

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені  
Івана Пулюя

*Електромеханічний факультет  
Кафедра світлотехніки та електротехніки*

# СВІТЛОВІ ПРИЛАДИ

## КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ (Частина II)

для студентів напрямку підготовки 6.050701  
«Електротехніка та електротехнології»



Тернопіль  
2015

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені  
Івана Пулюя

*Електромеханічний факультет  
Кафедра світлотехніки та електротехніки*

# **СВІТЛОВІ ПРИЛАДИ**

## **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ (Частина II)**

для студентів напряму підготовки 6.050701  
«Електротехніка та електротехнології»

Тернопіль  
2015

Світлові прилади. Конспект лекцій (Частина I) для студентів напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» / Укл. Л.М.Костик; ТНТУ, 2015 р. – 119 с.

**Укладач:** к.т.н., доц. Костик Л.М.

**Рецензент:** д.т.н., проф. Андрійчук В.А.

**Відповідальна за випуск:** Костик Л.М.

Методичні вказівки розглянуті і затверджені на засіданні кафедри світлотехніки та електротехніки  
Протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_2015 р.

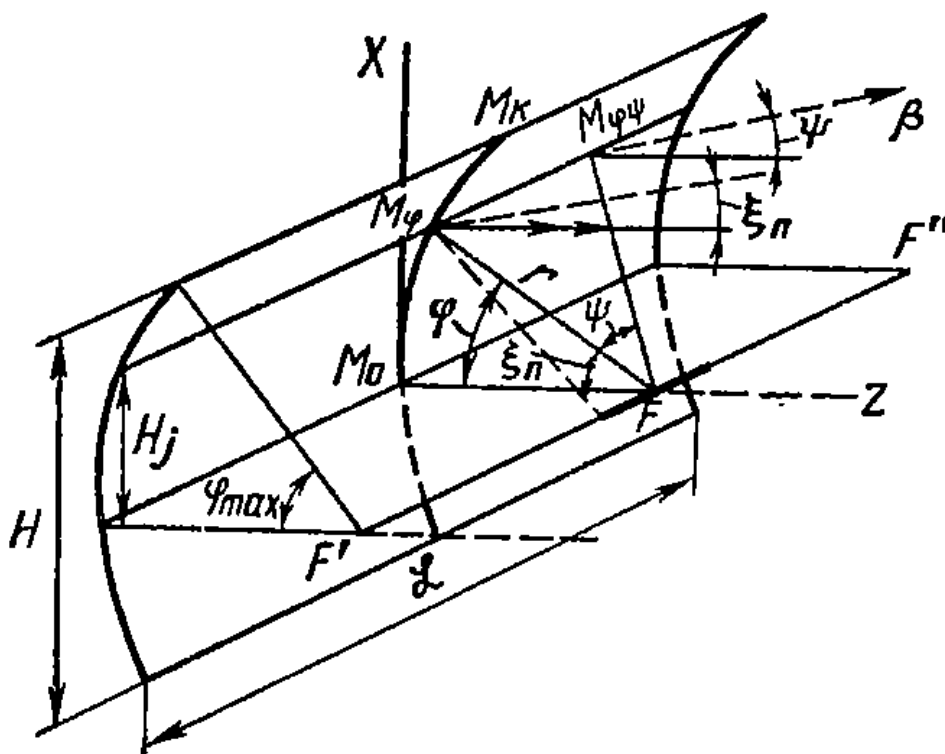
Схвалено і рекомендовано до друку методичною радою ЕМФ Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя.  
Протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_2015 р.

Посібник складено з врахуванням матеріалів літературних джерел, наведених у переліку .

## Лекція 1

### ПАРАБОЛОЦИЛІНДРИЧНИЙ ПРОЖЕКТОР

#### 1.1. Прожектор з суцільним відбивачем



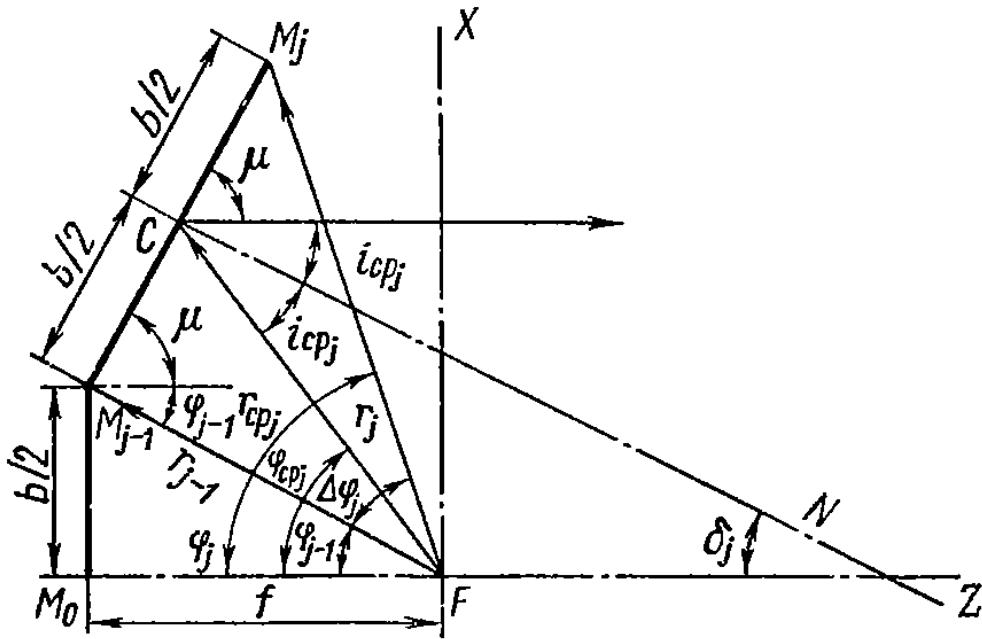
Параметри відбивача:

1. Меридіональні (профільні) площини
2. Фокальна лінія (поздовжня вісь)
3. Екваторіальна (фокальна) площина
4. Поздовжні площини
5. Довжина відбивача
6. Висота відбивача (поперечник)
7. Радіус-вектор точки відбивача

$$r_{\phi\psi} = \frac{r_{\phi}}{\cos\psi} = \frac{f}{\cos^2 \frac{\phi}{2} \cos\psi}$$

$$\phi = \arctg \frac{H_j}{f - z}; \quad \psi = \arctg \frac{L_j}{f + z}$$

## 1.2. Пластинчастий параболоциліндричний відбивач



Відбивач з рівними зональними кутами випромінювання  
 $b \neq \text{const}, \quad 2\alpha_a = \text{const}$

$$\Delta\varphi_j = 2\alpha_a - \arcsin \frac{d}{2r_{cp}}$$

Для крайньої точки

$$r_j = \frac{r_{j-1} \cos\left(\varphi_{j-1} - \frac{\varphi_{cp}}{2}\right)}{\cos\left(\varphi_j - \frac{\varphi_{cp}}{2}\right)}$$

Оскільки  $z_j = r_j \cos \varphi_j, \quad x_j = r_j \sin \varphi_j,$

ширина пластин  $b = \sqrt{\Delta Z^2 + \Delta X^2}.$

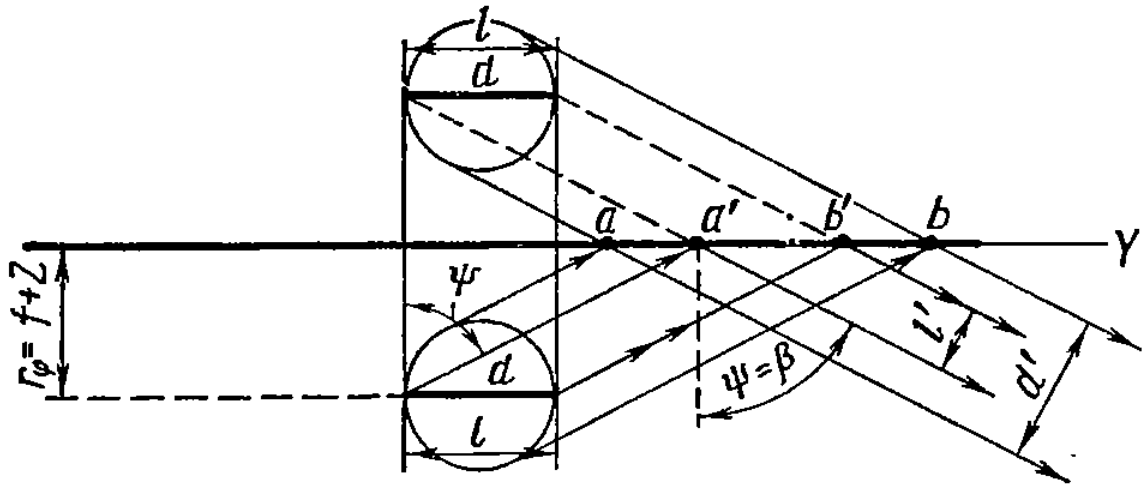
Відбивач з однаковою шириною пластин  
 $b = \text{const}, \quad 2\alpha_a \neq \text{const}$

Кількість пластин  $N = \frac{K_n - 1}{\rho} + 1, \quad \Delta\varphi \approx \frac{2\varphi_{\max}}{N}$

$$\Delta\varphi_j = \arcsin\left(\frac{b \cdot \sin(\mu + \varphi_{j-1})}{r_j}\right)$$

### 1.3. Світла частина параболоциліндричного відбивача і його осьова сила світла

#### 1.3.1. Суцільний відбивач



Розрахунок видимого розміру світного тіла в екваторіальній площині

Кульове світне тіло:

в меридіональному січненні світить відрізок  $ab$ ,  $d' = d$

Ниткоподібне світне тіло:

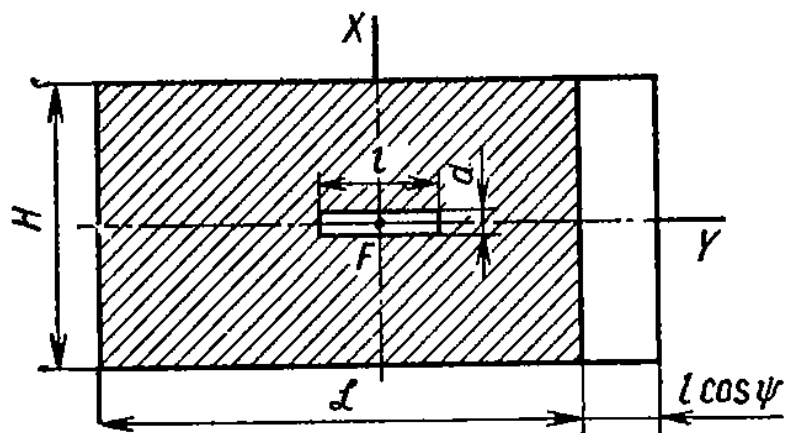
в меридіональному січненні світить відрізок  $a'b'$ ,  $l' = l \cos \varphi$ .

Осьова сила світла в напрямку оптичної осі при  $L_c = const$ :

кульове світне тіло:  $I_0 = \rho L_c H d$

ниткоподібне світне тіло:  $I_0 = \rho L_c H l$ .

Для нерівнояскравого світного тіла  $L_c = L_{\max}$ .



Світна частина суцільного відбивача в напрямку початку крайового ефекту (світне тіло – циліндричне)

### Безторцевий суцільний відбивач

Меридіональна площина:  $2\alpha_e = 2\xi_{\max} \approx \frac{d}{f},$

Екваторіальна площина:

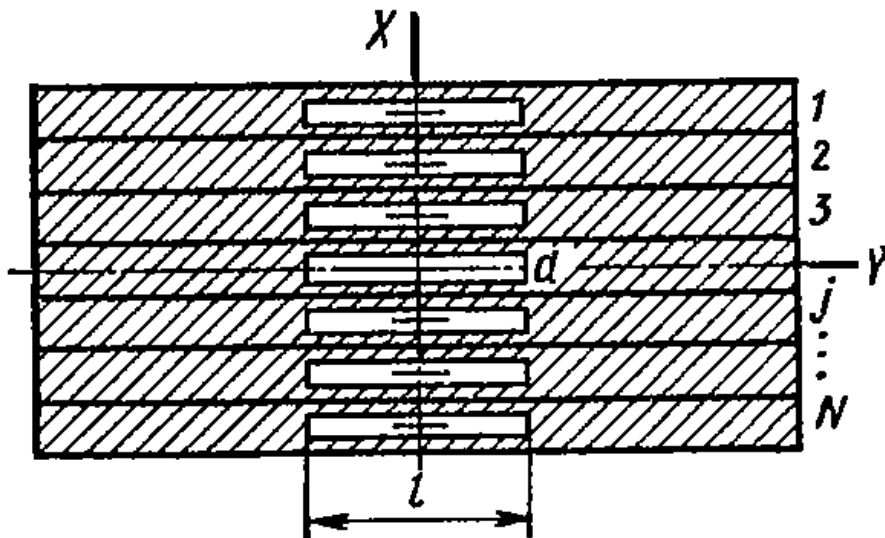
кульове СТ:  $2\beta_e = 2 \left( \beta_{\max} + \frac{d \cos^2 \frac{\varphi}{2} \cos \psi_{\max}}{2f} \right),$

циліндричне СТ:  $2\beta_e = 2 \left( \beta_{\max} + \frac{l \cos^2 \frac{\varphi}{2} \cos \psi_{\max}}{2f} \right).$

### 1.3.2. Пластинчастий відбивач

Меридіональна площина:  $2\alpha_e = \Delta\varphi + 2 \arcsin \frac{d}{2f},$

Екваторіальна площина: - як для суцільного.



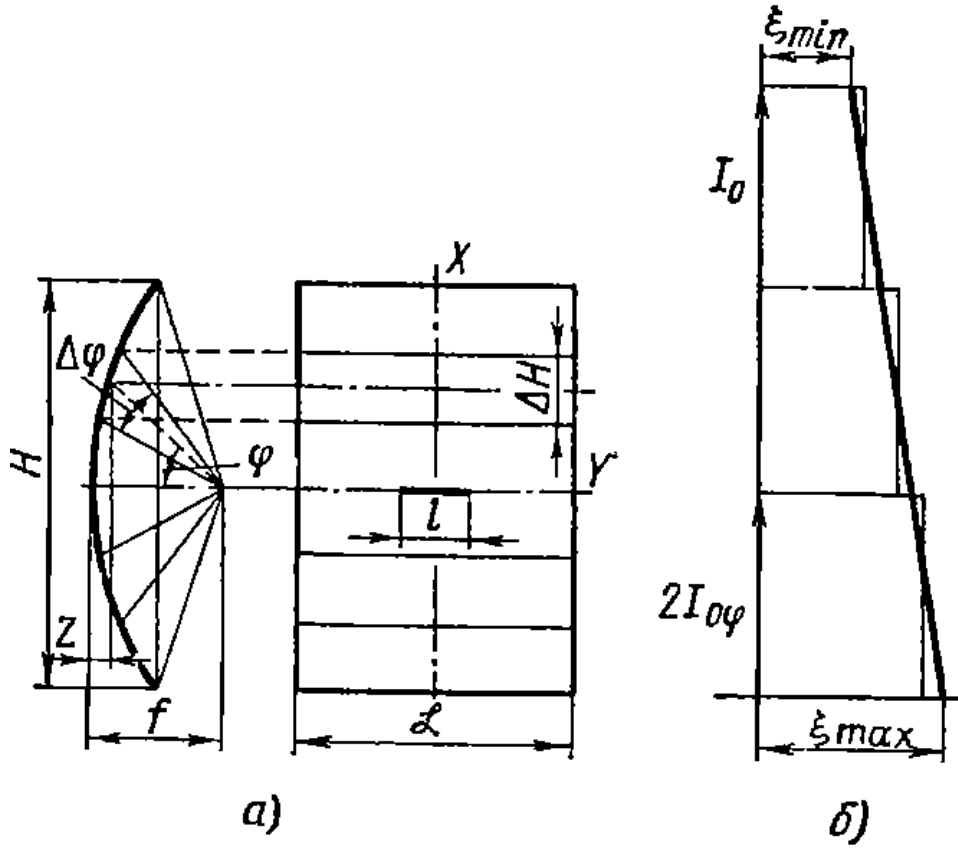
Світла частина в напрямку оптичної осі.

Сила світла:  $I_0 = I_n (\rho(N-1) + 1)$

## 1.4. Розрахунок КСС параболоциліндричного відбивача зональним методом

### 1.4.1. Меридіональна площина

*Безабераційний відбивач*



а) – поділ на зони, б) – КСС відбивача в меридіональній площині

Кульове світне тіло:

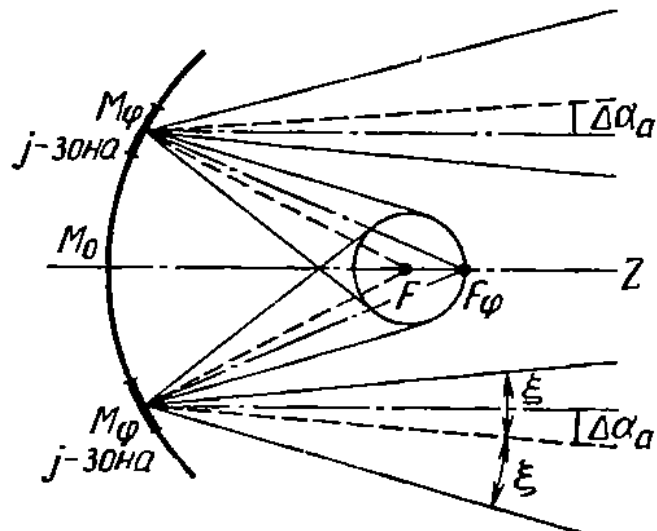
$$I_{0\varphi} = 2\rho L_c \Delta H d,$$

Ниткоподібне світне тіло

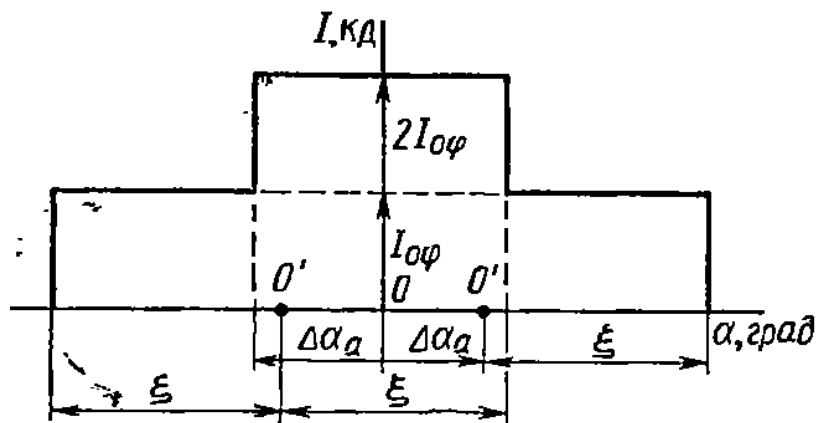
$$I_{0\varphi} = 2\rho L_c \Delta H l$$



### Аберційний відбивач



Меридіональне січення



Зональна КСС

### 1.4.2. Екваторіальна площина

#### Відбивач без торців

Кульове світне тіло:  $I(\beta) = \rho L_c \Delta H d$ ,

Циліндричне світне тіло:  $I(\beta) = \rho L_c \Delta H l \cos \beta$

Нехай  $\beta_1$  - кут, при якому починає проявлятися крайовий ефект,  
 $\beta_2$  - кут, при якому світяться тільки крайові точки відбивача

Кульове світне тіло:  $\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{\mathcal{L} - d}{2(f + z_j)}, \quad \operatorname{tg} \beta_2 = \frac{\mathcal{L} + d}{2(f + z_j)},$

Циліндричне світне тіло:  $\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{\mathcal{L} - l}{2(f + z_j)}, \quad \operatorname{tg} \beta_2 = \frac{\mathcal{L} + l}{2(f + z_j)}$

Видимий розмір світлої частини в зоні дії крайового ефекту:

$$l'_{ce} = \left[ 0,5(\mathcal{L} + l) - (f + z_j) \operatorname{tg} \beta \right] \cos \beta.$$

Сила світла в зоні крайового ефекту:

Кульове СТ: 
$$I'_\beta = \rho L \Delta H \left[ 0,5(\mathcal{L} + d) - (f + z_j) \operatorname{tg} \beta \right] \cos \beta,$$

Циліндричне СТ: 
$$I'_\beta = \rho L \Delta H \left[ 0,5(\mathcal{L} + l) - (f + z_j) \operatorname{tg} \beta \right] \cos \beta$$

*Відбивач з торцями*

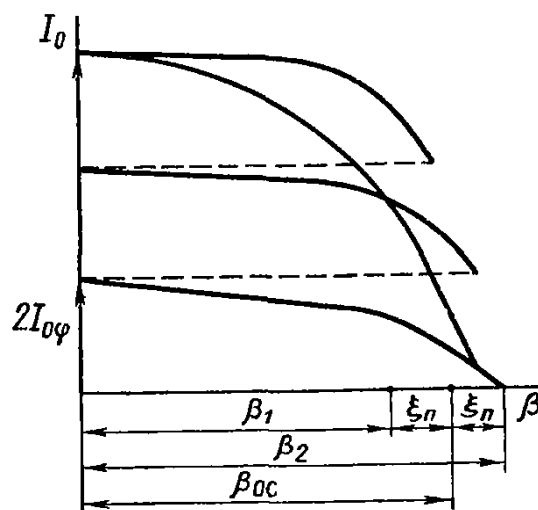
$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{\mathcal{L} - l}{2(r_\varphi + h_\varphi)}, \quad \operatorname{tg} \beta_2 = \frac{\mathcal{L} + l}{2(r_\varphi + h_\varphi)}$$

Якщо краї торців співпадають з крайовими точками профільної параболи,  
ТО

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \operatorname{arctg} \frac{\mathcal{L} - l}{2(f + Z_{\max})}, \quad \operatorname{tg} \beta_2 = \operatorname{arctg} \frac{\mathcal{L} + l}{2(f + Z_{\max})}$$

Видимий розмір світлої частини для напрямку  $\beta$ , яка не затінена торцем:

$$l_{ce\beta} = \frac{\mathcal{L} + l}{2} - (f + Z_{\max}) \operatorname{tg} \beta.$$



Сумарна КСС в екваторіальній площині

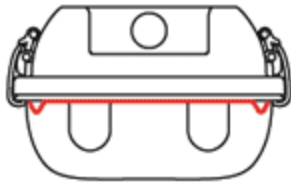
## Лекція 2

### СВІТИЛЬНИКИ З ДЗЕРКАЛЬНИМИ ВІДБИВАЧАМИ

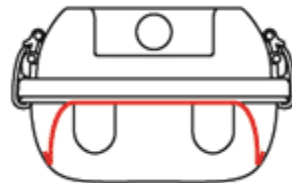
#### 2.1. Класифікація світильників:

За призначенням:

- світильники загального освітлення (промислові, адміністративно-громадські, вуличні)



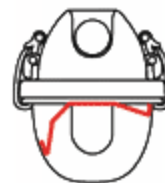
Плоский відбивач



Симетричний відбивач



Симетричний відбивач



Асиметричний відбивач

- світильники місцевого освітлення (промислові, побутові, акцентуючі)



За світловим розподілом:

- глибоковипромінювачі

(з  $K_n=10-20$  – глибоковипромінювачі з концентрованою КСС,

з  $K_n=4-10$  – глибоковипромінювачі з глибокою КСС)

- широковипромінювачі ( $K_n=2-4$ )

(з  $I_{\max}$  в межах кутів  $35-55^\circ$  - широковипромінювачі з напівширокою КСС,

з  $I_{\max}$  в межах кутів  $55-85^\circ$  - широковипромінювачі з широкою КСС)

Приблизне значення ККД для світильників з різними типами оптичних елементів

Тип світильника	ККД, %
З світлорозсіюючим склом	60-85
З дифузним відбивачем	65-80
З дзеркальним металевим відбивачем	70-85
З дзеркальним скляним відбивачем	75-90
Призматичні	75-85

## 2.2. Розрахунок ККД

$$\eta = \frac{\hat{O}_{\bar{n}\hat{a}}}{\hat{O}_{\bar{e}}},$$

де  $\hat{O}_{\bar{n}\hat{a}}$  – світловий потік світильника,

$\hat{O}_{\bar{e}}$  – світловий потік ламп, поміщених у світильник

### 2.2.1. Розрахунок ККД за світловим розподілом

$$\hat{O}_{\bar{n}\hat{a}} = \sum I_{\alpha} \Delta\Omega = 2\pi \sum I_{\alpha} (\cos \alpha_{i-1} - \cos \alpha_i)$$

### 2.2.2. Розрахунок ККД за світловим потоком

$$\hat{O}_{\bar{n}\hat{a}} = \rho t \hat{O}_{\bar{e}} + m_1 \hat{O}_{\bar{e}} + m_0 \hat{O}_{\bar{e}},$$

де  $m \hat{O}_{\bar{e}}$  – світловий потік, що потрапив на відбивач,

$m_1 \hat{O}_{\bar{e}}$  – світловий потік, що потрапив безпосередньо у світловий отвір світильника,

$m_0 \hat{O}_{\bar{e}}$  – світловий потік, що потрапив на горловину відбивача, приймають

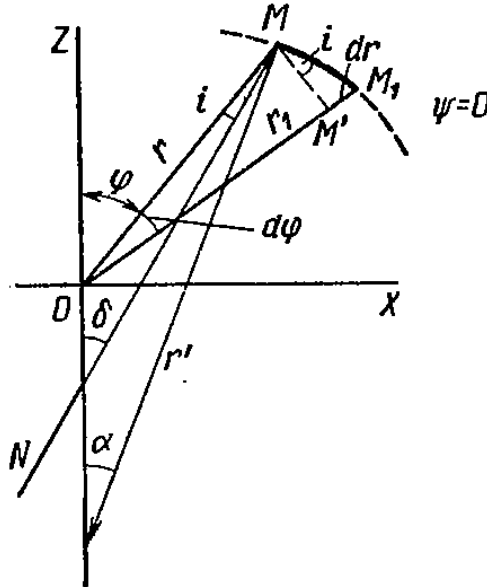
$m_0 \hat{O}_{\bar{e}} = 0$ .

$$\hat{O}_{\bar{n}\hat{a}} = \rho t \hat{O}_{\bar{e}} + m_1 \hat{O}_{\bar{e}}$$

$$\eta = \frac{\hat{O}_{\bar{n}\hat{a}}}{\hat{O}_{\bar{v}}} = \frac{\rho m \hat{O}_{\bar{v}} + m_1 \hat{O}_{\bar{v}}}{\hat{O}_{\bar{v}}} = \rho m + m_1$$

## 2.3. Рівняння круглосиметричної дзеркальної зони світильника

### 2.3.1. Диференціальне рівняння



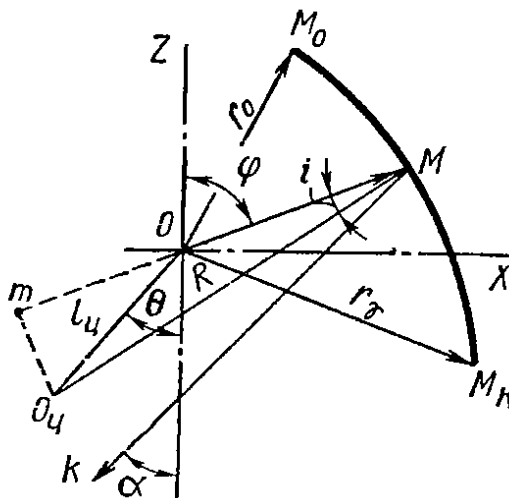
$OM = OM'$ , вважаємо, що  $\triangle MM'M_1$  - прямокутний.

Тому  $dr = rd\varphi \operatorname{tgi}$ ,  $M'M_1 = MM \operatorname{tgi}$ , звідки  $\frac{dr}{r} = \operatorname{tgid}\varphi$ ,  $i = \frac{\varphi - \alpha}{2}$ .

$$\ln r_j - \ln r_{j-1} = \operatorname{tgi}_{\text{cp}} \Delta\varphi$$

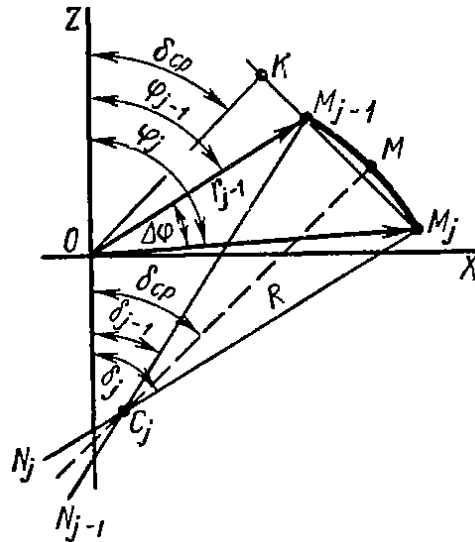
### 2.3.2. Рівняння профільних кривих дзеркальних відбивачів

Тороїдна дзеркальна поверхня



$$r = \sqrt{R^2 - l_o^2 \sin^2(\varphi - \theta)} - l_o \cos(\varphi - \alpha), \quad \alpha = \pm \arcsin \left[ \frac{l_o}{R} \sin(\varphi - \theta) \right]$$

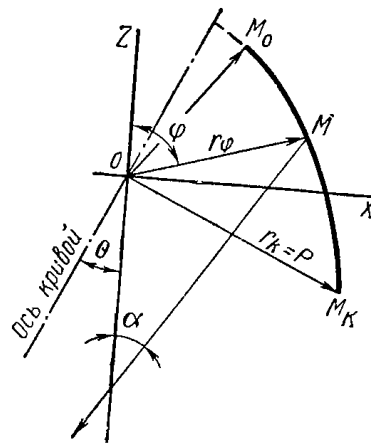
Відбивач, що складається з дотичних тороїдних дзеркальних зон



$$r_j = \frac{\cos(\varphi_{j-1} - \delta_{cp})}{\cos(\varphi_j - \delta_{cp})} r_{j-1}, \quad R = \frac{r_{j-1} \cos \varphi_{j-1} - r_j \cos \varphi_j}{\cos \delta_{j-1} - \cos \delta_j},$$

$$\alpha = \pm \arcsin \left[ \frac{l_{\delta}}{R} \sin(\varphi - \theta) \right]$$

Дзеркальний відбивач з профільними кривими кінченного перерізу



$$r_{\varphi} = \frac{P}{1 + e \cos(\varphi - \theta)},$$

$P$  – фокальний параметр кривої,  $e$  – ексцентриситет

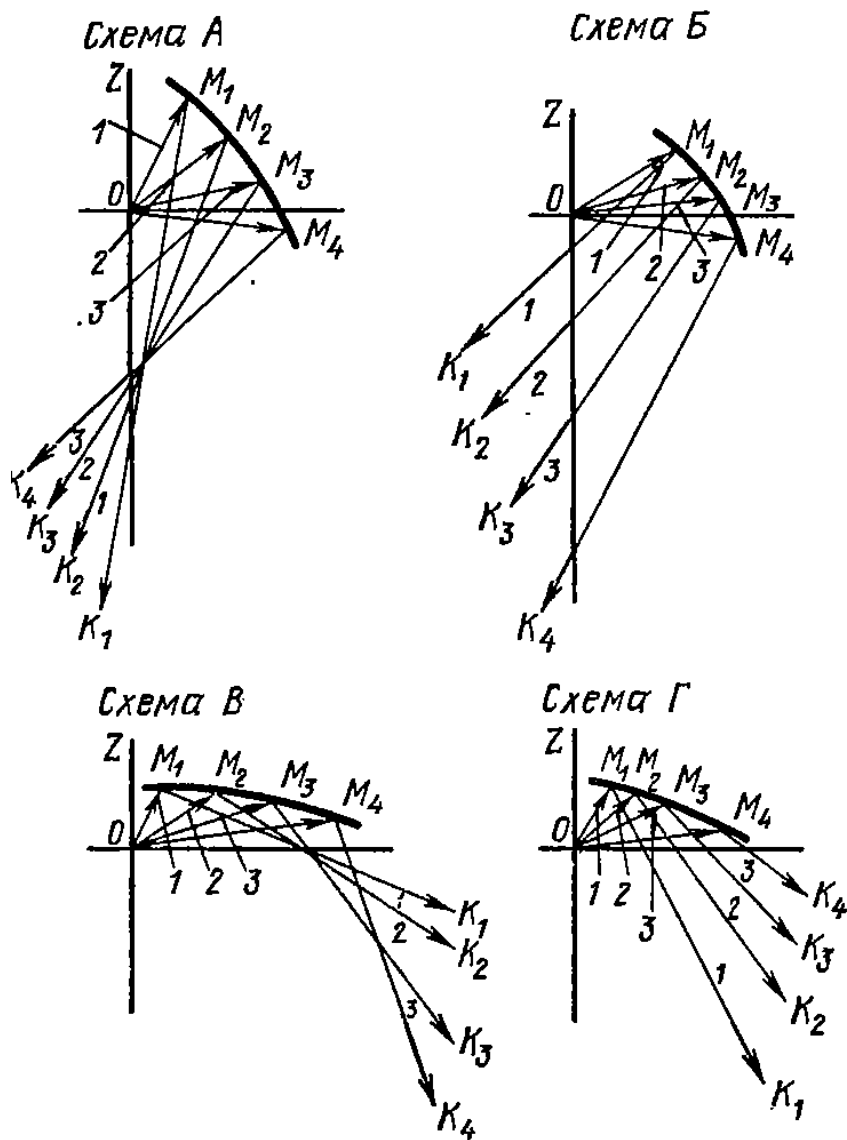
При  $e < 1$  форма профільної кривої – еліпс,

При  $e = 1$  форма профільної кривої – парабола,

При  $e > 1$  форма профільної кривої – гіпербола.

$$\alpha = \varphi - 2 \operatorname{arctg} \frac{e - \sin(\varphi - \theta)}{1 + e \cos(\varphi - \theta)}$$

Схеми ходу падаючих і відбитих променів



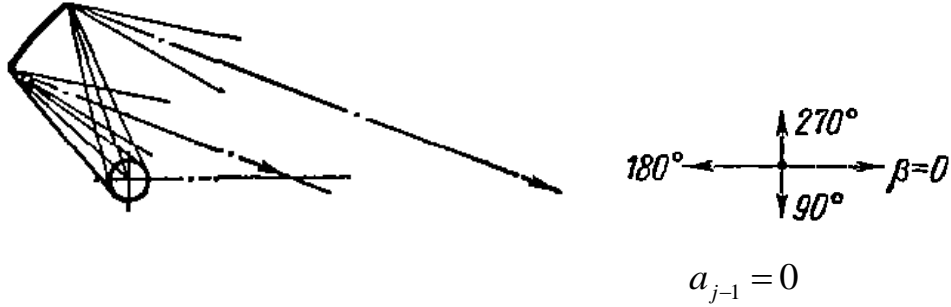
Схеми А, В – еліпсоїд обертання, Б, Г – гіперболоїд обертання

## Лекція 3

### РОЗРАХУНОК ЗОНАЛЬНИХ КСС ДЗЕРКАЛЬНИХ ВІДБИВАЧІВ

#### 3.1. Розрахунок КСС круглосиметричної дзеркальної зони при $\zeta < 0,1$

$$\left(\zeta = \frac{\Delta\alpha}{2\xi}\right), \Delta\alpha = 0$$



Сила світла в напрямку  $\alpha$ :

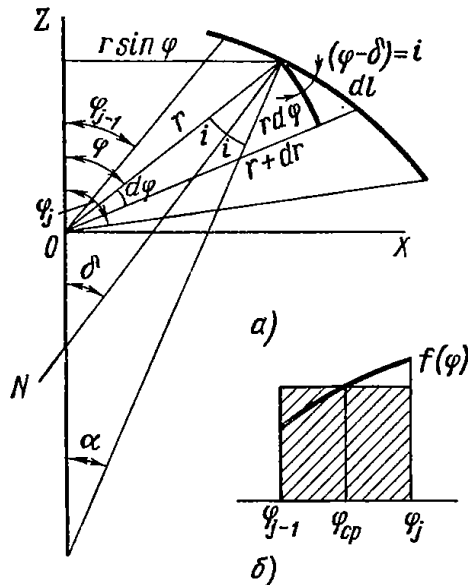
$$I_\alpha = \rho L_\varphi A_\varphi K_\alpha \cos \sigma_\alpha^*$$

де  $\sigma_\alpha^*$  – проектуючий кут між нормаллю до  $dA$  і напрямком  $\alpha, \beta$

Порядок розрахунку зональної КСС:

1. Побудувати сітку полярних координат  $\alpha, \beta$  з кількома масштабами кутів  $\alpha$  і  $\Delta\beta = 0,5^\circ; 1^\circ$ .

2. Розрахувати площу поверхні зони  $A_\varphi$ :  $A_\varphi = \frac{\pi^2 \Delta\varphi \sin \varphi_{cp}}{90 \cos i_{cp}} r_{cp}^2$ .

