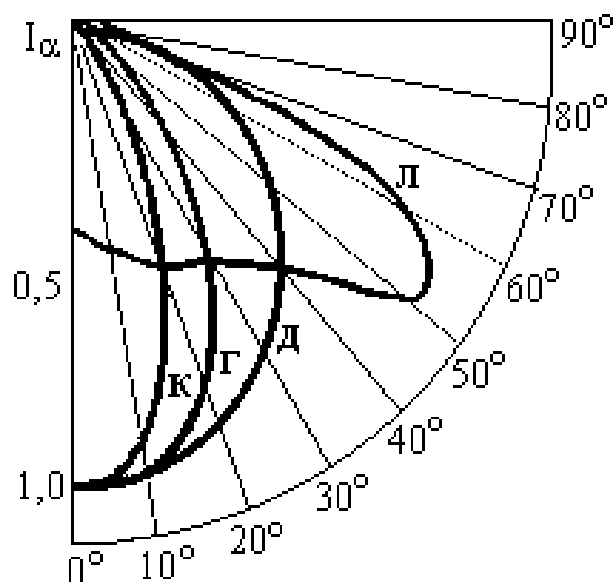
### **1.5.1. Светораспределение светильников.**

Светораспределение характеризуется формой фотометрического тела. Под фотометрическим телом понимают часть пространства ограниченную поверхностью, соединяющую точки с одинаковой силой света. Если рассекать фотометрическое тело меридиональными плоскостями проходящими через центр источника света, то получим кривые силы света светильника. Светораспределение светильника может быть исчерпывающе описано одной меридиональной кривой силы света (КСС).

Если кривая силы света симметрична относительно вертикальной оси то в каталогах обычно приводят изображение ее правой части в углах от  $0^{\circ}$  до  $180^{\circ}$ . Половину кривой в пределах от  $0^{\circ}$  до  $90^{\circ}$  называют нижней полусферой.

ГОСТ устанавливает 7 типовых кривых силы света: К - концентрированная; Г - глубокая; Д - косинусная; Л - полуширокая; Ш - широкая; М - равномерная; С - синусная.

Некоторые типы кривых силы света показаны на рисунке.



Кривые силы света

*Кривая силы света* это график зависимости  $I_{\alpha} = f(\alpha)$ , где  $\alpha$  - угол между направлением силы света и вертикалью.

Светильники с трубчатыми лампами имеют две плоскости симметрии, соответственно этому различаются поперечная и продольная кривые силы света.

Кривые распределения силы света как для светильников с лампами накаливания, так и для светильников с люминесцентными лампами, даются для условной лампы со световым потоком  $\Phi_{л} = 1000$  лм.

*Коэффициент усиления светильника* представляет собой отношение максимальной силы света  $I_{\max}$  в данном направлении к средней сферической силе света источника  $I_{\text{ср.сф}}$ .

*Коэффициентом полезного действия светильника* называют отношение светового потока светильника  $\Phi_{\text{св}}$  к световому потоку лампы  $\Phi_{л}$ .

Для ограничения слепящего действия от прямых лучей источника света каждый светильник имеет определенный защитный угол.

## Лекция 5

### 1.5.2..Выбор светильников

При выборе светильников необходимо учитывать следующие требования:

- светотехнические;
- экономические;
- эстетические;
- соблюдение условий, связанных с окружающей средой.

При проектировании освещения в принципе эти требования могут

игнорироваться кроме последнего. Конструкция светильников должна соответствовать условиям окружающей среды. Так во взрывоопасных помещениях светильники должны выбираться в пожароопасном и взрывоопасном исполнениях и т.д.

Все конструкции светильников, ламп и их характеристики приведены в [1,2], но так как их сортамент постоянно меняется, возможно, не весь их перечень включен в эти справочники.

### **1.5.3. Расположение и установка светильников**

Основное требование при выборе расположения светильников и их количества - доступность их для обслуживания и равномерное освещение поверхностей.

Размещение светильников в плане и в разрезе помещения определяются следующими размерами:  $H$  - высота помещения;  $h_c$  - расстояние светильников от перекрытия;  $h_n$  - высота светильников над полом;  $h_p$  - высота расчетной поверхности над полом;  $h$  - расчетная высота;  $L$  - расстояния между соседними светильниками или рядами люминесцентных ламп;  $l$  - расстояние от крайних светильников до стен.

Обслуживание с приставных лестниц или стремянок разрешается при высоте  $h_n \leq 5,0$  м.

При  $h_n \leq 5,0$  м возможны способы доступа для обслуживания:

- а) с мостовых кранов;
- б) со специальных светотехнических мостиков;
- в) с различных самоходных или несамоходных устройств, несущих корзину для монтера.

В производственных помещениях, оборудованных кранами, участвующими в непрерывном процессе, а также в бескрановых пролетах, в которых доступ к светильникам затруднен, установка и обслуживание светильников производится на специальных стационарных мостиках из негорючих материалов. Ширина мостиков должна быть не менее 0,6 м, ограждения высотой не менее 1 м.

Для подвесных светильников общего освещения рекомендуется иметь свесы длиной не более 1,5 м. При большей длине свеса должны приниматься меры по ограничению их раскачивания под действием потоков воздуха.

Во взрывоопасных зонах все стационарные осветительные приборы должны быть жестко укреплены для исключения раскачивания.

Приспособления для подвешивания светильников должны выдерживать в течение 10 мин без повреждения и остаточных деформаций приложенную к ним нагрузку, равную пятикратной массе светильника.

Штепсельные розетки должны устанавливаться :

- в производственных помещениях на высоте 0,8 – 1 м, если провода подводятся сверху то на высоте 1,5 м;
- в административных, жилых и других помещениях на высоте удобной для присоединения к ним электрических приборов , но не выше 1 м;
- в школах и детских учреждениях на высоте 1,8 м.

Распределение освещенности по площади поля существенно зависит от типа светильника и отношения  $\lambda = L/h$  (табл.3.1). При уменьшении  $\lambda$  до нуля светильники сливаются в сплошной светящийся потолок и освещенность абсолютно равномерная.

Сближение светильников ведет к удорожанию устройства и обслуживания, а чрезмерное удаление - к резкой неравномерности освещенности.

Таблица 3.1

**Рекомендуемые значения по выбору  $\lambda$**

Типовая кривая светильника	$\lambda$
Концентрированная	0,6
Глубокая	1,0
Косинусная	1,6
Равномерная	2,6
Полуширокая	1,8

Размер  $l$  принимается в пределах  $0,3 \div 0,5L$  в зависимости от наличия вблизи стен рабочих мест. Светильники с «точечными источниками света» располагаются по вершинам квадратных, прямоугольных или треугольных полей

При прямоугольных полях рекомендуется  $L_a/L_b \leq 1,5$ .

**Тема 1.6..Виды освещения**

Устройство освещения делаются на два вида рабочее и аварийное. В свою

очередь, аварийное освещение подразделяется на аварийное освещение для продолжения работы и на аварийное освещение для эвакуации людей.

Аварийное освещение для продолжения работы необходимо, если прекращение нормальной работы из-за отсутствия освещения может вызвать следующее:

- взрыв, пожар, отравление людей;
- длительное нарушение технологического процесса
- нарушение работы жизненных центров предприятия: связь, электро- и водоснабжение и т. д.

Это освещение должно создавать на поверхностях, требующих обслуживания, освещенность не ниже 5% от нормируемой для общего освещения. При отсутствии особых требований освещенность должна находиться в пределах от 2 до 30 лк в зданиях и от 1 до 5 лк - вне их.

Аварийное освещение для эвакуации людей необходимо:

- в местах, опасных для прохода людей;
- по путям эвакуации людей из производственных и общественных зданий, где пребывает более 50-ти человек;
- во всех производственных помещениях с числом работающих более 50-ти человек;
- в производственных помещениях, выход из которых в темноте опасен из-за продолжающей работы оборудования;
- на лестницах жилых домов высотой 6 этажей и более.

Это освещение должно создавать в проходах освещенность 0,5 лк в помещениях и 0,2 лк - вне их.

Для аварийного освещения могут применяться только лампы накаливания или люминесцентные.

Дуговые лампы не применяются из-за длительного времени загорания

Если светильники аварийного освещения не отличаются от рабочих типом или размером, то они должны быть отмечены специальными знаками.

Аварийное освещение может быть включено вместе с рабочим, дополнять его, либо включаться после отключения рабочего.

### **1.7..Нормы освещенности**

Нормы устанавливаются наименьшую освещенность, имея в виду, что она должна иметь место в «наихудших» точках освещаемой поверхности.

Нормы освещенности стандартизированы и должны выбираться в соответствии со шкалой освещенности: 0,2-0,3-0,5-1-2-3-5-10-20-30-50-75-100-150-200-300-400-500-600-750-1000-1250-1500-2000-2500-3000-4000-5000-6000-7500 лк.

Основные нормы для производственных и общественных помещений приведены в табл.4-1,4-4 [1].

## Лекция 6

### 1.8.Светотехнический расчет

Светотехническая часть расчета в главной мере определяет технико-экономическую эффективность проекта. Главной задачей расчета является достижение нормируемых количественных и качественных показателей освещенности за счет правильного расположения и установки светильников и выбора метода расчета.

#### 1.8.1. Выбор метода расчета освещенности

В основном при проектировании применяются два метода расчета: метод коэффициента использования и точечный метод.

Метод коэффициента использования предназначен для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей при отсутствии крупных затеняющих объектов. Поэтому этот метод находит более широкое применение.

Точечный метод служит для расчета освещения как угодно расположенных поверхностей при любом распределении освещенности и любом затенении. Этот метод применяется в наиболее ответственных случаях, при локальном освещении.

#### 1.8.2.Метод коэффициента использования

Этот метод предполагает, что предварительно произведен выбор типа светильников их количество и расположение.

При расчете в основном определяется необходимый световой поток ламп в каждом светильнике по формуле

$$\Phi = \frac{EkSz}{N\eta}, \quad (3.1)$$

где  $E$  - заданная минимальная освещенность, лк;  $k$  - коэффициент запаса;  $S$  - освещаемая площадь, м<sup>2</sup>;  $z$  - отношение  $E_{cp}/E_{мин}$ ;  $N$  - число светильников;  $\eta$  - коэффициент использования.

По выбранному световому потоку выбирается ближайшая стандартная лампа, поток которой не должен отличаться от расчетного больше, чем на -10÷+20%. При невозможности выбора корректируется количество светильников  $N$ .

При расчете люминесцентного освещения чаще всего первоначально

намечается число рядов светильников, которое подставляется в формулу вместо  $N$ , тогда под  $\Phi$  подразумевается поток ламп одного ряда.

Эта формула используется и тогда, когда выбран тип ламп заранее, особенно при люминесцентном освещении. В этом случае определяется количество ламп  $N$ .

Входящий в (3.1) коэффициент  $z$ , характеризующий неравномерность освещения, является функцией многих переменных и особенно зависит от отношения расстояния между светильниками к расчетной высоте ( $L/h$ ). При  $L/h$ , не превышающих рекомендуемых значений, можно принимать  $z=1,15$  для ламп накаливания и ДРЛ и  $z=1,1$  - для люминесцентных ламп при расположении светильников в виде светящихся линий.

Для определения коэффициента использования  $\eta$  находится индекс помещения  $i$ , и определяются предположительно коэффициенты отражения поверхностей помещения: потолка  $\rho_n$ , стен  $\rho_c$ , расчетной поверхности или пола  $\rho_p$  по табл. 3.2.

Индекс помещения находится по формуле

$$i = \frac{AB}{h(A+B)}, \quad (3.2)$$

где  $A$  - длина помещения;  $B$  - его ширина;  $h$  - расчетная высота.

Коэффициент использования с учетом коэффициентов отражения, индекса помещения и типа светильника определяется по табл. 5.3 - 5.18 [1].

### **Расчет освещенности по точечному методу**

Освещенность определяется для любой точки поверхности с учетом ближних и дальних светильников

Первоначально принимается, что световой поток лампы или ламп в одном светильнике равен 1000 люмен. Создаваемая в этом случае освещенность называется условной и обозначается  $e$ .

Создаваемый поток ламп в каждом светильнике, для обеспечения заданной освещенности в точке определяется по формуле

$$\Phi = \frac{1000Ek}{\mu \Sigma e}, \quad (3.3)$$

где  $E$  - заданная освещенность в контрольной точке;  $k$  - коэффициент запаса;  $\mu$  - коэффициент учитывающий действие дальних светильников;  $\Sigma e$  - суммарная условная освещенность ближайших к контрольной точке

светильников.

Для определения  $e$  каждого светильника служат пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности (рис. 6.1 - 6.33 [1]).

### 3.5. Качественные показатели освещения

#### Коэффициент пульсации

Световой поток газоразрядных ламп, питаемых от сети переменного тока 50 Гц, пульсирует с частотой 100 Гц, создавая вредные пульсации светового потока, а соответственно, и освещенности.

За счет пульсации светового потока создается стробоскопический эффект когда вращающиеся изделия воспринимаются как неподвижные либо вращаются с малой скоростью или в обратную сторону. Это может привести к травмам и другим непредсказуемым последствиям.

Глубина пульсаций потока и освещенности определяется так

$$K_{п.и} = \frac{\Phi_{\text{макс}} - \Phi_{\text{мин}}}{2\Phi_{\text{ср}}} ; K_{п} = \frac{E_{\text{макс}} - E_{\text{мин}}}{2E_{\text{ср}}} , \quad (3.4)$$

Коэффициент пульсации можно уменьшить за счет следующего:

включения ламп по схемам, обеспечивающих питание части ламп в светильнике напряжением, сдвинутым по фазе относительно основного;

поочередного присоединения светильников в ряду к разным фазам, либо чередованием фаз для соседних рядов светильников;

питания различных ламп в многоламповых люминесцентных светильниках от разных фаз.

Коэффициенты пульсации для различных светильников нормируются и приведены в [1],[2]. Для обычных помещений допускается

$K_{п} = 10 \div 30\%$ .

#### Показатель ослепленности

Ослепленностью называют неприятное воздействие на глаза человека светящихся или отражающих свет поверхностей, нарушающих нормальное зрение.

Уровень ослепленности выражается коэффициентом ослепленности  $S$ , который определяется отношением

$$S = V_1 / V_2 , \quad (3.5)$$



где  $V_1$  - видимость объекта при экранировании его от светящихся поверхностей;  $V_2$  - видимость объекта при наличии ослепляющего действия.

В практике пользуются понятием показателя ослепленности  $P$ :

$$P=(S-1)10^3, \quad (3.6)$$

Показатели ослепленности и нормы приведены в [1],[2].

### **Показатель дискомфорта**

Если показатель ослепленности характеризует свойства светящихся поверхностей, то показатель дискомфорта оценивает слепящее действие от светильников. Он определяется яркостью светильников, телесным углом, под которым виден светильник, положением светильника по отношению к глазу наблюдателя. Показатель дискомфорта в общем оценивает, насколько видно глазам тело накала ламп.

Видимость тела накала ограничивается световым окном светильника и глубиной расположения источника света в светильнике.

Нормированные показатели дискомфорта для наиболее распространенных светильников для определенных условий приведены в таблице 8-6 [1].

Для расчета показателя дискомфорта  $M$  разработан табличный инженерный метод, по которому фактическое значение показателя дискомфорта рассчитывается по формуле

$$M = M_T K_M, \quad (3.7)$$

где  $M_T$  - табличное значение показателя дискомфорта;  $K_M$  - поправочный коэффициент.

$$K_M = 0,5\sqrt{\Phi_o / \sigma}, \quad (3.8)$$

где  $\Phi_o$  - реальный световой поток светильника в нижнюю полусферу;  $\sigma$  - площадь выходного окна или отверстия светильника.

Для осветительных установок, выполненных с помощью наиболее распространенных светильников проверка соответствия их нормам по ограничению слепящего действия по дискомфорту проводится по табл. 9.10 [2], где указаны предельные значения индекса помещения  $i$ .

### **Лекция 7.**

#### **4.Электрический расчет**

##### **4.1.Проектирование электрической сети**

## **Выбор напряжения и источников питания**

Для осветительных установок, как правило, должно применяться напряжение переменного тока при заземленной нейтрали не выше 380/220 В, для постоянного тока и переменного с изолированной нейтралью - не выше 220 В.

Напряжение 12 и 36 В применяется преимущественно для местного и переносного освещения.

Для обеспечения надежной работы газоразрядных ламп напряжение на них не должно быть ниже 90% номинального.

Напряжение у всех ламп не должно быть более 105% номинального.

При напряжении силовых приемников 380 В питание освещения, как правило, должно осуществляться от трансформаторов 380/220 В, общих для силовой и осветительной сети.

Установка самостоятельных осветительных трансформаторов необходима когда напряжение 380 В не может быть допущено по условиям электробезопасности (специальные электроустановки ) или когда силовая нагрузка вызывает недопустимые колебания напряжения.

### **4.1.2.Характерные схемы питания осветительных установок**

#### **Основные определения**

**ВВОДНОЕ УСТРОЙСТВО (ВУ)** – совокупность конструкций, аппаратов и приборов, устанавливаемых на вводе питающей линии в здание или его обособленную часть.

**ВВОДНОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО (ВРУ)** – ВУ включающее в себя аппараты и приборы отходящих линий.

**ГЛАВНЫЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ЩИТ (ГРЩ)** – распределительный щит, через который снабжается электроэнергией все здание или его обособленная часть.

**РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ПУНКТ (РП)** – устройство, в котором установлены аппараты защиты и коммутационные аппараты для отдельных электроприемников или их групп.

**ГРУППОВОЙ ЩИТОК** – устройство, в котором установлены аппараты защиты и коммутационные аппараты для отдельных групп светильников, штепсельных розеток и стационарных электроприемников.

**КВАРТИРНЫЙ ЩИТОК** – групповой щиток, установленный в квартире и предназначенный для присоединения сети, питающей светильники, розетки и стационарные электроприемники.

**ЭТАЖНЫЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ЩИТОК** – щиток, установленный на этажах жилых домов для питания квартир или квартирных щитков.

**ЭЛЕКТРОЩИТОВОЕ ПОМЕЩЕНИЕ** – помещение, доступное только для обслуживающего персонала в котором устанавливаются ВУ, ВРУ, ГРЩ, и другие распределительные устройства.

**Питающая осветительная сеть** – сеть от распределительного устройства подстанции или ответвления от воздушных линий электропередачи до ВУ, ВРУ, ГРЩ.

**Распределительная сеть** – сеть от ВУ, ВРУ, ГРЩ до распределительных пунктов, щитков и пунктов питания наружного освещения.

**Групповая сеть** – сеть от щитков до светильников, штепсельных розеток и других электроприемников.

**Пункт питания наружного освещения** – электрическое распределительное устройство для присоединения групповой сети наружного освещения к источнику питания.

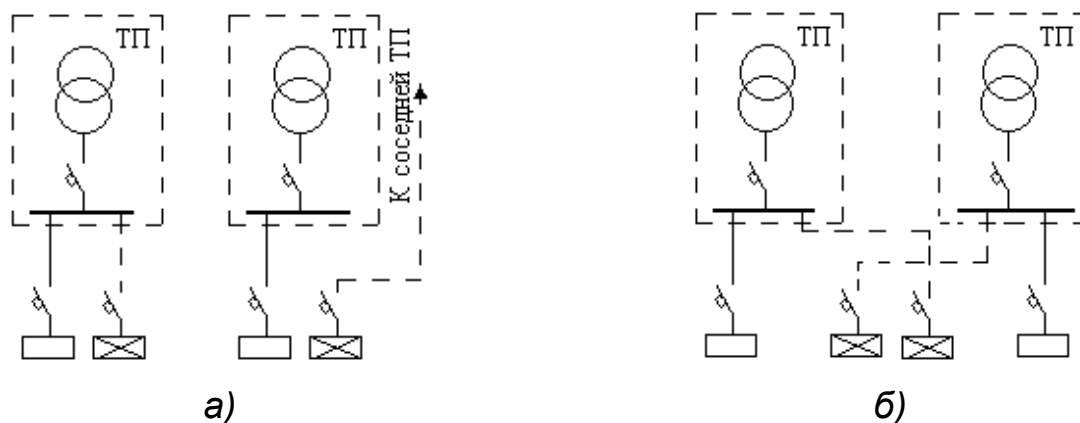
**Фаза ночного режима** – фаза питающей или распределительной сети наружного освещения, не отключаемая в ночные часы.

**Провода зарядки светильников** – провода, прокладываемые внутри светильника.

По надежности электроснабжения осветительная нагрузка, как и силовая, делится на три категории.

Питание нагрузок III категории может производиться от одной однострансформаторной подстанции. Аварийное и рабочее освещение должны при этом иметь самостоятельное питание, начиная от распределительного щита подстанции или от ввода в здание (рис.4.1)

Питание нагрузок II категории при соблюдении ряда условий (наличие централизованного резерва трансформаторов, питание трансформатора не менее, чем двумя кабелями и т.д.) формально допустимо от одной однострансформаторной подстанции, но в действительности для данной категории желательно иметь более надежную схему питания. Так, при двухтрансформаторной подстанции питание осуществляется по схеме (рис.4.1, б), при однострансформаторной подстанции питание аварийного освещения осуществляется от другой подстанции (рис.4.1, а).

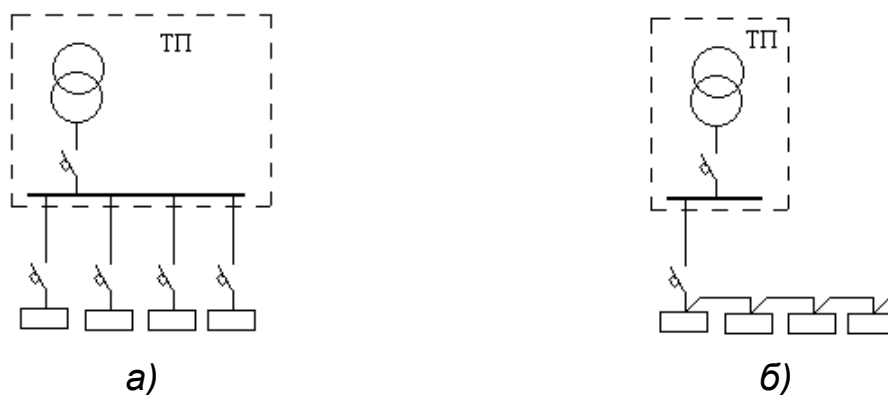


Р и с 4.1. Схемы питания освещения: а) от одной однострансформаторной подстанции; б) от двух однострансформаторных подстанций.

Питание нагрузок I категории должно осуществляться не менее чем от двух независимых источников. Если в двухтрансформаторной подстанции (см. рис.4.1, б) питание трансформаторов осуществляется от двух независимых источников, то такая схема уже обеспечивает питание осветительных нагрузок I категории.

Совмещение силовых и осветительных питающих линий возможно для общественных и жилых зданий, а также для производственных зданий вспомогательного характера. В этих случаях питание осветительных линий надо осуществлять таким образом, чтобы вероятность сохранения в них напряжения была максимальной при отключении силовых нагрузок.

В питающих сетях освещения применяются как магистральные, так и радиальные схемы в зависимости от мощности и расположения осветительных щитков (рис.4.2, а, б)



Р и с.4.2. Схемы питания освещения: а) -радиальная.; б) -магистральная

## 4.2. Расчет электрической осветительной сети

### 4.2.1. Расчетная нагрузка

Расчетная нагрузка  $P_p$  - это нагрузка по которой производится расчет электрической сети, выбор сечения проводников, определяются уровни напряжения у источников света.

Если для силовых потребителей расчетная нагрузка резко отличается от установленной  $P_y$  (сумма номинальных мощностей всех потребителей), то для осветительных установок расчетная нагрузка примерно равна установленной мощности:

$$P_p = P_y k_c, \quad (4.1)$$

где -  $k_c$  коэффициент спроса.

При отсутствии данных по  $k_c$  его значение следует принимать равным: 1- для мелких производственных зданий и торговых помещений, наружного освещения; 0,95- для производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов; 0,9- для библиотек, административных зданий; 0,8- для производственных зданий, состоящих из большого числа отдельных помещений; 0,6- для складских помещений и электростанций, состоящих из большого числа отдельных помещений.

При расчете групповой сети и всех звеньев аварийного освещения  $k_c$  принимается равным 1

Расчетная нагрузка применяется в основном для выбора коммутирующего аппарата и проводов или кабеля, питающих магистральный осветительный щиток.

#### **4.2.2. Требования, предъявляемые к осветительным сетям**

К расчету осветительных сетей предъявляются следующие требования.