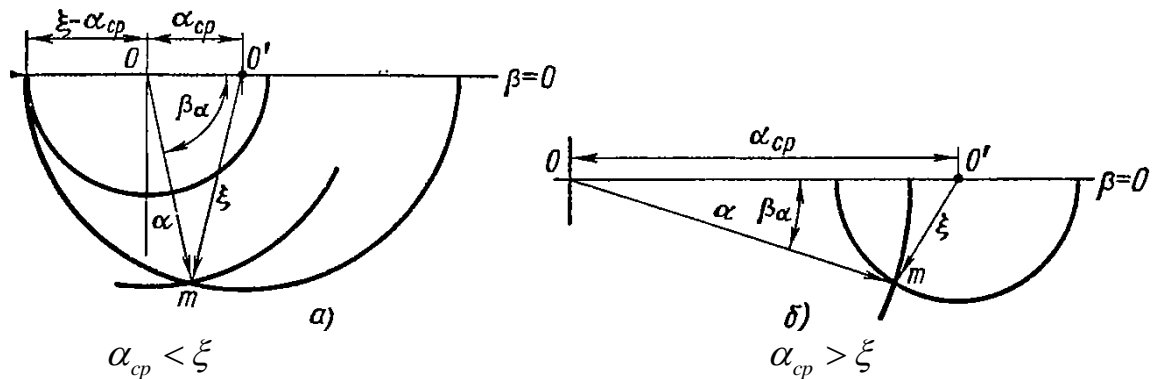




3. По кривій габаритної яскравості визначити  $L_\varphi$  для кута  $\varphi_{cp} = \varphi_{j-1} + \frac{\Delta\varphi}{2}$ .
4. Розрахувати розмір ЕВ світного тіла для середньої точки зони  $(\varphi_{cp}, r_{cp})$ .

Для кульового світного тіла:  $\xi = \xi_n = \arcsin \frac{d}{2r}$

5. У масштабі кутів  $\alpha$  накреслити слід ЕВ.
6. Центр сліда ЕВ сумістити з т.  $\alpha_{cp}, \beta=0$ . Визначити кути  $\beta_\alpha$ . Зафіксувати початок і кінець зональної КСС ( $\alpha' = \alpha_{cp} - \xi$ ,  $\alpha'' = \alpha_{cp} + \xi$ ) і кут  $\alpha_{max}$ , що визначається дотичною прямою  $\beta$  до сліда ЕВ.

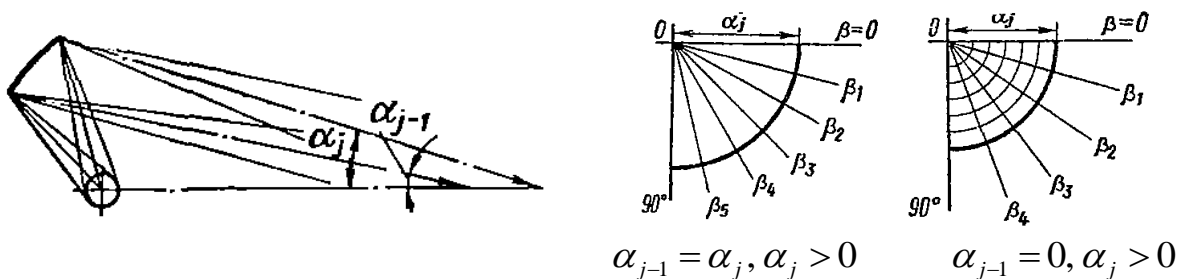


7. Розрахувати коефіцієнт заповнення зони  $K_\alpha$  для кутів  $\alpha_{cp} - \xi < \alpha < \alpha_{cp} + \xi$ .

8. Розрахувати  $\cos \sigma_\alpha^*$ . Центром світлої частини вважається середня точка зони в меридіональній площині спостереження. Кут  $\delta_{cp}$  орієнтує нормаль до центру світлої частини і визначається кутами  $\varphi_{cp}, \alpha_{cp}$ .

9. Розрахувати силу світла зони  $I_{\alpha_j}$ .
10. Побудувати зональну КСС.

### 3.2. Розрахунок КСС при $0,1 < \zeta < 1$ , $0,2\xi < \Delta\alpha < 2\xi$

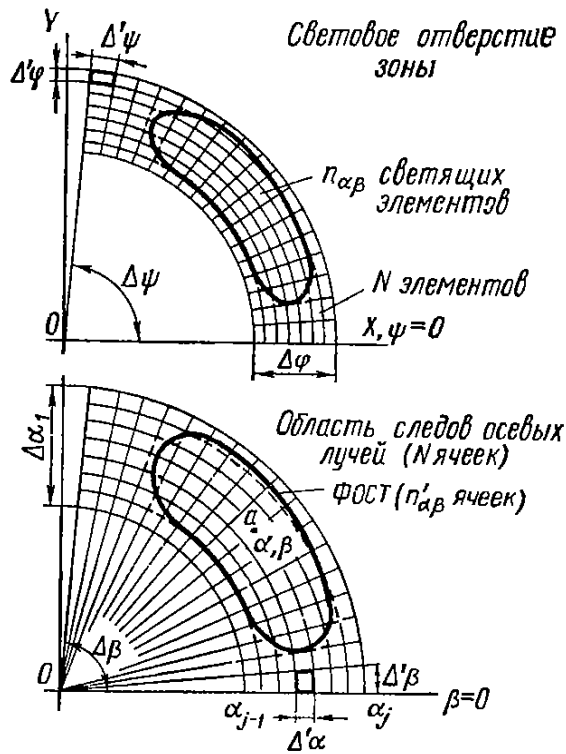


#### 3.2.1. Розрахунок $K_\alpha$ по куту $\beta_\alpha$

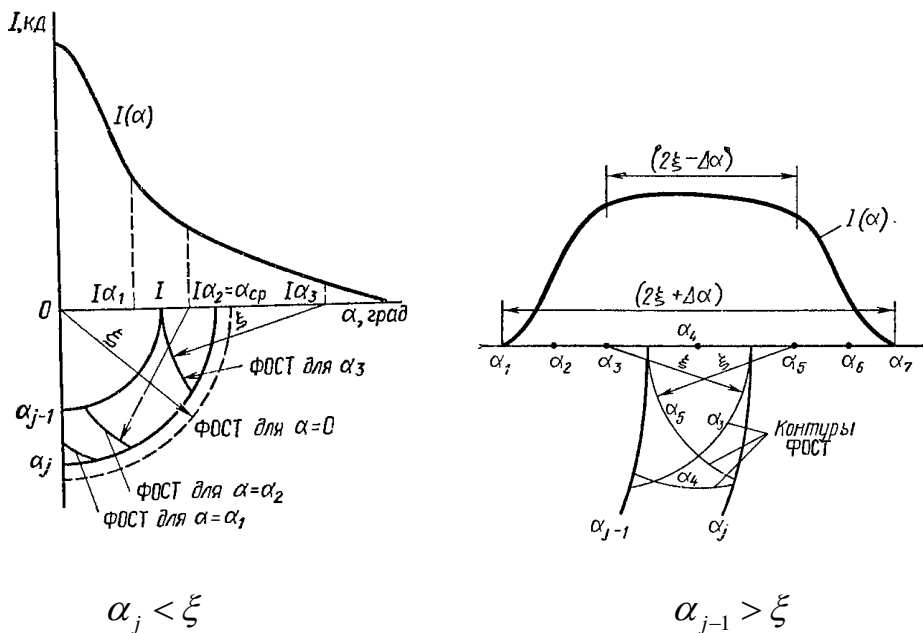
1. Зону шириною  $\Delta\varphi$  розділити на ряд малих зон  $\Delta'\varphi$  так, щоб їх  $\Delta\alpha' < 0,2\xi$ .
2. Визначити  $\beta_\alpha$  для кожної малої зони.

3. Визначити  $K_\alpha$  для кожної малої зони.
4. Розрахувати КСС малої зони.
5. Просумувати КСС кожної отриманої малої зони і отримати зональну КСС.

### 3.2.2. Розрахунок $K_\alpha$ по ФВСТ



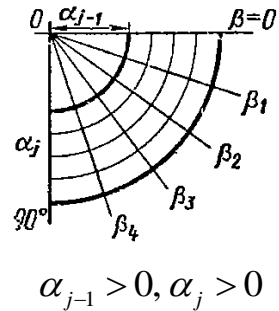
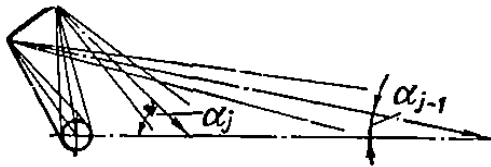
1. Побудувати ФВСТ і підрахувати  $n_\alpha$  на графіку полярних координат.
2. Обчислити  $K_\alpha = \frac{n'_\alpha}{N'_\varphi}$ .
3. Обчислити  $I_\alpha$ .



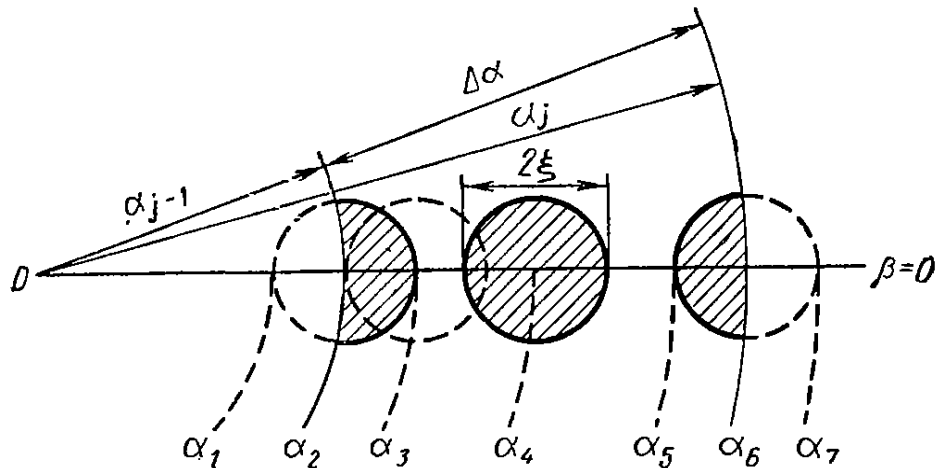
$$\alpha_j < \xi$$

$$\alpha_{j-1} > \xi$$

### 3.3. Розрахунок КСС при $\zeta > 1$ , $\Delta\alpha > 2\xi$



1. Побудувати ФВСТ і підрахувати  $n_\alpha$  на ГПК.



2. Обчислити  $K_\alpha = \frac{n'_\alpha}{N'_\varphi}$ .

3. Обчислити  $I_\alpha$ .

### 3.4. Властивості зональних КСС

На виляд зональних КСС і значення сил світла впливають:

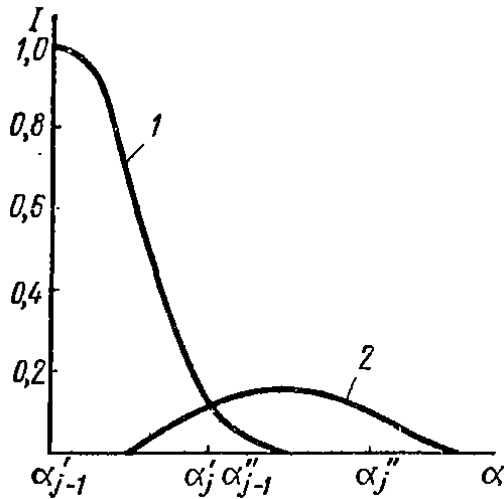
- форма, розміри і яскравість світлого тіла і його ЕВ;
- значення розгортки осьових променів  $\Delta\alpha$ ;
- значення кута  $\alpha_{cp}$ .

Для  $\zeta < 0,1$  форма КСС залежить від форми ЕВ світлого тіла, КСС має велику крутизну, сила світла максимальна.

Для  $0,1 < \zeta < 1$  форма КСС залежить від форми ЕВ світлого тіла, КСС плавна, має форму трикутника для  $\alpha_j < \xi$  і трапеції для  $\alpha_j > \xi$ .

Для  $\zeta = 1$  форма КСС менше залежить від форми ЕВ світлого тіла, КСС має форму трикутника.

Для  $\zeta > 1$  форма КСС не залежить від форми ЕВ світлого тіла, КСС має форму трапеції, сила світла мінімальна.



Зональні КСС при  $\Delta\alpha = 2\xi = const$

$$1 - \alpha_{j-1}' = 0; 2 - \alpha_j'' = 2\xi$$

### 3.5. Світлотехнічний розрахунок круглосиметричних дзеркальних світильників по заданих КСС

#### Вихідні дані:

- тип джерела світла, його світлотехнічні та електричні параметри;
- КСС світильника (в умовних одиницях);
- захисний кут  $\gamma$ ;
- граничне значення блиску;
- тип дзеркального покриття;
- приблизні значення оптичних коефіцієнтів;
- геометричні параметри відбивача (висота, максимальний діаметр);
- температурні характеристики (середня температура поверхні або максимальна температура горловини відбивача і цкрля лампи);
- конструктивна схема і тип виконання;
- вимоги безпеки;
- вимоги надійності;
- монтажні-експлуатаційні вимоги.

#### Уточнення вихідних даних:

- визначення КСС лампи  $I_e(\alpha)$ , світлового центру лампи, форми і розмірів світного тіла;
- визначення розподілу яскравості по поверхні і в просторі, габаритної яскравості  $L(\varphi)$  або вибір рівнояскравих світних тіл, еквівалентних фактичним;
- перевірка заданої КСС вимогам заданого коефіцієнта підсилення  $K_n$  і заданого кута випромінювання  $\alpha_a$ ;
- уточнення ККД з врахуванням корисного кута випромінювання  $\alpha_a$  та оптичних коефіцієнтів.

### Початкові параметри:

- полярні координати т. $M_0$ , що визначають діаметр горловини відбивача;
- початковий радіус-вектор  $r_0$ ;
- кут горловини відбивача  $\varphi_0$ ;
- захисний кут, утворений осьовим променем  $\gamma_{oc}$ .

### Загальна послідовність розрахунку дзеркального світильника

1. Встановлення геометричних параметрів і яскравісних характеристик джерела світла

(визначення розмірів лампи, форми світного тіла, КСС лампи, кривих розподілу яскравості, еквівалентних яскравісних тіл)

2. Вибір типу дзеркальної поверхні

(для суцільних світних тіл простої форми – гладка; для несучільних світних тіл складної форми – 1) хвиляста плавна, 2) з незалежними оптичними елементами різної кривизни, 3) з незалежними плоскими оптичними елементами)

3. Розрахунок масштабного коефіцієнта і визначення необхідного потоку відбивача

$$M = \frac{\hat{O}_{\bar{n}\bar{a}}}{\hat{O}'_{\bar{n}\bar{a}}} \quad \text{або} \quad M = \frac{(\hat{O}_{\alpha\zeta} + \rho\hat{O}_{\varphi})\tau}{\hat{O}'_{\bar{n}\bar{a}}},$$

де  $\hat{O}_{\bar{n}\bar{a}}$  – світловий потік світильника, лм;

$\hat{O}'_{\bar{n}\bar{a}}$  – світловий потік, що відповідає заданій КСС, ум.од.;

$\hat{O}_{\alpha\zeta}$  – світловий потік лампи в межах заданого кута випромінювання, лм;

$\rho\hat{O}_{\varphi}$  – потік, що надсилається відбивачем світильника, лм. При відомому куті обхвату  $\varphi_{i\bar{a}\bar{a}} = 90 + \gamma_{oc} - \varphi_0$ .

Якщо найменший розмір джерела світла  $l < 10r_0$  для  $r > r_0$  силу світла вважають  $I(\alpha) = const$ , а світлові потоки

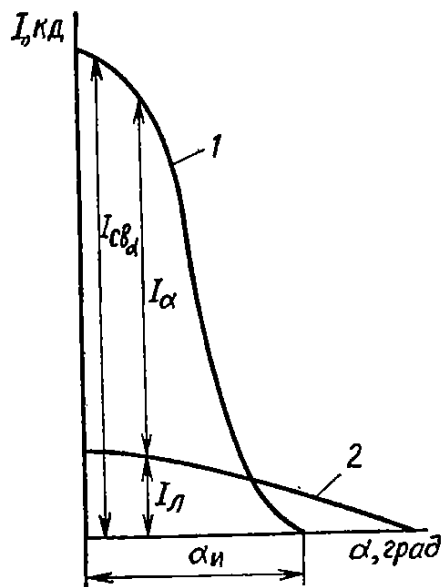
$$\hat{O}_{\varphi} = \sum_{\varphi_0}^{90+\gamma_{oc}} I_{\varphi} \Delta\Omega, \quad \hat{O}_{\alpha\bar{a}} = \sum_{\alpha=0}^{\alpha+\alpha_{\bar{a}}} I_{\alpha} \Delta\Omega..$$

$$\text{Для ламп ДРЛ, ДРИ, ДНаТ} \quad \hat{O}_{\varphi} = \sum_{j=1}^n E_j \Delta A_j, \quad E_j = \Delta\bar{\Omega} L_{cj},$$

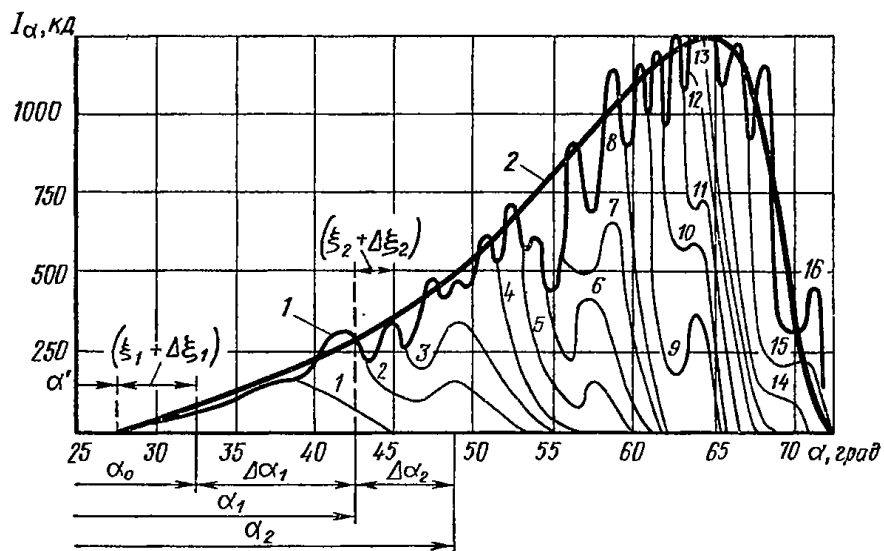
де  $\Delta\bar{\Omega}$  – проекція тілесного кута світного тіла з середньої точки зони,  
 $\Delta A_j$  – площа поверхні зони відбивача.

4. Розрахунок необхідної КСС світильника

$$I_{\alpha} = (I_{\bar{n}\bar{a}} - I_{\bar{e}}\tau)_{\alpha}$$



1 – задана КСС  $^2_{\text{н} \dot{\alpha}}(\alpha)$ , 2 – КСС лампи.



Набір необхідної КСС зональними КСС

Необхідну КСС  $^2_{\text{н} \dot{\alpha}}(\alpha)$  заповнюють зональними КСС дзеркального відбивача.

##### 5. Наближення необхідної КСС світильника

Встановлення форми відбивача або його профільної кривої  $r_\varphi(\varphi)$ .

Розрахунок КСС для запропонованої форми відбивача і порівняння її з необхідною КСС

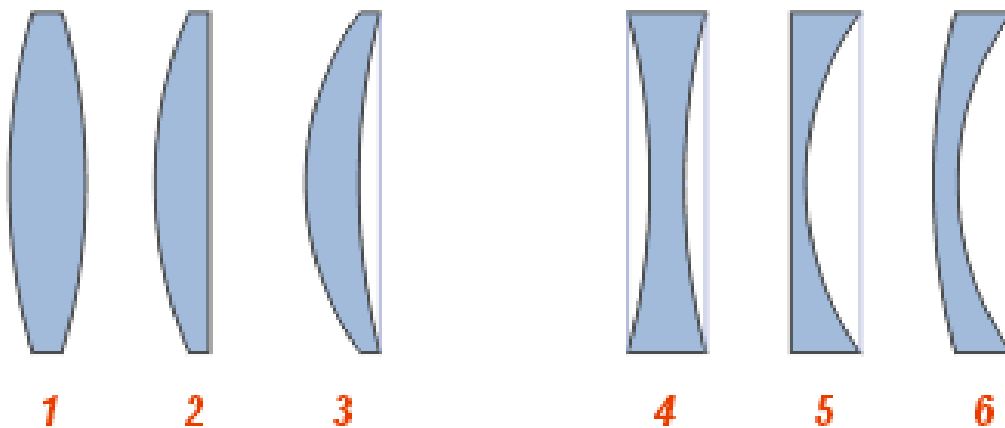
### 3.6. Порядок розрахунку відбивача з гладкою дзеркальною поверхнею

1. Вибір  $\varphi_0$ ,  $r_0$ ,  $\gamma_{oc}$ .
2. Розрахунок масштабного коефіцієнта і приблизного ККД.
3. Розрахунок необхідної КСС.
4. Вибір кутового розміру зон  $\Delta\varphi \leq 10^\circ$ .
5. Вибір порядку заповнення необхідної КСС (від малих кутів до великих).
6. Розрахунок  $\xi_1, \Delta\xi_{n1}, \xi_2, \Delta\xi_{n2}, \xi_n, \Delta\xi_n$  елементарного відображення першої зони ( $r_{cp1}$  приймається  $r_{j-1}$ ,  $\varphi_{cp} = \varphi_0 + \frac{\Delta\varphi}{2}$ ).
7. Вибір  $\Delta\alpha$  для першої зони.
8. Розрахунок  $r_1$  на основі відомих  $\varphi_0, \alpha_0, \varphi_1, \alpha_1, r_0$ .
9. Розрахунок зональної КСС першої зони – знаходження  $r_{cp}, A_{\varphi 1}$ , КСС зони.
10. Побудова отриманої КСС на графіку з необхідною КСС відбивача.
11. Оцінка  $\Delta\alpha_1$  – якщо сила світла більша від заданої,  $\Delta\alpha_1$  беруть більшим, якщо сила світла менша від заданої – меншим. При зміні  $\Delta\alpha_1$  знову розраховують  $r_1$  і зональну КСС.
12. Розрахунок КСС наступних зон. Сумування зональних КСС, аналіз співпадання отриманої сумарної КСС з заданою.
13. Одночасно будують функцію  $\alpha(\varphi)$ , плавність якої характеризує плавність поверхні відбивача  $r(\varphi)$ , а нахил – концентрацію світлового потоку зоною.

## Лекція 4

### ЛІНЗОВІ СВІТЛОВІ ПРИЛАДИ

#### 4.1. Види лінз та їх параметри

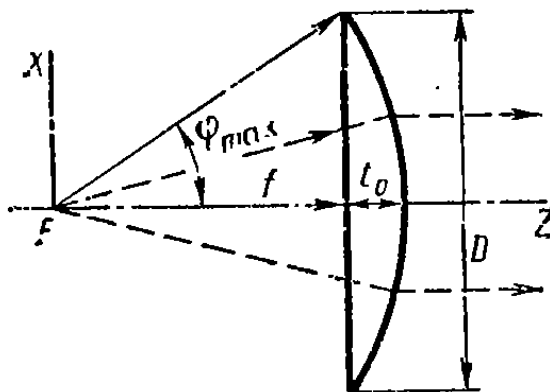


Збираючі: 1 — двовигнута, 2 — плосковигнута, 3 — ввігнуто-вигнута.  
Розсіюючі: 4 — двоввігнута, 5 — плоско-ввігнута, 6 — вигнуто-ввігнута.

*Лінзи поділяють на:*

дискові (сферичні, асферичні, френелівські),  
циліндричні (з френелівським профілем).

**Плосковигнута лінза** – лінза, утворена обертанням навколо осі  $OZ$  сегмента з радіусом кривизни  $R$ .



**Світловий отвір лінзи** – проекція зовнішньої поверхні лінзи на площину, перпендикулярну її оптичній осі.

$R$  – радіус кривизни лінзи;

$f = 0,5R$  – фокусна віддаль;

$t_0$  – товщина по оптичній осі;

$D$  – діаметр;

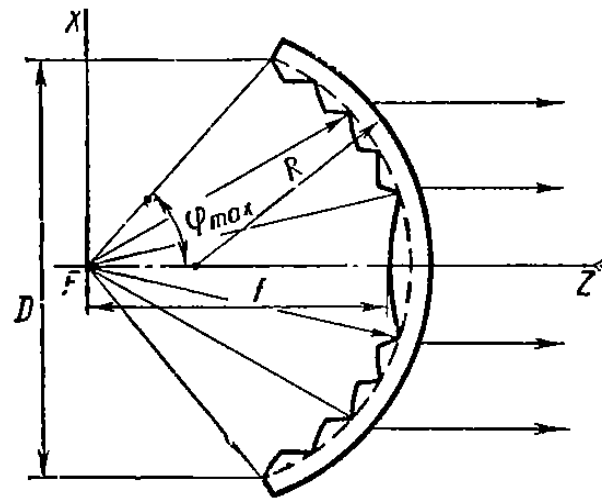
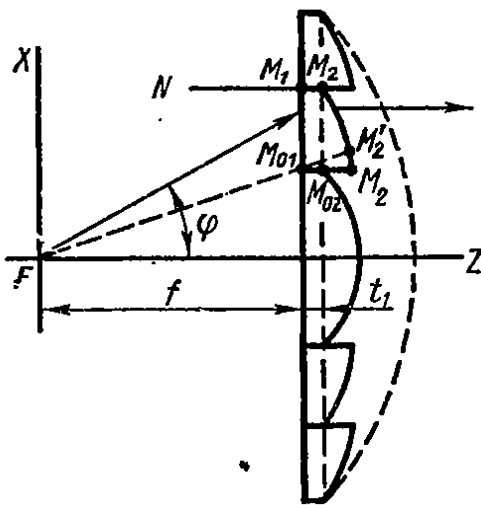
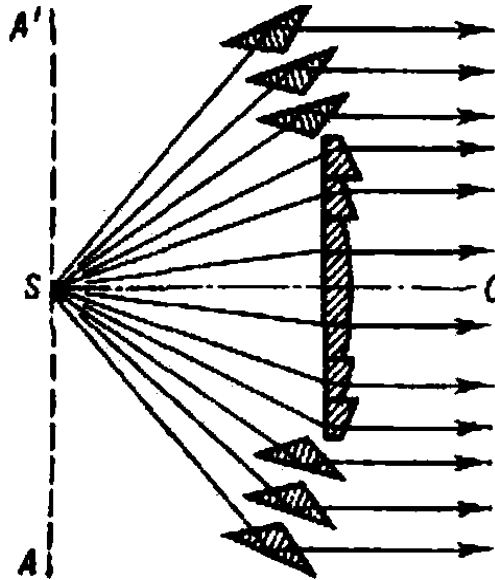
$2\varphi_{\max}$  – плоский кут обхвату.



**Сферична лінза** – лінза, поверхня якої утворена частинами поверхні кулі.

**Асферична лінза** – лінза, зовнішня заломлююча грань якої утворена профільною кривою, що складається з двох дуг кіл з різними радіусами і центрами кривизни, або яка є частиною еліпса з певним ексцентриситетом.

**Френелівська лінза** – лінза, що складається з центрального плосковігнутого елемента і певної кількості кільцевих елементів.



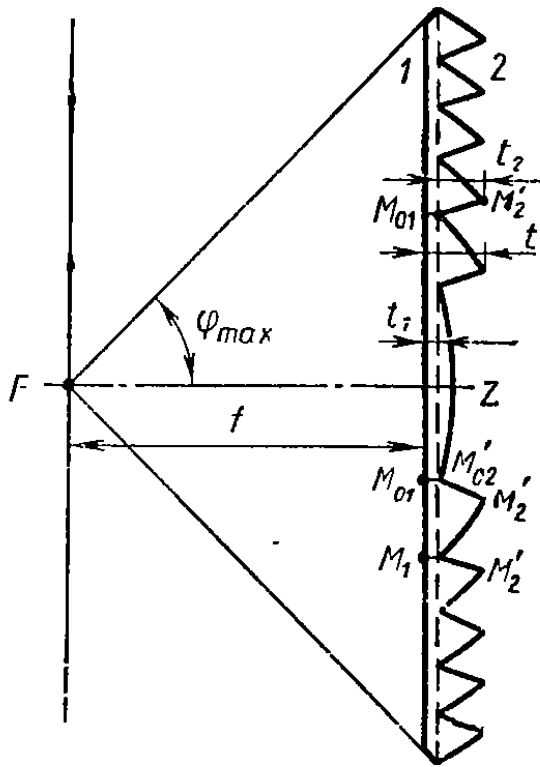
Несучий шар прямий, внутрішній.

Несучий шар криволінійний, зовнішній.

### Параметри лінзи:

- Несучий шар елемента – шар елемента лінзи між поверхнями  $M_1M_{01}$  і  $M_2M_{02}$
- Несучий шар лінзи – шар, спільний для всіх елементів лінзи
- Товщина несучого шару  $t_1$  – проекція грані  $M_{01}M_{02}$  на нормаль  $N_1$
- Загальна товщина елемента  $t$  – проекція грані  $M_{01}M_2$  на нормаль  $N_1$
- Виступ елемента над несучим шаром  $t_2 = t - t_1$
- Висота елемента – відстань між крайніми точками з'єднувальних граней на внутрішній заломлюючій поверхні

## Аларівський профіль лінзи Френеля



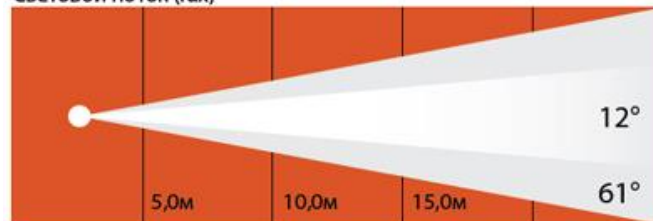
Вага ↓ на 7%, втрати світлового потоку ↓ на 3 %

## 4.2. Застосування лінзових світлових приладів

### Театральні прожектори з лінзами Френеля



Световой поток (лук)



Spot:	21400	5350	2380
Flood:	3030	760	338

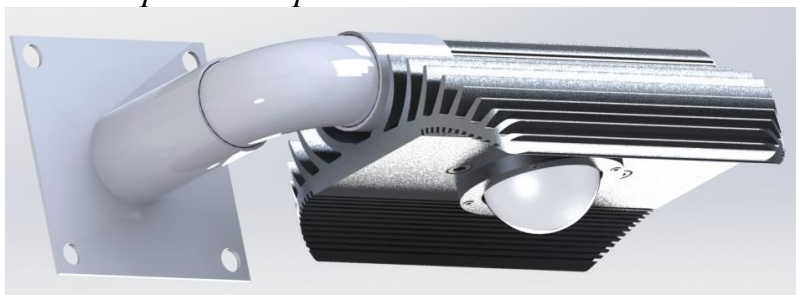
*Промислові світлодіодні лінзові світильники*



*Вуличні світлодіодні лінзові світильники*



*Прожектор світлодіодний лінзовий*



**Маяки**



### 4.3. Оптичний розрахунок френелівської лінзи

#### 4.3.1. Оптичний розрахунок елемента лінзи

Несучий шар – прямий, внутрішній, форма другої заломлюючої грані – тороїдальна.

Завдання розрахунку – знаходження форми зовнішньої заломлюючої поверхні кожного елемента – тобто центру і радіусу кривизни другої заломлюючої грані, координат вузлових точок профілю елемента.

#### Порядок розрахунку:

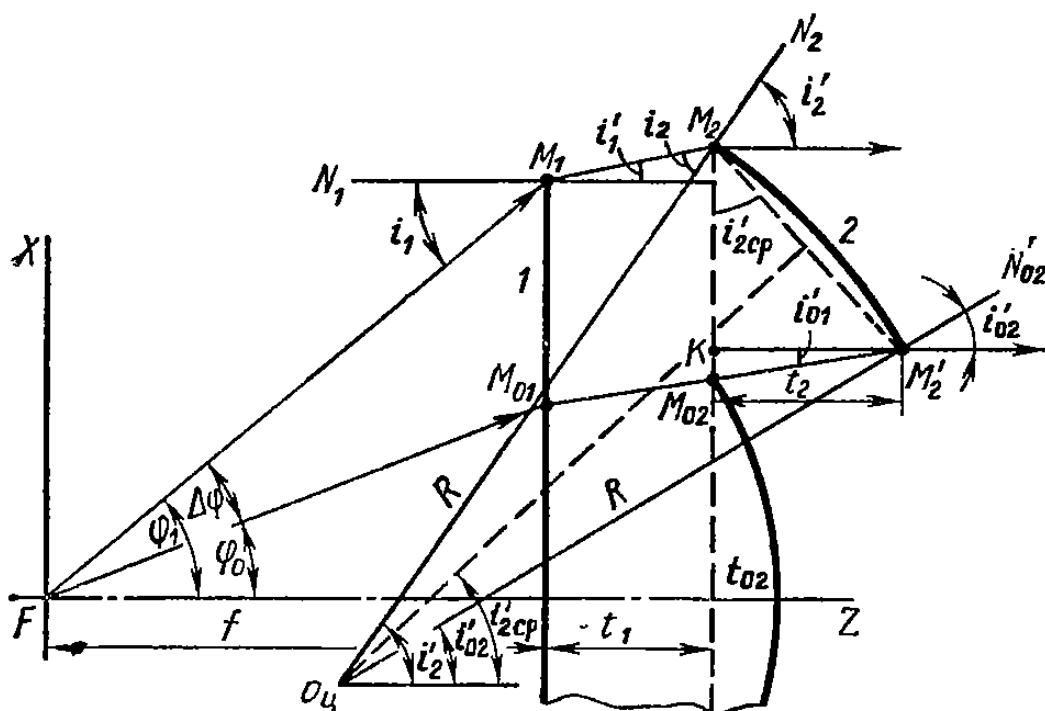
Задано:

фокусна віддаль  $f$ ,

показник заломлення  $n$ ,

товщина несучого шару  $t_1$ ,

довжина основи елемента  $t_2$



1) Задати висоту елемента (координата  $X_1$ ) і визначити т.  $M_1$  вершини елемента.

2) Визначити кутову координату т.  $M_1$  і кут падіння фокального променя  $i_1$

в цю точку  $\varphi_1 = \arctg \frac{X_1}{f}, i_1 = \varphi_1$

3) Визначити кут заломлення променя в т.  $M_1$   $i'_1 = \arcsin \frac{\sin i_1}{n}$

4) Розрахувати координату т.  $M_2$   $X_2 = X_1 - t_1 \operatorname{tgi}'_1, Z_2 = f + t_1$

- 5) Розрахувати кут заломлення  $i'_2$  на зовнішній заломлюючій грані, який забезпечує відхилення осьового променя паралельно  $OZ$   $\operatorname{tgi}'_2 = \frac{\sin \varphi}{n \cos i'_1 - 1}$
- 6) Розрахувати виступ елемента над несучим шаром  $t_2$   $t_2 = \overline{M_{02}M'_2} \cos i'_{01}$
- 7) Розрахувати радіус кривизни другої заломлюючої поверхні елемента:
- $$R = \frac{t_2}{\cos i'_{02} - \cos i'_2}$$
- 8) Розрахувати координати центра кривизни т.  $O_{\delta}$
- $$X_{\delta} = X_2 - R \sin i'_2, \quad Z_{\delta} = (f + t_1) - R \cos i'_2$$
- 9) Розрахувати координати т.  $M'_2$   $X'_2 = X_{02} + t_2 \operatorname{tgi}'_{01}, \quad Z'_2 = Z_{02} + t_2$

Для центрального елемента  $X_{\delta} = 0$ .