1. Выбранные сечения проводов должны обеспечивать требуемые напряжения источников света. Снижение напряжения по отношению к номинальному не должно у наиболее удаленных ламп превышать следующих значений:

2,5% - у ламп рабочего освещения промышленных и общественных зданий, прожекторного освещения наружных установок;

5% - у ламп рабочего освещения жилых зданий, наружного освещения, выполненного светильниками, и аварийного освещения;

10% - у ламп 12-36 В.

2. Токовые нагрузки на отдельные провода не должны превышать допустимые значения, для выбранного сечения и материала.

4. Выбранные сечения проводов должны обеспечить механическую прочность при их монтаже и эксплуатации.

В зданиях следует применять кабели и провода с медными жилами. До 2001 г. допускались алюминиевые провода.

В жилых зданиях сечение медных проводников должны соответствовать расчетным значениям но не менее:

- линии групповых сетей  $1,5 \text{ мм}^2$  ;
- линии от этажных до квартирных щитков  $2,5 \text{ мм}^2$ ;
- линии распределительной сети (стояки)  $4 \text{ мм}^2$ .

Запрещается прокладка от этажного щитка в общей трубе, коробе или канале проводов и кабелей , питающих разные квартиры.

Не допускается объединение нулевых рабочих и защитных проводников различных групп.

Во всех зданиях линии групповой сети, прокладываемые от этажных и квартирных щитков до светильников общего освещения, штепсельных розеток и стационарных электроприемников, должны выполняться трехпроводными (фазный –L, нулевой рабочий –N, и нулевой защитный РЕ).

Питающие и распределительные сети, как правило, выполняются проводами и кабелями с алюминиевыми жилами, если их сечение равно  $16 \text{ мм}^2$  и более

### ***Групповая сеть.***

Линии групповой сети внутреннего освещения должны быть защищены предохранителями или автоматическими выключателями.

Каждая групповая линия, как правило, должна содержать на фазу не более 20 ламп накаливания, ДРЛ, ДРИ и т. д., в это число включаются и розетки. В производственных, общественных зданиях на однофазные группы освещения лестниц, чердаков, коридоров допускается присоединять до 60 ламп накаливания мощностью до 60 Вт.

В групповых линиях, питающих лампы мощностью 10 кВт и более, каждая лампа должна иметь самостоятельный аппарат защиты.

В начале каждой групповой линии, в том числе питаемой о шинопроводов, должны быть установлены аппараты защиты на всех фазных проводах. Установка аппаратов защиты в нулевых защитных проводниках запрещается.

Рабочие нулевые проводники групповых линий должны

прокладываться при применении металлических труб совместно с фазными проводниками в одной трубе, а при прокладке кабелями или многожильными проводами должны быть заключены в общую оболочку с фазными проводами.

Совместная прокладка проводов и кабелей групповых линий рабочего освещения с групповыми линиями освещения безопасности и эвакуационного освещения не рекомендуется.

## Лекция 8

### 4.2.3. Расчет осветительной сети по потере напряжения

Расчет сети на потерю напряжения является основным.

Допустимая величина потерь напряжения в сети определяется из выражения

$$\Delta U_{\text{д}} = U_{\text{х.х}} - \Delta U_{\text{т}} - U_{\text{мин}}, \quad (4.2)$$

где  $\Delta U_{\text{д}}$  - допустимая величина потерь в сети;  $U_{\text{х.х}}$  - номинальное напряжение холостого хода трансформатора;  $\Delta U_{\text{т}}$  - потери напряжения в трансформаторе под нагрузкой;  $U_{\text{мин}}$  - допускаемое минимальное напряжение у удаленных ламп, все значения указаны в %.

Потеря напряжения в трансформаторе зависит от его мощности, загрузки и характера нагрузки:

$$\Delta U_{\text{т}} = \beta (U_{\text{а.т}} \cos \varphi + U_{\text{р.т}} \sin \varphi), \quad (4.3)$$

где  $\beta$  - коэффициент загрузки трансформатора;  $U_{\text{а.т}}$  и  $U_{\text{р.т}}$  - активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания трансформатора;  $\cos \varphi$  - коэффициент мощности трансформатора.

Значения  $U_{\text{а.т}}$  и  $U_{\text{р.т}}$  определяются следующими выражениями:

$$U_{\text{а.т}} = 100 P_{\text{к}} / P_{\text{н}}; \quad U_{\text{р.т}} = \sqrt{U_{\text{к}}^2 - U_{\text{а.т}}^2}, \quad (4.4)$$

где  $P_{\text{к}}$  - потери короткого замыкания;  $P_{\text{н}}$  - номинальная мощность трансформатора;  $U_{\text{к}}$  - напряжение короткого замыкания, %, значения  $U_{\text{к}}$  и  $P_{\text{н}}$  приводятся в паспортных данных трансформатора.

Напряжение холостого хода силовых трансформаторов, как правило, завышается, но не более 5%. Это ограничение накладывают источники света на напряжение на которых не должно превышать 5% от номинального.

Для определения потерь напряжения осветительная сеть разбивается на участки, рассчитываются потери напряжения на них, которые затем суммируются.

В общем виде потери напряжения в сети определяются по формуле

$$\Delta U = I(R \cos \varphi + X \sin \varphi), \quad (4.5)$$

где  $I$  - расчетный ток линии;  $R$ ,  $X$  - активное и индуктивное сопротивления линии.

Активное сопротивление определяется так:

$$R = \frac{\rho L}{s \cdot 10^6} \text{ или } R = \frac{L}{\gamma s \cdot 10^6}, \quad (4.6)$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление проводника, Ом·м;  $\gamma$  - удельная проводимость проводника ( $1/\rho$ ), См/м;  $s$  - сечение проводника;  $L$  - длина линии, для алюминиевых проводников  $\rho = 33 \cdot 10^{-9}$  Ом·м;  $\gamma = 30,5 \cdot 10^6$  См/м; для медных проводников  $\rho = 20 \cdot 10^{-9}$  Ом·м,  $\gamma = 50 \cdot 10^6$  См/м.

Если выразить  $\Delta U$  в процентах от номинального напряжения, а ток нагрузки через мощность в кВт, то для двухпроводной сети

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 10^{11}}{\gamma s U_n^2} M, \quad (4.7)$$

Для трехфазной с нулем и без нуля

$$\Delta U = \frac{10^{11}}{\gamma s U_n^2} M, \quad (4.8)$$

где  $M$  - момент нагрузки, равный произведению нагрузки  $P$ , кВт, на длину линии  $L$ , м.

При заданном номинальном напряжении, системе сети и материале проводников формулы упрощаются и принимают вид

$$\Delta U = \frac{M}{C \cdot s}, \quad (4.9)$$

где  $C$  - коэффициент, значение которого приведено в табл. 4.1

**Таблица 4.1**

### Значения коэффициента $C$

Система сети	Значение $C$ для проводников	
	медных	алюминиевых
Трёхфазная с нулем	72	44
Трёхфазная без нуля	72	44
Двухфазная с нулем	32	19,6
Однофазная	12	7,4
Двухфазная без нуля	36	22

В практических расчетах следует пользоваться таблицами моментов (табл. 4.2, 4.3, 4.4), позволяющими сразу находить сечение проводов участка линии для заданного момента и  $\Delta U$ . При этом предварительно сеть разбивается на участки, и для каждого участка назначается потеря напряжения  $\Delta U$  с таким расчетом, чтобы сумма падений напряжения не



превышала допустимую для всей сети.

При расчете сети с газоразрядными лампами необходимо учитывать коэффициент мощности  $\cos\varphi$ . В настоящее время светотехническая промышленность поставляет комплектно с конденсаторами только люминесцентные светильники, поэтому в сетях для их питания коэффициент мощности можно не учитывать.

#### 4.2.4. Расчет электрической сети по условиям минимума расхода проводникового материала

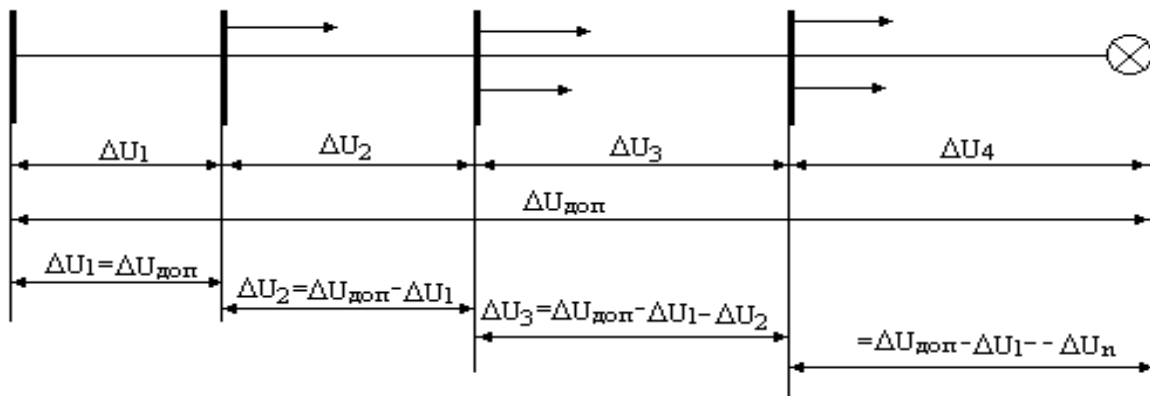
При расчете разветвленной питающей сети распределение  $\Delta U$  между участками сети следует производить по условиям общего минимума расхода проводникового металла.

Сечение каждого участка сети определяется по  $\Delta U$ , располагаемой от начала данного участка до конца сети, и приведенному моменту  $M_n$ , определяемому по формуле

$$M_n = \Sigma M + \alpha \Sigma m, \quad (4.10)$$

где  $\Sigma M$  - сумма моментов данного и всех последующих по направлению тока участков с тем же числом проводов в линии, что и на данном участке;  $\Sigma m$  - сумма моментов питаемых через данный участок линий с иным числом проводов, чем на данном участке,  $\alpha$  - коэффициент приведения моментов (см. табл. 4.2).

Вся сеть разбивается на участки (рис.4.3), где происходят разветвления сети или изменение схем питания (трехфазное, однофазное и т.д.). На практике это участки от одного распределительного щитка к другому.



Р и с.4.3. Разбиение сети на участки

При определении сечения первого участка по формуле (4.10) предполагается, что все допустимое падение напряжения произойдет на этом участке с учетом того, что сюда войдут потери напряжения всей

оставшейся части сети.

Таблица 4.2.

**Коэффициенты приведения моментов  $\alpha$**

Линия	Ответвление	Значение
Трехфазная с нулем $s_o=0,6s_{\phi}$ ( $s_o=0,5s_{\phi}$ )	Однофазное	1,83(1,85)
	Двухфазное с нулем	1,37(1,39)
Трехфазная с нулем $s_o=s_{\phi}$	Однофазное	1,73
	Двухфазное с нулем	1,3
Двухфазная с нулем	Однофазное	1,33
Трехфазная без нуля	Двухпроводное	1,15

Сначала рассчитывается приведенный момент для этого участка сети. Затем по реальному моменту [1] определяется реальное падение напряжения на этом же участке  $\Delta U_1$ . Оно будет значительно меньше допустимого. Оставшаяся часть напряжения  $\Delta U = \Delta U_{доп} - \Delta U_1$  вновь считается как падение напряжения, но на втором участке и по приведенному моменту уже для этого участка определяется сечение провода. Затем определяется реальное сечение для реального момента и реальное падение напряжения и т. д.

**4.2.5. Выбор и проверка сечений проводников по нагреву**

Выбранные провода необходимо проверить по нагреву. Нагрев проводов вызывается прохождением по ним тока  $I$ , величина которого определяется следующими формулами:

для трехфазной сети с нулем и без нуля

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U_{л} \cos \phi} ; \tag{4.11}$$

для двухпроводной сети, где один провод - нуль,

$$I = \frac{P}{U_{\phi} \cos \phi} , \tag{4.12}$$

где  $P$  - активная нагрузка, передаваемая данными проводниками,  $U_{л}$   $U_{\phi}$  - линейное и фазное напряжение сети.

Значения длительно допустимого тока для проводов и кабелей приводится в справочной литературе.

## Лекция 9

### 4.2.6. Выбор проводов по механической прочности

Этот выбор обусловлен монтажом и прокладкой электрических сетей, при малом сечении проводников происходит обрыв, возникают сложности их крепления к коммутирующим аппаратам и т. д. Поэтому минимальные сечения проводников нормируются.

По условиям механической прочности при прокладке проводов выбираются алюминиевые провода сечением не менее  $2,5\text{мм}^2$ , а медные - не менее  $1\text{мм}^2$ .

Для различных условий прокладки минимальные сечения приводятся в табл. 4.5.

Если при расчете сечения проводников, особенно при малых токах и небольших расстояниях, оказываются меньше, чем по условиям механической прочности, то их выбирают по механической прочности для данного способа и условий прокладки.

Таблица 4.5

Минимальные сечения проводников по механической прочности

Проводники	Минимальное сечение проводников, $\text{мм}^2$	
	медные	алюминиевые
Провода для зарядки светильников: общего освещения внутри здания вне здания подвесных местного освещения	0,5 1 0,75	- - -
Кабели, защищенные и изолированные провода для неподвижных прокладок на роликах, скобах и в трубах	1	2,5
Незащищенные изолированные провода внутри помещений при прокладке: на изоляторах по стенам и потолкам на изоляторах в виде перекидок между фермами или колоннами при	1,5	4

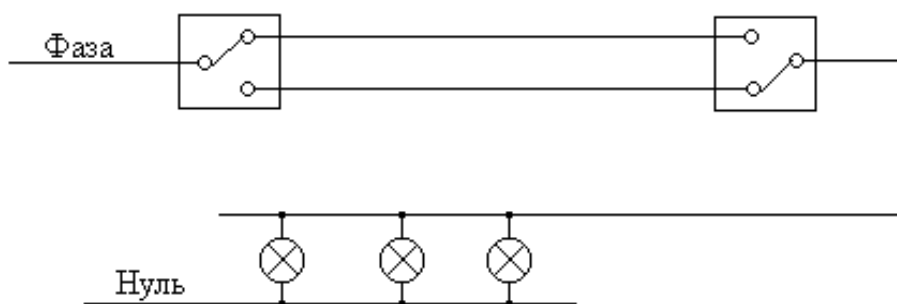
расстоянии между опорами, м:	2,5	4
менее 6	4	10
менее 12	6	16
более 12		
Голые провода в зданиях	2,5	-

## 6. Управление освещением

Управление электрическим освещением обеспечивает желательную освещенность в любое время при минимальном потреблении энергии. Опыт применения систем управления показал, что можно уменьшить полный расход энергии на освещения более чем на 70%.

Управление освещением небольших помещений производится выключателями располагаемыми у входа, как правило, со стороны дверной ручки; для эпизодически посещаемых помещений (вент.камер, кладовые и т.д.) – вне помещений, в остальных случаях в помещениях.

При числе светильников в помещения более одного рекомендуется установка не менее двух выключателей. Для протяженных помещений с несколькими входами, не используемых как постоянные проходы (кабельные галереи, туннели и т.д.), управление освещением рекомендуется осуществлять со всех возможных входов по так называемой «коридорной» схеме, изображенной на рисунке.



Аппараты управления обычно устанавливаются на всех фазных проводах и на обоих проводах сети постоянного тока.

Защитные и отключающие аппараты не устанавливаются в нулевых проводах, кроме нулевых проводников двухпроводных линий во взрывоопасных помещениях.

Аппараты управления должны устанавливаться на вводах:

- во все здания и сооружения – при питании нагрузок на ток более 20 А от отдельно стоящих подстанций;

- в торговые, коммунальные помещения и другие обособленные в

административно-хозяйственном отношении потребители,

-в пожароопасные склады.

### **6.1 Электробезопасность и защита в осветительных установках**

Электробезопасность - система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от опасного воздействия электрического тока.

Для защиты людей от поражения электрическим током при непреднамеренном контакте с находящимися под напряжением проводящими частями электроустановки и для предотвращения возгораний, возникающих вследствие протекания токов утечки и замыканий на землю, или развивающихся из них токов короткого замыкания в настоящее время применяют устройства защитного отключения (УЗО).

В России обязательное применение УЗО регламентируется целым рядом нормативных документов в том числе и для установки их в административных, жилых и бытовых зданиях

Так как выбор средств защиты в значительной степени зависит от системы заземления сети то наряду с внедрением УЗО широкое распространение получили новые схемы соединения электроустановок с землей.

Схема соединения с землей это стандартный термин, характеризующий метод заземления токоведущих проводов низковольтной электроустановки, а также корпусов потребителей. Способ соединения с землей токоведущих проводов называется режимом нейтрали. В электроустановке здания он может быть реализован тремя различными путями. Напротив корпуса в конечном счете всегда присоединены к земле здания, где они установлены, либо напрямую, либо через нулевой провод.

До настоящего времени подавляющее большинство электрических схем в России это схема с глухозаземленной нейтралью но за рубежом от этой схемы постепенно отказываются.

По международной классификации система обозначается двумя буквами первая из которых указывает режим работы нейтрали источника питания, вторая – металлических корпусов электрооборудования. В обозначениях используются начальные буквы французских слов: T (terre – земля) –заземлено; N (neuter – нейтраль) –присоединение к нейтрали источника (занулено); I (isole)-изолировано.

Предусмотрено три системы заземления сетей (см. рис. 6.1):

а) TT - нейтраль источника и корпуса электроприемников заземлены рис.6.1(а);

б) TN – нейтраль источника заземлена а корпуса электроприемников занулены рис.6.1(б);

в) IT - нейтраль источника изолирован а корпуса электроприемников заземлены рис.4.9(в).

Применяются и дополнительные буквы: S – функция защиты PE( нулевого рабочего провода), отдельная от нулевого защитного провода (N); C – функция защиты общая для рабочего и защитного провода (PEN) т.е. провод один.

Например, TN-S – нулевой рабочий и нулевой защитный разделены;

TN-C – нулевой рабочий и нулевой защитный совмещены;

TN-C-S – нулевые проводники на головных участках сети объединены, а начиная с какого то участка нулевой проводник разделяется на два на рабочий и нулевой защитный.

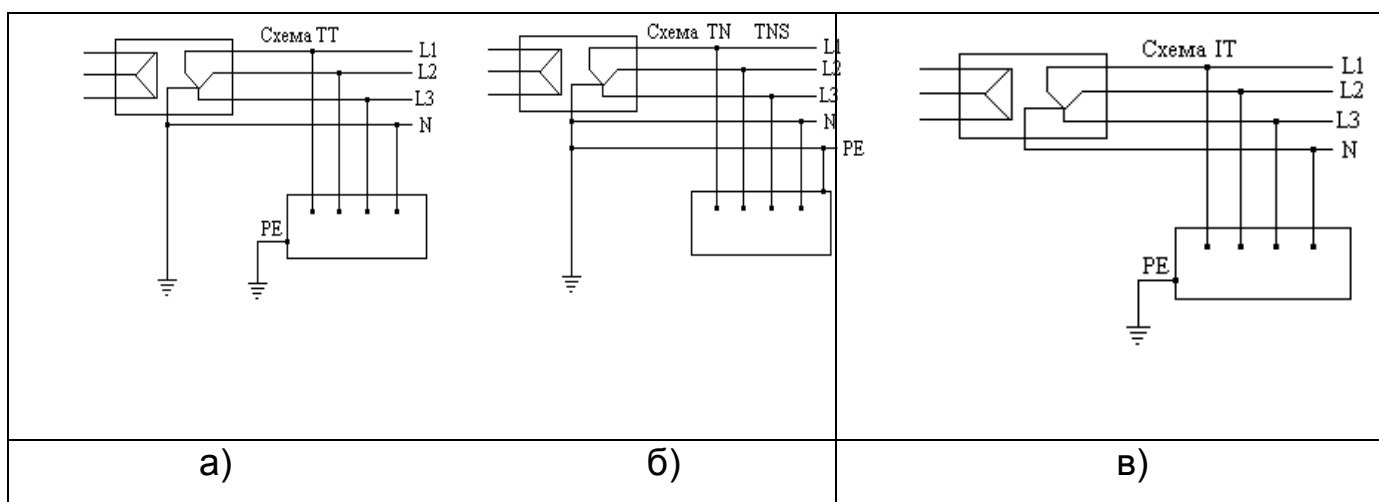


Рис.6.1 Схема заземления сетей.

## 6.2 Заземление в осветительных установках

Заземление имеет целью обеспечить безопасность человека при прикосновении его к металлическим корпусам электрооборудования, оказавшимися под напряжением.

В сетях с заземленной нейтралью до 1000 В заземление осуществляется соединением металлических частей электроустановки с нулевым проводом, что при замыкании на эти части фазного провода

создает короткое замыкание и ведет к отключению аварийного участка аппаратами защиты.

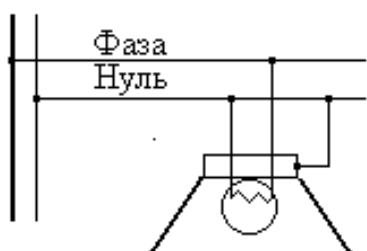
В сетях с изолированной нейтралью и в сетях с постоянным током заземление осуществляется соединением металлических частей с заземлителями с помощью заземляющих проводников, что ведет к снижению до безопасных значений величины тока, проходящего через тело человека при прикосновении его к этим частям, оказавшимися под напряжением.

Заземление необходимо во всех помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, а также в наружных установках при номинальных напряжениях сети свыше 42 В переменного и выше 110 В постоянного тока.

Во взрывоопасных установках заземление выполняется при любом напряжении в том числе и при напряжении 12 – 36 В.

Не подлежат заземлению металлические корпуса и конструкции электроустановки в помещениях без повышенной опасности, например в помещениях жилых и общественных зданий с изолирующими полами и нормальной средой.

Заземление корпуса светильника ответвлением от нулевого рабочего провода внутри светильника запрещается. Схема такого заземления представлена на рисунке.



## Лекция 10

### 7.НАРУЖНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

К наружному освещению относятся:

- освещение улиц, дорог;
- освещение туннелей;
- освещение жилых кварталов и пешеходных зон;
- освещение фасадов зданий и памятников;
- освещение спортивных сооружений.

Освещение может выполняться как светильниками, так и прожекторами. Безусловных экономических преимуществ ни одна из систем не имеет и выбор способа освещения должен основываться на технико-экономических сопоставлениях.

Решающими моментами для выбора прожекторного освещения чаще всего являются большие ( в обоих измерениях) размеры освещаемой поверхности и особенно нежелательность или невозможность установки на ней большого количества опор.

При освещении светильниками с лампами ДРЛ их следует применять, как правило, для основных дорог и проездов на заводских территориях, а также городов и поселков при норме средней освещенности 4 лк и более.

Анализ годовых затрат показывает, что при выборе источников света для прожекторов решающую роль играет ширина освещаемой площади. При ширине до 150 м оптимальны лампы ДРЛ, до 300 м - галогенные и лампы накаливания, при еще большей ширине - ксеноновые лампы.

Рассмотрим в основном вопросы освещения автодорог.

*Основные понятия.*

Наиболее важными характеристиками дорожного освещения являются:

- уровень яркости;
- равномерность освещения;
- степень ограничения ослепленности;
- спектральный состав света;

видимость дорожных указателей.

За единицу измерения яркости принята яркость такой плоской поверхности, которая в перпендикулярном направлении излучает силу света в 1 кд с площади в  $1 \text{ м}^2$ , размерность  $\text{кд}/\text{м}^2$ . Яркость является сложной функцией углов:  $\alpha$  - угол наблюдения к горизонтали,  $\beta$  - угол между плоскостью падения света и плоскостью наблюдения,  $\gamma$  - угол падения света, (рис.6.3) и коэффициента яркости дорожного покрытия  $q=L/E$ ,  $\text{кд}/\text{м}^2/\text{лк}$ .

*Уровень яркости (.L).*



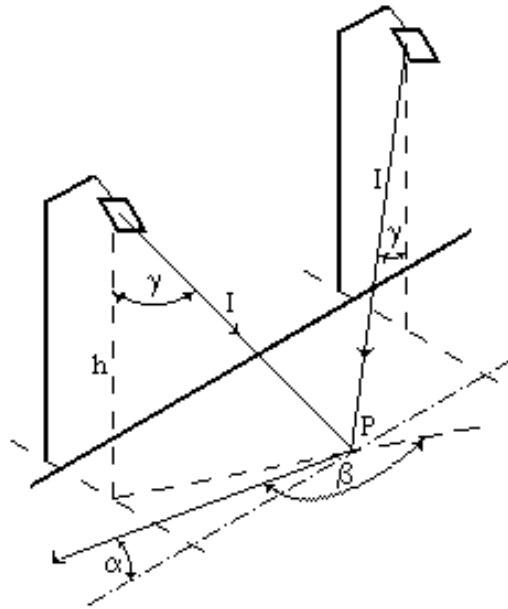


Рис. 6.3 Положение углов  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  для определения яркости в точке P.