### Розрахунок всієї лінзи

Розрахунок починають з центрального елемента.  $t_{02} \approx 0,5t_2$ ,  $\varphi_0 = 12 \dots 15^\circ$ .  
Потім розраховують всі інші елементи. При  $\uparrow \varphi$   $\downarrow \Delta \varphi$

## Лекція 5

### РОЗРАХУНОК КСС ПРИЛАДІВ З ДИСКОВИМИ ФРЕНЕЛІВСЬКИМИ ЛІНЗАМИ

#### 5.1. Яскравість променів еквівалентного ЕВ

Для рівнояскравого немонохроматичного світлого тіла  $L \neq const$

$$\xi_v \leq \xi_e < \xi,$$

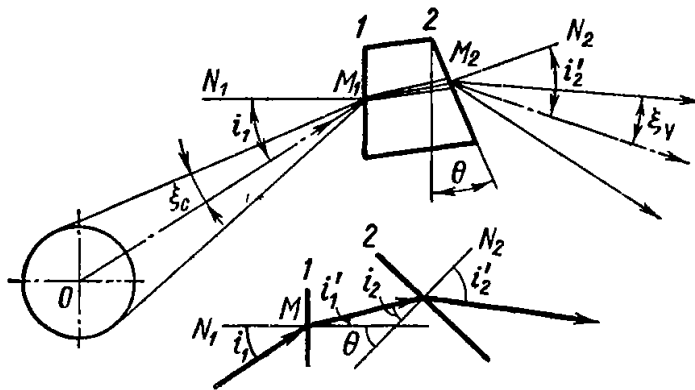
$\xi_v$  – розмір ЕВ в пропущеному світлі для монохроматичного світла,

$\xi_e$  – розмір евівалентного ЕВ,

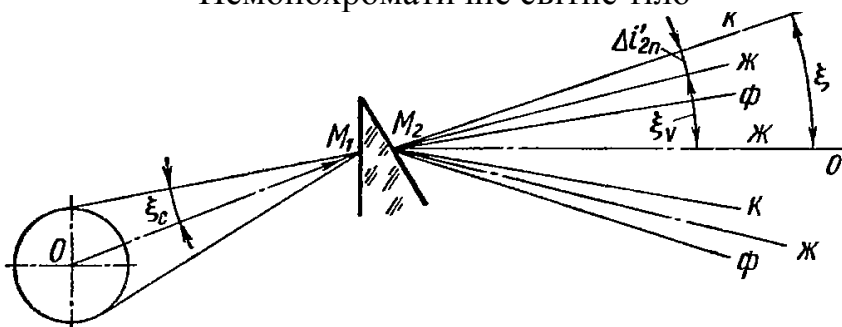
$\xi$  – розмір ЕВ в пропущеному світлі для немонохроматичного світла.

*Меридіональна площина*

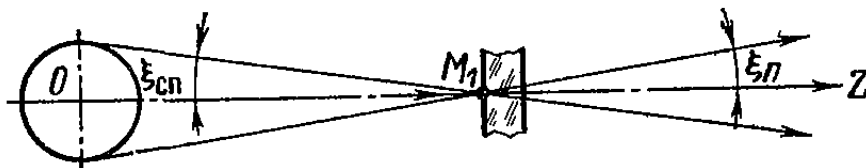
Монохроматичне світне тіло



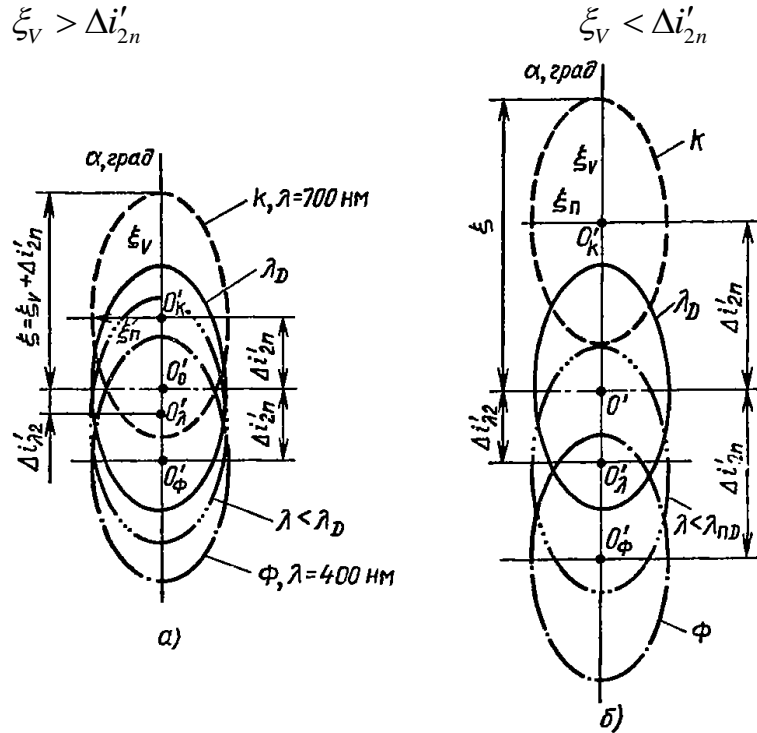
Немонохроматичне світне тіло



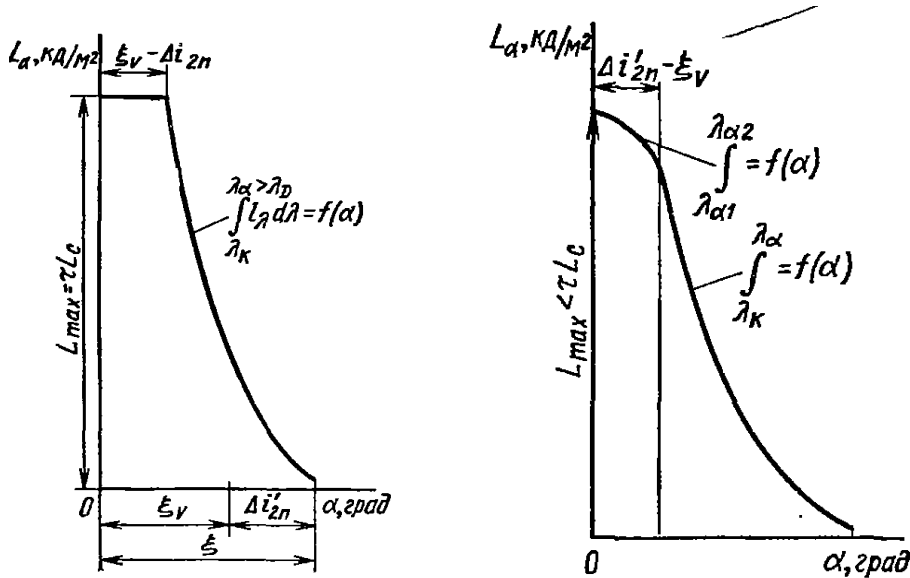
*Екваторіальна площина*



## Сліди ЕВ для заломлюючого елемента



Розподіл яскравості променів ЕВ заломлюючого елемента

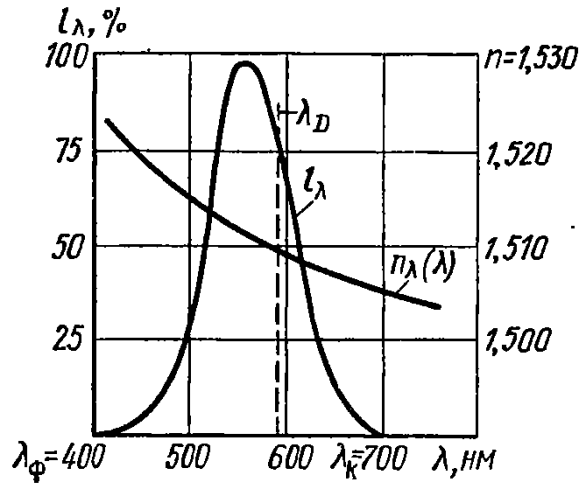


Інтегральна яскравість променів ЕВ:

$$L_1 = 0,5 \int_{\lambda_e}^{\lambda_D} l_\lambda d\lambda, \quad L_2 = 0,5 \int_{\lambda_0}^{\lambda_D} l_\lambda d\lambda \quad \text{або} \quad L_1 = 0,5 \int_{\lambda_e}^{\lambda_{e1}} l_\lambda d\lambda, \quad L_2 = 0,5 \int_{\lambda_0}^{\lambda_{e2}} l_\lambda d\lambda,$$

де  $\lambda_{e1}$  – довжина хвилі випромінювання, яскравість якої дорівнює половині інтегральної яскравості для випромінювання з довжинами хвиль від  $\lambda_D$  до  $\lambda_e$

$\lambda_{e2}$  – довжина хвилі випромінювання, яскравість якої дорівнює половині інтегральної яскравості для випромінювання з довжинами хвиль від  $\lambda_D$  до  $\lambda_0$



Дисперсія скла лінзи:  $\Delta n_{\lambda_{e1}} = n_D - n_{\lambda_{e1}}, \quad \Delta n_{\lambda_{e2}} = n_D - n_{\lambda_{e2}}$

Середня величина дисперсії:  $\Delta n_e = \frac{n_{\lambda_{e1}} + n_{\lambda_{e2}}}{2}$

Кут відхилення променів для еквівалентного ЕВ:

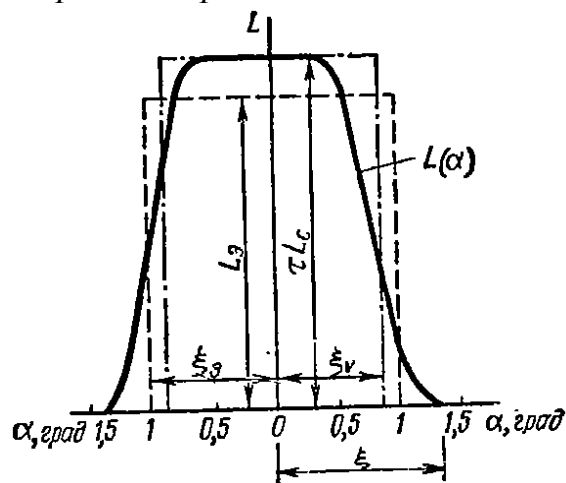
$$\Delta i'_{2e} = \frac{\Delta n_e \sin \theta}{\cos i'_1 \cos i'_2}, \quad U_e = \frac{\Delta i'_{2e}}{\xi_{\bar{n}}}$$

Кутовий розмір ЕВ в меридіональній площині:

$$\xi_e = \xi_V + \Delta i'_{2e} = \xi_c (V + U_e),$$

$V$  – показник заломлюючої дії,  $U_e$  – показник дисперсійної дії.

*Розподіл яскравості фактичного і еквівалентного ЕВ*



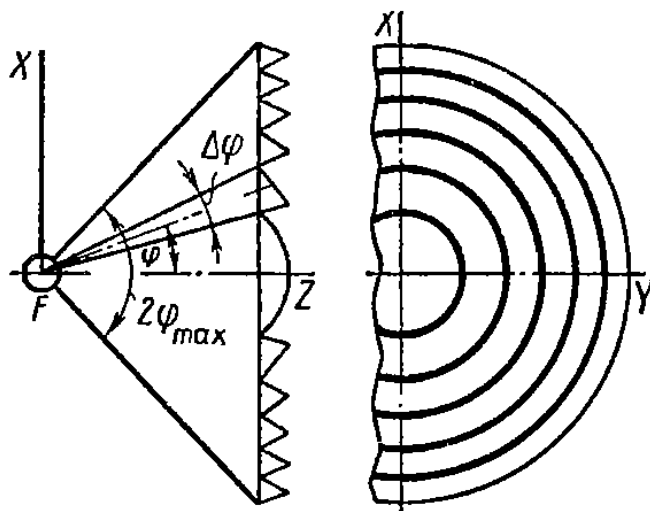
$$L_V = \tau L_c, \quad \frac{L_V}{L_e} \approx \frac{V + U_e}{V}, \quad L_e = L_V \frac{V}{V + U_e} = \tau L_c \frac{V}{V + U_e}$$

Для  $\Delta i'_{2e} > \xi_V \quad L_e \ll \tau L_c$



## 5.2. Осьова сила світла дискової лінзи

Для напрямку  $\alpha=0$  світла частина світлового отвору є проекцією зовнішніх заломлюючих поверхонь елементів лінзи на площину перпендикулярну оптичній осі.



Світлі кільця з центром на оптичній осі і шириною, що дорівнює висоті зовнішньої заломлюючої грані в меридіональній площині  $\overline{X_2 X'_2}$ .

Темні кільця – проекція основ призматичних елементів.

Осьова сила світла лінзи: 
$$I_0 = \sum_{j=0}^n I_{0\varphi_j}$$

$$I_{0\varphi_j} = \tau_j L_{\varphi_j} \pi \frac{(X_2)_j^2 - (X'_2)_j^2}{\left(1 + \frac{U_e}{V}\right)_j}$$

## 5.3. Зональні КСС

Для будь-якої т.М внутрішньої поверхні лінзи радіус вектор  $r = \frac{f}{\cos \varphi}$

Розміри еквівалентного ЕВ для елемента лінзи:

$$\xi_e = \frac{d}{2r}(V + U_e) = d \cos \varphi_{cp} (V + U_e), \quad \xi_n = \frac{d}{2f} \cos \varphi_{cp}.$$

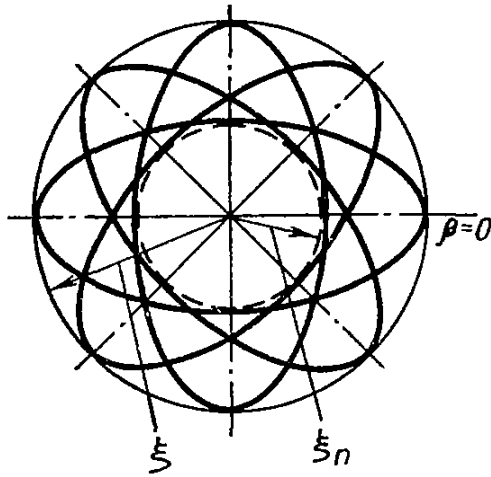
При  $V + U_e = 1$  – ЕВ має форму кругового конуса;

При  $V + U_e > 1$  – ЕВ є еліптичним конусом з великою віссю  $2\xi_e$  в меридіональній площині;

При  $V + U_e < 1$  – ЕВ є еліптичним конусом з малою віссю  $2\xi_e$  в меридіональній площині;

Слід ЕВ точки поверхні лінзи – еліпс з півосьми  $\xi_e$  і  $\xi_n$ ,

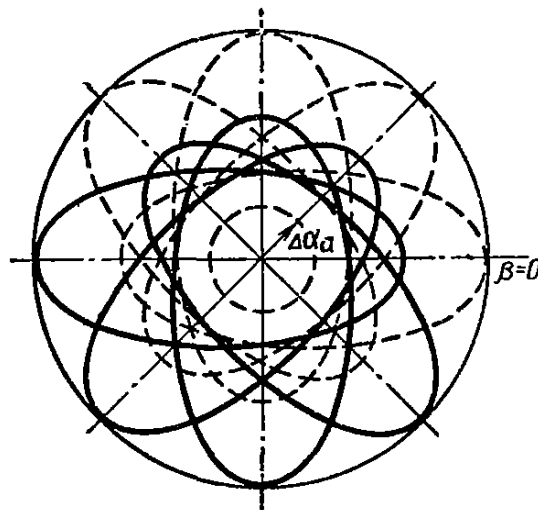
Слід зонального відображення – сукупність таких еліпсів.



Слід зонального відображення для безабераційного елемента

Для абераційного заломлюючого елемента

$$\Delta\alpha_a = \frac{\Delta f}{f} V \sin \varphi \cos \varphi = \frac{\Delta f}{2f} V \sin 2\varphi$$



Слід зонального відображення при  $\Delta\alpha_a < \xi$

Зміна світлої частини світлового отвору елемента лінзи при  $V + U_e > 1$

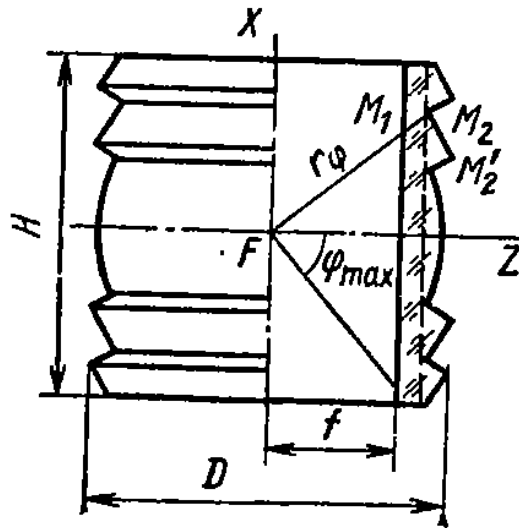
При  $0 \leq \alpha \leq \xi_n$  – весь світловий отвір світиться;

При  $\alpha > \xi_n$  – світловий отвір світиться частково (гаснуть точки в меридіональній площині перпендикулярній площині спостереження);

При  $\alpha \gg \xi_n$  – гасне весь світловий отвір.

## Лекція 6

### РОЗРАХУНОК КСС ЦИЛІНДРИЧНИХ ФРЕНЕЛІВСЬКИХ ЛІНЗ



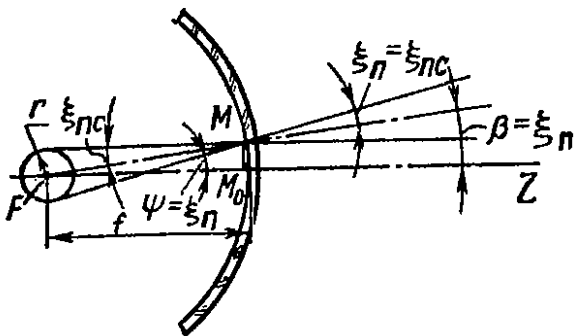
**Циліндрична лінза** – лінза, утворена обертанням лінзи з аларівським профілем навколо осі  $FZ$ , що проходить через її фокус.

Циліндрична лінза концентрує потік у круговому віялоподібному тілі і перерозподіляє його в просторі.

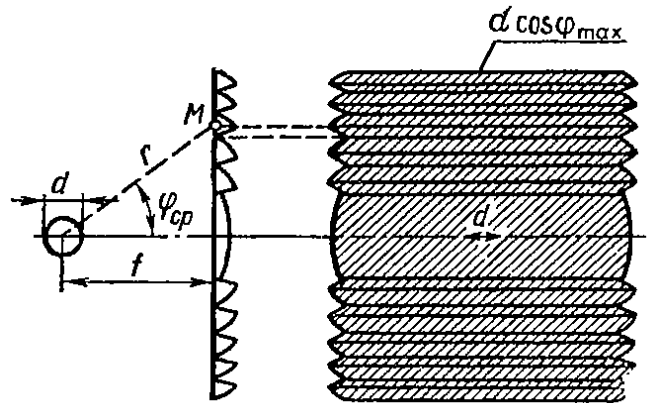
**Профільні площини** – площини, які проходять через вісь  $FX$ .

**Екваторіальні площини** – площини, перпендикулярні до осі  $FX$ .

Нехай світне тіло – кульове, рівнояскраве.



Світла частина екваторіального січення центрального елемента лінзи



Світла частина світлового отвору циліндричної лінзи

Починаючи з відстані  $H_0$  світла частина зони буде мати розмір, що дорівнює висоті другої заломлюючої грані ( $X_2 - X'_2$ ).

$\xi_{nc} = \xi_n$  і  $\psi = \beta$ . Тому останньою світлою точкою буде т.М екваторіального січення.

$$\overline{MM_0} = f \sin \xi_n = f \frac{d}{2f} = \frac{d}{2} = r. \quad \text{Відповідно, світні точки головного}$$

екваторіального січення розміщені на відрізку  $2\overline{MM_0} = d$ .

Світла частина центрального елемента має форму прямокутника з шириною  $d$  і висотою  $2X_{02}$ , тобто висоті проекції зовнішньої заломлюючої грані на площину, перпендикулярну осі  $FZ$ .

Для екваторіального січення, що проходить через точку  $M_{cp}$  будь-якого елемента лінзи, ширина світного відрізка:

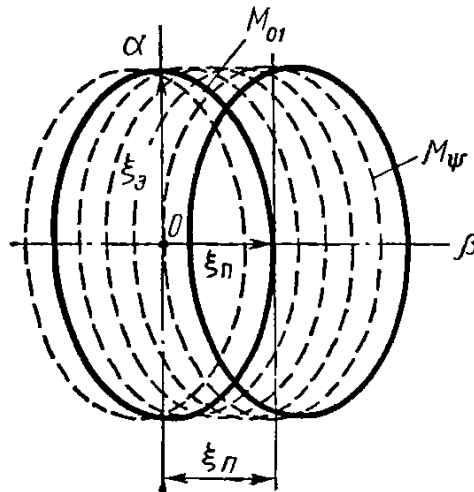
$$\overline{MM_{\varphi_{cp}}} = f \sin \xi_{ncp} = d \cos \frac{\varphi_{cp}}{2}.$$

Світла частина циліндричної лінзи з кульовим світним тілом – полоса, ширина якої змінюється за законом  $d \cos \varphi$ , а висота дорівнює висоті лінзи із сторони її зовнішньої заломлюючої поверхні.

Осьова сила світла зони:

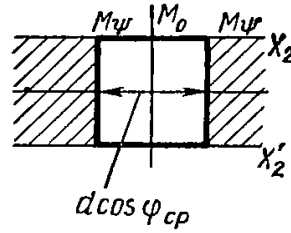
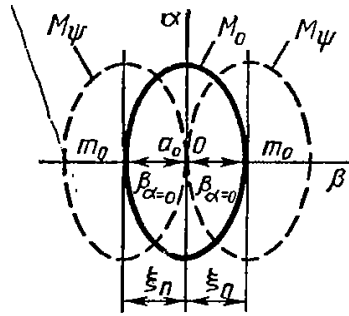
$$I_{0\varphi} = \tau L_{\varphi j} \cos \varphi_{cp} V d \frac{X_2 - X'_2}{V + U_e}.$$

Слід зонального відображення окремого елемента характеризується  $\Delta\alpha = 0$ , то відображення його зовнішньої заломлюючої грані на графіку  $(\alpha, \beta)$  в прямокутній системі координат є пряма  $\beta, \alpha = 0$ . Сліди ЕВ – еліпси з великою віссю  $\xi_e$  і малою віссю  $\xi_n$  (при  $(V + U_e) > 1$ ). Слід зонального відображення – сукупність еліпсів, центри яких розміщені на прямій  $\beta(\alpha = 0)$ .

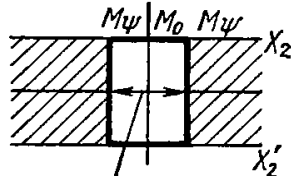
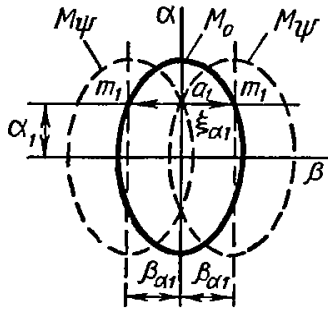


Зональне відображення циліндричної лінзи з кульовим світним тілом

Мірою множини ЕВ, які перекривають будь-який напрямок  $\beta, \alpha = 0$ , є розмір  $2\xi_n$ , який визначає лінійну ширину  $d \cos \varphi_{cp}$  світлої частини елемента для осьового напрямку.



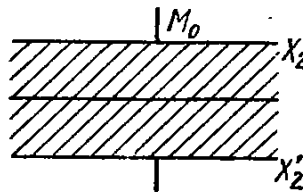
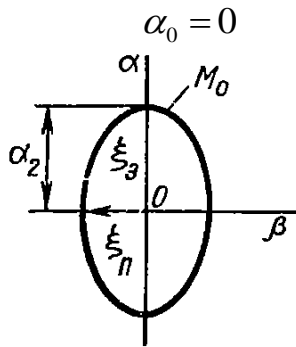
a)



$$d \cos \varphi_{cp} \frac{\beta_{\alpha_1}}{\xi_n} = d \cos \varphi_{cp} K_{\alpha}$$

$$0 < \alpha_1 < \xi_e$$

б)



в)

$$\alpha_2 = \xi_e$$

Світла частина зони лінзи при зміні кута  $\alpha$

$$K_{\alpha} = \frac{2\beta_{\alpha}}{180} = \frac{\beta_{\alpha}}{90}$$

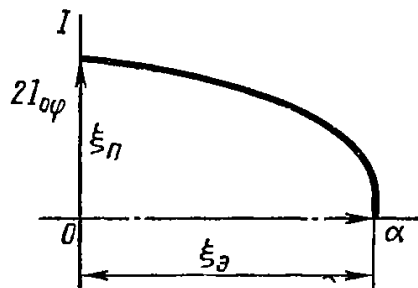
або

$$K_{\alpha} = \frac{2am}{2\xi_n} = \frac{\beta_{\alpha}}{\xi_n}$$

Сила світла:

$$I_{\varphi\alpha} = I_{0\varphi} \frac{\beta_{\alpha}}{\xi_n}$$

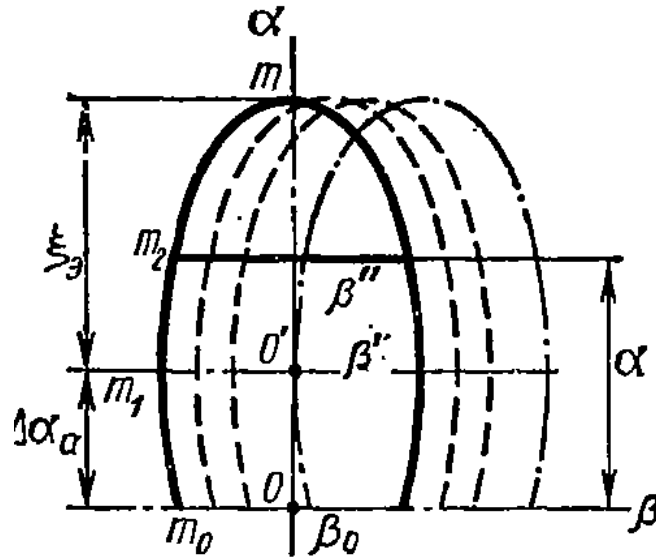
Зональна КСС зони циліндричної лінзи з кульовим світним тілом описується еліптичним законом. Вона може бути побудована в системі координат  $(\alpha, I)$ . Масштаб кривої визначається осевим значенням сили світла.



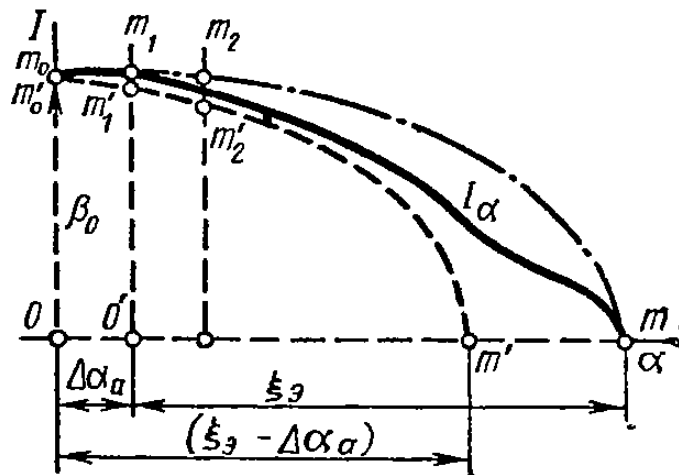
## 6.1. Циліндрична лінза з поздовжньою аберацією

Дія поздовжньої аберації – поворот осей всіх ЕВ в меридіональній площині відносно головної екваторіальної площини.

$$\text{Кутова аберація } \Delta\alpha_a = \Delta f \frac{V}{f} \sin\varphi \cos\varphi = \Delta f \frac{V}{2f} \sin 2\varphi$$



Зональне відображення абераційного елемента лінзи



Побудова зональної КСС абераційної циліндричної лінзи

Верхня крива – частина еліпса з розміром по осі  $\alpha$  ( $\xi_e + \Delta\alpha_a$ ).

Нижня крива – частина еліпса з розміром по осі  $\alpha$  ( $\xi_e - \Delta\alpha_a$ ).

Осьова сила світла:

$$I_{0\varphi} = 2I'_{0\varphi} \frac{om}{\xi_n} = 2I'_{0\varphi} \frac{\beta_0}{\xi_n},$$

де  $I'_{0\varphi}$  – осьова сила світла одного елемента без абераційної лінзи,

$\beta_0$  – кут, що визначає розмір світлої частини абераційного елемента по напрямку  $\alpha = 0$ .

## Лекція 7

### СВІТИЛЬНИКИ З ПРИЗМАТИЧНИМИ ЗАЛОМЛЮЮЧИМИ ОПТИЧНИМИ ПРИСТРОЯМИ

#### 7.1. Класифікація світильників з призматичними заломлюючими пристроями

##### Побутово-адміністративні світильники



##### Вуличні світильники



##### Промислові світильники



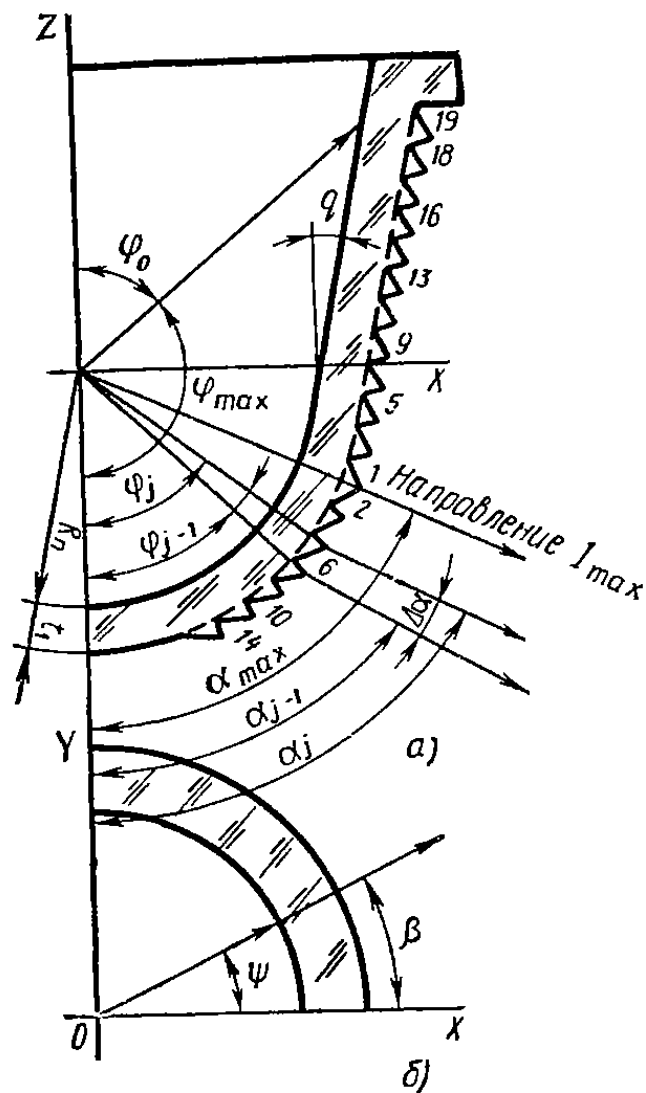
#### **Переваги призматичних світильників:**

- створюють значну концентрацію світлового потоку під великими кутами  $\alpha = 80 - 85^\circ$  у заданих кутах  $\beta$
- забезпечують необхідну несиметричність КСС
- високий ККД (до 86%)
- великий коефіцієнт підсилення
- стійкість до впливу навколишнього середовища

#### **Недоліки призматичних світильників:**

- велика сліпуча дія
- складне очищення поверхні
- виробничі похибки при виготовленні ковпаків

**Симетричний призматичний пристрій** – скляний пристрій з горизонтально розміщеними кільцевими призмами, який перерозподіляє світловий потік у меридіональній площині.



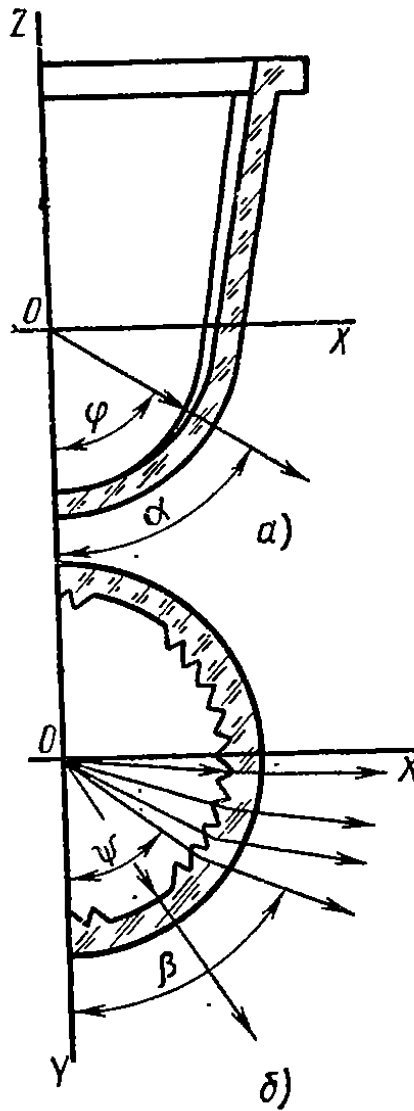
Розмір зображення світного тіла в меридіональній площині не дорівнює висоті ковпака і залежить від заданої сили світла.

Розмір зображення світного тіла в екваторіальній площині рівний розміру світного тіла.

Форма ковпаків: чашоподібні, куполоподібні, конічні

**Несиметричний призматичний пристрій** – скляний пристрій з вертикально розміщеними призмами, який перерозподіляє світловий потік в екваторіальній площині.





Розмір зображення світного тіла в меридіональній площині рівний розміру світного тіла.

Розмір зображення світного тіла в екваторіальній площині не дорівнює розміру світного тіла.

Форма ковпаків: коритоподібні.

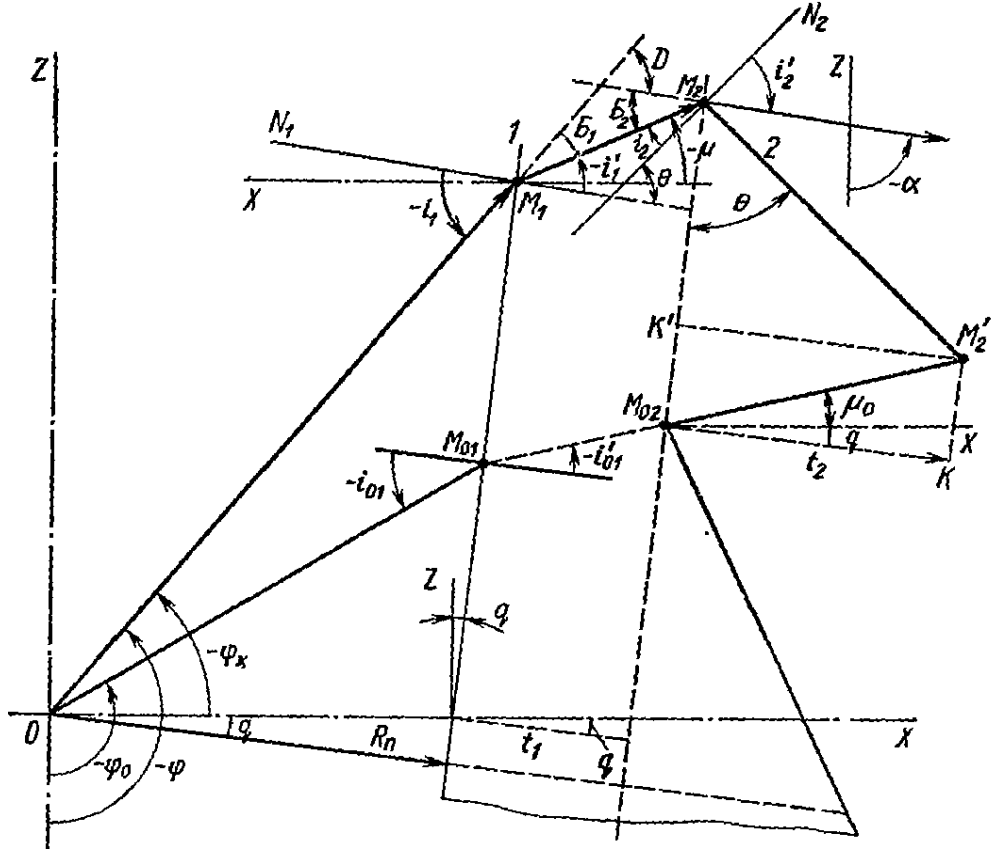
## 7.2. Оптичний розрахунок призматичних елементів

Для ковпака з внутрішнім несучим шаром перша заломлююча грань встановлюється при виборі форми несучого шару, друга грань орієнтується кутом заломлення  $\theta$ . Основа елемента повинна співпадати з променем, заломленим першою гранню біля основи елемента.

Для ковпака із зовнішнім несучим шаром друга грань встановлюється при виборі форми несучого шару, перша грань визначається кутом  $\theta$ .

Порядок розрахунку (для ковпака з внутрішнім несучим шаром)

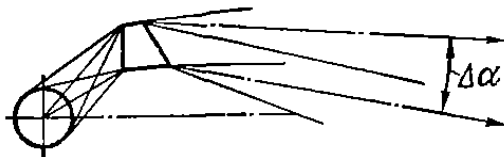
1. Вибір розміру першої заломлюючої грані і розміщення призми на ковпаку.
2. Розрахунок точок вершини призми  $M_1$  на грані 1 і  $M_2$  на грані 2.
3. Розрахунок кута заломлення  $\theta$ .
4. Розрахунок координат т.  $M'_2$ .
5. Побудова профілю призми за координатами точок і кутом заломлення.