*Уровень яркости (.L).*

Яркость в точке P определяется следующим выражением

$$L = qE = \frac{qI \cos^3 \gamma}{h^2} \quad (5-1)$$

где  $q$  - коэффициента яркости дорожного покрытия, берется из таблиц,  $\text{кд/м}^2/\text{лк}$ ,  $I$  - сила света в направлении точки P, определяется типом светильника,  $\text{кд}$ ,  $E$  - горизонтальная освещенность в точке P,  $\text{лк}$ ,  $\gamma$  - угол падения луча света в точку P,  $h$  - высота подвеса светильника.

Диапазон изменения показателя яркости лежит в пределах от 1 (невыносимо яркий свет) до 9 (незаметная ослепленность).

Рекомендуемые значения показателя лежат в пределах  $4 \div 6$ .

***Равномерность освещения.***

Отношение максимальной яркости покрытий проезжей части дорог к минимальной  $L_{max}/L_{min}$  не должно превышать 3:1 при норме средней яркости более  $0,6 \text{ кд/м}^2$  и 5:1 при средней норме менее  $0,6 \text{ кд/м}^2$ .

Отношение максимальной освещенности к средней  $E_{max}/E_{cp}$  не должно превышать 3:1 при норме средней освещенности 6 лк, 5:1 при норме средней освещенности от 4 до 6 лк, и 10:1 при норме средней освещенности менее 4 лк.

***Степень ограничения ослепленности.***

Ослепленность в основном оценивается показателем дискомфорта G, который определяется по формуле:

$$G = 13,84 - 3,3 \lg I_{80} + 1,3 (\lg I_{80} / \lg I_{88})^{1/2} - 0,08 \lg I_{80} / \lg I_{88} + 1,29 \lg F + 0,97 \lg L_{av} +$$

$$4,41lgh - 1,46lgr + c$$

где  $I_{80}$  – сила света под углом  $80^\circ$  к вертикали,

$I_{88}$  – сила света под углом  $88^\circ$  к вертикали,

$F$  – площадь светоиспускающей поверхности светильника, видимая под углом  $76^\circ$ ,

$L_{av}$  – средняя яркость дорожной поверхности,

$h$  – высота светильника,

$r$  – количество светильников на километр,

$c$  – коэффициент коррекции:  $c=0,4$  для натриевых ламп низкого давления,  $c=0$  для других ламп.

Для оценки уровня ослепленности достаточно рассмотреть вклад только тех источников, которые попадают в поле зрения под углом  $20^\circ$  относительно горизонтальной плоскости (рис.6.4).

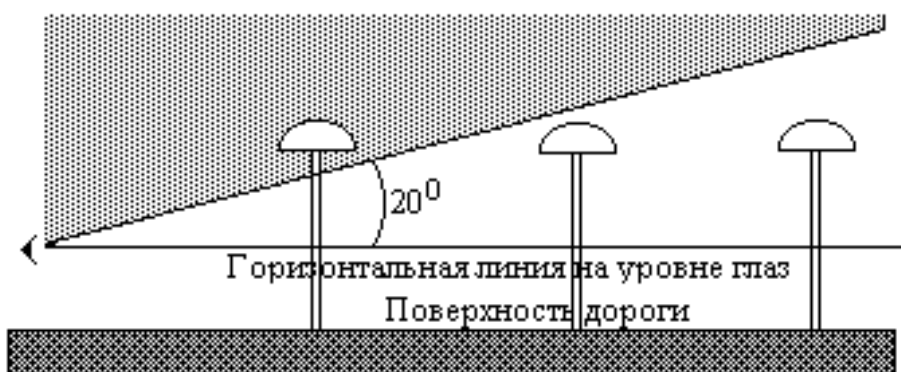


Рис. 6.4 Оценка уровня ослепленности.

Специальные требования к цветопередаче предъявляются в основном в городах и местах массового пребывания людей. Основным критерием оценки пешеходом световой среды является качество цветопередачи человеческого лица.

Шкала оценок качества цветопередачи основана в основном на субъективных оценках при сумеречных условиях наблюдения и сравнения различных источников света в установках наружного освещения.

### 7.1 Наружное освещение светильником.

Для наружного освещения целесообразно применять светильники с широким светораспределением, в большинстве случаев некруглосимметричных

Высота установки выбирается с учетом требований ограничения слепящего действия, высоты типовых опор и экономических соображений.

Обычная высота установки 6-10 м

Расстояние между светильниками выбранного типа определяется расчетом, при котором чаще всего задаются мощностью лампы и определяют пролет. Из нескольких возможных вариантов выбирается наивыгоднейший.

В установках, где нормирована средняя яркость покрытия, за основу расчета берется коэффициент использования по яркости  $\eta_L$ .

По значению определяется необходимый поток  $\Phi_1$  в люменах на квадратный метр по формуле:

$$\Phi_1 = \frac{Lk\pi}{\eta_L}, \quad (5-2)$$

где L - нормированная яркость, кд/м<sup>2</sup> ;

k - коэффициент запаса.

При известном потоке лампы и ширине дороги легко определяется расстояние между светильниками

Примерное расположение светильников для улиц и дорог приведено в таблице 5 – 1

Таблица 5-1

**Рекомендуемые способы расположения светильников для улиц и дорог**

Способ расположения светильников	Ширина проезжей части, м
На опорах с одной стороны проезжей части	12
В один ряд на тросах по оси проезжей части	18
На опорах с двух сторон в шахматном порядке	24
То же в прямоугольном порядке	48

Проверочный расчет освещенности в точке Р (рис.6.3) определяется выражением:

$$E_p = \sum_1^n \frac{I \cos^3 \gamma}{h^2} \quad (5-3)$$

где I – сила света светильника в направлении точки Р,

n – количество светильников.

**Лекция 11**

## 7.2 Наружное освещение прожекторами

Прожектор является осветительным прибором дальнего действия, предназначенным для освещения открытых пространств. Основными частями каждого прожектора являются источник света и оптическое устройство.

Принцип работы прожектора заключается в том, что световой поток, излучаемый источником света с помощью оптического устройства, перераспределяется и концентрируется в направленный пучок света.

Как правило, прожекторы устанавливаются сосредоточенными группами на мачтах, реже - поодиночке или небольшими группами на высоких зданиях.

Размещение мачт выбирается в процессе расчета, причем расстояние между мачтами лежит в пределах от 6 до 15-кратной их высоты.

К основанию мачты примыкает «мертвое пространство» ограниченное определенным радиусом и если оно попадает зону освещаемого пространства, то на мачте устанавливают дополнительные светильники.

Для расчета прожекторного освещения в основном применяют точечный метод.

Но для предварительного приближенного определения необходимой мощности прожекторной установки можно пользоваться формулой

$$\omega = mEk, \quad (5-4)$$

где  $\omega$  - Удельная мощность, Вт/м<sup>2</sup>; E - нормированная освещенность; k - коэффициент запаса; m - коэффициент, который для прожекторов с лампами накаливания можно применять в пределах 0,2 - 0,25, а с лампами ДРЛ и галогенными лампами 0,12 - 0,16.

При расчете прожекторного освещения рекомендуется пользоваться альбомами с заранее построенными изолюксами для данного типа прожектора и его характерных параметров.

## 7.3 Системы для дистанционного управления освещением

Обычно система дистанционного управления реализует следующие функции:

- контроль одной или более установок на станции дистанционного управления;
- получение информации в реальном времени;
- выполнение операций со станции дистанционного управления.

В частности, система дистанционного управления для осветительных установок позволяет:

- а) дистанционно регулировать освещение и отключать осветительные фидера;
- б) экономить энергию посредством регулирования необходимого светового потока;
- в) непрерывно проверять работу лампы для того, чтобы максимально использовать ее по времени;
- г) приспособить освещение согласно пространству и времени;
- д) распознавать типы дефектов ламп без ночных проверок;
- е) локализовать сбой стартеров, дефектных конденсаторов и других устройств;
- ж) рассчитывать время функционирования каждого осветительного поста, предварительно предупреждать о необходимости замены лампы.

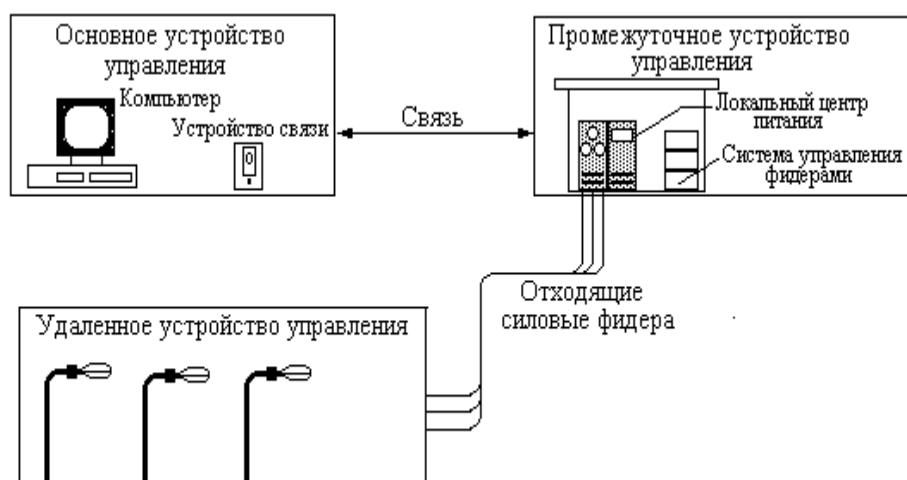
#### 7.4 Структура системы управления для осветительных

установок

Системы дистанционного управления обычно состоят из основного устройства управления, промежуточного устройства управления и устройство удаленного управления, показанного на рисунке.

*Основное устройство управления.*

Осуществляет контроль и управление целой осветительной системой. Обычно это реализуется посредством персонального компьютера с соответствующим программным обеспечением, принтера, чтобы записать события, и устройства связи, чтобы обеспечить соединение с промежуточным устройством управления.



Связь может осуществляться:

- с помощью модема и телефонной линии;

- с помощью цифрового сотового телефона;
- по радио связи с частой УКВ;
- с помощью специальной сети.

Основное устройство управления получает следующие данные о состоянии локального центра питания:

- величине напряжения;
- величине тока каждого фидера;
- позиции (открыто / закрыто) основного ключа;
- позиции (открыто / закрыто) двери центра питания (или электрического пульты);
- предупреждении о низком напряжении( менее 10% от номинального)
- предупреждении об автоматическом функционировании основного ключа;
- предупреждении об автоматическом функционировании фидерного ключа;

Основное устройство управления может осуществлять следующие операции в локальных центрах питания:

- открытие основного ключа;
- закрытие основного ключа;
- переключение на открытие каждого фидера;
- переключение на закрытие каждого фидера;

Часть функций может быть добавлена.

*Промежуточное устройство управления.*

Устройство содержит следующие компоненты.

1) Электронное устройство для управления всеми промежуточными устройствами контроля и связи с основным устройством.

2) Устройство для измерения и записи токов и напряжений, управления входными и выходными сигналами.

3) Электронное устройство для связи с удаленным устройством. Для данной связи обычно применяется волновая система передачи с основной частотой 110-125 кГц с использованием проводников питающих фидеров.

Основное устройство управления получает следующие данные о состоянии каждой осветительной точки (через промежуточное устройство):

- наличие лампочки;
- отсутствие лампочки;
- коротком замыкании лампочки;
- обрыве контура цепи лампы;
- пробое изоляции конденсатора;

неисправности конденсатора;

- коэффициенте полезного действия лампы;
- потребляемой мощности;
- времени работы лампы;
- контроле за увеличением тока (при нарушении изоляции).

Основное устройство управления может осуществлять следующие операции в каждой осветительной точке:

- включение лампы;
- отключение лампы;
- изменение реактивного сопротивления штепселя;
- отключение стартера светильника ( после одной минуты неудачных попыток).

### *Устройство удаленного управления*

Устройство реализуется на небольшой электронной плате, устанавливаемой на каждом светильнике. Эти электронные компоненты могут измерять угол сдвига фазы между током светильника и поданным напряжением.