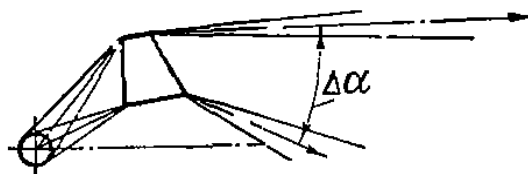
**7.3. Розрахунок КСС призматичних елементів**

Кожний призматичний елемент характеризується розгорткою осьових променів і ОСОП, отриманою відображенням його другої заломлюючої грані на деяку поверхню.

*Розгортка осьових променів  $\Delta\alpha$*

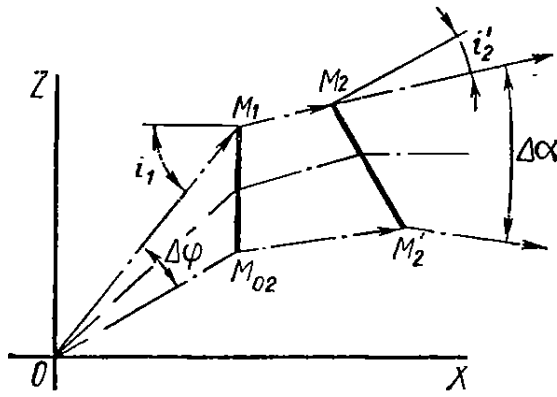


$$\Delta\alpha = \Delta\varphi V < 2\xi \quad (0 < \zeta < 1)$$



$$\Delta\alpha = \Delta\varphi V \geq 2\xi \quad (\zeta \geq 1)$$

Оптичний пристрій – симетричний, призматичний елемент – кільцевий.



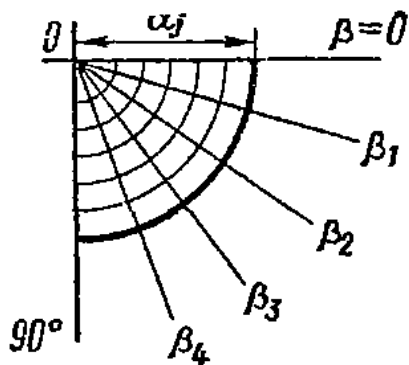
$$\beta = \psi, \Delta\varphi \neq \Delta\alpha$$

$\Delta\alpha$  визначається:

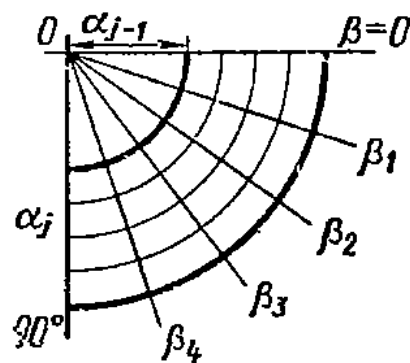
- показником заломлення  $n$ ;
- кутом заломлення  $\theta$ ;
- кутовим розміром призматичного елемента  $\Delta\varphi$ .

ОСОП (область слідів осьових променів)

$$\Delta\alpha = \alpha_j - \alpha_{j-1} = \Delta\varphi V$$



$$\alpha_{j-1} = 0, \alpha_j > 0$$

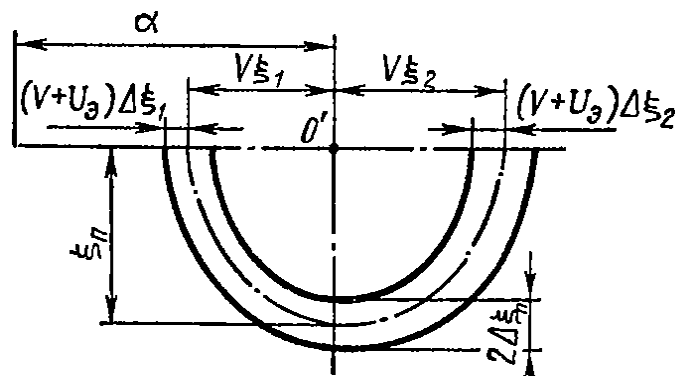


$$\alpha_{j-1} > 0, \alpha_j > 0$$

Довжина ОСОП вимірюється кутом  $\beta$  і може дорівнювати  $90^\circ$  по обидва боки від сліда меридіональної площини  $\beta=0$ , на практиці довжина ОСОП дорівнює  $2\xi_n$ .

ОСОП різних призматичних елементів можуть співпадати, частково перекриватися або утворювати між собою розрив.

Розміри EB



Слід ЕВ призматичного елемента і кільцевого кільцевого світлого тіла  
Нехай розміри ЕВ постійні в межах кута  $\Delta\varphi$ , тоді для середньої точки:

$$\xi_1 = \xi_{1c}V, \quad \xi_2 = \xi_{2c}V, \quad \xi_n = \xi_{cc},$$

$$\Delta\xi_1 = \Delta\xi_{1c}(V + U_e), \quad \Delta\xi_2 = \Delta\xi_{2c}(V + U_e), \quad \Delta\xi_n = \Delta\xi_{cc}$$

Яскравість променів еквівалентного ЕВ аналогічна, як для френелівської лінзи:

$$L_e = L_V \frac{V}{V + U_e}, \quad L_e = \tau L_c \frac{V}{V + U_e}$$

*Площа світлої частини*

За допомогою ОСОП, зонального відображення і ФВСТ розраховується коефіцієнт заповнення  $K_\alpha$ :

$$K_\alpha = \frac{n_\alpha}{2(\xi_n + \Delta\xi_n)\Delta\alpha} = \frac{n_\alpha}{N},$$

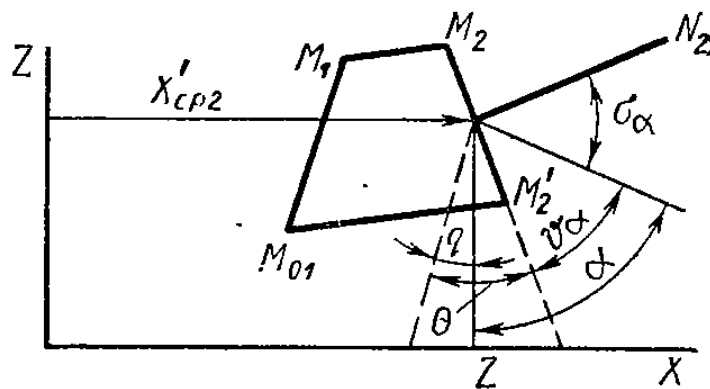
де  $n_\alpha$  – кількість ділянок, що належать ФВСТ на ОСОП;  
 $N$  – загальна кількість ділянок на ГПК.

Площа світлої частини в напрямку  $\alpha$ :

$$A'_\alpha = \frac{A'_\varphi n_\alpha}{2(\xi_n + \Delta\xi_n)\Delta\alpha}$$

*Сила світла призматичної зони в напрямку  $\alpha$*

$$I_\alpha = L_e A'_\alpha \cos \sigma_\alpha$$



$$I_\alpha = \tau L_\varphi A'_\alpha \sin(\alpha + q - \theta) \frac{V}{V + U_e}.$$

При  $0 \leq \Delta\alpha \leq 2\xi$  КСС має пікоподібний характер.  
При збільшенні  $\Delta\alpha$  КСС стає плавнішою.

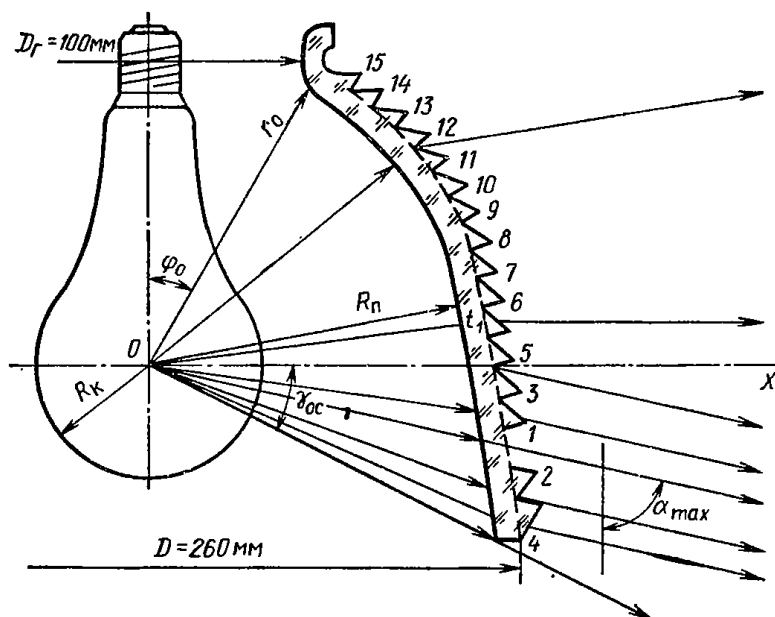
### Порядок розрахунку зональної КСС кільцевого призматичного елемента:

1. Побудова прямокутної системи координат  $\alpha, \beta$ .
2. Розрахунок кутових розмірів світного тіла для середньої точки першої заломлюючої грані призми.
3. Розрахунок  $V$  і  $U_e$ .
4. Розрахунок кутових розмірів еквівалентного ЕВ і кута розгортки осьових променів  $\Delta\alpha$ .
5. Розрахунок частини площі другої заломлюючої поверхні зони  $A'_\varphi$ .
6. Побудова сліда еквівалентного ЕВ.
7. Розрахунок коефіцієнта заповнення  $K_\alpha$  для вибраних напрямків  $\alpha$ .
8. Розрахунок яскравості світлої частини  $L_e$ .
9. Розрахунок  $I_\alpha$  і побудова  $I(\alpha)$ .

### **7.4. Розрахунок призматичних світильників за заданими КСС**

Мета розрахунку – визначення оптичного профілю призматичних елементів і вибір геометричних параметрів несучого шару ковпака.

Ковпак – куполоподібний з внутрішнім несучим шаром, має конічні у сферичну ділянки.



$$T_n = \frac{R_k}{R_n} (T_k + T_{cp}) + T_{cp}$$

$T_n$  – температура поверхні сферичної частини ковпака;

$R_k$  – радіус колби лампи;

$T_k$  – температура колби лампи в площині світного тіла;

$T_{cp}$  – температура навколишнього середовища;

$R_n$  – радіус сферичної частини.

Для  $T_n = 80^\circ\text{C}$

$$R_n = R_k \frac{T_k + T_{cp}}{80 - T_{cp}} = R_k \frac{\Delta T_k}{\Delta T_n}$$

Кут обхвату  $\varphi_{\max}$  вибирають з врахуванням кута  $q$  ( $q = 3 \dots 6^\circ$ ) і допустимих значень френелівського відбивання. При збільшенні  $\varphi_{\max}$  збільшуються втрати на відбивання, зменшується коефіцієнт пропускання  $\tau$ , зменшується ККД світильника.  $\varphi_{\max}$  повинен бути таким, щоб  $i_1 < 50^\circ$ .

Товщина несучого шару  $t_1 = 6 \dots 8$  мм.

$$t_2 = \text{const}, \quad \Delta\varphi = \text{var}.$$

Хід падаючих і заломлених променів залежить від:

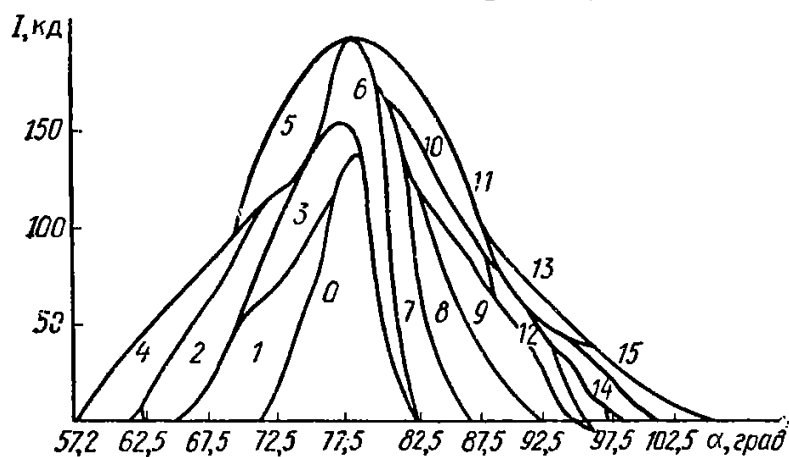
- заданої КСС;
- оптичних характеристик скла ( $\tau, n, \rho$ );
- характеристик джерела світла (форми і розмірів світлого тіла, габаритної яскравості, спектрального складу випромінювання).

Вихідні дані до розрахунку:

$\varphi_{\max}, R_n, t_1, q$ , параметри джерела світла: розміри колби, розміри і форма СТ, розподіл габаритної яскравості  $L_\varphi, P, U$ , світловий потік, КСС.

Порядок розрахунку:

1. Вибір  $\Delta\varphi$  (при віддаленні від напрямку  $\alpha_{\max}$  зменшують від  $5^\circ$  до  $3^\circ$ ).
2. Вибір  $\alpha$  для призм 1 і 2:  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_{\max}$ .
3. Розрахунок кута заломлення  $\theta$  і координат точок  $M_1, M_2, M'_2$  призм 1 і 2.
4. Розрахунок  $\Delta\alpha_1$  і  $\Delta\alpha_2$  та зональних КСС призм 1 і 2.
5. Побудова зональних КСС на графіку із заданою КСС світильника.
6. Оцінка отриманих кривих, визначення напрямку дії призм 3 і 4.
7. Вибір кутів  $\alpha_3$  і  $\alpha_4$  по залежності  $\alpha(\varphi)$ .
8. Розрахунок інших призм набором заданої КСС. Відхилення розрахункової КСС від заданої не повинно перевищувати  $\pm 10\%$

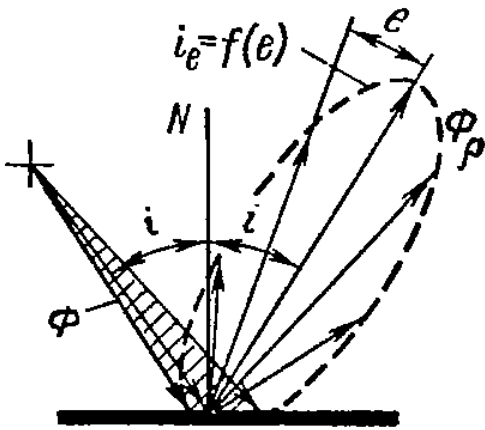


## Лекція 9

### СВІТИЛЬНИКИ ІЗ СВІТЛОРОЗСІЮЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ

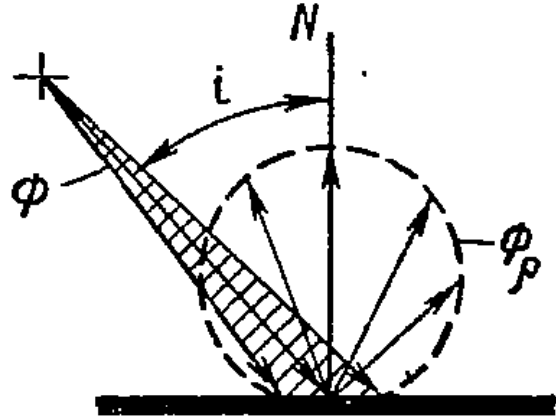
#### Світловідбиваючі матеріали

##### Направлено-дифузне відбивання



слабоматовані метали,  
поверхні з шоопуванням,  
оксидований алюміній з  
гальванічною обробкою,  
емальовані покриття

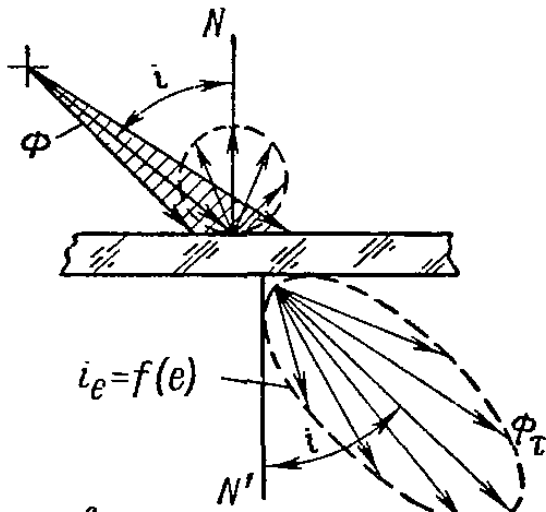
##### Дифузне відбивання



сильноматовані метали

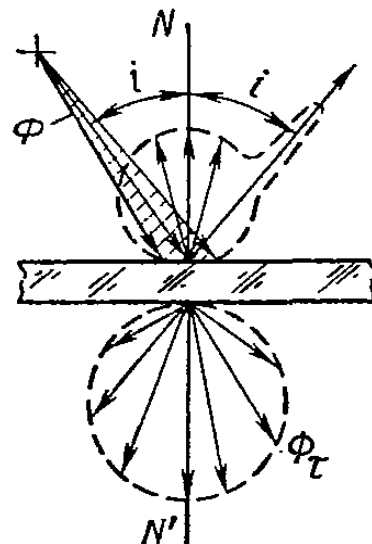
#### Світлорозсіюючі матеріали

##### Направлено-дифузне пропускання



слабоматоване органічне і  
неорганічне скло,  
опалове скло

##### Дифузне пропускання



сильноматоване органічне і  
неорганічне скло,  
глушене скло  
молочне скло

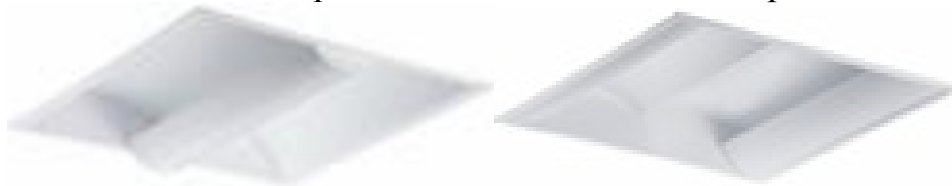
Світильники з світлорозсіюючими відбивачами



Світильники з світлорозсіюючими розсіювачами

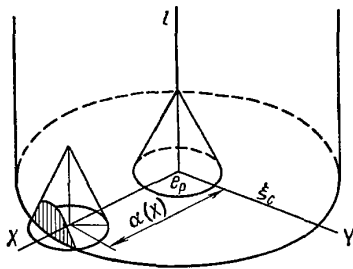


Світильники з світлорозсіюючими відбивачами і розсіювачами

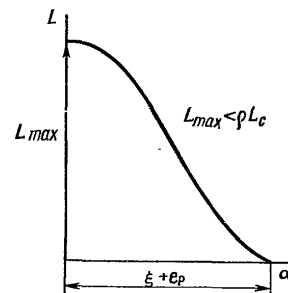
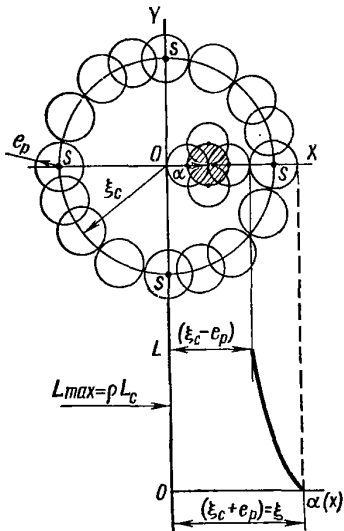
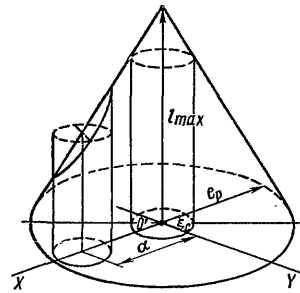


Сліди ЕВ для направлено-розсіюючого елемента

$$e_p < \xi_c$$



$$e_p > \xi_c$$





**Світлові прилади із світлорозсіюючих матеріалів** – це прилади, які перерозподіляють світловий потік лампи, не створюючи зображення світного тіла.

Світна поверхня світиться по всіх напрямках півпростору і може вважатися самосвітною.

**Переваги світильників з світлорозсіюючими відбивачами:**

- простота конструкції
- легкість виготовлення,
- мала вартість
- покриття одночасно є світлотехнічним, захисним і антикорозійним

**Недоліки:**

- низький ККД (0,6...0,8)

**Переваги світильників з світлорозсіюючими розсіювачами:**

- варіабельність конструкції
- можливість керуванням перерозподілу світлового потоку,
- мала вартість
- відсутність засліплюючої дії

**Недоліки:**

- низький ККД (0,75 для СП з дифузними розсіювачами, 0,85 – з направлено-розсіюючими елементами)

## **9.1. Розрахунок світильників з дифузними відбивачами**

### **9.1.1. Розрахунок ККД**

Коефіцієнт багатократних відбивань  $\chi$  – це відношення сумарного світлового потоку, що падає на поверхню відбивача, до світлового потоку, що початково впав від лампи:

$$\chi = \frac{\hat{O}'_{\varphi}}{\hat{O}_{\varphi}} = \frac{1}{1 - \rho(1 - u)},$$

де  $\hat{O}'_{\varphi}$  – сумарний потік що падає на поверхню відбивача в результаті багатократних відбивань,

$\hat{O}_{\varphi}$  – потік, що падає на відбивач від лампи,

$\rho$  – коефіцієнт відбивання,

$u$  – коефіцієнт використання поверхні відбивача відносно світлового отвору (частка відбитого потоку, яка попадає на світловий отвір).

$\chi = 1$  для плоских і опуклих поверхонь,

$\chi > 1$  для вгнутих поверхонь.

Якщо світловий отвір – диск з яскравістю відбивача, то:

$$\pi L_{\hat{a}} A_{\hat{a}} u = \pi L A_{co},$$

де  $L_{\hat{a}}$  – яскравість відбивача,  
 $A_{\hat{a}}$  – площа відбивача,  
 $A_{co}$  – площа світлового отвору.

$$u = \frac{A_{co}}{A_{\hat{a}}},$$

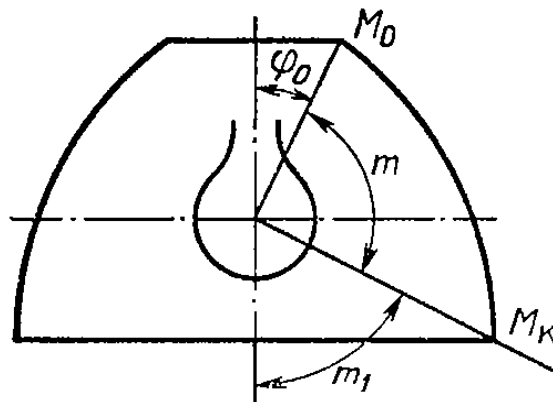
$u < 1$  для вгнутих відбивачів,  $u = 1$  для плоских відбивачів.

$$\hat{O}_{\bar{n}\hat{a}} = m_1 \hat{O}_{\bar{e}} + \rho u \hat{O}'_{\varphi},$$

де  $m_1 \hat{O}_{\bar{e}}$  – потік, який безпосередньо від лампи вийшов у світловий отвір,  
 $\rho u \hat{O}'_{\varphi}$  – потік, який вийшов через світловий отвір в результаті багатократних відбивань.

$$\hat{O}_{\varphi} = m \hat{O}_{\bar{e}}, \text{ тому } \hat{O}_{\bar{n}\hat{a}} = m_1 \hat{O}_{\bar{e}} + m \hat{O}_{\bar{e}} \rho u \chi,$$

$$\eta = \frac{\hat{O}_{\bar{n}\hat{a}}}{\hat{O}_{\bar{e}}} = m_1 + \rho m u \chi$$



## 9.2. Розрахунок КСС

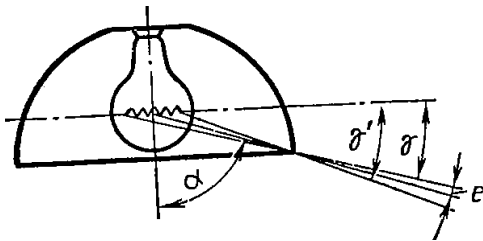
### 9.2.1. Плавний круглосиметричний відбивач

Яскравість поверхні відбивача:  $L_{\hat{a}} = \frac{\rho \hat{O}_{\varphi} \chi}{\pi A_{\hat{a}}}$

Сила світла в напрямку  $\alpha$ :  $I_{\bar{n}\alpha} = I_{\bar{e}\alpha} k_{\alpha} + L_{\hat{a}} A_{co} \cos \alpha,$

$k_{\alpha}$  – коефіцієнт екранування світлого тіла лампи краєм відбивача,

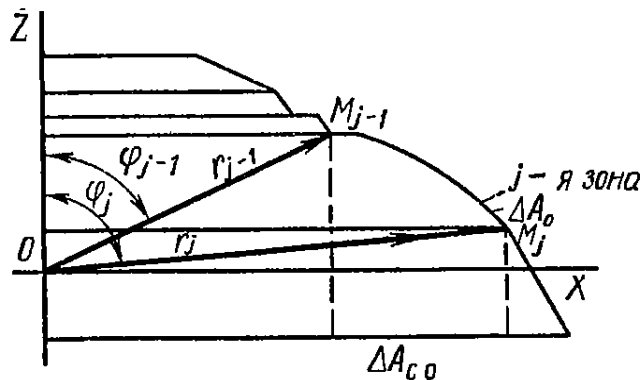
$$k_{\alpha} = \frac{e}{\gamma' - \gamma}$$



При збільшенні захисного кута:

- ↑ світловий потік, захоплений відбивачем,
- ↑ яскравість відбивача,
- ↑ сила світла відбивача,
- ↑ осьова сила світла,
- КСС стає вужчою,
- ↓ ККД.

### 9.2.2. Ступінчастий відбивач



#### Особливості ступінчастого відбивача

- світловий потік і яскравість різко змінюються від зони до зони,
- світловий отвір не є рівнояскравим диском,
- в напрямку  $\alpha$  видимі концентричні кільця різної яскравості,
- при  $\alpha > 0$  зони перекриваються і закриваються краєм вихідного отвору,
- нерівномірною яскравістю створюється світловим потоком, що впав від лампи на відбивач,
- рівномірною додатковою яскравістю створюється багатократними відбиваннями світлового потоку.

Сила світла в напрямку  $\alpha$ :  $I_\alpha = I'_\alpha + I''_\alpha$ ,

де  $I'_\alpha$  – сила світла, сформована при першому відбиванні,

$I''_\alpha$  – сила світла, сформована при другому і подальших відбиваннях.

$$I'_\alpha = \frac{\rho \cos \alpha}{\pi} \sum_{j=1}^n c_{\alpha j} u_j \Delta \hat{O}_j,$$

де  $c_{\alpha j} = \frac{\Delta A_{co}}{\Delta A_{\hat{a}}}$ .

$$I''_\alpha = \frac{\rho \hat{O}_\varphi (\chi - 1) u \cos \alpha}{\pi}$$

$$I_{\bar{n}\hat{a}\alpha} = k_\alpha I_{\bar{e}\alpha} \left[ \sum_{j=1}^n c_{\alpha j} u_j \Delta \hat{O}_j + \hat{O}_\varphi (\chi - 1) u \right] \frac{\rho \cos \alpha}{\pi}$$

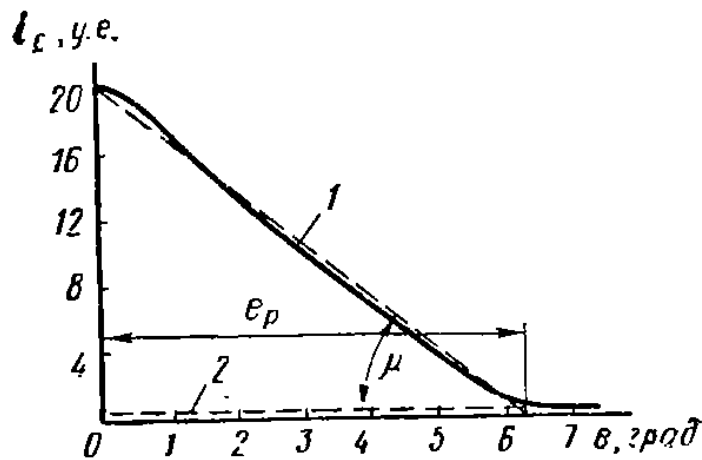
Порядок розрахунку:

1. Виділити на поверхні відбивача кільцеві зони.
2. Розрахувати зональні світлові потоки  $\Delta\hat{O}_j$  і світловий потік, захвалений відбивачем  $\hat{O}_\varphi$ .
3. Розрахувати  $u_j$  для кожної зони.
4. Розрахувати графічно коефіцієнт  $c_{\alpha j}$ .
5. Розрахувати коефіцієнт  $\chi$  і вираз  $[\hat{O}_\varphi(\chi-1)u] = const$ .
6. Розрахувати множник  $\frac{\rho \cos \alpha}{\pi}$ .
7. Розрахувати силу світла світильника  $I_{\tilde{n}\alpha}$ .
8. Побудувати КСС.

### 9.3. Розрахунок відбивачів з матованими відбивачами

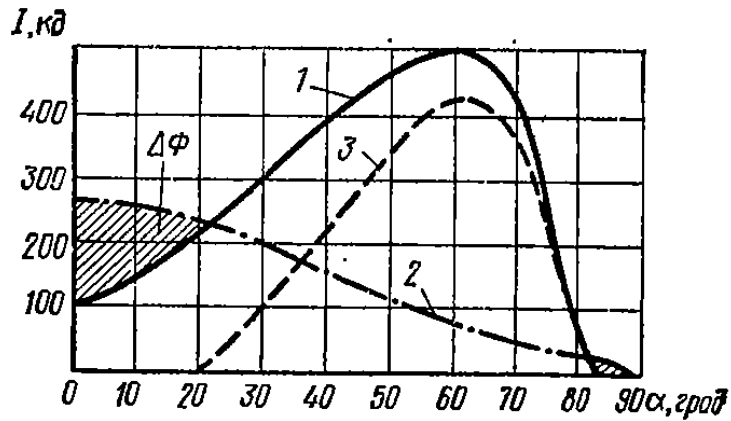
Порядок розрахунку:

1. Вибір початкових параметрів відбивача  $\varphi_0, r_0, \gamma_{oc}$ .
2. Розрахунок коефіцієнтів дифузного  $\rho_{\tilde{a}}$  і направленою  $\rho_i$  відбивання по кривій розсіювання матованого матеріалу  $l_e(e)$ .



крива 1 – крива розсіювання направленою відбивання,  
крива 2 – крива розсіювання дифузною відбивання.

3. Розрахунок КСС умовного дифузною світильника.
4. Розрахунок масштабного коефіцієнта для переходу від умовних одиниць до кандел.
5. Розрахунок необхідної КСС, що відповідає направленою відбиванню.



Крива 1 – необхідна КСС,  
 Крива 2 – КСС дифузного світильника  
 Крива 3 – КСС дзеркального світильника

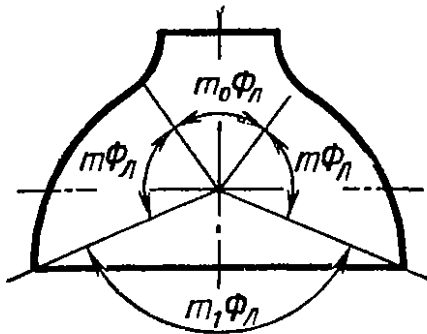
6. Розрахунок кутових розмірів світлого тіла для першої зони відбивача.
7. Розрахунок розподілу яскравості для першої зони і виділення рівнояскравих ділянок.
8. Вибір кута розсіяння для першої зони  $\Delta\alpha_1$ .

9. Розрахунок першої зональної кривої  $I_\alpha = \frac{A_\varphi \cos \sigma_\alpha \sum_{i=1}^m L_i n_{ai}}{N}$ ,  $n_{ai}$  – кількість ділянок сітки  $\alpha, \beta$ , перекритих ФВСТ,  $m$  – кількість рівнояскравих ділянок.
10. Розрахунок величини другого граничного радіус-вектора першої зони  $r_1$  з рівняння дзеркальної поверхні.
11. Розрахунок всіх зон методом заповнення необхідної КСС зональними КСС.

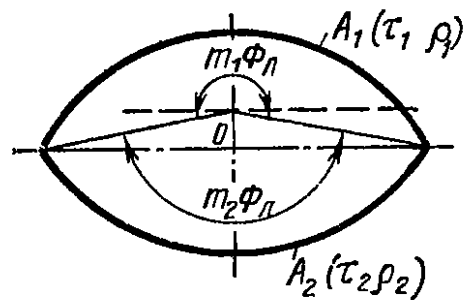
## 9.4. Розрахунок світильників з дифузними розсіювачами

### 9.4.1. Розрахунок ККД

Незамкнутий розсіювач



Замкнутий розсіювач



Світловий потік незамкнутого розсіювача складається з таких складових:

$m_1 \hat{O}_\varepsilon$  – потік, що виходить через світловий отвір,

$\hat{O}_{\bar{m}} = \rho m \hat{O}_\varepsilon u \chi$  – потік, що вийшов через світловий отвір внаслідок багатократних відбивань від внутрішньої поверхні розсіювача,

$\tau m \hat{O}_\varepsilon + \tau \frac{\rho m \hat{O}_\varepsilon (1-u)}{1-\rho(1-u)} = \tau m \hat{O}_\varepsilon \chi$  – потік, що пройшов через розсіювач в

результаті багатократних відбивань.

ККД незамкнутого розсіювача:  $\eta = m_1 + m(\rho u + \tau) \chi$

ККД замкнутого розсіювача ( $u = 0, m_1 = 0, m = 1$ )  $\eta = \frac{\tau}{1-\rho}$ .

Для світильника з великою зоною тримача лампи:  $\eta = \frac{m\tau}{1-\rho(1-u)}$ ,

$u = \frac{A_{\delta\delta}}{\hat{A}_\delta}$ ,  $A_{\delta\delta}$  – площа зони тримача,  $A_\delta$  – площа розсіювача.

#### 9.4.2. Розрахунок КСС

Зводиться до розрахунку яскравості внутрішньої і зовнішньої сторін розсіювача, площ проекції поверхні розсіювача і його світлового отвору на площинах, перпендикулярних напрямкам  $\alpha$ .

Сила світла світильника в напрямку  $\alpha$ :

$$I_{\bar{n}\hat{\alpha}} = I_{\varepsilon\alpha} k_\alpha + I'_\alpha + I''_\alpha,$$

де  $I'_\alpha$  – сила світла, створена зовнішньою поверхнею розсіювача в напрямку  $\alpha$ ,

$I''_\alpha$  – сила світла, створена внутрішньою поверхнею розсіювача, видима через світловий отвір в напрямку  $\alpha$ ,

$k_\alpha$  – коефіцієнт екранування світлого тіла лампи краєм розсіювача.

Яскравість поверхні розсіювача:

$$L'_p = \frac{\tau \hat{O}_\varphi \chi}{A_p \pi}, \quad L''_p = \frac{\rho \hat{O}_\varphi \chi}{A_p \pi}$$

Сила світла світильника в напрямку  $\alpha$ :

$$I_{\bar{n}\hat{\alpha}} = I_{\varepsilon\alpha} k_\alpha + L'_p A_{p\alpha} + L''_p A_{p\alpha}$$

$$I_{\bar{n}\hat{\alpha}} = I_{\varepsilon\alpha} k_\alpha + \frac{\hat{O}_\varphi \chi}{\pi A_p} (\tau A_{p\alpha} + \rho A_{p\alpha})$$

### Порядок розрахунку:

1. Розрахунок площ розсіювача, тримача, світлового отвору.
2. Визначення коефіцієнта багатократних відбивань.
3. Розрахунок площ проекції розсіювача, тримача, світлового отвору в напрямку  $\alpha$ .
4. Розрахунок яскравостей внутрішньої і зовнішньої поверхонь розсіювача.
5. Розрахунок світлових потоків світильника у верхню і нижню півсфери:
6. Розрахунок коефіцієнтів для умовних світильників з рівномірним, косинусним і синусним світловим розподілом.

7. Розрахунок сили світла в різних напрямках для нижньої і верхньої півсфер.

– для нижньої півсфери  $I_{\bar{n}\alpha} = I_{\bar{e}\alpha} k_{\alpha} + A + B \cos \alpha + C \sin \alpha$ ,

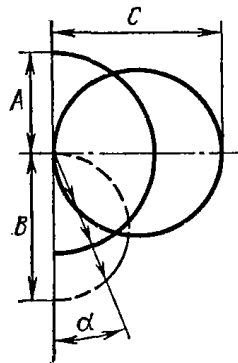
– для верхньої півсфери  $I_{\bar{n}\alpha} = I_{\bar{e}\alpha} k_{\alpha} + A' + B' \cos \alpha + C' \sin \alpha$ ,

Постійні  $A, B, C$  знаходять із умов:

– сума сил світла умовних світильників за напрямками  $\alpha = 0, 90, 180^\circ$

повинна дорівнювати силі світла реального розсіювача в тих самих напрямках;

– світловий потік, що випромінюється умовними світильниками у верхню та нижню півсфери, повинен дорівнювати світловому потоку, що випромінюється в обидві півсфери реальним розсіювачем.