Для того чтобы связаться с промежуточным устройством, каждое удаленное устройство имеет отличающийся от остальных электронный адрес, установленный с помощью электронного ключа.

Большинство удаленных устройств имеют небольшие размер 120x30x30 мм. Непосредственно могут включать лампы до 400 Вт, если больше то через промежуточные аппараты

. Они размещаются в защитном корпусе и устанавливаются у основания столба либо непосредственно в корпусе светильника.

## **7.5 Схемы питания ламп уличного освещения**

Лампы могут подключаться к источнику питания либо последовательно либо параллельно.

### ***1Параллельное включение.***

Эти схемы получили наибольшее распространение в настоящее время, как наиболее простые. Выход из строя лампы не влияет на работу схемы. Система проста в эксплуатации. Для поддержания заданного светового потока в схемы питания встраивают стабилизаторы напряжения. (Рис.6.5).

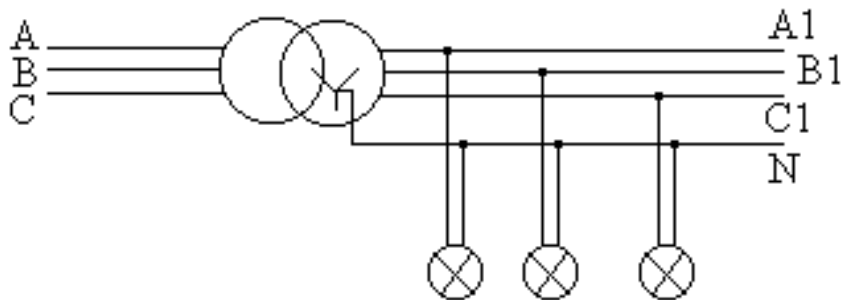


Рис.6.5 Схема параллельного включения.

## **2.Последовательное включение.**

Эти схемы более сложные и требуют дополнительное оборудование. Схемы питаются повышенным напряжением 3 – 6 кВ.(Рис.6.6)

Сложность заключается в том что при перегорании лампы обрывается цепь питания всех ламп.

Для устранения этого недостатка параллельно лампам включаются предохранители напряжения.

Цель предохранителей – создать короткое замыкание лампы при ее выходе из строя, чтобы обеспечить непрерывность контура электрической цепи.

Предохранители состоят из двух небольших металлических пластин, изолированных между собой слоем окиси меди.

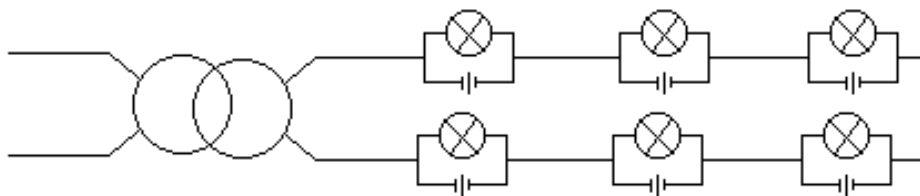


Рис.6.6 Схема последовательного включения.

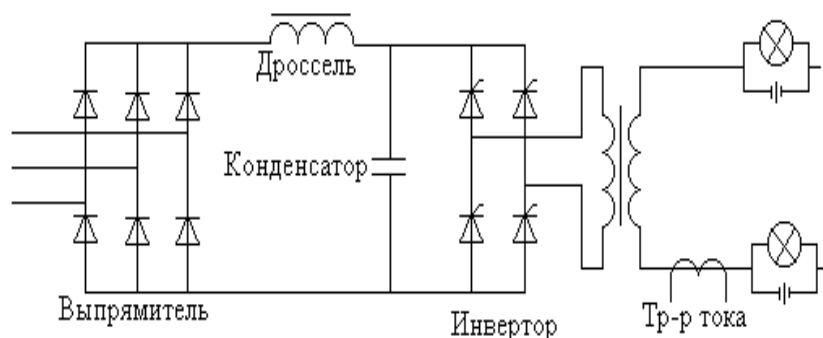
Если напряжение, приложенное к металлическим пластинам становится выше, чем напряжение пробоя изоляции между пластинами то происходит пробой и закорачивание пластин.

Предохранители легко выдерживают напряжение приложенное к лампе но при перегорании лампы все напряжение источника прикладывается к пластинам и происходит пробой.

Но при выходе лампы или ламп меняется общее сопротивление цепи и увеличивается ток через лампы, а это может привести к лавинному перегоранию всех ламп. Поэтому в таких схемах применяются регуляторы тока, схема которого представлена на рисунке.

## **Электронные регуляторы тока.**





Номинальная мощность регуляторов может быть от 10 до 80 кВА, номинальный ток 9,6 или 20 А, выходной ток синусоидальный с искажением гармоник менее 5%. Регулятор поддерживает ток с отклонением менее 1%.

Для улучшения зажигания дуг в лампах при включении регулятор обеспечивает питание ламп частотой тока до 400 Гц (или несколько КГц) с длительностью времени 0,3 с. Регулятор линейно увеличивает ток от нуля до номинального значения, для уменьшения механических напряжений в лампах, при температурных изменениях.

Ночью световой поток может регулироваться и уменьшаться непрерывно вплоть до минимальной величины тока, не позволяющей

В табл.7.6 представлено техническое сравнение между двумя схемами питания.

Таблица 7.6

**Техническое сравнение между двумя схемами питания**

Параметр	Сеть с постоянным током	Сеть с постоянным напряжением
Излучаемый световой поток	Световой поток является следствием протекания тока в лампе, таким образом осветительная установка позволяет иметь все лампы с одинаковым излучаемым световым потоком	Излучаемый световой поток от ламп зависит от падения напряжения вдоль электрической линии. Лампы, расположенные далеко от места подключения к источнику, имеют меньший световой поток
Длина цепи	Длина цепи может быть очень большой, Она зависит от допустимых потерь в сети и номинального напряжения пробоя изоляции.	Максимальная длина линии зависит от падения напряжения вдоль линии.
Замыкание на землю	Осветительная установка продолжает работать нормально, а	Осветительная установка отключается.

	контакт с землей отмечается с помощью системы контроля за изоляцией.	
Короткое замыкание	Оно соответствует уменьшению нагрузки. Лампы после выхода из строя выключаются. Регулятор обеспечивает работу оставшихся ламп	Осветительная установка отключается
Атмосферные перенапряжения	Проблемы отсутствуют.	Дифференциальный ключ-устройство отключает всю осветительную установку.
Колебание напряжения сети	Регулятор тока уменьшает их почти полностью, а наличие конденсатора уменьшает чувствительность к пульсациям напряжения.	В любом случае цепь чувствительна к снижению напряжения. Но его можно избежать установкой стабилизатора напряжения.
Экономия электроэнергии	Она может быть получена с помощью запланированного уменьшения тока. Все лампы будут при этом иметь одинаковую яркость	Она может быть получена с помощью системы уменьшения напряжения. Но лампы, далеко расположенные от места подключения к источнику могут быть менее яркими или совсем отключатся.

## 8. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Для промышленно развитых стран расходы электроэнергии на нужды освещения составляют до 20% от общего объема вырабатываемой электроэнергии.

Для западных стран стоимость потребленной электроэнергии существенно превосходит стоимость светотехнического оборудования, поэтому экономии электроэнергии уделяется большое внимание.

В России наоборот стоимость электроэнергии значительно ниже стоимости оборудования поэтому как бы экономия не очень важна. Но это явление временное так как цены на энергоносители, не отражающие их реальной стоимости, еще под контролем государства.

Экономические расчеты показывают, что затраты на освещение можно снизить на 30%.

## Составные части экономического расчета

Для каждой модификации светотехнического оборудования рассчитываются капитальные и эксплуатационные расходы, которые затем суммируются. Далее, для каждого варианта осветительного устройства рассчитываются:

- годовое потребление электроэнергии;
- полная стоимость жизненного цикла вплоть до утилизации;
- приведенные затраты на обслуживание;
- стоимость сэкономленной энергии;
- срок окупаемости.

Как показывают опросы участников рынка срок окупаемости новых высокоэффективных светильников необходимо снизить до 5-6 лет вместо существующих 7-9 лет.

В основе экономических расчетов лежит уравнение, позволяющее рассчитывать потребление электроэнергии за год.

$$EC = 0,001PtA,$$

где EC – потребление энергии, кВтч/год; P – потребляемая мощность на освещение одного квадратного метра, Вт/м<sup>2</sup>; t – время работы, ч/год; A – освещаемая площадь, м<sup>2</sup>.

Годовые финансовые расходы M,

$$M = EC * T,$$

где T – тариф на электроэнергию за 1 кВтч.

Экономия электроэнергии ES можно оценить как,

$$ES = EC_B - EC_R$$

где EC<sub>B</sub> – базовый вариант, EC<sub>R</sub> – вариант после реализации мер по энергосбережению.

Мероприятия по энергосбережению в осветительных системах делятся на технические и организационные.

*Основными техническими мероприятиями являются:*

Повышение светоотдачи светильников,

Повышение качества электроэнергии питающей сети.

Равномерная нагрузка фаз питающей сети.

Увеличение срока безотказной работы.

Использование электронных систем зажигания электронных ламп.

Использование светодиодов и световодов для целей освещения.

Использование новых конструкций ламп. В настоящее время разрабатываются безэлектродные лампы СВЧ, в которых вместо излучающего вещества – ртути, используется сера. Ожидаемая экономия

энергии в период эксплуатации и утилизации составит до 50% по сравнению с ртутными лампами.

*Основными организационными мероприятиями являются:*

Нормирование параметров освещенности с учетом исследований человеческого зрения. Так в настоящее время в офисах и других помещениях размещается значительное количество персональных компьютеров. Освещенность создаваемая мониторами, зависит от наружного освещения и должна быть тесно связана с ним, иначе могут появляться блики и другие неприятные для человеческого глаза ощущения.

Поощрения, санкции и экономическое стимулирование производителей и заказчиков энергосберегающих источников света.

Рациональное размещение источников света.

Применение гибких систем освещения в зависимости от сезона и времени суток.

Текущие и профилактические осмотры и мероприятия.

Применение естественного освещения. В настоящее время проводятся исследования новейших технических систем с целью максимального использования дневного света. Выявлено, что возможность экономии для типового административного здания составляет до 50%.

Новые исследования зрения человека. Фундаментальные исследования показали, что при использовании источников света с повышенной синей составляющей в спектре излучения можно экономить световую энергию за счет повышения зрительного ощущения зрачка глаза. Данные исследования могут привести к изменению рекомендаций по требуемым уровням освещенности.

## РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Методы расчета:

- метод удельной мощности
- метод коэффициента использования
- точечный метод

### Метод удельной мощности

Удельная мощность:  $p_{y\partial} = \frac{nP_l}{S}$ ,

где  $p_{y\partial}$  – удельная мощность

$n$  – число ламп

$P_l$  – мощность одной лампы

$S$  – площадь помещения

Область применения:

- общее равномерное освещение;
- проверочные расчеты.

Порядок расчета:

- выбирают тип светильника;
- намечают высоту его подвеса и наивыгоднейшее число светильников;
- находят по соответствующим таблицам удельную мощность  $p_{y\partial}$ ;
- определяют установленную мощность ламп по формуле  $P_y = p_{y\partial}S$ ;
- определяют мощность одной лампы  $P_l = \frac{P_y}{n}$ .

### Метод коэффициента использования

Коэффициент использования – отношение светового потока, подающего на поверхность, к суммарному световому потоку всех источников света

$$\eta = \frac{\Phi_p}{n\Phi_l}, \quad \eta \leq 1, \quad \text{т.к. } \Phi_p < n\Phi_l, \quad \eta = \eta_c \eta_{II},$$

где  $\eta_c$  – КПД светильника;

$\eta_{II}$  – коэффициент использования помещения,

$$i = \frac{ab}{H_p(a+b)},$$

где  $a$  и  $b$  – длина и ширина помещения.

Средняя освещенность поверхности:

$$E_{cp} = \frac{\Phi_p}{S} = \frac{\eta n \Phi_l}{S},$$

Поправочный коэффициент:

$$z = \frac{E_{cp}}{E_{\min}},$$

для ЛН и ДРЛ – 1,15

ЛЛ – 1,1

Коэффициент запаса  $k_3$ :

- для компенсации снижения освещенности с течением времени;

– равен 1,3-2,0 в зависимости от среды в помещении.

Минимальная освещенность поверхности:

$$E_{\min} = \frac{n \cdot \Phi \cdot \eta}{S \cdot z \cdot k_3},$$

Световой поток лампы:

$$\Phi_{л} = \frac{E_{\min} \cdot S \cdot z \cdot k_3}{n \cdot \eta}$$

Область применения:

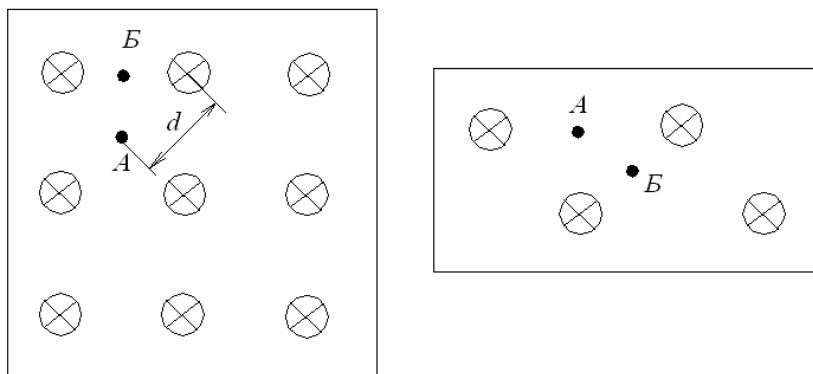
– общее равномерное освещение.

Порядок расчета:

- выбирают тип светильника;
- намечают высоту его подвеса и наивыгоднейшее число светильников;
- устанавливают минимальный нормируемый уровень освещенности;
- определяют коэффициент использования;
- определяют по справочным данным значения поправочного коэффициента и коэффициента запаса;
- рассчитывается световой поток лампы;
- по расчетному потоку подбирается ближайшая стандартная лампа, поток которой не должен отличаться от требуемого расчетом более, чем на -10 и +20%;

### Точечный метод

Расчет ведется для наименее освещенной точки в пределах поверхности. Контрольные (характерные точки):



Световой поток лампы:

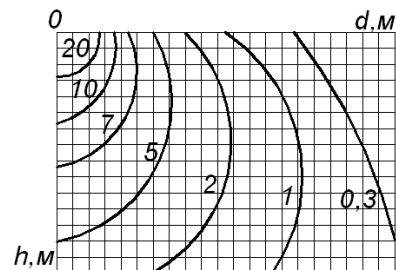
$$\Phi_{л} = \frac{1000 \cdot E_{\min} \cdot k_3}{\mu \cdot \Sigma e},$$

Коэффициент дополнительной освещенности  $\mu$  учитывает отраженный световой поток:

- 1,0 – для темных поверхностей;
- 1,2 – для светлых поверхностей.

Условная освещенность  $e$ :

- освещенность, рассчитанная при условном потоке 1000 лм;
- определяют по графикам пространственных изолюкс
- определяется в зависимости от расстояния  $d$  и высоты подвеса светильника  $h_n$ .



Порядок расчета:

- выбирают тип светильника;
- намечают высоту его подвеса и наивыгоднейшее число светильников;
- устанавливают минимальный нормируемый уровень освещенности;
- определяют значения коэффициента дополнительной освещенности и коэффициента запаса;
- определяют, измерив по плану, расстояния  $d$  от заданной точки до проекции каждого из ближайших светильников.

Порядок расчета:

- находят по графикам пространственных изолюкс значения условной освещенности  $e$ , суммируя их, получают  $\Sigma e$ ;
- рассчитывается световой поток лампы;
- по расчетному потоку подбирается ближайшая стандартная лампа.

Область применения:

- общее локализованное освещение.

## Напряжение осветительных сетей

Общее освещение:

- 380/220 В переменного тока – при заземленной нейтрали;
- 220 В – при изолированной нейтрали.

Местное освещение:

- без повышенной опасности не выше 220 В;
- с повышенной опасностью не выше 50 В.

Ручные переносные светильники:

- с повышенной опасностью не выше 50 В;
- в особо неблагоприятных условиях не выше 12 В.

## Источники питания

Принципы выполнения:

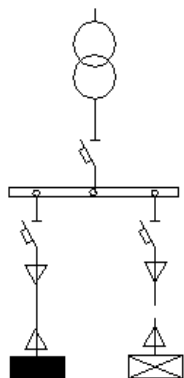
- отдельное выполнение силовых и осветительных сетей;
- питание от общих трансформаторов (типовая схема питания).
- питание от отдельных трансформаторов (для обеспечения требуемого качества напряжения при напряжении силовых сетей 660/380 В)

## Варианты питания рабочего и аварийного освещения

Питание от одной секции РУ:

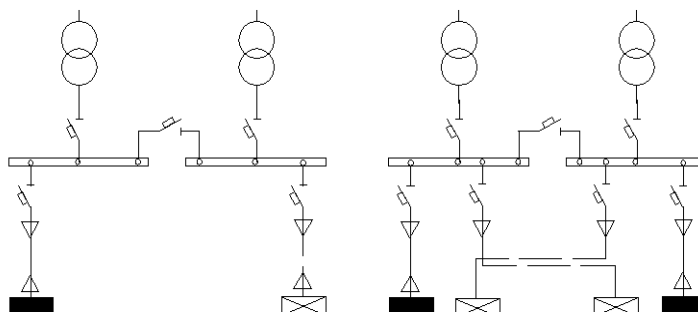
- эвакуационное освещение в помещениях с естественным светом

Сети аварийного и общего освещения выполняются отдельно!

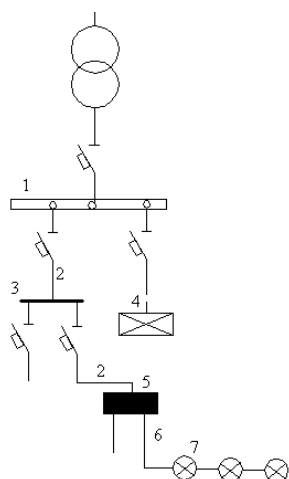


Питание от разных секций РУ (независимые источники):

- аварийное освещение безопасности;
- эвакуационное освещение в помещениях без естественного света.



### Структура осветительной сети



1. РУ ТП;
2. Питающая сеть;
3. Магистральный щиток;
4. Щиток аварийного освещения;
5. Групповой щиток (щиток рабочего освещения);
6. Групповая сеть;
7. Источники света.

### Структура осветительной сети

Питающая сеть:

- линии от ТП или других точек питания до групповых щитков.

Групповая сеть:

- линии от групповых щитков до светильников.

Магистральный щит:

- распределение эл/энергии между групповыми щитками;
- обеспечение гибкости сети;
- уменьшение стоимости РУ.

Групповые щитки:

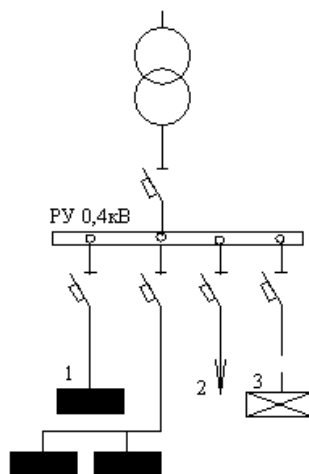


- назначение;
  - питание осветительных приборов;
  - размещение аппаратов защиты и управления;
- размещение в помещении;
  - в центре нагрузки для уменьшения протяженности групповой сети;
  - в местах, легкодоступных для обслуживающего персонала.

### Схемы осветительных сетей. Питающие сети

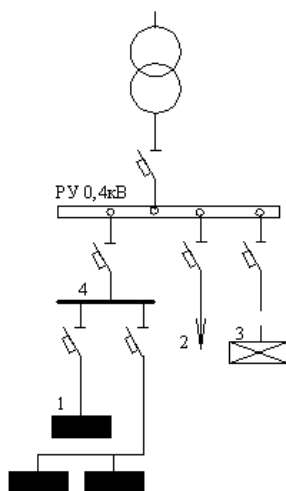
#### Принципы выполнения

- использование радиальных и магистральных схем
- учет компоновки помещения
- учет требований по надежности питания, качеству напряжения и удобству эксплуатации



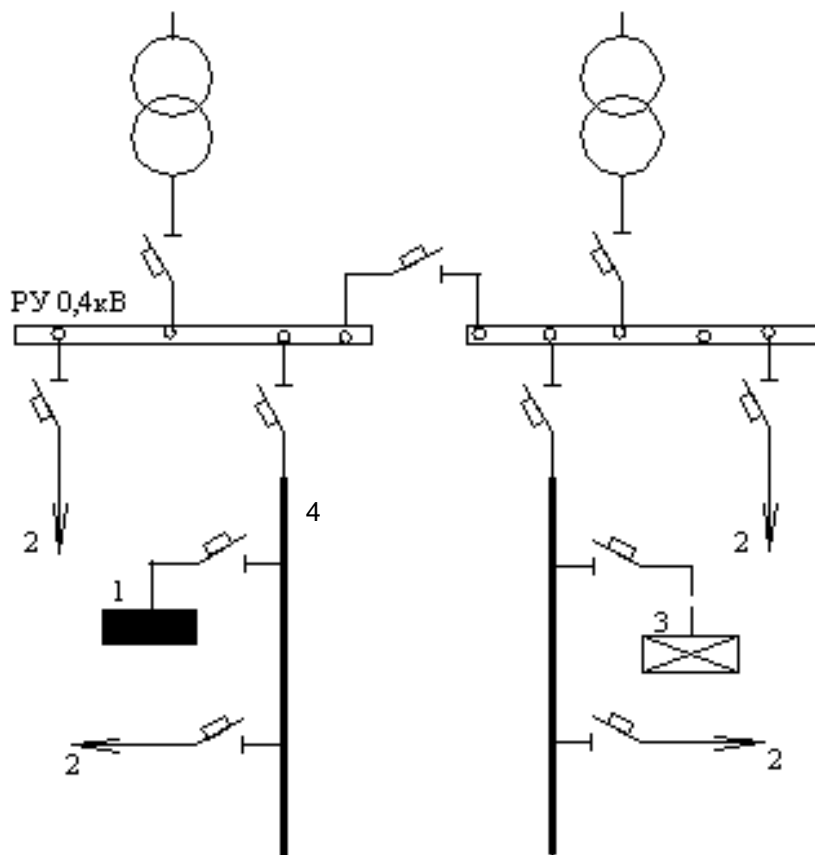
Питание от РУ подстанции:

1. Групповой щиток;
2. Силовые ЭП;
3. Щиток аварийного освещения.



Питание через магистральный щиток:

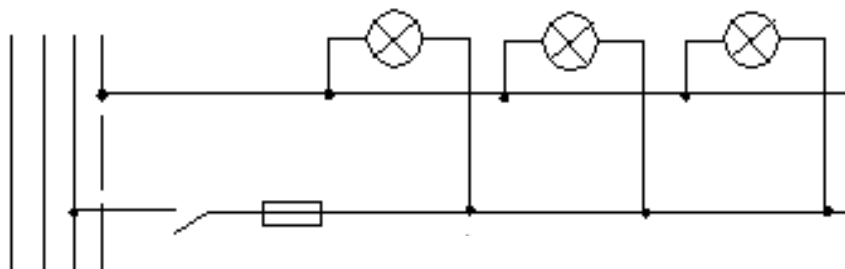
1. Групповой щиток;
2. Силовые ЭП;
3. Щиток аварийного освещения;
4. Магистральный щит



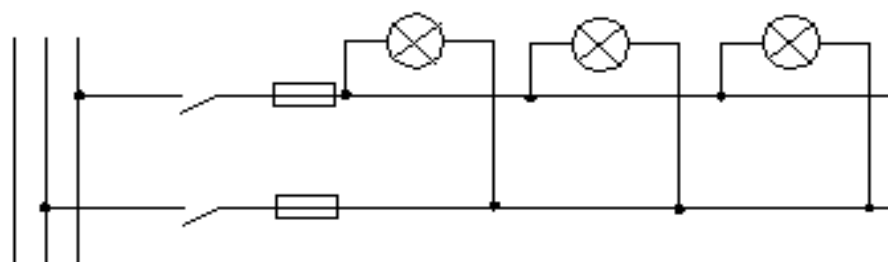
Питание при схеме блок трансформатор-магистраль:

1. Групповой щиток;
2. Силовые ЭП;
3. Щиток аварийного освещения;
4. Шинные магистрали.