КСС розсіювачів:  $A$  – рівномірний,  $B$  – косинусний,  $C$  – синусний

8. Побудова КСС світильника.

### **9.5. Розрахунок світильників з матованими розсіювачами**

При  $\frac{\nu}{q} < 0,1$  (слабе матування) використовують поняття елементарного відображення.

Розрахунок полягає у визначенні ККД і КСС при відомих формі розсіювача, характеристиці розсіювання  $i_e(e)$ , розподілу габаритної яскравості джерела  $L_\varphi(\varphi)$ .

Розрахунок світлорозподілу зводиться до розрахунку сили світла умовного світильника з дифузним розсіювачем і розсіювача з направленим пропусканням світла.

Порядок розрахунку:

1. Розрахунок коефіцієнтів пропускання  $\tau_i$  і  $\tau_a$  по кривій розсіювання  $i_e(e)$ .
2. Розрахунок КСС умовного світильника з дифузним розсіювачем.
3. Поділ поверхні розсіювача на ряд кільцевих зон розміром  $\Delta\varphi$  ( $\Delta\alpha = \Delta\varphi, \varphi = \alpha, \psi = \beta$ ).
4. Розрахунок кутових розмірів світлого тіла відносно середньої точки кожної зони.
5. Розрахунок розподілу яскравості променів ЕВ кожної зони.
6. Розрахунок зональних КСС.
7. Сумування зональних КСС і визначення КСС, отриманої направленим пропусканням світла.
8. Розрахунок сумарної КСС світильника.



## Лекція 10

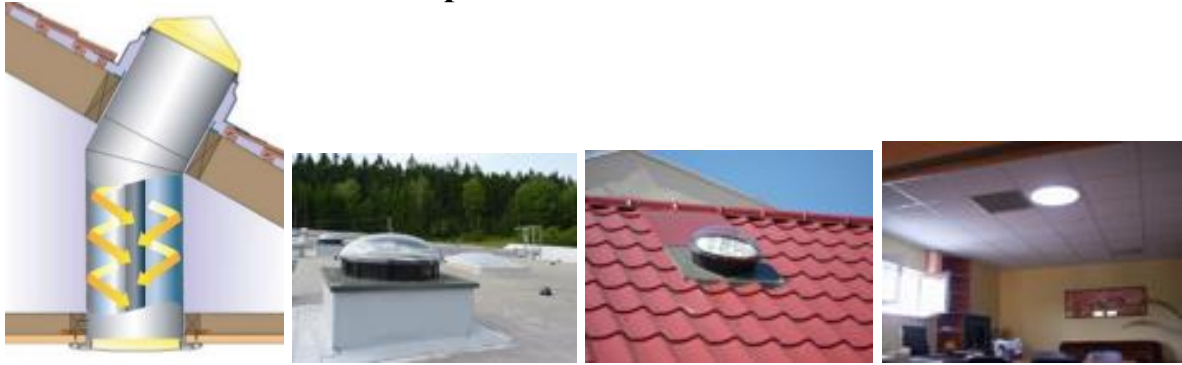
### ОСВІТЛЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ ІЗ СВІТЛОВОДАМИ. ПОРОЖНИСТІ ПРОТЯЖНІ СВІТЛОВОДИ

**Освітлювальні пристрої із світловодами** – це порожнисті циліндричні або іншої форми труби великої протяжності, частина внутрішньої поверхні (або вся поверхня) яких по всій довжині покрита дзеркальновідбиваючим шаром або призматичною плівкою повного внутрішнього відбивання, при цьому світловий потік джерела світла (або групи ламп) вводиться в торці світловода за допомогою спеціальних оптичних систем, а виходить з труб по всій довжині через всю поверхню труб чи її частину або через протилежний торець.

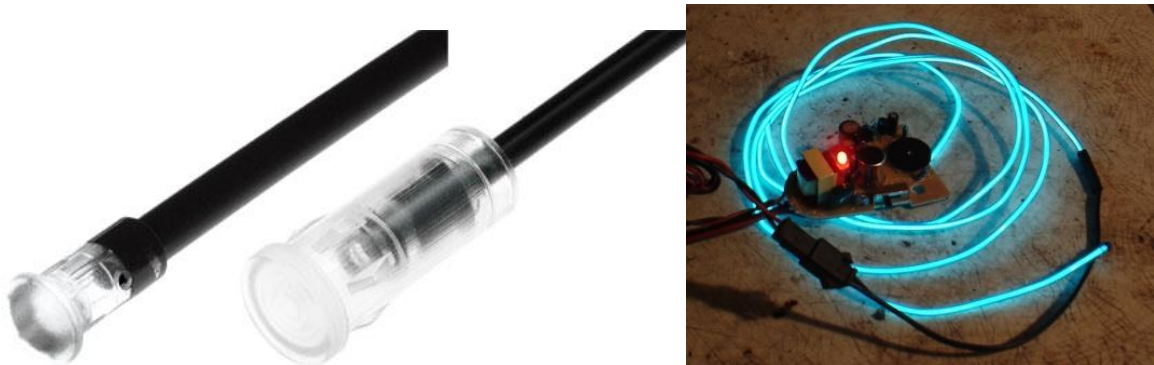
#### **Особливості:**

- можливість використання джерел світла великої одиничної потужності (або кілька однакових чи різних джерел);
- світловоди практично не схильні до дії навколишнього середовища, не несуть електричного потенціалу і можуть мати велику довжину між двома сусідніми ввідними пристроями (до 100 м);
- можливість передачі світлового потоку по криволінійних каналах для освітлення об'єктів, розміщених не на прямому шляху розподілу джерела світла;
- винесення джерела світла за межі пожежо-, вибухонебезпечного приміщення чи замкнуті спеціальні камери;
- поверхня світловодів практично не нагрівається і тому повністю пожежо- і вибухобезпечна;
- використання пристроїв з світловодами для внутрішнього освітлення приміщень промислових і суспільних будівель дозволяє в багато разів скоротити кількість джерел світла, зменшити протяжність електричних мереж; знизити матеріало- та трудоватрати;
- передавання одночасно або по черзі природного і штучного випромінювання, при цьому можливе застосування фотоелектричної системи контролю і управління освітленням і використання одних і тих же світловодів для створення в одному і тому ж приміщенні різних рівнів освітленості з різним спектральним складом випромінювання;
- підвищення якості освітлення шляхом забезпечення більшої рівномірності освітленості, виключення пульсації світлового потоку і створення кращого співвідношення освітленості у вертикальній і горизонтальній площинах;
- підвищення надійності роботи систем освітлення завдяки резервуванню джерел світла при багатолампових пристроях;
- забезпечення використання одних і тих же світловодів для робочого і аварійного освітлення;
- можливість зменшення надходження тепла в освітлюване приміщення за рахунок винесення ввідного пристрою за межі приміщення.

## Порожністі світловоди



## Гнучкі світловоди



### 10.1. Класифікація світловодів

За типом оптичного каналу:

**Порожністі** – оптичний канал є повітряним каналом, обмеженим оболонкою (металевою або скляною), що багатократно відбиває світло з мінімальними втратами.

**Суцільні** – серцевина каналу заповнена матеріалом з великим коефіцієнтом пропускання світла, що має оптичний контакт з ізолюючою оболонкою, що забезпечує повне внутрішнє відбивання на межі їх розділення.

За виходом світлового потоку:

**Торцеві**

**Бокові:** щілинні, інформаційні.

За формою оптичного каналу:

**Прямі циліндричні** (трубчасті, стержневі, волоконні)

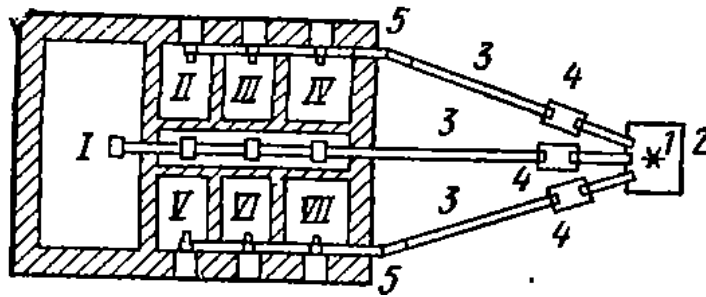
**Вигнуті** (жорсткі, гнучкі)

**Конічні** (фокони)

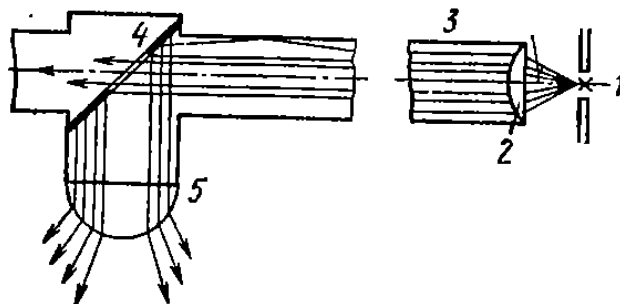
**Плоскопаралельні**

**Клиноподібні** (фокліни)

### Світловод Чиколева В.М.



1 – дугова вугільна лампа, 2 – вишка, 3 – циліндричні дзеркальні світловоди, 4 – розрив світловодів з герметизацією скляними торцями, 5 – призми для зміни напрямку світла.



1 – дугова вугільна лампа, 2 – лінза, 3 – циліндричний світловод, 4 – еліптичні скляні екрани з частково дзеркалізованими кільцевими ділянками, 5 – розсіювач.

*Розміри екрану:*

мала піввісь:  $b = R_c$ , велика піввісь:  $a = 1,414R_c$ ,  $R_c$  – радіус світловода.

Якщо світловий потік необхідно розділити на  $n$  рівних частин, то

$$b_{i-1} = R_{i-1} = \sqrt{R_i - \frac{R_c^2}{n}}, \quad a_{i-1} = 1,414R_{i-1}$$

### 10.2. ККД освітлювальної установки з світловодом

ККД світловода:

$$\eta_c = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{O}_i}{\hat{O}_{\text{в}i}}$$

$\hat{O}_i$  – світловий потік, що вийшов з розсіювача,  $\hat{O}_{\text{в}i}$  – потік, що вийшов з лінзи.

Якщо оптичні коефіцієнти  $\tau_e$  і  $\rho_e$  всіх екранів однакові, то потік, який понав в  $i$ -ий розсіювач  $\frac{\hat{O}_{\text{в}i} \rho_e \tau_e^{i-1}}{n}$ .

Коефіцієнт багатократних відбивань у розсіювачі:

$$\chi_p = \frac{1}{1 - \rho_p(1 - u)}$$

Світловий потік, пропущений розсіювачем:

$$\hat{O}_{pi} = \frac{\hat{O}_c \rho_e \tau^{i-1} \chi_p \tau_p}{n} = \frac{\hat{O}_c \rho_e \tau_e^{i-1} \tau_p}{1 - \rho_p (1 - u)n},$$

$u = \frac{\pi R_p^2}{A_p}$  – коефіцієнт використання вхідного отвору розсіювача відносно площі його поверхні.

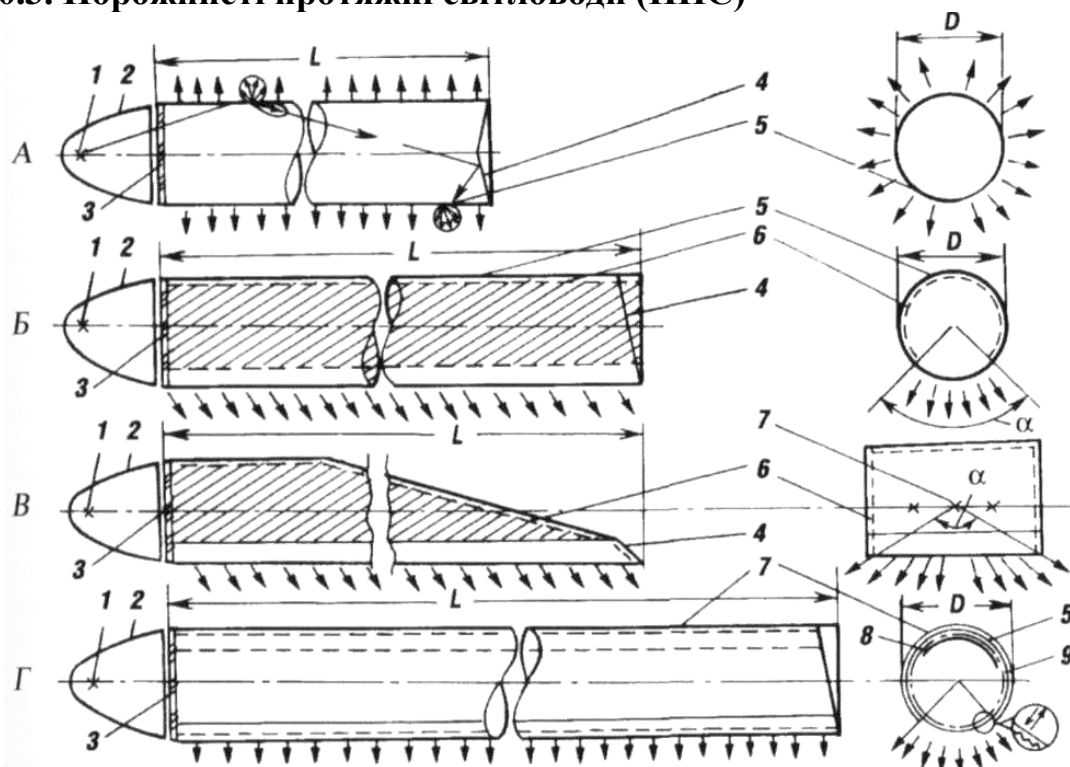
$$\eta_c = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{O}_s}{\hat{O}_{\dot{e}i}} = \frac{[1 - (1 - \rho_c) \alpha_c] \tau_p \rho_e}{n [1 - \rho_p (1 - u)]} \sum_{i=1}^{n-1} \tau_e^i$$

ККД освітлювальної установки з світловодом:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{O}_p}{\hat{O}_{\dot{e}}} = \eta_c \eta_{cn},$$

$\eta_{cn}$  – ККД освітлювача.

### 10.3. Порожністі протяжні світловоди (ППС)



1 – джерело світла; 2 – відбивач; 3 – світлопропускаючий захисний елемент;  
 4 – торцевий дзеркальний елемент; 5 – зовнішня оболонка; 6 – внутрішній дзеркальний відбивач; 7 – зовнішній відбивач; 8 – екстрактор; 9 – призматична плівка;

A – короткі дифузні ППС; B, B' – циліндричні і плоскі клиновидні щілинні ППС; Г – циліндричні і призматичні ППС.

Основні характеристики	Група світловодів		
	Дзеркальні щілинні	Призматичні	Дифузні
Ступінь складності конструкції світловода, в т.ч. кількість встановлених елементів	<u>Проста.</u> 1 елемент – при обolonці з частково металізованої світлорозсіювальної плівки; 2 елементи – при жорсткій екструдованій світлопропускаючій обolonці і окремому відбивачі	<u>Складна.</u> 3–4 елементи  3 елементи – захисна світлопрозора обolonка, призматична плівка і екстратор; 4 елементи – те ж, плюс відбивач	<u>Проста.</u>  1 елемент – дифузно світлопропускаюча труба
Приведена довжина L/D, в т.ч. ефективна для більшості випадків	20-40  30	40-100  40	10-15  15
ККД системи, %	30-42	35-45	20-25
Співвідношення яскравостей при односторонньому введенні світла на початку і в кінці світловода	4-6	2	2-3
Архітектурно-естетичні властивості	Недостатня рівномірність яскравості для архітектурних об'єктів, цілком достатня для функціональних установок і промислових об'єктів	Практично рівномірний розподіл яскравості по довжині; естетичні недоліки – поперечні смуги через кожен метр	Практично ідеальний розподіл яскравості для декоративних світловодів і для архітектурних об'єктів

#### Типи обolonок ППС:

**М'яка** – дзеркалізована плівкова еластична обolonка з поліетилентерефталату (ПЕТФ) товщиною 25–50 мкм, різні частини якої служать одночасно або відбивачем, або розсіювачем. Діаметр таких світловодів 275 і 650 мм при довжині відповідно 6 і 18 м. Недоліки – недостатня строгість форми (слабка хвилястість каналів в поперечних площинах) і складність монтажу установок.

**Тверда** – жорстка екструдована труба різного діаметру (130...300 мм) з пластмаси, як правило удароміцного поліметилметакрилату (ПММА) або полікарбонату (ПК). При використанні прозорої або дуже слабо замутненої пластмаси труба служить, в основному, захисною і несучою оболонкою, тоді як елементи оптичної схеми (відбивачі, плівки повного внутрішнього відбивання, екстрактори) наносяться на внутрішню оболонку труб або розташовуються усередині них.

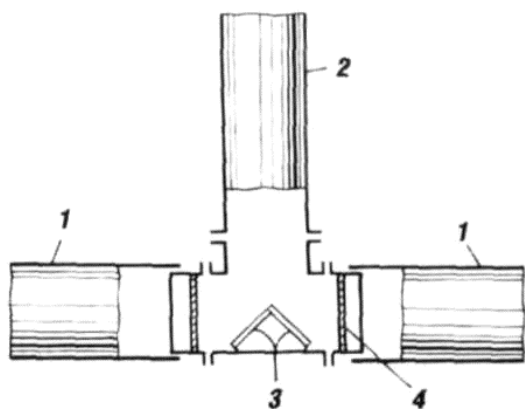
**Комбінована** – збірні жорсткі світловоди квадратної або еліптичної форми в перерізі з розмірами  $600 \times 600 \text{ мм}^2$  і  $650 \times 520 \text{ мм}$ . Для захисних оболонок в цих світловодах використовують товсті (10 мм) листи з прозорої удароміцної пластмаси, до внутрішньої поверхні яких прикріплена призматична плівка. У них вперше застосовані об'ємні трубчасті екстрактори.

**Ввідний пристрій (ВП)** складається з джерела світла (чи кількох джерел), відбивача, світлопропускаючого захисного елемента.

ВП виготовляють з силумінового литва, мають ребристу циліндричну конструкцію, що сприяє поліпшенню напруженого теплового режиму, з торця (або торців при двосторонніх ВП) закриваються термостійким прозорим силікатним склом. Один з блоків ВП, що містить баласт і запалюючий пристрій, як правило, є виносним і встановлюється окремо, але не далі, ніж на 1 м від лампи, або конструктивно пов'язаний з основною частиною ВП, що містить лампу і оптичну систему.

Види ввідних пристроїв:

- 1) односторонньої дії (обладнані глибокими алюмінієвими відбивачами);
- 2) двосторонньої дії (з комбінованими параболоїдними відбивачами)
- 3) їх модифікація з поворотом на  $90^\circ$  світлового пучка, що вводиться в світловод (при винесенні ВП поза лінією світловодів).



- 1 – світловод,
- 2 – ввідний пристрій,
- 3 – дзеркальний розподільувач,
- 4 – світлопропускаючий захисний елемент

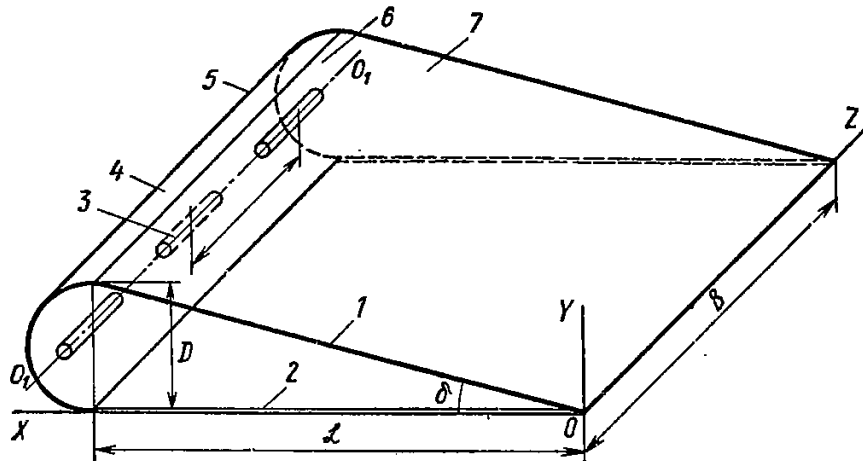
За варіантами розташування ППС і ввідних пристроїв освітлювальні установки поділяють на:

- 1) з ВП і ППС, розташованими безпосередньо в приміщеннях з невибухонебезпечним середовищем;
- 2) з ВП, винесеними за межі освітлюваного приміщення з вибухонебезпечним середовищем, в якому знаходяться ППС (а також з приміщення з особливо складним або особливо чистим середовищем), при цьому світловий потік потрапляє в світловоди

через спеціальні ілюмінатори (вікна) в конструкціях захисних приміщень;

- 3) з ВП, оптично пов'язаними з концентраторами сонячної енергії, при цьому в освітлюване приміщення може прямувати як природне, так і штучне випромінювання, а також те і інше випромінювання одночасно.

#### 10.4. Дзеркальний клиноподібний світловод



1 – верхня нахилена дзеркальновідбиваюча поверхня, 2 – нижня світло-розсіююча поверхня, 3 – лампи МГЛ, 4 – дзеркальний відбивач, 5 – ввідний пристрій, 6 – вихідний торець, 7 – бокові торці з металізованої плівки

Клиновидні світловоди мають розмір оптичної щілини 3,3...5,1 м (по довжині) і 0,274 м (по ширині). При цьому найбільша висота світловода всього 0,305 м, а довжина ВП 0,6 м. У цій серії світловодів використовуються МГЛ 250, 400 Вт або НЛВД 150 Вт.

## Лекція 11

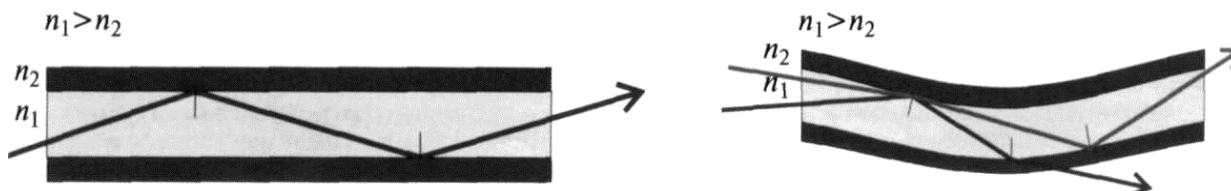
### ОСВІТЛЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ ІЗ СВІТЛОВОДАМИ. ГНУЧКІ ВОЛОКОННІ СВІТЛОВоди

#### 11.1. Будова і принцип роботи



**Гнучкі волоконні світловоди (ГВС)** – це пучок тонких волокон, витягнутих з прозорого матеріалу, які складаються з серцевини (з показником заломлення  $n_1$ ), покритої оболонкою (показник заломлення якої  $n_2 < n_1$ ).

При проходженні по такому волокну світлові промені, кут падіння яких менше граничного кута, отримують повне внутрішнє відбивання на поверхні розділу серцевина/оболонка і, багато разів відбиваючись від цієї поверхні, поширюються тільки по серцевині волокна.



#### Типи волокон:

- 1) з кристалевого скла (діаметр 50...150 мкм) використовуються для декоративного, акцентуючого і рідше для місцевого освітлення.
- 2) з волокнами з поліметилметакрилату (ПММА) (діаметр 1 мм) використовуються в освітлювальних і світлорекламних установках, в медичних (ендоскопах) та інших приладах для освітлення труднодоступних місць. Вони мають пропускання 30...70% на 1 м довжини і допускають вигин по радіусу більше 25 мм.
- 3) з прозорого еластичного матеріалу (наприклад, на основі кремнійорганічної смоли) (діаметр 15...20 мм) мають більше пропускання світла і більше значення допустимого мінімального радіусу вигину, ніж світловоди з безліччю тонких пластмасових волокон.



Освітлювальні установки з ГВС складаються з:

- 1) власне світловода;
- 2) ввідного пристрою або оптичного порту;
- 3) оптичних насадок, до яких приєднується вихідний кінець кожного одножильного світловода.

За кількістю волокон ГВС поділяють на:

- 1) одножильні;
- 2) багатожильні – ввідні торці окремих світловодів щільно зібрані в один загальний вузол, що приєднується до корпусу ВП. Відразу за загальним ввідним торцем *багатожильний світловід* розділяється на безліч (від одиниць до сотень штук) одножильних світловодів, які можуть мати різні діаметри і довжину, і кожен з яких приєднується вихідним торцем до призначеної для нього оптичної насадки.

За виходом світлового потоку ГВС поділяють на:

- 1) торцевого свічення – вигин волокна, при якому кут падання менший граничного; оболонка – непрозора;
- 2) бічного свічення – вигин волокна, при якому кут падання більший граничного; оболонка – прозора; вигин волокна створюється скручуванням або переплетенням.

**Ввідні пристрої складаються з джерел світла, відбивача, різних світлофільтрів (в т.ч. що затримують ІЧ і УФ-випромінювання), а також перехідний інтерфейс.**

Корпус ВП – металевий, для зниження температури ВП і ввідного торця світловода (гранично допустима температура світлопровідних волокон з ПММА 65...70°C) в корпусі ВП передбачаються теплофільтри та інтерференційні покриття оптичних елементів, що знижують ІЧ складову випромінювання до допустимої величини. Іноді у ВП встановлюються мініатюрні вентилятори.

ПРА для розрядних ламп і понижувальні трансформатори для галогенних ламп розміщують всередині або за межами ВП.

#### **Типові ВП:**

- з ГЛР 12 В, потужністю 50 Вт, з інтерференційним відбивачем і можливістю встановлення кольорових світлофільтрів;
- з ГЛР 12 В, 100 Вт, з інтерференційним відбивачем, термореле і вентилятором;
- з ГЛР 12 В, 100 Вт, з інтерференційним відбивачем, із змінними кольоровими світлофільтрами і вентилятором, з реле часу або без нього;
- з МГЛ типу HQI-T потужністю 150 Вт, з інтерференційним відбивачем, з вентилятором, термореле і виносним ПРА.

### **Оптичні насадки**

Виготовляються з оптичного або кришталевого скла, прозорої безбарвної пластмаси (переважно ПММА).

Насадки вбудовуються або напіввбудовуються в підвісні стелі, перегородки, в стінки меблів, музейних стелажів, торгового устаткування.

Оптичні насадки мають на тильній стороні циліндричне заглиблення, подібне до гнізда штепсельної розетки. Після того, як насадка закріплена на місці установки, в це заглиблення вставляється вихідний торець світловода, подібний до штепсельної вилки.

#### Оптичні насадки бувають:

- нерухомі,
- поворотні,
- кутові («кососвіти»),
- з регульованим по ширині світловим пучком,
- декоративні.

### **11.2. Основні переваги установок з ГВС**

1. Істотне розширення можливостей проектування і монтажу установок внутрішнього і зовнішнього освітлення, зокрема, установок архітектурного освітлення з дискретним розташуванням безлічі світних елементів (наприклад, «зоряне небо»), оскільки виключається жорсткий зв'язок між місцем розташування ввідного пристрою і оптичних насадок, через яких це випромінювання прямує на освітлювані об'єкти.
2. Забезпечення необхідного світлорозподілу за допомогою компактних і недорогих насадок замість громіздких і матеріаломістких світильників.
3. Повна пожежо- і електробезпека насадок, оскільки до них не підводиться електроживлення.
4. Виключення нагрівання, знебарвлення й інших видів пошкоджень експонатів, зразків товарів та інших освітлюваних об'єктів, чутливих до ІЧ і УФ-променів, завдяки застосуванню відповідних світлофільтрів у ВП.
5. Значна економія матеріальних і трудових ресурсів.
6. Можливість розробки легких і гнучких насадок для переносних ліхтарів, що дозволяють проводити ремонт устаткування в труднодоступних місцях.
7. Можливість здійснення динамічного і кольорового освітлення.

### **11.3. Перспективні області застосування ГВС:**

- безпечне і приховане освітлення вітрин в музеях, на виставках, в магазинах, зокрема зовнішніх вітрин магазинів;
- індивідуальне освітлення пасажирських місць (для читання) в салонах будь-яких громадських засобів транспорту;
- освітлення салону та підсвітка панелі управління автомобілів та інших видів транспорту;
- безпечні ялинкові гірлянди;
- акцентуюче освітлення без шинопроводів і спеціальних світильників;
- безлампові декоративні світильники, люстри, канделябри;
- труднодоступні для обслуговування приміщення, наприклад, закриті плавальні басейни;
- пристрої для групового місцевого освітлення промислових швейних машин, на зборці дрібних і точних виробів;
- зовнішнє декоративне контурне освітлення світловодами завдовжки 10...15 м;
- підводне освітлення фонтанів і відкритих басейнів;
- світлове оформлення зовнішніх рекламних щитів.

## Лекція 12

### СВІТЛОВІ ПРИЛАДИ ДЛЯ МЕДИЦИНИ

Освітлення лікувально-профілактичних закладів здійснюється світлотехнічними виробами, що поділяються на чотири групи:

- 1) медичні СП (стаціонарні СП для освітлення операційного поля, медичні СП місцевого освітлення, медичні освітлювачі);
- 2) СП загального призначення (СП для лікувально-діагностичних приміщень, палат, місцевого освітлення);
- 3) світлолікувальна апаратура (УФ і теплові опромінювачі);
- 4) бактерицидні опромінювачі.

При виборі типу СП необхідно враховувати його відповідність санітарно-гігієнічним вимогам: обтічність форми, гладка поверхня, відсутність виступаючих частин, що сприяє осіданню пилу, наявність ущільнень, що виключають проникнення пилу всередину СП і її осідання на внутрішній поверхні розсіювача). Крім того, при виборі СП необхідно враховувати зручність обслуговування і експлуатації.

#### 12.1. Світильники медичні

Світильники медичні повинні відповідати вимогам ГОСТ 26368—90 «Світильники медичні. Загальні технічні вимоги і методи випробувань».

##### **Класифікація:**

##### За призначенням:

*хірургічні* (можуть мати спеціальні додаткові пристрої: підключення до блоку аварійного живлення, демонстрації або документування ходу операції (з теле-, відео-, фотоапаратурою), з елементами збільшувальної оптики, управління світловими потоками, з додатковими освітлювачами на світловодах, з вмонтованими хірургічними апаратами і т.п.);

*гінекологічні;*

*стоматологічні;*

*оглядові.*

##### За характером сприйманих механічних дій:

*стаціонарні (С);*

*пересувні (П).*

##### За регулюванням світлотехнічних характеристик:

*регульовані (Р);*

*нерегульовані.*

Регульований світильник — світильник, у якого можуть регулюватися в певних межах на робочій відстані освітленість і (або) розмір робочого поля.

Світлотехнічні характеристики—освітленість, опроміненість, розмір робочого поля.

Робоче поле світильника — частина освітленої світильником площі вимірювальної площини, обмежена кривою рівної освітленості зі встановленою освітленістю.

За кількістю блоків освітлення:

*світильники з одним блоком освітлення;*

*світильники з двома і більше блоками освітлення.*

Блок освітлення світильника — світлотехнічний вузол світильника, що має власну систему регулювання його просторового положення по відношенню до освітленого об'єкту.

### **Технічні вимоги**

Світильники виготовляють відповідно до вимог стандарту ГОСТ 20790 і технічних умов на світильники конкретного типу, затвердженими в установленому порядку.

Перелік показників якості світильників:

1) Показники призначення:

- освітленість в центрі робочого поля;
- діапазон зміни освітленості;
- питома опроміненість робочого поля, Вт/клк м<sup>2</sup>
- освітленість на рівні очей пацієнта;
- робоче поле;
- діапазон зміни робочого поля;
- робоча віддаль;
- діапазон зміни робочої віддалі;
- кількість блоків;
- електротехнічні показники.

2) Показники надійності:

- напрацювання на відмову;
- середній термін служби;
- середній термін збережуваності;
- середній час відновлення.

3) Показники економічного використання матеріалів, енергії:

- споживана потужність;
- маса.

4) Показники стійкості до зовнішніх впливів:

- стійкість до кліматичних впливів при експлуатації;
- стійкість до кліматичних впливів при транспортуванні і зберіганні;
- стійкість до механічних впливів при експлуатації;
- стійкість до механічних впливів при транспортуванні;
- стійкість до засобів стерилізації і(або) дезинфекції.

5) Ергономічні показники:

- габаритні розміри;
- зусилля поворотів рухомих частин;
- зусилля переміщення пересувних світильників.

6) Показники безпеки:

- показники електробезпеки;

- перевищення температури органів управління над температурою навколишнього середовища.

Для місцевого освітлення операційних приміщень слід застосовувати спеціальні світильники. В рядових лікарнях використовуються стаціонарні світильники типу СРСА з регульованим освітленням і аварійним живленням. Джерелами світла в них служать лампи РН-12-50 (12 В, 50 Вт). Вихідний отвір кожного відбивача закривається теплозахисним фільтром і захисним склом. Напрямок світлового потоку регулюється зміною кута нахилу всього світильника.

В операційних крупних спеціалізованих клінічних лікарень використовують стаціонарний світильник «Світло-15», який виготовляється в двох модифікаціях: з телевізійною установкою (тип Т) і без неї (тип БТ). Це універсальний хірургічний світильник, призначений для освітлення операційного поля при операціях. Він дозволяє також здійснювати фотографування операційного поля і люмінесцентну діагностику безпосередньо під час операції, а також знезараження операційного поля. Світильник з телевізійною установкою, крім того, дає можливість демонструвати хід операції по телебаченню. Освітленість, що створюється всередині круга діаметром 200 мм, при відстані світильника від операційного поля 1,2 м складає в середньому 25 клк з відхиленнями, що не перевищують  $\pm 10\%$ . Ультрафіолетове випромінювання створюють дві ртутно-кварцові лампи надвисокого тиску СВД-120, які розташовані у фокусі таких же відбивачів, які використовуються в освітлювальній системі. Відбивачі забезпечені ультрафіолетовими фільтрами УФС-3. Корпус світильника може повертатися за допомогою електродвигуна і редуктора, керованих дистанційно, а також вручну.

Для застосування в малих операційних або для різних підсвічувань виготовляється пересувний світильник з аварійним живленням. Відбивач світильника має спеціальну форму для забезпечення безтіньового освітлення. Для зменшення нагріву операційного поля вихідний отвір світильника закривається спеціальним фільтром, що поглинає теплове випромінювання. Цей же світильник випускається без аварійного живлення.

Для гінекологічних операцій випускається пересувний світильник типу СГ-2 з двома відбивачами. Освітленість на відстані 1 м складає 5000 клк. Розроблений модернізований стаціонарний світильник типу «Світло-9р» з дев'ятьма відбивачами, що дозволяє регулювати (при відстані 1 м) як діаметр світлової плями від 100 до 300 мм, так і, відповідно, освітленість від 20 до 50 клк.

Зовнішня обробка всіх хірургічних операційних світильників допускає очищення їх звичайними дезінфекційними засобами.

Для операційних, розташованих в барокамерах, внаслідок їх крайньої специфічності і нечисленності немає світильників, що серійно виготовляються, тому у кожному окремому випадку питання доводиться вирішувати в індивідуальному порядку. Наприклад, у СП, розробленому Б.Бухманом, використана волоконна оптика, оскільки установка будь-якого джерела світла

усередині барокамери неможлива. У світильнику застосовані гнучкі світловоди при винесених джерелах світла. У ввідному пристрої встановлено десять галогенних ламп розжарювання типу КИМ потужністю по 75 Вт в спеціальних проєкційних апаратах. На операційному полі діаметром 200—250 мм освітленість складає близько 6500 лк.

Для місцевого освітлення в стоматологічному кабінеті використовують спеціальні світильники з галогенними лампами розжарювання, вбудовувані в стоматологічне крісло. Цей світильник створює в порожнині рота освітленість до 10 клк і має спеціальне пристосування для проглядання рентгенівських знімків. Окремо світильник встановлений бути не може.

Для спеціального освітлення при діагностиці деяких захворювань, а також при операції під збільшенням застосовується начільний освітлювач типу ОНВС-1 з волоконним світловодом. Прилад складається з освітлювача з волоконним світловодом і обруча з подушкою. Освітленість досліджуваного поля діаметром до 60 мм при відстані 300 мм складає близько 2000 лк.

Робоча відстань світильників (окрім стоматологічних) і діапазон її зміни для світильників із змінною робочою відстанню встановлюють в інтервалі від 0,8 до 1,5 м. Робоча відстань стоматологічних світильників встановлюється в інтервалі від 0,7 до 1,0 м.

Для світильників з двома і більше блоками освітлення робоча відстань встановлюється для кожного блоку окремо.

Конкретні значення робочої відстані (для світильників з постійною робочою відстанню) встановлюють в технічних умовах на світильники конкретного типу.

Залежно від рівня максимальної освітленості світильники підрозділяють на класи, вказані в табл. 1.

Значення освітленості в центрі робочого поля і ступінь падіння освітленості (для регульованих світильників) встановлюють в технічних умовах на світильники конкретного типу.