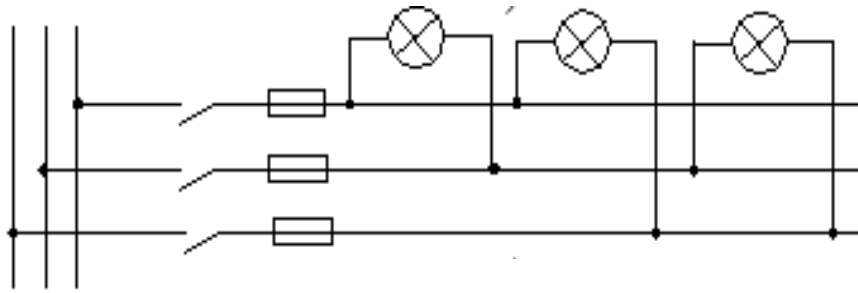
### Групповые сети



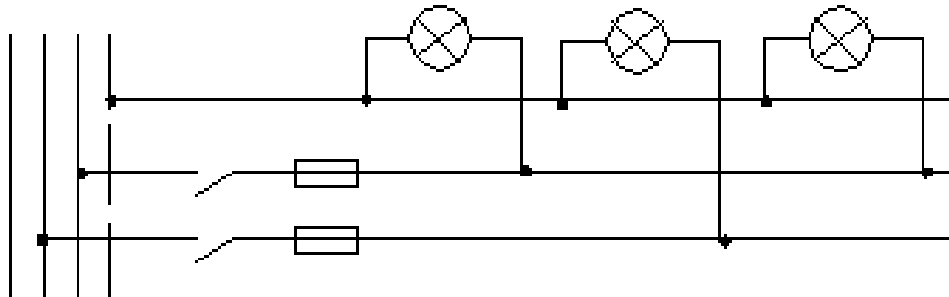
Двухпроводная однофазная.



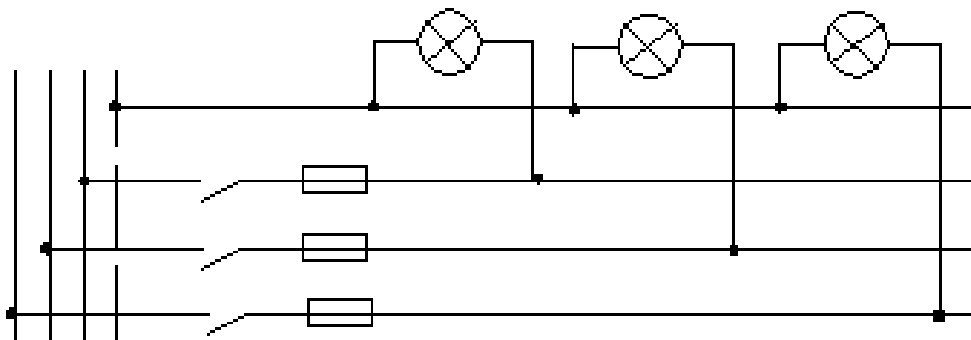
Двухпроводная двухфазная



Трехпроводная трехфазная



Трехпроводная двухфазная с нулевым проводом



Четырехпроводная трехфазная с нулевым проводом

### Особенности групповых сетей

Распределение светильников по группам:

- не более 20 для ламп накаливания, ДРЛ, ДНаТ, ДРИ;
- 60-100 для люминесцентных ламп.

Распределение светильников по фазам:

- А-В-С-А-В-С (наиболее распространенная схема);
- А-В-С-С-В-А;
- А-А-В-В-С-С.

### Материал проводников

Медь:

- меньшее удельное сопротивление;
- высокая механическая прочность;
- лучшая стойкость к воздействиям среды;
- высокая стоимость;
- область применения (помещения с агрессивными средами, взрывоопасные)

помещения, в условиях вибрации, жилые здания).

Алюминий:

- большее удельное сопротивление;
- подверженность воздействию среды;
- меньшая стоимость;
- область применения (все виды помещений, за исключением случаев, в которых предусмотрено применение медных проводников)

### **Виды проводников**

Незащищенные изолированные провода:

- АПВ (АПР) – 1-жильный провод с поливинилхлоридной (резиновой) изоляцией, универсальный. АПР с хлопчатобумажной оплеткой;
- АПРТО – аналогичен АПР, с усиленной изоляцией для прокладки в стальных трубах;
- АРТВ – 2-4-жильный с несущим тросом;
- АППВ – 2-3-жильный, плоский.

Защищенные провода:

- АПРФ – 1-3-жильный в металлической оболочке для открытой прокладки.

Кабели.

- АВВГ, АВРГ, АНРГ - 2-5-жильные небронированные кабели с поливинилхлоридной, резиновой и найритовой изоляцией.

Осветительные шинопроводы:

- ШОС – жесткая конструкция с 4-мя медными или алюминиевыми жилами, состоящая из отдельных секций.

### **Способы прокладки сетей**

Условия выбора:

- среда в помещении;
- особенности строительной части;
- архитектурно-художественные требования;
- экономичность.

Виды прокладки:

- открытая;
- скрытая.

### **Открытая прокладка**

Выполнение:

- по поверхностям стен и потолка (АПРФ, АНРГ, АВВГ, АВРГ);
- в винипластовых и стальных трубах (АПВ, АПРТО). Стальные – для взрывоопасных помещений;
- тросовые проводки (АНРГ, АВВГ, АВРГ на струне);
- осветительные шинопроводы (ШОС).

Область применения:

- производственные помещения;
- вспомогательные помещения (чердаки, подвалы).

### **Скрытая прокладка**

Выполнение:

- в каналах и пустотах строительных конструкций;
- в штукатурке;
- в специальных бороздах;
- плитусная;

Область применения:

- общественные здания;
- административно-бытовые здания;
- жилые здания.

### Расчет нагрузки электроосвещения

Расчет производится методом коэффициента спроса:

$$P_p = nPK_c\alpha,$$

$$Q_p = P_p \operatorname{tg}\varphi,$$

где  $n$  – количество ламп;

$P$  – мощность одной лампы;

$K_c$  – коэффициент спроса;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий потери в ПРА (ДРЛ - 1,1, ЛЛ - 1,2-1,3);

$\operatorname{tg}\varphi$  – коэффициент реактивной мощности (ЛН – 0, ДРЛ – 0,33).

Коэффициент спроса

Наименование	$K_c$
Групповые сети	1
Аварийное освещение, наружное освещение	1
Небольшие производственные здания	0,95
Административные здания	0,9
Крупные производственные здания	0,8
Склады	0,6

## Проектная документация

СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»

ПУЭ, глава 6 «Освещение»

ГОСТ 21.101-97 «Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации»

Требования к составу документации

Правила выполнения документации

■ Формат А4

■ Маркировка комплектов документации:

ЭО – электрическое освещение,

ЭМ – силовое электрооборудование

ГОСТ 21.608-84 «Система проектной документации для строительства.

Внутреннее электрическое освещение. Рабочие чертежи»

общие данные по рабочим чертежам

Освещаемая площадь, напряжение сети, требуемая освещенность, удельная мощность, коэффициент спроса,  $\cos\phi$ , количество светильников

планы расположения электрооборудования и прокладки электрических сетей

Строительные конструкции, наименование помещений, освещенность, количество и типы светильников, линии сети, выключатели и другое электрооборудование

принципиальные схемы питающей сети

принципиальные схемы дистанционного управления освещением;

схемы подключения комплектных распределительных устройств на напряжение до 1000 В;

кабельный журнал для питающей сети;

чертежи установки электрооборудования (при отсутствии типовых).

ГОСТ 21.614-88 «Система проектной документации для строительства.

Изображения условные графические электрооборудования и проводок на плане»

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. *Г.М.Кнорринг.* Справочная книга для проектирования электрического освещения. Л.: «Энергия», 1976. 384с.
2. *Ю.Б.Айзенберг.* Справочная книга по светотехнике. Энергоатомиздат, М.: 1983. 472с.
3. *Е.Н.Федотов.* Методические указания по курсовому и дипломному проектированию «Расчет электрических сетей освещения с применением ЭВМ». Куйбышев: КПТИ, 1988. 40с.
4. Современные энергосберегающие электротехнологии, Учебное пособие. Санкт–Петербург. СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 2000.

## ДОДАТОК

Таблица П.2

Приблизительные значения коэффициентов отражения стен

и потолка

Характер отражающей поверхности	Коеф. отражения, %
Побеленный потолок; побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами	70
Побеленные стены при не завешенных окнах; побеленный потолок в сырых помещениях; чистый бетонный и светлый деревянный потолок	50
Бетонный потолок в грязных помещениях; деревянный потолок; бетонные стены с окнами; стены, оклеенные светлыми обоями	30
Стены и потолки в помещениях с большим количеством темной пыли; сплошное остекление без штор; красный кирпич не оштукатуренный; стены с темными обоями	10

Таблица П.3.

**Допустимая потеря напряжения в осветительных сетях**

S <sub>тр</sub> , кВА	Коеф. загрузки трансформатора, β	Потеря напряжения, %, при cosφ, равном						
		1,0	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
400	0,95	6,2	5,0	4,5	4,0	3,4	3,5	3,3
	0,9	6,3	5,2	4,7	4,2	3,9	3,7	3,6
	0,8	6,4	5,4	5,0	4,6	4,3	4,1	4,0
	0,7	6,5	5,7	5,4	4,9	4,7	4,6	4,4
	0,6	6,6	5,9	5,7	5,3	5,1	5,0	4,9
	0,5	6,8	6,2	5,9	5,7	5,5	5,4	5,3
630	0,95	6,4	4,9	4,3	3,5	3,0	2,8	2,6
	0,9	6,4	5,0	4,4	3,7	3,3	3,0	2,8
	0,8	6,5	5,2	4,8	4,1	3,8	3,5	3,3
	0,7	6,7	5,6	5,2	4,6	4,3	4,0	3,9
	0,6	6,7	5,8	5,5	5,0	4,7	4,5	4,4
	0,5	6,9	6,1	5,8	5,5	5,2	5,0	4,9
1000	0,95	6,2	4,8	4,2	3,5	3,0	2,8	2,5
	0,9	6,3	4,9	4,3	3,7	3,3	3,0	2,8
	0,8	6,5	5,2	4,7	4,2	3,8	3,5	3,3
	0,7	6,6	5,5	5,1	4,5	4,2	4,0	3,8
	0,6	6,7	5,8	5,5	5,0	4,7	4,5	4,3
	0,5	6,9	6,1	5,8	5,4	5,2	5,0	4,9
1600	0,95	6,3	4,8	4,2	3,5	3,0	2,6	2,5
	0,9	6,4	5,0	4,4	3,7	3,3	3,0	2,7
	0,8	6,5	5,2	4,8	4,2	3,8	3,5	3,3
	0,7	6,6	5,6	5,1	4,6	4,2	4,0	3,8
	0,6	6,8	5,8	5,5	5,0	4,7	4,5	4,4
	0,5	6,9	6,1	5,8	5,4	5,2	5,0	4,8



Группа проводников	Провода с резиновой и пластмассовой изоляцией		Кабели и защищенные провода с резиновой и пластмассовой изоляцией							
	АПР-АПРТО-АПРВ-АПВ		АВРГ-АНРГ-АВВГ-АВРБГ		АВВБ-АНРБ-АВВБ					
Характерная марка	открыто		в стальных трубах		в воздухе		в земле			
	$I_d, A$	$I_d, A$ , при числе жил	$I_d, A$ , при числе жил	$I_d, A$ , при числе жил (одножильных)						
Прокладка		2	3	4	2	3	4	2	3	4
Сечение $mm^2$										
2,5	24	20	19	19	21	19	17	34	29	26
4	32	28	28	23	29	27	24	42	38	35
6	39	36	32	30	38	32	29	55	46	42
10	60	50	47	39	55	42	38	80	70	63
16	75	60	60	55	70	60	54	105	90	81
25	105	85	80	70	90	75	68	135	115	104
35	130	100	95	85	105	90	81	160	14	126
50	165	140	130	120	135	110	100	205	17	158
70	210	175	165	140	165	14	126	245	21	190
95	255	215	200	175	200	17	153	295	25	230
120	295	245	220	200	230	20	190	340	29	266
150	340	275	255	-	270	23	212	390	33	302
185	390	-	-	-	310	27	243	440	38	347



**Световой поток** ( $\Phi$ ) - мощность световой энергии, оцениваемая по производимому ею световому ощущению. Единица измерения - люмен (лм) - имеет размерность кандела, умноженная на стерадиан (телесный угол).