Найменування типів світильників	Клас СП	Найменування показника	Значення показника, клк
Світильники хірургічні:			
для проведення операцій вищої складності	1	Максимальна освітленість в центрі робочого поля, не менше	200
для проведення операцій середньої складності	2	Те ж	140
для проведення операцій малої складності і перев'язок	3	Те ж	80

Найменування типів світильників	Клас СП	Найменування показника	Значення показника, клк
Світильники гінекологічні	4	Те ж	40
Світильники стоматологічні	5	На рівні очей пацієнта, не більше	28 1
Світильники оглядові	6	Максимальна освітленість в центрі робочого поля, не менше	20

*Примітка.* Для світильників з декількома блоками освітлення клас світильника і освітленість в центрі робочого поля визначають сумою освітленостей окремих блоків.

Розмір робочого поля і діапазон його зміни (для регульованих світильників із змінним розміром робочого поля) за узгодженням із замовником вибирають з наступного діапазону:

- світильники хірургічні діаметром від 100 до 300 мм;
- світильники гінекологічні діаметром від 40 до 200 мм;
- світильники стоматологічні - еліпс з осями не менше 60x140 мм.
- світильники оглядові діаметром від 100 до 200 мм.

У світильниках, призначених для оториноларингології, для проктології, для огляду, опіків і т.п. розмір робочого поля допускається вибирати за межами діапазону 100-200 мм, встановленого в ТУ на світильники конкретного типу.

Питома опроміненість робочого поля, що створюється світильниками, повинна бути не більше 5,0 Вт/клк м<sup>2</sup> (для стоматологічних СП допускається значення 10 Вт/клк м<sup>2</sup>)

### **Вимоги до конструкції**

Вимоги до органів управління — по ГОСТ 12.2.007.0.

Конструкція світильників повинна забезпечувати надійне кріплення знімних частин.

Конструкція шарнірів повинна забезпечувати освітлення наданим блоку положенням без додаткових фіксуючих пристосувань.

Обертання блоків освітлення навколо обох вертикальних осей механічної системи підвісу стаціонарних світильників не повинне бути обмежене стопорами і забезпечуватися ковзними струмопровідними контактами.

Сателітні блоки освітлення стаціонарних світильників повинні мати можливість переміщення при вертикальному положенні світлового отвору до висоти операційного столу. При цьому на рівні площини операційного столу повинен знаходитися центр блоку освітлення.

Середнє напрацювання на відмову повинно бути не менше 5000 год. Світильники по наслідках відмови відносяться до класу Б по ГОСТ 23256. Вихід з ладу електролампи і інтерференційних відбивачів світильника відмовою не є.

Середній термін служби світильника — не менше 8 років.



Середній термін збережаності — не менше 5 років. Даний показник регламентується на вимогу замовника в ТУ на світильники конкретного типу.

Середній час відновлення працездатного стану за рахунок ЗІП повинен бути не більше 25 хв.

### **Електротехнічні вимоги**

Світильники повинні бути виготовлені для електроживлення від зовнішнього джерела (мережі) змінного струму частотою 50 Гц і напруга 220 В при відхиленнях напруги до  $\pm 10\%$  номінального значення. Допускається за узгодженням із замовником встановлювати іншу напругу електроживлення.

Світильники, призначені для експорту, слід виготовляти для електроживлення від зовнішнього джерела (мережі) змінного струму частотою 50 і 60 Гц напругою 220 В при відхиленнях напруги  $\pm 10\%$ . Допускається розробка виробів, що живляться змінним струмом для однієї з вказаних частот.

Хірургічні світильники повинні мати можливість підключення до блоку аварійного живлення.

Вимоги до монтажу електричної частини — по нормативно-технічній документації, що діє, затвердженій в установленому порядку.

### **Вимоги до дезинфекції і стерилізації**

Зовнішні поверхні світильників повинні бути стійкі до дезинфекції розчинами, передбаченими в технічних умовах на світильники конкретного типу.

Знімні ручки світильників, що стерилізуються, повинні бути стійкі до стерилізації. Методи, засоби і режими стерилізації встановлюють в технічних умовах на світильники конкретного типу.

### **Вимоги безпеки**

По електробезпеці світильники повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.025 і виконуватися по ступеню захисту типу В. Клас захисту повинен бути встановлений в технічних умовах на світильники конкретного типу.

Перевищення температури органів керування світильників над температурою навколишнього середовища повинне відповідати вимогам ГОСТ 20790.

Вимоги до маркування упаковки, транспортування і зберігання — по ГОСТ 20790.

Виріб при нормальній експлуатації не повинен перекидатися при нахилі на  $10^\circ$ . Якщо виріб перекидається при нахилі його на кут  $10^\circ$ , то він повинен задовольняти наступним вимогам:

- виріб не повинен перекидатися при нахилі його на кут  $5^\circ$  в будь-якому положенні нормальної експлуатації, виключаючи транспортування;

- на виробі повинен бути попереджувальний напис про допустимість транспортування тільки в певному положенні, яке повинне бути чітко вказане в інструкції з експлуатації або ілюстроване на самому виробі;

- у положенні, передбаченому для транспортування, виріб не повинен втрачати рівноваги при нахилі на кут  $10^\circ$ .

В експлуатаційній документації на пересувні хірургічні світильники при експлуатації в приміщенні повинні бути вказані правила, що виключають займання частин світильника (нагріта колба лампи, мережевий вимикач і ін.) вибухонебезпечних сумішей в зоні Г і М по ГОСТ 23986.

### **Методи випробувань**

Випробування світильників слід проводити по ГОСТ 20790 методами, встановленими в даному стандарті і технічних умовах на світильники конкретного типу.

Установку робочої відстані світильників слід проводити засобами вимірювання з межею допустимої похибки не більше  $\pm 2\%$ . При установці робочої відстані слід враховувати висоту встановлюваних на вимірювальній площині вимірювальних засобів (робоча відстань повинна бути відповідно збільшена). Точку відліку від світильників до вимірювальної площини слід встановлювати в технічних умовах на світильники конкретного типу.

Перевірку освітленості і розміру робочого поля слід проводити люксометром класу точності не нижче 10, що калібрується разом з діафрагмою або люксометром з прийнятною площадкою діаметром не більше 20 мм.

Перевірку освітленості від світильників (окрім стоматологічних) слід проводити за допомогою вимірювальної площини, що є плоским шаблоном, на якому позначені коло діаметром, рівним заданому розміру робочого поля, і центр цього кола. При випробуваннях світильник (блок освітлення) встановлюють щодо вимірювальної площини на робочій відстані так, щоб його оптична вісь була перпендикулярна до вимірювальної площини і проходила через центр кола.

Контроль освітленості і розмір робочого поля регульованих світильників слід проводити при крайніх значеннях діапазону, що регламентується.

Контроль освітленості і розміру робочого поля світильників з двома або більше блоками освітлення слід проводити вимірюванням вказаних характеристик для кожного блоку окремо.

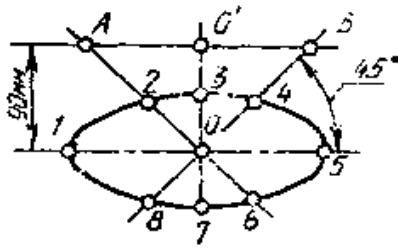
Перевірку освітленості робочого поля слід проводити вимірюванням освітленості в центрі кола шаблону. Результати випробувань вважають позитивними, якщо максимальна освітленість не менше від заданої. Освітленість світильників з двома або більше блоками освітлення визначають по сумі освітленостей від кожного блоку окремо.

Для збільшення робочого поля світильників з трьома і більше блоками освітлення оптичні осі блоків можуть розташовуватися під кутом до нормалі вимірювальної площини. Методи перевірки робочого поля встановлюють в технічних умовах на світильники конкретного типу.

Перевірку розміру робочого поля слід проводити вимірюванням освітленості в центрі кола шаблону і по самому колу. Результати випробувань вважають позитивними, якщо освітленість по колу шаблону складає не менше 0,2 освітленості в центрі кола.

Перевірку освітленості і розміру робочого поля стоматологічних світильників слід проводити за допомогою вимірювальної площини, що є

плоским шаблоном, на якому позначені еліпс з осями 60x140 мм і пряма  $AB$ , що імітують мінімальне робоче поле і рівень очей пацієнта відповідно.



При випробуваннях світильник встановлюють щодо вимірювальної площини на робочій відстані так, щоб його оптична вісь була перпендикулярна до вимірювальної площини і проходила через центр еліпса  $O$ , а пряма  $AB$  імітувала положення очей пацієнта.

Перевірку розмірів робочого поля і освітленості в центрі робочого поля проводять контролем освітленості по периметру еліпса і в його центрі люксометром.

Освітленість визначають в точках на осях еліпса ( $1-8$ ), а також на прямій між точками  $A$  і  $B$ .

Результат випробування вважають задовільним, якщо освітленість в точках на осях еліпса не менше 5000 лк, на прямій  $AB$  — не більше 1000 лк, а освітленість в центрі — не менше 28 000 лк.

Перевірку освітленості на рівні очей пацієнта проводять контролем освітленості на прямій  $AB$  за допомогою люксометра. Результати випробувань вважають позитивними, якщо освітленість в будь-якій точці прямої  $AB$  (але не менше чим в трьох точках  $O$ ,  $A$  і  $B$ ) не більше 1000 лк.

Питому опроміненість робочого поля визначають як відношення значення виміряної опроміненості до значення виміряної освітленості в центрі робочого поля на робочій відстані. Контроль опроміненості проводять вимірювачами променевої енергії з допустимою похибкою не більше 15%. Контроль опроміненості може поєднуватися з випробуваннями по вимірюванню освітленості і розміру робочого поля.

Наявність написів або символів і колір органів управління перевіряють візуально. Методи перевірки інших вимог до органів управління встановлюють в технічних умовах на світильники конкретного типу.

Випробування надійності кріплення знімних частин слід проводити шляхом додавання до вузла кріплення знімної частини статичного навантаження, рівної чотирикратної маси знімної частини протягом 1 год. При цьому випадання знімних частин не допускається.

Перевірку заданого положення світильника слід проводити установкою потоків освітлення світильника у всіх можливих робочих положеннях, але не менше чим в трьох, включаючи крайні і одне з проміжних.

## 12.2. Світильники загального призначення

Для лікувально-діагностичних приміщень, палат, місцевого освітлення використовують СП з лампами розжарення та люмінесцентними лампами.

Найбільш прогресивними є ЛЛ. Загальне освітлення приміщень слід, як правило, виконувати за допомогою ЛЛ, переважно типу Т5. Освітлювальні прилади з ЛЛ повинні бути укомплектовані ПРА з особливо низьким рівнем шуму, в основному ЕПРА. До застосування в лікувально-профілактичних закладах рекомендуються наступні типи ЛЛ, що забезпечують кольоророзрізнення відтінків шкіри, крові, слизистих оболонок людей в нормі і патології: ЛХЕ, ЛЕ, ЛВЦ, ЛТБЦ. В окремих випадках допускається застосування ЛР (як правило, для місцевого освітлення).

При виборі джерел світла слід виходити з функціонального призначення приміщення. У приміщеннях, де не пред'являються вимоги до правильної кольоропередачі (приміщення для зберігання, ремонту, архівні, білизняні, стерилізації, автоклавні, санітарні, вестибюлі, холи, коридори, адміністративні і т.п.), рекомендується використовувати ЛЛ типу ЛБ. У приміщеннях, де вимоги до правильної кольоропередачі підвищені і робота медперсоналу пов'язана з оцінкою тонких колірних відмінностей шкірних покривів і слизистих оболонок хворого (реанімаційні зали, родові, кабінети хірургів, педіатрів, інфекціоністів, дерматовенерологов, стоматологів тощо), рекомендуються ЛЛ типів ЛЕ і ЛХЕ. Для освітлення функціональних приміщень лікарень з діагностуванням різних захворювань, приміщень відновлювальної терапії слід застосовувати ЛЛ типу ЛЕ. При виборі типу ЛЛ, а також при експлуатації освітлювальних установок не можна допускати використання джерел світла різних типів в одному приміщенні. При виборі ДС з врахуванням їх кольоровості слід враховувати характер зорової роботи з кольоровими об'єктами. Тип ЛЛ для медичних приміщень слід вибирати залежно від нормованої освітленості і кольоровості випромінювання.

Освітлювальні прилади загального освітлення медичних приміщень переважно повинні бути з суцільними закритими розсіювачами з молочного, опалового або матового скла.

Світильники загального освітлення, призначені для операційних приміщень, повинні бути ущільненими, бризкозахищеного виконання, не дивлячись на те, що встановлюються вони в приміщенні з нормальними умовами середовища. Річ у тому, що світильники повинні допускати не тільки вологе прибирання, але і дезинфекцію за допомогою струменевого обливання. Для освітлення операційних приміщень застосовують світильники ЛПО25 (люмінесцентні, стельові, загального застосування) ущільнені, бризко- і пилозахищені, оснащені суцільним розсіювачем з молочного органічного скла. Світильники розроблені для двох і чотирьох ламп потужністю по 40 Вт і призначені як для індивідуальної установки, так і для стикування в суцільну світну лінію. Світильники складаються з корпусу, на якому розташовані пускорегулююча апаратура і електроустановочні вироби. Для ущільнення в світильнику передбачені спеціальні замки (по чотири замки для дволампових

світильників і по шість для чотирьохлампових). За світлорозподілом світильник відноситься до світильників прямого світла.

Для операційних приміщень, будівельна частина яких дозволяє світильники вбудовувати в стелю, доцільно застосовувати світильники з серії УВЛ (уніфіковані, вбудовані з люмінесцентними лампами). Світильники розроблені в різних виконаннях (незахищені і ущільнені) для освітлення виробничих приміщень, а також громадських будівель. Для операційних повинні застосовуватися світильники, повністю пилезахищені, закриті розсіювачем з молочного органічного скла. Залежно від відсутності або наявності технічного поверху слід встановлювати світильники типів УВЛН01 (з нижнім обслуговуванням) або УВЛВ01 (з верхнім обслуговуванням з технічного поверху). Світильники виготовляються для ламп потужністю по 80 Вт. В основу конструкції закладено використання легкознімних панелей — відбивачів на одну-дві лампи, де розміщуються всі елементи електричної схеми і вики штетсельних роз'ємів. Панель забезпечена кожухом, що закриває елементи схеми зверху, і двома ручками для зручного обслуговування. На збірному корпусі-рамі розміщуються на жорсткому профілі розетки штетсельних роз'ємів для під'єднання до мережі і електричного підключення панелей. До нижніх полок корпусу кріпиться розсіювач. До профілю з обох сторін примикають панелі з ущільнюючими прокладками по їх периметру, які одночасно закриваються і ущільнюють світильник зверху трьома замками, розташованими на корпусі. Конструкція серії передбачає можливість не тільки індивідуальної установки, але і стиковки світильників в безперервну лінію, переважно в поздовжньому напрямі. Установка поряд в поперечному напрямі для світильників УВЛВ можлива тільки парами (для забезпечення підходу до світильників).

Лікарські кабінети є приміщеннями з нормальними умовами середовища, і до світлорозподілу світильників загального освітлення не пред'являється специфічних вимог. Світильники повинні бути повністю перекриті розсіювачем або мати великі захисні кути, не менше  $60^\circ$  у всіх площинах. Це можуть бути світильники з серії ЛПО (люмінесцентні стельові загального призначення), які є цілком сучасними як з погляду зовнішнього вигляду, так і по своїй конструкції. Це світильники, повністю перекриті розсіювачами з молочного органічного скла, що при висоті приміщень в 3 м, яка прийнята в даний час при будівництві лікарень, є найбільш доцільним для створення комфортних освітлювальних установок в кабінетах. Світильники ЛПО02 випускаються на одну, дві і чотири лампи потужністю по 40 Вт. Для освітлення лікувальних кабінетів повинні застосовуватися світильники тільки з розсіювачем зі світлорозсіюючого органічного скла, тобто в першій модифікації. Суцільний розсіювач створює достатньо рівномірний розподіл яскравості по стелі, що сприяє комфортності установки. Базою і несучим елементом світильника є штампована сталева підставка, на якій розміщені пускорегулююча апаратура, замки кріплення розсіювача, лампотримачі і виконаний монтаж електричної схеми. Знизу підставка закривається розсіювачем за допомогою пружинних замків

кулачкового типу. Світлорозподіл світильників для однолампових — переважно прямого, а для дво- і чотирилампових — прямого світла.

При необхідності установки в лікувальних кабінетах великого числа світильників для установки в суцільну світну лінію можна застосовувати світильники серії ЛПО01. Нижня частина світильників закрита розсіювачем з молочного органічного скла. Світильники виготовляються для двох або чотирьох ламп потужністю по 40 або 65 Вт. Світильники мають металевий корпус, що виконує роль магістрального короба для прокладки проводів. На панелі, закріпленій в корпусі, змонтована електрична схема і встановлена пускорегулююча апаратура. Стиковка корпусів в лінію проводиться спеціальним замком, що вставляється в суміщені отвори накладених один на одного корпусів, що забезпечує прямолінійність світної лінії. Розсіювач може відкидатися по довгій стороні світильника і легко знімається. Чотирилампові світильники утворюються стикуванням корпусів в поперечному перетині за допомогою накладки, закріпленої чотирма гвинтами. По світлорозподілу світильники відносяться до класу прямого світла.

Для додаткової підсвітки в лікувальних кабінетах іноді можуть знайти застосування світильники з серії ЛПО03, розраховані на установку однієї лампи потужністю 20 або 40 Вт. Світильники можуть використовуватися як стельові, так і як настінні; призначені для індивідуальної установки і для стикування в лінію. Світильники складаються із сталевого П-подібного корпусу, в якому змонтована електрична схема з ПРА і електроустановочними виробами, легкознімних пластмасових торців і П-подібного розсіювача або відбивача. Для лікувальних кабінетів слід застосовувати світильники з суцільним розсіювачем. За світлорозподілом це світильники переважно прямого світла.

Загальне освітлення кабінетів рентгенодіагностики, рентгенобронхоскопії, лапароскопії, офтальмології виконується закритими СП з лампами розжарення.

В палатах часто використовують комбінований настінний світильник типу ЛБЛ01 (40+20)/В-01, розрахований на установку двох люмінесцентних ламп: однієї потужністю 40 Вт для загального освітлення, а другої — потужністю 20 Вт для місцевого. При включенні обох ламп світильник по світлорозподілу відноситься до світильників переважно відбитого світла, при включенні однієї лампи потужністю 40 Вт — відбитого світла, а однієї лампи потужністю 20 Вт — прямого світла. Включення ламп передбачене роздільним: загального освітлення поза палатою з коридору, а місцевого безпосередньо біля світильника так, щоб хворий міг, лежачи в ліжку, сам ввімкнути або вимкнути лампу. Світильник складається з підставки, на якій змонтована пускорегулююча апаратура, металевого зварного корпусу, двох самостійних відбивачів (для загального і місцевого освітлення), прозорого захисного органічного скла у верхній частині світильника і рухомих цілісних литих екрануючих решіток із світло-сірого полістиролу. Світильник зафарбований у білий колір, а екрануючі ґрати мають світло-сірий колір для зниження яскравості у напрямку до хворих, лежачих на сусідніх ліжках. Захисні кути, створювані решіткою, складають в поздовжній площині  $40^\circ$  і в поперечній  $15^\circ$ .

Конструкція світильника передбачає можливість відкидання решітки для направлення світлового потоку на все ліжко, а не тільки на її узголів'я. Освітленість, що збільшується при цьому, дозволяє оглядати лежачого хворого безпосередньо в палаті.

Найбільш сучасним і перспективним для освітлення палат є застосування так званої **консолі**. Остання є комплексним пристроєм, який передбачає розміщення, окрім світильників загального і місцевого освітлення, проводки сильних і слабких струмів, а також технологічних газів. На передній частині консолі є панель, на якій розташовуються гнізда для можливості під'єднання викличної сигналізації, радіо, телефону, телевізора і спеціальної медичної апаратури. Світлотехнічна частина консолі принципово є аналогічна світильнику ЛБЛ. Для загального освітлення передбачена установка однієї люмінесцентної лампи потужністю 65 Вт. Для місцевого освітлення передбачено два варіанти: дві люмінесцентні лампи потужністю по 20 Вт або одна U-подібна лампа потужністю 30 Вт. Консоль розрахована на настінну установку в палаті над двома ліжками.

Для місцевого освітлення палат використовують світильники з лампами розжарення, наприклад, НБЛ02-(100+60)/О+П-У4 (світильник з лампою розжарювання настінний для освітлення лікувальних установ). Світильник складається з двох незалежних елементів, розташованих на одній підставці: світильника відбитого світла з лампою розжарювання потужністю 100 Вт для загального освітлення палати і світильника прямого світла з лампою розжарювання потужністю 60 Вт для місцевого освітлення узголів'я ліжка хворого. Конструкція дозволяє у разі потреби роздільну їх установку, а саме, одного світильника загального освітлення (для палат в дитячих відділеннях, спеціальних очних лікарнях і т. п.) або тільки світильника місцевого освітлення. Світильник місцевого освітлення забезпечений екрануючими решітками, які строго обмежують пучок світла, щоб не засвічувати сусідні або навпротистоячі ліжка і не створювати дискомфорту для лежачих там хворих. Можливість повороту цього світильника і відведення його до стіни створює додаткові зручності для хворих. Включення ламп передбачене роздільним: світильника загального освітлення поза палатою, а світильника місцевого освітлення безпосередньо біля ліжка, для чого є спеціальний вимикач, яким може користуватися лежачий хворий.

В дитячих, післяопераційних, реанімаційних, палатах інтенсивної терапії і психіатричних палатах передбачене тільки загальне освітлення стельовими СП з суцільними розсіювачами.

Для нічного освітлення палат випускається світильник ДС з лампою розжарювання потужністю 15 Вт. Світильник має прямокутну форму і розрахований на вбудовування в стіну. Світильник забезпечений екрануючою решіткою, забарвленою в чорний колір для того, щоб весь світловий потік світильника падав тільки на підлогу, створюючи на ній «світлову доріжку», не потрапляючи у поле зору лежачого хворого. Включення світильника

проводиться централізовано з коридору з пульта управління чергової медичної сестри.

Для нічного освітлення також використовують світильник НВО05 (з лампою розжарювання, вбудований для громадських будівель). Світильник з однією лампою потужністю 25 Вт розрахований на установку в ніші стіни. Перша модифікація світильника НВО05х25-001 має кришку з екрануючою решіткою і може бути використана для установки в палатах. Друга модифікація НВО05х25-002 з призматичним розсіювачем для палат непридатна.

Замість ламп розжарювання можна використовувати КЛЛ малої потужності.



## Лекція 13

### ПРОЕКТУВАННЯ СВІТЛОСИГНАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Світловий сигнал, що є матеріальним носієм інформації, повинен задовольняти наступним умовам:

- 1) повинен бути простий, наочний, помітний, виділятися серед предметів, що його оточують;
- 2) повинен мати строго обмежене смислове значення і призначатися для певних осіб або групи людей з метою орієнтування їх в навколишньому просторі.

Залежно від характеру поширення в часі світлові сигнали діляться на:

- 1) постійні, тобто що сприймаються протягом тривалого часу незмінними з властивими їм характеристиками;
- 2) пульсуючі або змішані, тобто такі, що періодично змінюють свої характеристики, але не зникаючі при цьому повністю з поля зору спостерігача (приймача);
- 3) переривчасті, такі, що періодично з'являються (спалах) і знов зникаючі (затемнення).

*Переривчасті вогні* у свою чергу діляться на:

а) проблискові, коли тривалість спалаху помітно менша тривалості затемнення, а кількість спалахів не перевищує 60 на 1 хв;

б) вогні, що затемнюються, коли тривалість спалаху помітно більша тривалості затемнення, а кількість спалахів не перевищує 60 на 1 хв.;

в) миготливі, коли тривалість спалаху і затемнення близькі один до одного, а кількість спалахів більше 60 на 1 хв.

г) кодові, коли спалахи або групи спалахів і затемнень із заданими характеристиками поєднуються в певне умовне поняття (наприклад, за типом азбуки Морзе).

При проектуванні світлосигнальних приладів виходять з основного положення: видимість сигнального вогню визначається рівнем освітленості на зіниці ока спостерігача  $E_{zp}$ , що обчислюваною за формулою

$$E_{zp} = \frac{I_{\alpha}}{S^2 \cdot 10^6} \tau^S, \quad (13.1)$$

де  $I_{\alpha}$  - сила світла приладу у напрямі до спостерігача, кд;

$S$  – відстань від спостерігача до приладу, км.;

$\tau$  – прозорість шару атмосфери товщиною 1 км.

Для того, щоб сигнал був видний, повинна бути виконана умова  $E_{zp} \geq E_0$ , де  $E_0$  - порогове значення освітленості. Рішенням Міжнародної комісії з освітлення (МКО) порогову освітленість від світної точки рекомендується називати пороговим блиском. Значення порогового блиску визначаються спеціальними дослідженнями в лабораторних і натурних умовах. При розрахунку в отримані дані вводиться коефіцієнт запасу. Цей коефіцієнт різними авторами рекомендується брати в межах 3-10.

Нижче наведено галузеві рекомендації (норми) на розрахункові рівні освітленості  $E_p$  на зіниці ока спостерігача при сприйнятті сигнальних вогнів в нічний час:

Колір сигнального вогню	Розрахунковий рівень освітленості $E_p$ , $10^{-6}$ лк	
	Морський транспорт	Річковий транспорт
Білий	0,3	0,2
Червоний	0,5	0,35
Жовтий	1,1	1,0
Зелений	0,8	0,5

Якщо у попередню формулу замість  $E_{zp}$  підставити  $E_p$ , то можна визначити необхідну силу світла приладу, при якій забезпечується видимість сигналу:

$$I_\alpha = E_p S^2 \tau^{-S} \cdot 10^6 \quad (13.2)$$

Отримана за даною формулою сила світла не може бути прийнята за осьову (максимальну), оскільки при цьому корисна зона видимості сигналу (кути розсіяння, в межах яких видно сигнал) може виявитися настільки малою, що виявити сигнал буде складно. Тому в технічних вимогах задають кутову ширину світлового пучка приладу, в межах якої повинна бути забезпечена видимість, або межі зниження сили світла в долях від максимальної, наприклад  $0,5 I_{\max}$ ,  $0,2 I_{\max}$  для певних кутів випромінювання.

Як оптичний пристрій в світлосигнальних приладах застосовують як відбивачі, так і дискові і циліндричні лінзи, а також поєднання лінзових і відбивних пристроїв.

Джерелами світла служать переважно лампи розжарювання або імпульсні газорозрядні джерела світла.

При проектуванні ряду маяків, особливо для морського і повітряного транспорту, слід враховувати кулястість земної поверхні. Ці маяки для забезпечення найбільшої геометричної дальності видимості сигналу, яку прийнято називати дальністю відкриття  $D_e$ , встановлюють на найбільш піднесених місцях або на спеціально споруджених баштах, стовпах, щоглах і подібних спорудах.

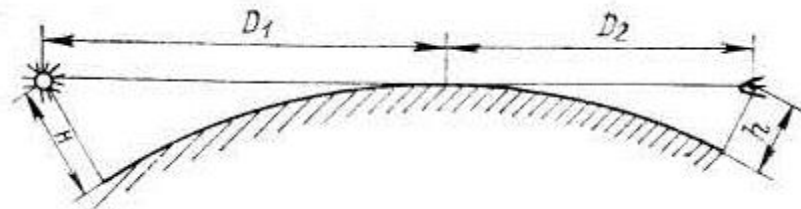


Схема для визначення геометричної дальності видимості маяка

Дальність відкриття залежить від висоти установки маяка  $H$  і положення ока спостерігача щодо рівня землі або моря  $h$  (рис.3) і визначається з рівняння

$$D_e = D_1 + D_2 = 3850(\sqrt{H} + \sqrt{h}).$$

При передачі сигналів на плавучі засоби, що рухаються у напрямку до маяка, світлорозподіл у світловому пучку маяка і сам напрям пучка повинні забезпечувати наростання освітленості на зіниці спостерігача по мірі наближення до маяка. При цьому не повинно бути «мертвих зон», тобто ділянок шляху, в межах яких маяк не видно. Сигнальна дія світлового пучка маяка може припинятися на відстані від маяка, при якій він може бути виявлений по світлу, розсіяному від внутрішніх частин приладу, прямому світлі лампи і по світлу загороджувального вогню.

При проектуванні обертових маяків та інших приладів переривчастої сигналізації слід враховувати проблісковий характер сигналу. Дальність видимості сигналу в цьому випадку визначається не фотометричною (істинною) силою світла приладу  $I_{\phi}$ , а деякою ефективною силою світла  $I_{ef}$ , що складає деяку частку від дійсної у більшості приладів, що працюють в проблісковому режимі. В цьому випадку по попередній формулі визначається не дійсна сила світла, якою повинен володіти проєктований прилад, а необхідна ефективна сила світла, що забезпечує видимість пробліскового сигналу на заданій відстані.

Співвідношення між ефективною і фотометричною силою світла залежить від характеру пробліску. Якщо сила світла приладу протягом пробліску залишається постійною, то значення ефективної сили світла визначається з наступного співвідношення:

$$I_{ef} = I_{\phi} \frac{t}{\Theta + t}, \quad (13.3)$$

де  $t$  – тривалість пробліску, с;

$\Theta$  – постійна часу, що характеризує інерційні властивості ока, с.

За літературними даними для проблісків тривалістю 0,01-1 с значення для  $\Theta$  можна приймати наступними: для білого вогню 0,2 с, для червоного 0,08 с, для зеленого 0,15 с.

При освітленості на зіниці ока спостерігача, що дорівнює  $E_p$ , рекомендовано приймати  $\Theta=0,1$  с.

Тривалість пробліску в секундах для обертових маяків дорівнює

$$t = \frac{2\alpha}{6n}, \quad (13.4)$$

де  $2\alpha$  – повна кутова ширина світлового пучка, град;

$n$  – число оборотів, що описуються світловим пучком маяка за хвилину.

Таким чином, якщо сила світла маяка постійна впродовж всього пробліску, то знаходження величини  $I_{ef}$  не представляє складнощів. Звичайно ж сила світла маяка протягом пробліску змінюється за деяким законом. В цьому випадку при проектуванні маяка доводиться використовувати дослідні дані відомих подібних приладів. Наприклад, у двопучкового пробліскового маяка типу PS10 фірми ADB (Бельгія) з двома лампами розжарювання потужністю по 500 Вт кожна при частоті обертання 6 об/хв має місце співвідношення  $I_{ef} = 0,08I_{\max}$ . Таке ж співвідношення між максимальною і

ефективною силою світла отримано для імпульсного маяка з лампою типу ИФК 2000-3.

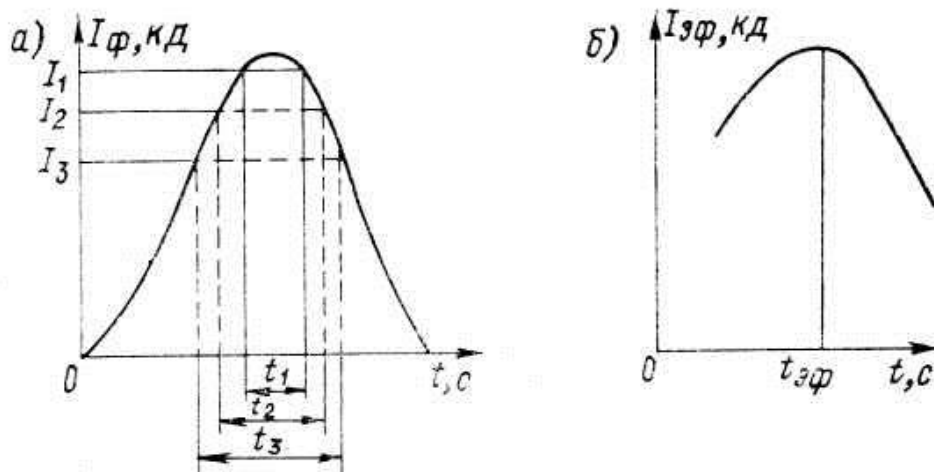
Обчисливши необхідну ефективну силу світла і використовуючи приведені співвідношення між  $I_{ef}$  і  $I_{\phi}$ , можна в першому наближенні визначити фотометричну силу світла приладу і по ній вибрати світлооптичну систему і її основні параметри.

Для того, щоб перевірити, чи забезпечує вибрана світлооптична система отримання ефективної сили світла, необхідну для виявлення сигнального вогню, потрібно розрахувати її криву фотометричної сили світла в горизонтальній площині, що проходить через оптичну вісь приладу, а по ній вже визначити ефективну силу світла.

Розрахунок виконують в наступному порядку:

1. Будують розраховану криву фотометричної сили світла маяка в горизонтальній площині, що проходить через оптичну вісь світлосигнального приладу, причому градуси на горизонтальній осі переводять у відповідні їм значення часу за формулою (13.4). Ця крива розглядається як складена з прямокутників з основами  $t_1, t_2, \dots, t_n$ , в межах кожного з яких значення сили світла  $I_1, I_2, \dots, I_n$  приймаються постійними.
2. Кожен прямокутник розглядається як світловий сигнал з постійною силою світла, тому з рівняння (13.3) може бути визначене значення  $I_{ef}$  для кожного значення  $t$  і  $I_{\phi}$ . За отриманими значеннями  $I_{ef}$  будують криву. Максимум цієї кривої приймають за ефективну осьову силу світла маяка, а за тривалість проблиску приймають значення  $t_{ef}$ , що відповідає максимуму.

Обчислена таким чином ефективна сила світла маяка є дещо меншою в порівнянні з її фактичним значенням, тобто в розрахунок ніби введений коефіцієнт запасу.



До розрахунку ефективної сили світла маяка

При наближенні спостерігача до сигнального вогню освітленість на зіниці ока спостерігача повинна зростати по певному закону. Для вибраного закону наростання освітленості будують необхідну криву ефективних сил світла маяка у вертикальній площині. Вона повинна бути такою, щоб забезпечувався

необхідний закон наростання освітленості (наприклад, прямолінійний, логарифмічний і т.п.). Оскільки оптична система маяка вже вибрана, то неважко розрахувати його криві фотометричної сили світла у ряді площин, нахилених до горизонтальної площини. По цих кривих (користуючись описаною методикою) визначають значення ефективних сил світла і будують криву фактичних ефективних сил світла у вертикальній площині маяка.

Зіставляючи криву фактичних ефективних сил світла і криву необхідних ефективних сил світла, можна побачити їх відповідність або явне неспівпадання. На підставі цього аналізу вносять ті або інші зміни і доповнення в світлооптичну систему приладу – вибирають інше джерело світла, збільшують або зменшують кути розсіювання за рахунок зміни фокусної відстані, використовують розсіювачі або призматичні відхиляючі накладки тощо. Після коректування світлооптичної системи маяка її знов перевіряють на відповідність необхідним характеристикам.

З підвищенням швидкостей засобів пересування все більшого значення набуває час виявлення сигнальних вогнів. Дослідженнями було встановлено, що час виявлення постійних вогнів при 75% імовірності і порогових умовах спостереження дорівнює 6 с. За надпорогових умов, коли освітленість на зіниці ока спостерігача в 2,5-3 рази перевищує порогову, він зменшується до 1,5-2 с.

Час виявлення пробліскового вогню  $T_{виявл}$  може бути визначене по наступній емпіричній формулі (при яскравості фону  $L_{\phi} = 0 \div 0,3$  кд/м<sup>2</sup> і періоді проблісків  $T \sim 1$  с):

$$T_{виявл} = \frac{67\omega T}{\left(\frac{E_{ef}}{E_{пор}} - 1\right)^{3/2}} + 0,5T, \quad (13.5)$$

де  $\omega$  – тілесний кут, в межах якого відбувається пошук вогню, ср;

$T$  – період пробліску вогню, с;

$E_{ef}$  – ефективна освітленість, зумовлена переривчастим вогнем, лк;

$E_{пор}$  – порогова освітленість, зумовлена вогнем в тих же умовах спостереження, лк.

Величину, зворотну часу виявлення переривчастого сигнального вогню, називають помітністю:

$$C = \frac{1}{T_{виявл}}.$$

При освітленості на зіниці ока спостерігача, близькій до порогового значення, переривчастий вогонь помітніший постійного, що пояснюється великим засвічуванням сітківки ока при постійній дії сигнального вогню в порівнянні із засвічуванням переривчастим вогнем. Переривчасті сигнальні вогні помітніші постійних, особливо в тих місцях, де сигнальні вогні є видимими на фоні безлічі сторонніх вогнів.

Дослідженнями було встановлено, що виключити несприятливу дію сторонніх вогнів можна шляхом створення сигналів, що різко від них відрізняються. До подібних сигналів відносяться пульсуючі вогні і вогні

протяжної форми. Так, помітність вогнів з частотою 8-10 Гц, що сприймаються як пульсуючі, виявилася приблизно в два рази більшою, ніж помітність постійних точкових вогнів.

### Визначення оптимальних енергетичних параметрів світлового маяка

До світлових маяків нерідко пред'являються суперечливі вимоги. Наприклад, з одного боку, у маяків, що особливо працюють в труднодоступних місцях, споживана потужність повинна бути мінімальна, що приводить до зменшення дальності видимості вогню або збільшення часу його виявлення. З іншого боку, необхідність виявлення світлових сигналів за мінімальний час вимагає збільшення потужності маяка.

Критерієм оптимальності системи візуальної сигналізації по споживаній маяком потужності  $P$  і часу виявлення сигналів  $T_{\text{виявл}}$  може служити мінімум споживаної маяком електричної енергії, що витрачається на виявлення світлових сигналів:

$$W = PT_{\text{виявл}} \quad (13.6)$$

Найбільш поширені маяки, що працюють в проблісковому режимі. Під потужністю такого маяка розуміють його середню потужність за період проходження проблісків

$$P_{\text{cp}} = \frac{HS_{\text{д}}^2\Omega}{Tk_{\text{np}}k_{\text{м}}e^{-kS_{\text{д}}}}, \quad (13.7)$$

де  $H$  – експозиція па зіниці ока спостерігача, створювана маяком, лк·с;

$S_{\text{д}}$  – дальність сигналізації, км;

$\Omega$  – тілесний кут випромінювання маяка, ср;

$T$  – період пробліску, с;

$k_{\text{np}} = \frac{I_{\text{min}}}{I_{\text{cp}}}$  – коефіцієнт, що враховує просторову нерівномірність

випромінювання маяка;

$I_{\text{min}}$  – мінімальна сила світла маяка, кд;

$I_{\text{cp}}$  – середня сила світла в межах кута  $\Omega$ , кд;

$k_{\text{м}}$  – коефіцієнт використання маяка:

$$k_{\text{м}} = \eta_e \eta \eta_{\text{СП}},$$

$\eta_e$  – ККД електричної схеми маяка;

$\eta$  – світлова віддача джерела світла, що працює в проблісковому режимі, лм/Вт;

$\eta_{\text{СП}}$  – ККД світлового приладу;

$k$  – показник ослаблення світла атмосферою, км<sup>-1</sup>.

Як правило, тривалість проблісків маяків з імпульсними джерелами світла набагато менша постійної часу, що характеризує орган зору  $\Theta$ , тому відповідно до закону Блонделя-Рея можна записати

$$E_{\text{еф}} = \frac{H}{\Theta}. \quad (13.8)$$

Підстановка (13.5), (13.7) і (13.8) в (13.6) дає

$$W = \frac{HS_{\delta}^2\Omega}{k_{np}k_m e^{-kS_{\delta}}} \left[ 0,5 + \frac{67\omega}{\left(\frac{H}{E_{пор}\Theta} - 1\right)^{3/2}} \right]. \quad (13.9)$$

Якщо вважати величини  $S_{\delta}, \Omega, k_{np}, k_m, k, \omega$  заданими і постійними, продиференціювати (13.9) по аргументу  $n = \frac{H}{E_{пор}\Theta}$  і прирівняти отриману похідну до нуля, то можна отримати

$$\omega = 7,45 \cdot 10^{-3} \frac{(n_0 - 1)^{5/2}}{1 + \frac{n_0}{2}}, \quad (13.10)$$

де  $n_0$  - оптимальне значення аргументу  $n$ , що приводить до фіксованого значення  $\omega$  до мінімуму (13.9). Рівняння (13.10) дозволяє для кожного заданого значення  $\omega$  знайти оптимальне значення  $n$  і по формулах (13.7) і (13.5) визначити оптимальні значення  $P_{cp}$  і  $T_{виявл}$ .

Таким чином, для отримання мінімального значення  $W$  необхідно по (13.10) для заданого в конкретному завданні значення знайти оптимальне значення  $n$  і підставити його в рівняння (13.9).

Якщо, наприклад, для нічних умов спостереження і реальних значень величин, що входять в (13.9), значення  $n$  в п'ять разів перевищує  $n_0$ , то енергія, що витрачається на виявлення світлових сигналів, збільшиться в 2,5-3 рази в порівнянні з мінімальною.

## ПРОЕКТУВАННЯ ПРОЖЕКТОРІВ ДАЛЬНЬОЇ ДІЇ

Визначення основних параметрів прожекторів дальньої дії є найбільш трудомістким завданням. При освітленні яких-небудь об'єктів на великих відстанях (порядку декілька кілометрів) доводиться мати справу з досить малими значеннями яскравості і кутових розмірів об'єктів, малим контрастом між об'єктом і фоном.

У міру віддалення об'єкту від прожектора освітленість об'єкту, а отже, і його яскравість зменшуються пропорційно квадрату відстані, а також внаслідок ослаблення світлового потоку атмосферою. Одночасно із збільшенням відстані зменшуються і видимі кутові розміри об'єктів. Крім того, розсіяний в атмосфері світловий потік пучка прожектора створює вуалюючу пелену, яскравість якої, накладаючись на яскравість об'єкту і фону, знижує і без того малий контраст яскравості. В результаті на деякій відстані він досягає порогового значення, при якому об'єкт перестає розрізнятися. Це відстань і є граничною дальністю дії прожектора для конкретних умов освітлення і спостереження. За змінених умов, наприклад при іншій прозорості атмосфери, іншому розташуванні спостерігача або інших характеристиках освітлюваного об'єкту (видимі кутові розміри, коефіцієнт відбивання тощо) гранична дальність видимості об'єктів може виявитися іншою. Звідси витікає, що в технічному завданні на проектування приладів всі вказані умови повинні бути детально обумовлені.

Якщо технічними вимогами задана певна дальність дії прожектора і ті умови, при яких ця дальність повинна бути досягнута, то завдання що проектує на першому етапі полягає в знаходженні сили світла і кутової ширини світлового пучка прожектора, що забезпечують задану дальність видимості.

Для розрахунку дальності видимості необхідно знати яскравість фону, на якому проектується освітлювальний об'єкт  $L_{\phi}$ , яскравість самого об'єкта  $L_{об}$  і його кутові розміри  $\sigma$ .

Яскравість фону складається з трьох компонентів:

$$L_{\phi} = L' + L'' + L_m,$$

де  $L'$  – яскравість, зумовлена за рахунок первинного розсіювання світлового пучка в атмосфері;

$L''$  – яскравість, зумовлена вторинними і багатократними розсіюваннями (для попередніх розрахунків дальності видимості можна знехтувати);

$L_m$  – яскравість земних утворень, на фоні яких проектується освітлювальний об'єкт (ліс, поле, сніговий покрив, вода тощо).

У випадку, коли об'єкт проектується на фоні неба, яскравість фону визначається розсіюванням світлового пучка в атмосфері на всій ділянці від точки  $B$  входу лінії зору спостерігача в пучок до точки  $D$  виходу її з пучка:



$$L_{\phi} = L'_{S_n - S_1},$$

де  $S_n$  – відстань від спостерігача в т.  $N$  до точки виходу його лінії зору з пучка прожектора, встановленого в т.  $P$ ;

$S_1$  – відстань від спостерігача до точки входу його лінії зору в пучок прожектора.

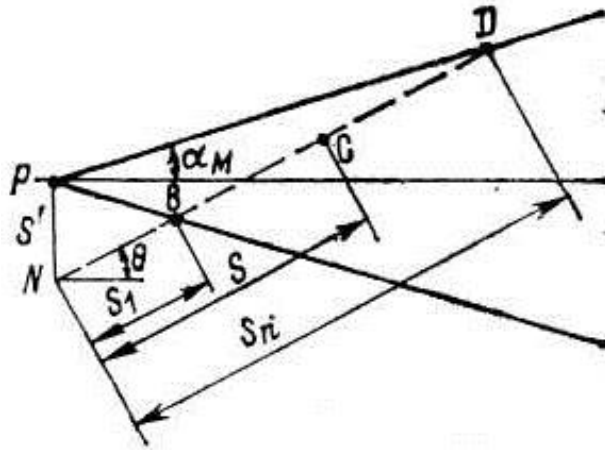


Схема до розрахунку яскравості об'єкта і фону

Відстань  $S_n$  може дорівнювати безмежності, якщо половина кутової ширини пучка  $\alpha_m$  більше кута  $\Theta$  між лінією зору спостерігача і віссю пучка.

Яскравість об'єкта  $L_{об}$ :

$$L_{об} = L + L_{S-S_1},$$

де  $L_{S-S_1}$  – яскравість, зумовлена розсіюванням світла на ділянці  $S - S_1$ ,

$S = CN$  – відстань від спостерігача до об'єкта, що знаходиться в т.  $C$ ;

$L$  – яскравість, зумовлена освітленням об'єкта безпосередньо пучком прожектора,  $L = \frac{\rho E}{\pi}$ ;

$\rho$  – коефіцієнт відбивання поверхні об'єкта, вважаючи її дифузновідбиваючою;

$E$  – освітленість поверхні об'єкта:

$$E = \frac{I_{\alpha}}{PC^2 \cdot 10^6} e^{-\mu(\overline{PC} + \overline{CN})},$$

де  $I_{\alpha}$  – сила світла прожектора в напрямку об'єкта, кд;

$PC$  – відстань від прожектора до об'єкта, км;

$\mu$  – показник послаблення світла атмосферою,  $\text{км}^{-1}$ . Дослідження показали, що в атмосфері  $\mu$  практично дорівнює показнику розсіювання світла

$k$ . Тому для спрощення розрахунків впливу атмосфери на світловий пучок приладу зводять до розсіювання світла.

В реальних випадках прожекторного освітлення відстань від прожектора до спостерігача ( $\overline{PN} = S'$ ) є мала, тому величину  $E$  можна розрахувати по формулі:

$$E = \frac{I_{\alpha}}{S^2 \cdot 10^6} e^{-2kS}.$$

Яскравість земних утворень, на фоні яких проектується об'єкт, розраховують подібним чином за їх освітленістю і відстанню від прожектора з врахуванням коефіцієнта відбивання земних утворень  $\rho_m$ .

Щоб розрахувати яскравість, що отримується за рахунок розсіювання світла в атмосфері, потрібно мати криву сили світла в світловому пучку прожектора. Але таких даних проектувальник в початковий період ще не має. В цьому випадку користуються відомою властивістю прожекторів дальньої дії, яке полягає в тому, що при освітленні віддаленого об'єкту прожекторами, які мають подібні криві сили світла, контраст між фоном і об'єктом зберігає постійне значення. (Подібними кривими сили світла називають такі, у яких ординати розрізняються між собою постійним множником.) Незмінність значення контрасту пояснюється тим, що із збільшенням сили світла в світловому пучку зростає в певне число разів яскравість як об'єкту, так і фону, значення ж контрасту залишається постійним. Тому порогове значення яскравості фону  $L_{\phi \text{ пор}}$ , обчислене для одного якого-небудь прожектора, крива сили світла якого відома, можна використовувати для розрахунку порогової дальності видимості того ж об'єкту при освітленні його в тих же умовах іншим прожектором, що має криву сили світла, подібну до відомої кривої. Використовуючи це положення, розрахунок сили світла проектного прожектора, що забезпечує задану дальність видимості, проводять в наступному порядку.

Вибирають КСС  $I_{\alpha \text{ роз}} = f(\alpha)$  якого-небудь існуючого близького за потужністю до прожектора, що проектується, і для нього розраховують значення  $L_{\text{об роз}}$  і  $L_{\phi \text{ роз}}$  при розміщенні об'єкта на заданій відстані.

Значення контрасту  $K$  визначають з формули

$$K = \frac{L_{\text{об роз}} - L_{\phi \text{ роз}}}{L_{\phi \text{ роз}}}.$$

Знаючи значення контрасту і кутового розміру об'єкта  $\sigma$  (рад) обчислюють порогове значення яскравості фону за формулою:

$$L_{\phi \text{ роз}} = 0,318e^{-2,3 \left[ \frac{0,015+2\sigma}{0,015+\sigma} \lg(K-0,015) + 1,551 \lg \sigma + 5,1 \right]}.$$

В основу формули покладена здатність ока розрізняти яскравісний контраст тим краще, чим вища яскравість об'єкта і фону. Малий контраст, який око не може розрізнити при слабкому освітленні, стає помітним при відповідному підвищенні освітленості.

Далі співставляють розрахункову яскравість фону  $L_{\phi \text{ роз}}$  з пороговою  $L_{\phi \text{ пор}}$ . Якщо  $L_{\phi \text{ роз}} \geq L_{\phi \text{ пор}}$ , то об'єкт буде видний, якщо  $L_{\phi \text{ роз}} < L_{\phi \text{ пор}}$ , то не буде видний.

Припустимо, що яскравість  $L_{\phi \text{ пор}}$  виявилась вдвічі більша від значення  $L_{\phi \text{ роз}}$ . Це означає, що для того, щоб об'єкт було видно, необхідно, щоб сила світла прожектора, що проектується, була вдвічі більша тієї, для якої проводиться розрахунок, тобто:

$$I_{\text{пр}} = \frac{L_{\phi \text{ пор}}}{L_{\phi \text{ роз}}} = 2I_{\text{роз}}.$$

Отже, об'єкт при даних умовах буде видно, якщо його освітлювати прожектором, в якого КСС подібна до КСС прожектора, прийнятого для розрахунку, а сила світла вдвічі більша.

При розрахунку необхідної сили необхідно враховувати, що видимість заданого об'єкту повинна бути забезпечена не тільки на осі пучка, але і в межах деякої його ширини. Для прожекторів дальньої дії зазвичай вважають корисною кутову ширину пучка, в межах якої сила світла знижується не більше ніж у два рази в порівнянні з максимальною.

Визначивши вказаним способом орієнтовні значення сили світла і кутової ширини світлового пучка, приступають до вибору світлооптичної системи. Для цього слід розглянути можливі варіанти системи – різні поєднання параметрів відбивача і джерела світла – і вибрати той варіант, який дозволить отримати необхідну силу світла і необхідну ширину світлового пучка. Для прожекторів дальньої дії застосовуються параболоїдні точні відбивачі стандартних розмірів.

Джерело світла вибирають за яскравістю і розмірами світлого тіла, при яких у поєднанні з відбивачем можуть бути отримані необхідна сила світла і кутова ширина світлового пучка.

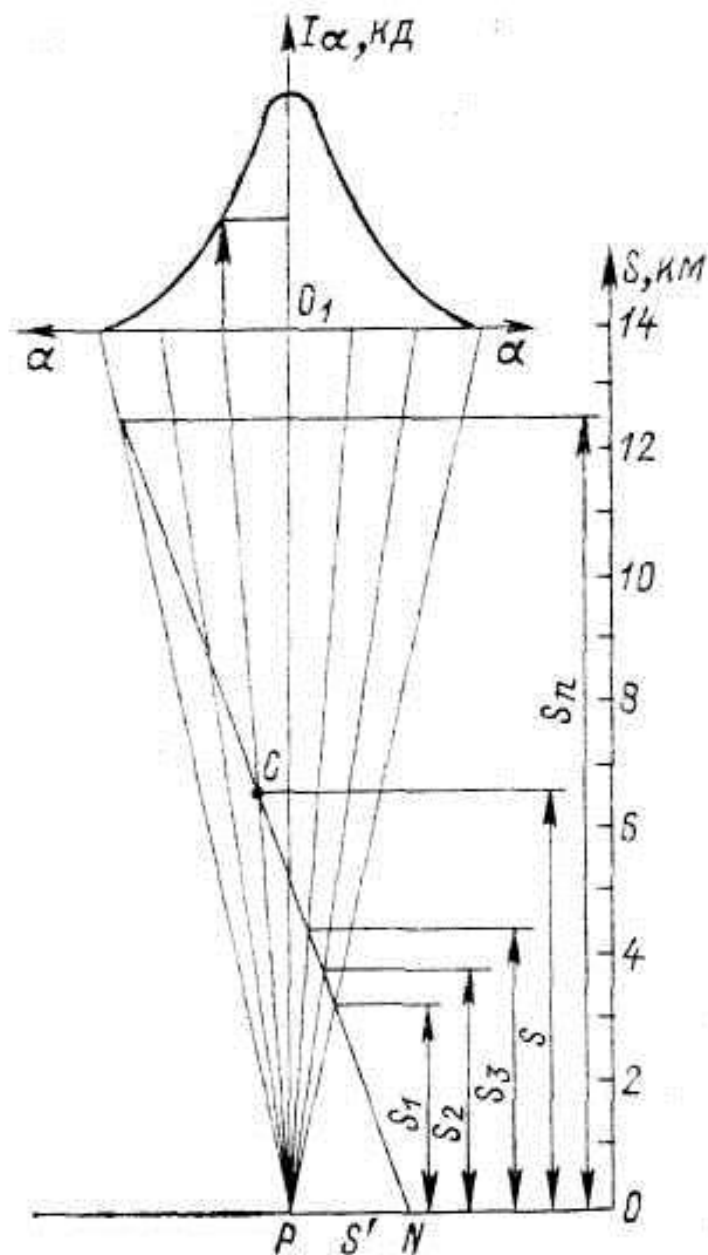
Вибравши світлооптичну систему, слід перевірити можливість конструктивного розміщення джерела світла відносно відбивача. Цю перевірку проводять шляхом ескізного креслення відбивача разом з джерелом світла в певному масштабі.

На тому ж ескізі прокреслюють схематично корпус прожектора і обчислюють його об'єм. Довжину корпусу зазвичай беруть рівною  $(1,5 \div 2,0)f$ , де  $f$  – фокусна відстань відбивача. Якщо питоме теплове навантаження  $g_{\text{ншт}}$  не перевищує допустиме, то приступають до уточнених розрахунків кривої сили світла в світловому пучку прожектора при вибраній світлооптичній системі з урахуванням аберації відбивача і характеру

розподілу яскравості світного тіла джерела світла. По отриманій КСС проводять уточнений перевірочний розрахунок граничної дальності видимості об'єктів відповідно до технічного завдання. Якщо вибрана світлооптична система задовольняє поставлені вимоги, то можна приступити до складання технічного проекту.

Вище було показано, що при розрахунку граничної дальності видимості необхідно знати яскравість, що отримується за рахунок розсіювання світлового пучка прожектора в атмосфері. Ці розрахунки як для первинного, так і для вторинного і багатократного розсіювання детально розглянуті в спеціальній літературі. Розглянемо наближений спосіб розрахунку яскравості для первинного розсіювання, що є у ряді випадків достатнім при проектуванні прожектора дальньої дії.

Графічне визначення необхідних для розрахунку початкових даних проводять, користуючись діаграмою:



Діаграма для розрахунку яскравості первинного розсіювання світлового пучка прожектора

Тут по вертикальній осі  $OS$  в довільному масштабі відкладені значення відстані  $S$ . По горизонтальній осі  $O_1\alpha$ , розташованій па будь-якій відстані від точки  $P$  (прожектори), відкладені в будь-якому масштабі кути розсіювання  $\alpha$  і побудована крива сили світла приладу. Повний кут розсіювання поділений променями, що виходять з точки  $P$ , на декілька рівних кутових ділянок. Від точки  $P$  по осі  $OP$  відкладена відстань  $S'$  до спостерігача  $N$  в масштабі, прийнятому для горизонтальної осі  $O_1\alpha$  (кутовий масштаб попередньо переведений в лінійний).

Нехай об'єкт спостереження, видимість якого визначається, знаходиться в деякій точці  $C$ , де сила світла в пучку складає половину її максимального значення. Тоді пряма  $NC$  є лінією зору спостерігача.

Відстані  $S_1, S_2$  і т.д. визначають безпосереднім вимірюванням по вертикальній осі.

Силу світла в кожній окремій кутовій ділянці знаходять як середнє значення сил світла для двох напрямів, що обмежують дану кутову ділянку. Значення сили світла для цих напрямів визначають безпосереднім вимірюванням по кривій сили світла.

Вимірявши на діаграмі довжини ділянок  $\Delta S_1 = S_2 - S_1, \Delta S_2 = S_3 - S_2$  і т.д. і сили світла  $I_\alpha$  у відповідних кутових ділянках визначають яскравості ділянок  $\Delta L$  за формулою:

$$\Delta L = \frac{f(\omega)kI_\alpha\Delta S}{4\pi S^2 \cdot 10^6} e^{-2ks},$$

де  $\Delta L$  – яскравість, кд/м<sup>2</sup>;

$\omega$  – вектор індикатриси розсіювання світлового потоку елементарним об'ємом атмосфери;

$k$  – показник розсіювання;

$I_\alpha$  – середня сила світла в межах даної кутової ділянки, кд;

$\Delta S$  – довжина ділянки, км;

$S$  – відстань до об'єкта, км.

Для приблизних розрахунків приймають  $f(\omega) = 0,38 \div 0,40$  для забрудненого повітря і  $f(\omega) = 0,60 \div 0,63$  для чистого повітря. Значення показника розсіювання визначається із співвідношення

$$k = \ln \frac{1}{\tau},$$

де  $\tau$  - прозорість шару атмосфери товщиною 1 км.

Розрахувавши таким чином яскравості окремих ділянок пучка сумуванням цих яскравостей визначають загальну яскравість світлового пучка в межах від  $S_1$  до  $S$ , тобто яскравість світлового пучка перед об'єктом, і від  $S$  до  $S_n$  - яскравість пучка позаду об'єкта і загальну яскравість розсіювання (від  $S_1$  до  $S_n$ ), що утворює фон.

## Лекція 15

### ОСВІТЛЕННЯ І СВІТЛОВА СИГНАЛІЗАЦІЯ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ

Вимоги до світлосигнальних приладів автомобілів:

- забезпечення видимості в широкому діапазоні відстаней спостереження (від декількох сотень до декількох метрів);
- низька сліпуча дія в темний час і хороша видимість при сонячному світлі;
- видимість в різних погодних умовах.

#### СВІТЛОВІ ПРИЛАДИ ПЕРЕДНЬОЇ ЧАСТИНИ АВТОМОБІЛЯ

До СП передньої частина автомобіля відносяться:

- основні блок-фари, що мають функції ближнього і дальнього світла, а також габаритного вогню;
- покажчики поворотів;
- додаткові фари дальнього світла;
- протитуманні фари.

#### 15.1. Типи фар і основні системи освітлення

##### *Ближнє світло*

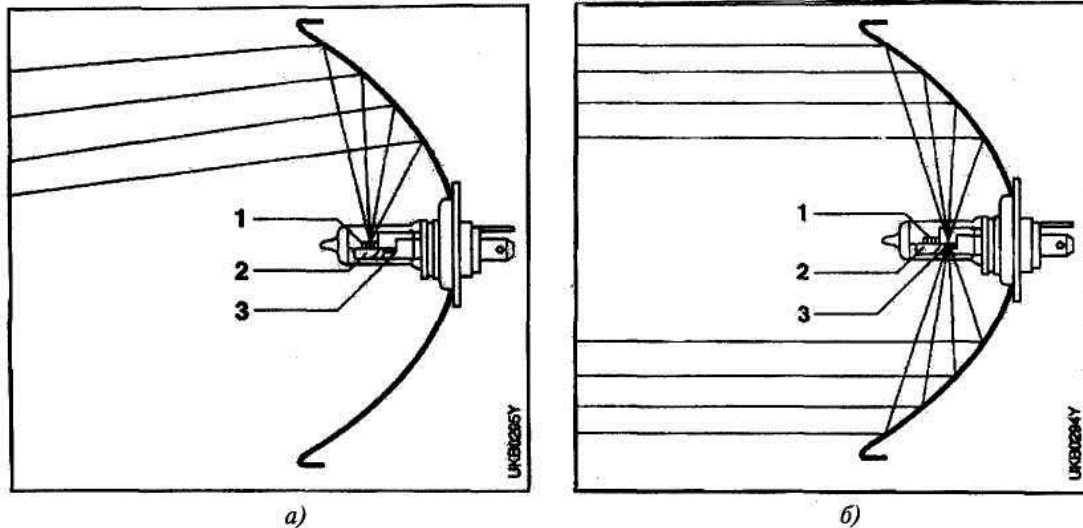
Завдання фар ближнього світла:

- рівномірно без плям освітлювати дорогу;
- забезпечувати достатню дальність видимості на ближньому узбіччі;
- виділяти свою смугу (направляюче світло);
- мати достатню ширину світлового пучка;
- не засліплювати зустрічних учасників руху.

##### *Дальнє світло*

Характеристики світлорозподілу фар дальнього світла відносяться:

- симетричний розподіл по відношенню до медіатрис;
- світловий максимум по оптичній осі фари;
- максимально допустима сила світла як сума окремих значень всіх встановлених на автомобілі фар дальнього світла повинна складати 225 ккд.



Формування світлового пучка ближнього (а) і дальнього (б) світла:  
 а – відбивач з лампою Н4, ввімкнена нитка ближнього світла (перед фокусом),

б – ввімкнена нитка дальнього світла (у фокусі).

1 – нитка ближнього світла,

2 – екран лампи біля нитки ближнього світла,

3 – нитка дальнього світла.

### *Основні системи освітлення*

- двофарна – застосування в оптичному елементі фари однієї двониткової лампи і одного відбивача для ближнього і дальнього світла система;
- чотирифарна – функції ближнього і дальнього світла розділені;
- блок-фари – СП, що мають різні джерела світла, які працюють в різних режимах, але об'єднані в одному корпусі, мають одне захисне скло, або розсіювач, різні зони якого призначені, відповідно, для дальнього і ближнього світла.

*Дальність видимості* – відстань, на якій вертикальна освітленість на правому узбіччі дороги досягає значення 1 лк.

*Геометрична дальність видимості* (при освітленні фарами ближнього світла) – відстань, на якій горизонтальна ділянка світлотіньової межі перетинається з поверхнею дорожнього покриття.

## 15.2. Основні елементи конструкції фар

### 15.2.1. Відбивачі

#### Відбивач-параболоїд

Відбивач автомобільної фари, фокальні промені якого відбиваються від поверхні відбивача паралельно, а нефокальні – віялоподібно.

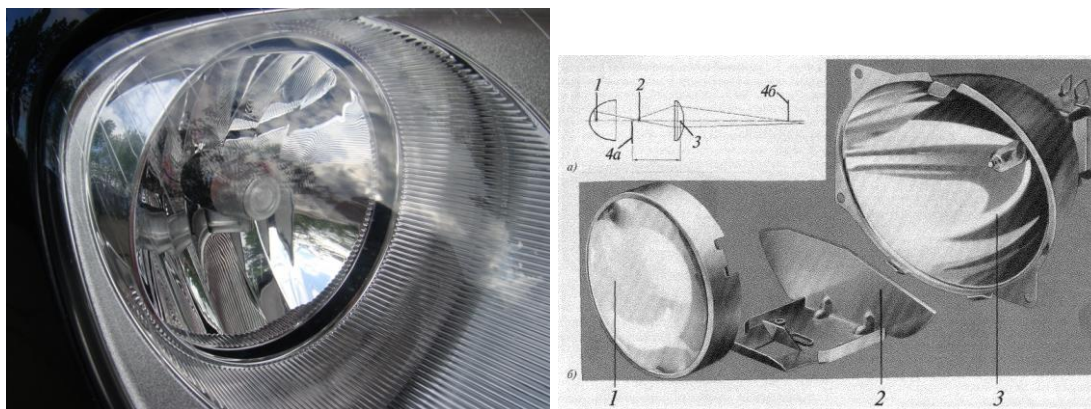


#### Відбивач-еліпсоїд

Еліпсоїд має два фокуси: значна частина світла від джерела, розташованого в першому фокусі, концентрується в другому. Екран, що розташований поряд з другим фокусом і має необхідну світлотіньову межу, проектується за допомогою асферичної проекційної лінзи на дорогу.

*Переваги:* світлотіньова межа з будь-яким ступенем різкості, вищий ККД, більша ширина світлового пучка, покращена видимість узбіч і поворотів дороги; покращена рівномірність освітлення в межах всієї світлової плями; збільшена дальність видимості дороги.

*Недоліки:* високі робочі температури відбивача і лінзи, розкладання пучка в спектр на світлотіньовій межі, висока яскравість лінзи.



А) – принципова оптична схема фари: 1 – перший фокус відбивача, 2 – другий фокус відбивача, 3 – об'єктив, 4а – екран, розміщений у фокусі об'єктива, 4б – проекція екрана;

Б) – основні елементи конструкції фари: 1 – лінзовий об'єктив, 2 – екран, що формує світлотіньову межу, 3 – відбивач з лампою.



### Відбивачі з «вільною поверхнею»

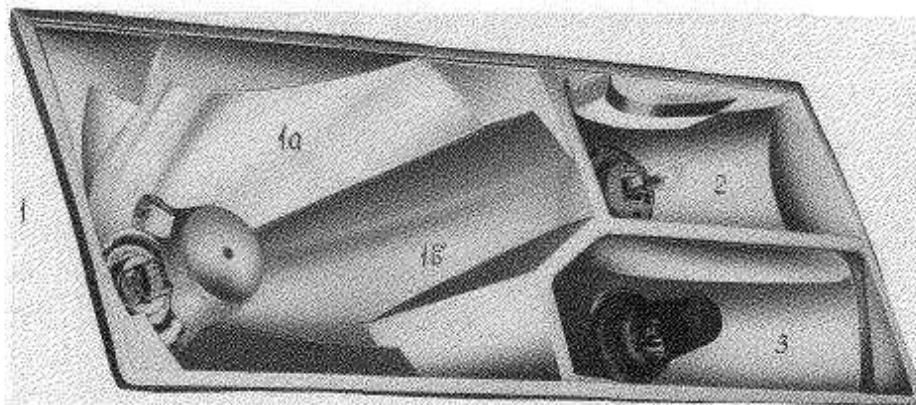
Розрахунок поверхні відбивача проводиться по точках для її максимального використання, може бути гладким, фасетним або сегментним.

*Переваги:* збільшення корисного світлового потоку на 43% та ККД до 80% (порівняно з еліпсоїдними відбивачами), використання всієї поверхні, відмова від оптичної профілізації розсіювачів.



### «Ступінчасті» відбивачі

Ступінчасті відбивачі – це сегментовані відбивачі, що складаються з параболічних або параеліптичних (комбінація з параболи і еліпса) елементів.



Ступінчастий відбивач складної форми:

- 1 – гомофокальний відбивач ближнього світла,
- 1а – базовий (основний) відбивач,
- 1б – додаткові відбивачі,
- 2 – відбивач дальнього світла,
- 3 – відбивач протитуманної фари.

### Гомофокальні (співфокусні) відбивачі

Співфокусний відбивач складається з основного і додаткового відбивача.

Сектороподібні додаткові відбивачі із загальним (одним) фокусом мають меншу фокусну відстань і вносять додатковий внесок до світлового пучка. Світло додаткових відбивачів покращує освітлення зони перед автомобілем і збоку від нього, але не збільшує дальність видимості.

### Багатофокусні відбивачі

Відбивач автомобільної фари, який складається з основного і додаткового відбивачів і має декілька фокальних точок внаслідок параболічних деталей відбивача.



### Фасетні відбивачі

Поверхня фасетних відбивачів складається з безлічі сегментів, допускаються «розриви» і ступені на всіх чотирьох межах фасетки. Таким чином, вдається добитися оптимізації світлорозподілу.



### HNS (Homogeneous Numerically Calculated Surface) відбивачі

Відбивач містить багато оптичних елементів, особливістю яких є їх нерозривність, ступені (переходи) розміщуються на сусідніх поверхнях.

ККД фари 50%, світлорозподіл можна повністю забезпечити тільки відбивачем без оптичної профілізації розсіювача.



### 15.2.2. Матеріали відбивачів

- полірована сталь; - латунь; - алюміній	Виготовляються методом листового пресування. Поверхня покривається лаком, металізується алюмінієм у вакуумі, покривається антикорозійним шаром. $\rho \approx 87\%$
- дюропласт	Виготовляються методом порошкового пресування. Поверхня покривається лаком

Шорсткість відбивача не повинна перевищувати 0,001 мм. Конденсат, що утворюється у фарі, усувається застосуванням отворів для вентиляції і поліпшення захисту від корозії.

**Світлові екрани-бленди** – екрани, що встановлюються перед джерелом світла, внутрішня поверхня яких повинна бути матовою і(або), по можливості, чорного кольору. У декоративних цілях зовні бленди можуть бути виготовлені як блискучі ковпачки.

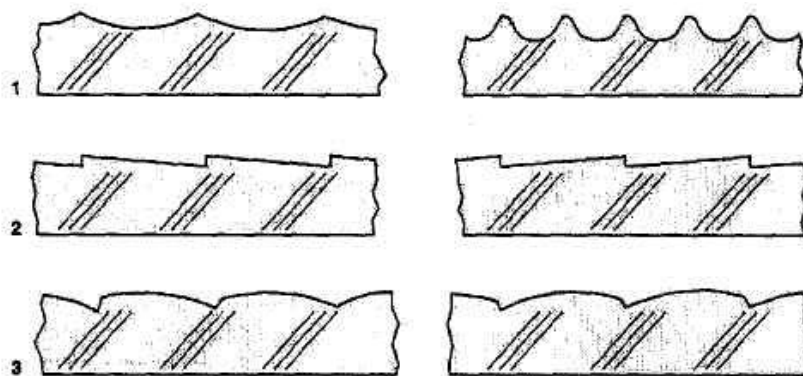
Призначені для екранування прямих променів і світла, відбитого від декоративних поверхонь, що не працюють на формування світлорозподілу.

### 15.2.3. Розсіювачі

Оптичні профілі на розсіювачах необхідні, коли відбивачі мають форму параболоїда.

При застосуванні відбивача з вільною поверхнею оптичні профілі покращують однорідність світлорозподілу.

Для досягнення досконалого зовнішнього вигляду застосовуються прозорі розсіювачі з незначною кількістю декоративних профілів.



Профілі розсіюючів фар: 1 – лінзові, 2 – призматичні, 3 – комбіновані.

### *Типи розсіювачів:*

Скляні	Виготовляються методом пресування. <i>Недоліки:</i> Обмежене формоутворення, похибки виготовлення внаслідок великих допусків на обладнання. <i>Переваги:</i> Абразивостійкість і порівняно хороша термостійкість розсіювачів, яка може бути збільшена хімічним чи термічним загартуванням, допускають використання омивачів щіткового та інжекторного типу.
Пластмасові (полікарбонат)	Виготовляються пресуванням з нанесеним із зовнішнього боку зміцнюючим абразивостійким покриттям. <i>Недоліки:</i> допускають використання омивачів тільки інжекторного типу. <i>Переваги:</i> незначна вага і легке формоутворення

#### **15.2.4. Джерела світла**

Відповідно до вимог Правил ЄЕК ООН R-37 лампи для транспортних засобів випускаються для робочої напруги 6, 12 і 24 В.

##### *Лампи розжарення*

Лампа Н4 вперше застосована в 1971 р. і до цих пір застосовується на європейських автомобілях.

У 1995 році з'явилася точніша лампа для відбивачів з вільною поверхнею Н7.

Лампи Н8, Н9 і Н11 – галогенні лампи з герметичною цокольною частиною, які застосовуються переважно для протитуманного світла (Н8), дальнього світла (Н9) і ближнього світла (Н11).

Лампи НВ1, НВ3, НВ4, а також НВ5 (заміна НВ1). Їх перевагою є герметичне виконання цоколя, що дозволяє зменшити розміри фари і полегшити заміну лампи.

Лампа NDF (new double filament) (Н13), яка має точніше позиціонування нитки розжарення.

Спеціально розроблене кварцеве скло UV-BLOCK запобігає псуванню пластмасових розсіювачів фар ультрафіолетовим випромінюванням.

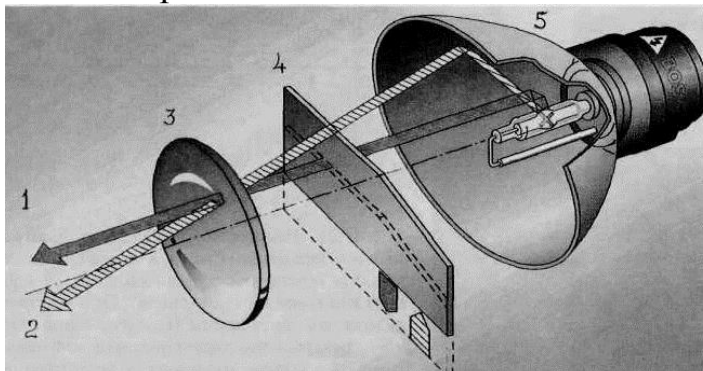
##### *Розрядні лампи*

Металогалогенні лампи (МГЛ) першого покоління D1 мали велику частку УФ-випромінювання. Електроди ламп D1 впаювалися в блок електронного управління, що виключало можливість заміни ламп.

Друге покоління ламп (D1S/R і D2S/R) забезпечене додатковою колбою, що зменшує УФ-випромінювання настільки, що стало можливим застосування пластмасових розсіювачів. Лампи мають цоколь штекерного типу. Лампи D2S

призначені для прожекторних систем і фар дальнього світла, D2R – для фар ближнього світла відбиваючого типу.

БІ-ксенонова фара: механічний перемикач за допомогою приводу від втягуючого електромагніту переміщає екран таким чином, що одне і те ж джерело світла може створювати ближнє або дальнє світло фар. У разі виходу з ладу система автоматично перемикається в положення ближнього світла.



Принцип роботи БІ-ксенонової фари: 1 – промінь дальнього світла, 2 – промінь ближнього світла, 3 – лінза (об'єktiv), 4 – рухомий екран, 5 – оптичний елемент фари прожекторного типу.

### Додаткові фари

#### *Протитуманні фари*

В передній частині автомобіля допускається установка двох протитуманних фар, які при поганій видимості повинні доповнювати ближнє світло або працювати разом з габаритними вогнями. Великі кути розсіяння для освітлення узбіч дороги і чітка горизонтальна світлотіньова межа є ознаками хороших протитуманних фар. Протитуманні фари можуть вмонтовуватися у кузов, можуть бути частиною «блоку» з основними фарами, або бути закріпленими під бампером.

Колір випромінювання протитуманних фар – білий або жовтий.

#### *Додаткові фари дальнього світла*

Призначені для підсилення дальнього світла, можуть повертатися для зміни орієнтації світлового пучка.

#### *Прожектор-шукач*

Прожектор-шукач є рухомою фарою і служить для знаходження номерів будинків і табличок з назвами вулиць. Відрізняється вузьким світловим пучком дальньої дії.

#### *Ходові і габаритні вогні*

Для додаткового позначення рухомого транспортного засобу в світлий час доби багато країн вимагають або дозволяють використання «ходових вогнів».

Функцію «ходового світла» може виконувати ближнє світло або протитуманні фари.

## СВІТЛОВІ ПРИЛАДИ ЗАДНЬОЇ ЧАСТИНИ АВТОМОБІЛЯ

До СП задньої частини автомобіля відносяться:

- додатковий сигнал гальмування;
- освітлення номерного знаку;
- покажчик повороту;
- габаритні вогні і вогні стоянки;
- вогні гальмування;
- фари заднього ходу;
- протитуманні фари.

### *Джерела світла світлосигнальних ліхтарів*

Для ліхтарів найчастіше застосовують лампи розжарення.

Галогенні лампи застосовуються в сигнальних ліхтарях рідко (наприклад галогенна лампа Н6W, яка використовується переважно в передніх габаритних ліхтарях).

На даний час застосовують світло діоди. *Переваги світлодіодів:* швидке включення (на 170 мсек. швидше, ніж ЛР); мале споживання енергії; тривалий термін служби. *Недоліки:* висока вартість і температурна зміна характеристик.

Неонові лампи мають подібні зі світлодіодами властивості, але через необхідність в керуючій електроніці і складній електромагнітній сумісності вони вимагають високих витрат.

### *Конструктивне виконання ліхтарів*

Ліхтарі можуть бути виконані як у вигляді окремих пристроїв, так і згрупованих, комбінованих і суміщених світлових приладів.

У передній частині автомобіля сигнальні вогні (габаритні, покажчики повороту, а в США і передні бічні маркерні вогні) часто об'єднують в головній фарі в один світловий блок.

У задній частині автомобіля функції найчастіше об'єднуються в єдиному задньому ліхтарі (по одному на кожну сторону). Для виготовлення задніх ліхтарів часто застосовуються складні технології литва під тиском на машинах для багатоколірного (до 4 кольорів) литва.

## Перспективи в області розвитку світлових приладів

### *Система інфрачервоного нічного бачення*

Зображення, отримане від ІЧ-камери, передається на дисплей, що знаходиться у полі зору водія. При цьому також поліпшується видимість в тумані, коли видиме світло натрапляє на перешкоду.

*Основні переваги ІЧ-системи:*

- активне ІЧ-бачення, сумісне із зоровим сприйняттям дороги;
- відсутність засліпленості інших водіїв і засвічування інших учасників транспортного потоку;
- повне системне рішення, що включає джерело ІЧ-випромінювання, камеру, обробку сигналу і дисплей.

### *Адаптивні системи освітлення (AFS)*

Замість стандартного ближнього світла, незмінного для всіх дорожніх ситуацій, передбачені наступні варіанти:

- «міське світло» — режим для невисоких швидкостей;
- «заміське світло» — режим для виконання поворотів;
- «магістральне світло» — режим для руху на великій швидкості;
- «світло для поганих погодних умов» — режим зниженої сліпучої дії для зустрічного руху при одночасно інтенсивнішому освітленні узбіччя доріг.

Доповнення до Правила ЄЕК ООН № 48 допускає застосування і статичного, і/або динамічного ближнього світла. У випадку із статичним світлом під час повороту автомобіля додатково включається світло від окремого відбивача або проєктора, який повинен освітлювати внутрішню сторону повороту. У динамічному світлі повертається сама фара або її частина.

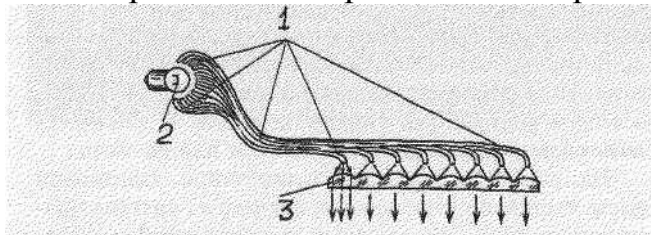


Експлуатаційна ефективність системи AFS:

а) – класична система освітлення; б) система AFS.

## ***Застосування волоконної оптики і енергоощадних джерел світла в автомобільних СП***

**Світловоди.** Світловий потік джерела передається по світлових волокнах, зібраних в джгут. В області світної поверхні сигнального вогню джгут розщеплюється на окремі волокна, світні торці яких опромінюються лінзи розсіювача і забезпечують потрібний світлорозподіл ліхтаря.



Використанні світловодів

**Світлодіоди.** Світлодіоди застосовують для стоп-сигналів, покажчиків поворотів, габаритних вогнів, фар денного світла, а також ближнього і дальнього світла.



Оптика автомобіля Ауді R8:

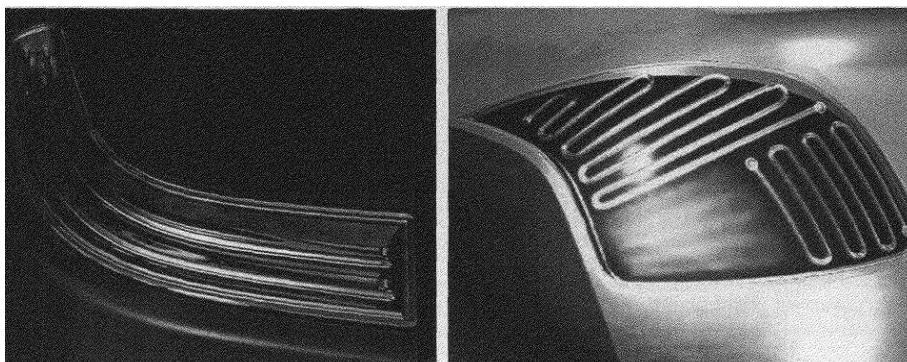
- 1 – ближнє світло і габарити (14 світлодіодів);
- 2 – дальнє світло (по 4 світлодіоди в кожному);
- 3 – покажчик повороту (8 жовтих світлодіодів);
- 4 – блок «денного світла» (24 білих світло діодів)



Автолампа H4 P43t-38 18 SMD світлодіодів

**Неонові трубки.** Завдяки високій рівномірності свічення і можливості «художнього трасування» дозволяють створювати ліхтарів складних форм з прозорими покривними деталями без призмолінзових елементів (гладкими). Це приводить до необхідності формувати світлорозподіл ліхтарів відбивачами.

Використовують для ліхтарів, в яких світлорозподіл формується відбивачами з вільними поверхнями, а колір забезпечують світлофільтри на лампах.





## Лекція 16

### ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЗПЕКИ СВІТЛОВИХ ПРИЛАДІВ

Електрична безпека визначається класом захисту від ураження електричним струмом (або видом приладів за електричною ізоляцією), ступенем захисту від дотику зі струмоведучими частинами, напругою, опором і електричною міцністю електричної ізоляції, шляхами втрат і повітряними зазорами. Є 4 класи захисту СП від ураження електричним струмом: 0, I, II і III (табл.16.1). Під малою напругою розуміють номінальну напругу СП, яка не перевищує 42 В між проводами і землею (при напрузі холостого ходу 50 В). Безпечною вважається напруга до 110 В постійного струму.

Електрична безпека СП характеризується опором ізоляції між різними частинами, що знаходяться під напругою, як при перебуванні СП в нормальних умовах навколишнього середовища, так і після певного періоду перебування в умовах підвищеної вологості, причому тривалість цього періоду залежить від основного призначення СП. Електрична міцність ізоляції визначається значеннями випробувальної наруги частотою 50 Гц, яка повинна витримуватися без пробою чи перекирвання струмоведучих частин.

Таблиця 16.1. – Класи захисту СП від ураження електричним струмом

Клас захисту	Вид електричної ізоляції СП	Наявність в СП затискача для приєднання заземлюючого проводу	Характеристика постійно приєднаних зовнішніх проводів	Особливості СП
0	Робоча ізоляція на всіх частинах	Відсутній	Відсутні	Металеві корпуси, ізольовані робочою ізоляцією від частин СП, що знаходяться під напругою, корпус із ізоляційних матеріалів, що забезпечує робочу ізоляцію (частково або повністю)
I	Те ж	Є	У випадку приєднання за допомогою гнучкого проводу чи шнура мають на кінці спеціальний заземлюючий контакт (можлива вилка з заземлюючим	Можуть мати частини з подвійною чи посиленою ізоляцією або частини, що працюють при малій напрузі

Клас захисту	Вид електричної ізоляції СП	Наявність в СП затискача для приєднання заземлюючого проводу	Характеристика постійно приєднаних зовнішніх проводів	Особливості СП
			контактом)	
<b>II</b>	Подвійна чи посилена ізоляція	Відсутній	Відсутні	Механічно міцні корпуси з ізоляційного матеріалу, які покривають всі металеві частини (за винятком дрібних деталей, віддалених від частин СП, що знаходяться під напругою, з ізоляцією не гірше посиленої) Металеві корпуси, в яких всюди застосована подвійна чи посилена ізоляція. Комбіновані СП (поєднання двох попередніх)
<b>III</b>	Робоча ізоляція для роботи тільки в системі живлення малою напругою	Відсутній	Є тільки для приєднання в системі живлення малою напругою	Тільки для роботи в системах живлення малою напругою

Ступінь захисту персоналу від дотику з розміщеними всередині оболонки СП частинами, що знаходяться під напругою, чи наближеними до них і ступінь захисту виробу від потрапляння всередину твердих сторонніх тіл і частинок (визначаються першою цифрою позначення згідно ГОСТ 14254-80).

Таблиця 16.2 – Класи захисту персоналу від дотику з розміщеними всередині оболонки СП частинами, що знаходяться під напругою

Перша цифра позначення	Короткий опис	Визначення
<b>0</b>	Захист відсутній	Спеціальний захист відсутній
<b>1</b>	Захист від твердих тіл розміром більше 50 мм	Захист від потрапляння всередину оболонки СП великої ділянки поверхні тіла людини (наприклад, руки) і твердих тіл розміром більше 50 мм
<b>2</b>	Захист від твердих тіл розміром більше 12 мм	Захист від потрапляння всередину оболонки СП пальців або предметів

<b>Перша цифра позначення</b>	<b>Короткий опис</b>	<b>Визначення</b>
		довжиною не більше 80 мм і твердих тіл розміром більше 12 мм
<b>3</b>	Захист від твердих тіл розміром більше 2,5 мм	Захист від потрапляння всередину оболонки СП інструментів, проводів та інших предметів діаметром чи товщиною більше 2,5 мм і твердих тіл розміром більше 2,5 мм
<b>4</b>	Захист від твердих тіл розміром більше 1 мм	Захист від потрапляння всередину оболонки СП проводу і твердих тіл розміром більше 1 мм
<b>5</b>	Захист від пилу	Потрапляння всередину оболонки СП пилу унеможливлено неповністю, проте пил не може потрапляти в кількості, достатній для порушення роботи приладу
<b>6</b>	Пилонепроникність	Проникнення пилу унеможливлено повністю

Таблиця 16.3 – Ступінь захисту СП від потрапляння води (визначається другою цифрою позначення згідно ГОСТ 14254-80)

<b>Друга цифра позначення</b>	<b>Короткий опис</b>	<b>Визначення</b>
<b>0</b>	Захист відсутній	Спеціальний захист відсутній
<b>1</b>	Захист від крапель води	Краплі води, що падають на оболонку вертикально, не повинні чинити шкідливого впливу на виріб
<b>2</b>	Захист від крапель води при нахилі до 15°	Краплі води, що падають на оболонку вертикально, не повинні чинити шкідливого впливу на виріб при нахилі його оболонки на будь-який кут до 15° відносно нормального положення
<b>3</b>	Захист від дощу	Дощ, що падає на оболонку під кутом 60° від вертикалі, не повинен чинити шкідливої дії на виріб
<b>4</b>	Захист від бризок	Вода, що розбризкується на оболонку в будь-якому напрямку, не повинна чинити шкідливого впливу на виріб
<b>5</b>	Захист від водяних струменів	Струмінь води, викинутий в будь-якому напрямку на оболонку, не повинен чинити шкідливого впливу на виріб

Друга цифра позначення	Короткий опис	Визначення
6	Захист від хвиль води	Хвилеподібний потік води не повинен потрапляти всередину оболонки в кількості, достатній для пошкодження виробу
7	Захист при зануренні у воду	Вода не повинна потрапляти в оболонку, занурену у воду, при певних тиску і часу в кількості, достатній для пошкодження виробу
8	Захист при тривалому зануренні у воду	Вироби придатні для тривалого занурення у воду при умовах, встановлених виробником. <i>Примітка:</i> для деяких типів виробів допускається проникнення води всередину оболонки, але без нанесення шкоди виробу

Для позначення ступеня захисту перед двома цифрами (табл.1.2, 1.3) ставляться літери IP (Ingress Protection – захист від проникнення) у всіх випадках, коли ступені захисту СП відповідають ступеню захисту всього іншого обладнання. Для СП, які мають відкриті лампи, чи лампи, закриті не ущільненими світлопропускаючими оболонками, а їх корпуси з розміщеними в них електричними контактами можуть мати пилезахищене чи пилонепроникне виконання, вводять підкласи конструкцій за ступенем захисту від пилу (табл.16.4). В цьому випадку літери IP не ставлять.

Таблиця 16.4 – Ступінь захисту СП від пилу (ГОСТ 17677-82Е)

Позначення	Визначення
2'	Характеристика ступеня захисту 2 (табл. .2), при цьому потрапляння пилу обмежується неущільненими світлопропускаючими оболонками
5'	Характеристика ступеня захисту 5 (табл. .2), при цьому колби ламп не захищені від впливу пилу
6'	Характеристика ступеня захисту 6 (табл. .2), при цьому колби ламп не захищені від впливу пилу

Якщо для СП не має необхідності в одній із передбачених цифр у позначенні захисту, допускається використовувати літеру X замість цифри, що відповідає тому виду захисту, який в даному СП не вимагається або випробування якого не проводиться.

Світлові прилади випускаються в різному кліматичному виконанні і призначені для експлуатації у відповідних кліматичних регіонах (табл.16.5). У

перелік кліматичних факторів зовнішнього середовища, що впливають на вибір виконання СП і визначення їх категорій в залежності від умов їх експлуатації (табл.61.6), зберігання і транспортування, входить також сукупність даних про тиск повітря чи газу, сонячну радіацію, дощ,пил, різку зміну температури, соляний туман, дію пліснявих грибків, вміст у повітрі корозійно-активних агентів.

Таблиця 16.5 – Кліматичне виконання СП

Виконання		Категорія	Температура повітря при експлуатації, °С		
Клімат мікрокліматичного району	Позначення		верхня	нижня	середня
Помірний	У	1, 1.1; 2, 2.1; 3, 3.1	+40	-45 -10	+10
		5, 5.1	+35	-5	
Холодний	ХЛ	1, 1.1; 2, 2.1; 3, 3.1	+40	-60	+10
		5, 5.1	+35	-10	
Помірний і холодний	УХЛ	1, 1.1, 1.2; 2.1; 3, 3.1	+40	-60 -10	+10
		4	+35	+1	+20
		4.1, 4.2	+25	+10	
		5, 5.1	+35	-10	+10
Вологий тропічний	ТВ	1, 1.1; 2, 2.1; 3, 3.1; 4	+45	+1	+27
		4.1	+25	+10	+20
		4.2	+45		+27
		5, 5.1	+35	+1	+10
Сухий тропічний	ТС	1, 1.1; 2, 2.1; 3, 3.1	+45	-10	+27
		4		+1	
Тропічний	Т	4.1	+25	+10	+20
		4.2	+45		+27
		5, 5.1	+35	+1	+10
Дуже холодний	О	1, 1.1; 2, 2.1	+45	-60	+27
		4		+1	
		4.1	+25	+10	+20
		4.2	+45		+27
		5, 5.1	+35	-10	+10
Помірно холодний морський	М	1, 1.1; 2, 2.1; 3; 5, 5.1	+40	-10	+10
		3.1; 4			
		4.1	+35	+15	+20
		4.2	+40	+1	
Тропічний морський	ТМ	1, 1.1; 2, 2.1; 3; 4; 5, 5.1	+40	+1	+27
		4.1	+25	+10	+20
		4.2	+45	+1	+27

Таблиця 16.6 – Категорії виробів в залежності від умов їх експлуатації

Позначення	Умови експлуатації
1	На відкритому повітрі
1.1	Для зберігання в процесі експлуатації в приміщеннях категорії 4 і роботи як в умовах категорії 4, так і короткочасно в інших умовах, у тому числі на відкритому повітрі
2	Під навісом чи в приміщеннях (об'ємах), де коливання температури і вологості повітря суттєво відрізняються від коливань на відкритому повітрі і є порівняно вільний доступ зовнішнього повітря
2.1	Всередині комплектних умов категорій 1, 1.1, 2 в якості вбудованих елементів, якщо конструкція виробів не дає можливості конденсації вологи на вбудованих елементах
3	В закритих приміщеннях (об'ємах) з природною вентиляцією без штучно регульованих кліматичних умов, де коливання температури і вологості повітря та впливу піску і пилу суттєво менший, ніж на відкритому повітрі
3.1	В нерегулярно опалюваних приміщеннях (об'ємах)
4	В приміщеннях (об'ємах) з штучно регульованими кліматичними умовами
4.1	В приміщеннях з кондиціонованим або частково кондиціонованим повітрям
4.2	В лабораторних, капітальних житлових та інших приміщеннях подібного типу
5	В приміщеннях (об'ємах) з підвищеною вологістю
5.1	Всередині комплектних виробів категорії 5 в якості вбудованих елементів, якщо конструкція виробів не дає можливості конденсації вологи на вбудованих елементах

## ВИБУХОЗАХИСТ СВІТЛОВИХ ПРИЛАДІВ

### Класифікація вибухонебезпечних сумішей

До вибухонебезпечним відносяться суміші повітря з горючими газами і парами горючих рідин з температурою займання  $45^{\circ}\text{C}$  і нижче, а також з горючими волокнами чи пилом з нижньою концентраційною межею загоряння не вище  $65 \text{ г/м}^3$ . Залежно від способу передачі вибуху через ширину щілини в оболонці встановлено 4 категорії вибухонебезпечних сумішей (ширина щілини між плоскими поверхнями довжиною 25 мм, при якій частота передачі вибухів 50% і об'єм оболонки 2,5 л (табл.16.7).

Таблиця 16.7 – Категорії вибухонебезпечних сумішей залежно від умов передачі вибухів через зазори в оболонці

Категорія	Зазор, мм
1	Більше 1
2	Від 0,65 до 1 включно
3	Від 0,35 до 0,65 включно
4	Менше 0,35

Вибухонебезпечні зони – приміщення і простори у зовнішніх установках, де за умовами технологічного процесу можуть утворюватися вибухонебезпечні суміші. Вибухонебезпечні зони та суміжні з ними зони поділяються на класи (табл.16.8, 16.9).

Таблиця 16.8 – Класифікація вибухонебезпечних зон

Клас	Характеристика
	<i>Приміщення</i>
<b>В-I</b>	Зони, в яких виділяються горючі гази чи пари легкозаймистих рідин у такій кількості і з такими властивостями, що вони можуть утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші при нормальних режимах роботи
<b>В-Ia</b>	Зони, в яких при нормальній експлуатації вибухонебезпечні суміші гарячих газів (незалежно від нижньої концентраційної межі займання) чи парів легкозаймистих рідин з повітрям не утворюються, а можливі тільки в результаті аварій чи несправностей
<b>В-Iб</b>	Зони, в яких при нормальній експлуатації вибухонебезпечні суміші горючих газів або парів легкозаймистих рідин з повітрям не утворюються, а можливі тільки в результаті аварій чи несправностей, і які відрізняються однією із таких особливостей: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Горючі гази в цих зонах володіють високою нижньою концентраційною межею займання (15% і більше) і різким запахом при гранично допустимих концентраціях згідно ГОСТ 12.1.005-76.</li> <li>2. Приміщення виробництв, пов'язаних з перетворенням газоподібного водню, в яких за умовами технологічного процесу унеможливує утворення вибухонебезпечної суміші в об'ємі, що перевищує 5% вільного об'єму приміщення, мають вибухонебезпечну зону тільки у верхній частині приміщення. Вибухонебезпечна зона умовно приймається від 0,75 загальної висоти приміщення від рівня підлоги, але не вище кранового шляху.</li> </ol>
<b>В-II</b>	Зони, в яких виділяються перехідні у зважений стан горючі пил і волокна в такій кількості і з такими властивостями, що вони здатні утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші при нормальних умовах роботи
<b>В-IIIa</b>	Зони, в яких виділяються перехідні у зважений стан горючі пил і волокна в такій кількості і з такими властивостями, що вони здатні утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші тільки в результаті аварій чи несправностей

Клас	Характеристика
	<i>Простори у зовнішніх установок</i>
<b>В-Іг</b>	Зони технологічних установок, які містять горючі гази чи легкозаймисті рідини (за винятком зовнішніх аміачних компресорних установок), надземних і підземних резервуарів з легкозаймистими рідинами чи горючими газами, естакад для зливання і наливання легкозаймистих рідин, відкритих нафтовловлювачів і т.д.

Таблиця 1.9 – Клас зони приміщення, суміжного із вибухонебезпечною зоною іншого приміщення і відокремленого від неї стіною (перегородкою) з дверима

Клас вибухонебезпечної зони	Клас зони суміжного приміщення
В-І	В-Іа
В-Іа	В-Іб
В-Іб	Невибухонебезпечна
В-ІІ	В-ІІа
В-ІІа	Невибухонебезпечна

### **Класифікація і маркування вибухозахищеного електрообладнання**

Вибухозахищене електрообладнання поділяється за рівнями та видами вибухозахисту, групами і температурними класами.

Залежно від області застосування вибухозахищені СП умовно поділяють на групи: І – рудникові вибухозахищені СП для підземних виробіток, шахт і рудників, небезпечних для по газу і пилу, ІІ – вибухозахищені СП для внутрішньої і зовнішньої установки на підприємствах хімічної, нафтової, газової та інших галузей промисловості, де можливе утворення вибухонебезпечних сумішей. Залежно від рівня вибухозахисту всі СП поділяються на СП підвищеної надійності проти вибуху, вибухобезпечні СП і особливо вибухобезпечні СП. Під вибухобезпекою розуміють спеціальні конструктивні засоби і міри, які забезпечують незаймання навколишньої вибухонебезпечної газо-, паро- і пилепоповітряної суміші від електричних іскор, дуг, полум'я і нагрітих частин СП.

*Світловими приладами підвищеної надійності проти вибуху* називаються такі, в яких передбачені міри, що ускладнюють виникнення небезпечних іскор, електричних дуг і нагрівання, а також забезпечують вибухозахист СП тільки в режимі їх нормальної роботи (знак рівня – 2).

*Вибухобезпечними* називають такі СП, в яких передбачені міри захисту від вибуху навколишньої вибухонебезпечної суміші в результаті дії іскор, електричних дуг чи нагрітих поверхонь як при нормальній роботі, так і при імовірних пошкодженнях СП, що визначаються умовами експлуатації (крім пошкодження засобів вибухозахисту) (знак рівня – 1).

*Особливо вибухобезпечні* – СП, в яких прийняті спеціальні додаткові засоби вибухозахисту (знак рівня – 0).



Вид вибухозахисту електрообладнання (електротехнічного пристрою) - сукупність заходів, які встановлені нормативними документами. Ці види вибухозахисту визначені в стандартах на вибухозахищене електрообладнання.

Умовні позначення видів вибухозахисту вибухозахищеного електрообладнання подано в табл.16.10.

Таблиця 16.10 – Умовні позначення видів вибухозахисту вибухозахищеного електрообладнання

Вибухонепроникна оболонка	d	ГОСТ 22782.6
Заповнення або продування оболонки захисним газом з надлишковим тиском	p	ГОСТ 22782.4
Іскробезпечне електричне коло	i	ГОСТ 22782.5
Кварцеве заповнення оболонки	q	ГОСТ 22782.2
Масляне заповнення оболонки	o	ГОСТ 22782.1
Захист виду „e”	e	ГОСТ 22782.7
Спеціальний вид вибухозахисту	s	ГОСТ 22782.3
Захист виду „m”	m	
Захист виду „n”	n	

Електрообладнання групи II, яке має вибухозахист "вибухонепроникна оболонка" та(або) "іскробезпечне електричне коло", поділяється на три підгрупи, які відповідають вибухонебезпечним сумішам відповідно до таблиці 16.11.

Таблиця 16.11 – Підгрупи електрообладнання групи II з видами вибухозахисту "вибухонепроникна оболонка" та(або) "іскробезпечне електричне коло"

Група електроустаткування	Підгрупа електроустаткування	Категорія вибухонебезпечної суміші, для якої електрообладнання є вибухозахищеним
II	–	IIA, IIB і IIC
	IIA	IIA
	IIB	IIA і IIB
	IIC	IIA, IIB і IIC

Знак II застосовується для електрообладнання, яке не поділяється на підгрупи.

Електрообладнання групи II в залежності від значення граничної температури поділяється на шість температурних класів, зазначених у таблиці 16.12.

Таблиця 1.12 – Температурні класи електрообладнання групи II

Температурний клас електрообладнання	Гранична температура, °С	Група вибухонебезпечної суміші, для якої електрообладнання є вибухозахисним
T1	450	T1
T2	300	T1, T2
T3	200	T1–T3
T4	135	T1–T4
T5	100	T1–T5
T6	85	T1–T6

До маркування вибухозахисту електрообладнання в зазначеній нижче послідовності входять:

- знак рівня вибухозахисту електрообладнання (2, 1, 0);
- знак **Ex**, який указує на відповідність електрообладнання стандартам на вибухозахищене електрообладнання;
- знак виду вибухозахисту (d, p, i, q, o, e, s, m, n);
- знак групи або підгрупи електрообладнання (II, IIA, IIB, IIC);
- знак температурного класу електрообладнання (T1, T2, T3, T4, T5, T6).

У маркуванні вибухозахисту можуть мати місце додаткові знаки і написи відповідно до стандартів на електрообладнання з окремими видами вибухозахисту. У маркуванні іскробезпечних кіл - знаки a, b, c.

Знак „X”, який може мати місце після позначення маркування вибухозахисту електротехнічного пристрою, означає, що в експлуатаційній документації на нього вказані особливі умови монтажу та (або) експлуатації, пов'язані з забезпеченням його вибухозахисту.

Таблиця 16.13 – Приклади маркування вибухозахищеного електрообладнання

Рівень вибухозахисту	Вид вибухозахисту	Група (підгрупа)	Температурний клас	Маркування вибухозахисту
Електрообладнання підвищеної надійності проти вибуху	Захист виду "e"	II	T6	2ExeIIT6
	Захист виду "e" і вибухонепроникна оболонка	IIB	T3	2ExedIIBT3
	Іскробезпечне електричне коло	IIC	T6	2ExicICT6
	Продувка оболонки надлишковим тиском	II	T6	2ExpIIT6
	Вибухонепроникна оболонка й іскробезпечне електричне коло	IIB	T5	2ExdicIIBT5

Рівень вибухозахисту	Вид вибухозахисту	Група (підгрупа)	Температурний клас	Маркування вибухозахисту
Вибухобезпечне електрообладнання	Вибухонепроникна оболонка	IIA	T3	1ExdIIAT3
	Іскробезпечне електричне коло	IIC	T6	1ExibIICT6
	Продувка оболонки надлишковим тиском	II	T6	1ExpIIT6
	Захист виду "е"	II	T6	1ExeIIT6
	Кварцеве заповнення	II	T6	1ExqIIT6
	Спеціальний	II	T6	1ExsIIT6
	Спеціальний і вибухонепроникна оболонка	IIA	T6	1ExsdIIAT6
	Спеціальний, іскробезпечне електричне коло і вибухонепроникна оболонка	IIВ	T4	1ExsibdIIBT4
Особливо вибухобезпечне електрообладнання	Іскробезпечне коло	IIC	T6	OExiaIICT6
	Іскробезпечне коло і вибухонепроникна оболонка	IIA	T4	OExiadIIAT4
	Спеціальний та іскробезпечне коло	II	T4	OExsiaIICT4
	Спеціальний	II	T4	OExsIIT4

## ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА СВІТЛОВИХ ПРИЛАДІВ


Пожежна безпека СП означає практичну неможливість загорання як самого приладу, так і його навколишнього середовища, що забезпечується конструкцією СП, вибором комплектуючих виробів і матеріалів з температурними характеристиками, що відповідають тепловому режиму роботи СП. При цьому характеристикою пожежобезпеки є відповідність температури на основних елементах СП допустимим значенням в робочому та аварійному режимах роботи.

Для стельових, вбудованих і опорних СП істотними з точки зору пожежонебезпеки є параметри займання матеріалів, з яких виготовлені опорні поверхні. Ці матеріали умовно поділяють на 3 групи:

- нормальнозаймісті (горючі) матеріали, температура займання яких менше 200°C і які не деформуються при цій температурі (наприклад, дерево чи матеріали на його основі товщиною більше 2 мм);
- негорючі матеріали – матеріали, які не здатні підтримувати горіння (наприклад, метал, бетон, штукатурка);

- легкозаймісті матеріали, які не можуть бути класифіковані як нормальнозаймісті (наприклад, фанера чи інші матеріали, що містять дерево, товщиною менше 2 мм).

Світлові прилади, призначені для установки безпосередньо на опорні

поверхні з нормальнозаймістих матеріалів, мають символ . Легкозаймісті матеріали непридатні для безпосереднього встановлення на них СП.

## МЕХАНІЧНА БЕЗПЕКА СВІТЛОВИХ ПРИЛАДІВ

Механічна безпека СП характеризується:

- вібраційними чи ударними навантаженнями (одно- чи багатократними), які визначаються відповідно діапазоном частот вібрації і максимальним прискоренням або максимальним прискоренням і тривалістю удару);
- зусиллями, які прикладаються до вузлів підвісу з метою визначення їх механічної міцності, причому ці зусилля прикладаються перпендикулярно до опорної поверхні або прикладаються у вигляді крутного моменту;
- крутними моментами, які витримують різьбові та інші жорсткі механічні з'єднання частин СП, а також кріпленням патронів для ламп;
- стійкістю опорних СП, що визначається кутом перекидання СП, який перебуває в найбільш нестійкому положенні.

В таблиці 16.14 приведено значення характеристик механічних факторів (ступеня жорсткості), які повинні витримувати СП відповідної групи.

Таблиця 16.14 – Ступені жорсткості механічних факторів, що впливають на СП

Фактор впливу	Значення характеристики			Ступінь жорсткості
	Діапазон частот, Гц	Максимальне прискорення, м/с <sup>2</sup>	Тривалість удару, мс	
Вібраційне навантаження	1-35	5	–	I
	1-60	10	–	II
	1-60	20	–	III
	1-80	50	–	IV
	.....	.....	.....	.....
	1-5000 100-5000	400 400	– –	XIX XX
Ударне навантаження:				
– багатократне	–	150	2-15	I
	.....	.....	.....	.....
– одинарне	–	1000	1-3	I-IV
	–	40	40-60	I
	–	200	20-50	II
	.....	.....	.....	.....
	–	30000	0,2-0,5	VIII

## УМОВНЕ ПОЗНАЧЕННЯ СВІТЛОВИХ ПРИЛАДІВ

**A B C D – E F – G – H – I**

### **A Літера, яка визначає джерело світла:**

- Н розжарення загального призначення;
- Л пряма трубчаста люмінесцентна;
- Ф фігурна люмінесцентна;
- Р ртутна типу ДРЛ;
- Г ртутна типу ДРИ, ДРИШ;
- Ж натрієва типу ДНаТ;
- Д світлодіодна лампа, блок (модуль).

### **B Літера, яка визначає спосіб установки світильника:**

- С підвісний;
- П стельовий;
- В вбудований;
- Б настінний;
- Н настільний;
- Т встановлюється на підлозі (торшер);
- К консольний торцевий.

### **C Літера, яка визначає основне призначення світильника:**

- П для промислових і виробничих приміщень і будов;
- О для громадських приміщень;
- Б для побутових приміщень;
- У для зовнішнього освітлення;
- Р для рудників и шахт.

### **D Дві цифри (+ літера) – номер серії.**

### **E Цифра, яка визначає кількість ламп у світильнику.**

### **F Цифра, яка визначає потужність ламп.**

### **G Три цифри, які визначають номер модифікації:**

- 1-а Визначає спосіб установки:
  - 1 на трубу 3/4'' і монтажний профіль;
  - 2 на трубу 3/4'';
  - 3 на крюк;
  - 4 на трубу 3/4'', монтажний профіль і крюк.
- 2-а Визначає ступінь захисту:
  - 1 IP60 згідно ГОСТ 14254-80;
  - 2 5'0 згідно ГОСТ 17677-82E;

3 IP62 згідно ГОСТ 142254-80.

3-я Визначає тип КСС згідно ГОСТ 17677-82Е:

- 1 тип Д;
- 2 тип Г;
- 3 тип К;
- 4 тип М
- 5 спеціальна крива.

**Н Літери, які визначають кліматичне виконання світильників:**

- У для макрокліматичних районів з помірним кліматом;
- ХЛ для макрокліматичних районів с холодним кліматом, використання їх за межами цього району економічно не вигідно;
- УХЛ для макрокліматичних районів з помірним кліматом и холодним кліматом;
- Т для макрокліматичних районів з сухим и вологим тропічним кліматом;
- О для всіх макрокліматичних районів суші, крім районів з дуже холодним кліматом.

**І Цифра, яка визначає категорію розміщення світильників:**

- 1 для експлуатації на відкритому повітрі (вплив сукупності кліматичних факторів, характерних для даного макрокліматичного району);
- 2 для експлуатації під навісом або в приміщеннях (об'ємах), де коливання температури і вологості несуттєво відрізняються від коливань на відкритому повітрі і є порівняно вільний доступ навколишнього повітря, наприклад, в палатках, кузовах, причіпах, металевих приміщеннях без теплоізоляції, а також в оболонці комплектного виробу категорії 1 (відсутність прямої дії сонячного випромінювання і атмосферних опадів);
- 3 для експлуатації в закритих приміщеннях з природною вентиляцією без штучно регульованих кліматичних умов, де коливання температури, вологості повітря, а також вплив піску і пилу суттєво менше, ніж на відкритому повітрі (в металевих с теплоізоляцією, камінних, бетонних, дерев'яних приміщеннях);
- 4 для експлуатації в приміщеннях із штучно регульованими кліматичними умовами (в закритих опалювальних або охолоджуваних і вентилятованих підземних приміщеннях);
- 5 для експлуатації в приміщеннях з підвищеною вологістю (в неопалюваних і невентильованих підземних приміщеннях, у тому числі в шахтах, а також в таких суднових, корабельних та інших приміщеннях, в яких можлива тривала вологість на стінах і стелі).

## ЛІТЕРАТУРА

1. Трѣмбач В.В. Световые приборы: Учебник для студентов вузов .-2-е изд., перераб. и доп.-М.: Высшая школа, 1990 .-463 с.
2. Айзенберг Ю.Б. Световые приборы: Учебник для электромеханических техникумов .-М.: Энергия, 1980 .-464 с.
3. Трѣмбач В.В. Световые приборы (теория и расчет): Учебное пособие для вузов .-М.: Высшая школа, 1972 .-496 с.
4. Карякин Н.А. Световые приборы: Учебник для вузов .-М.: Высшая школа, 1975 .-335 с.
5. Карякин Н.А. Световые приборы прожекторного и проекторного типов (теория и расчет): Учебное пособие .-М.: Высшая школа, 1966 .-412.
6. Басов Ю.Г. Светосигнальные устройства .-М.: Транспорт, 1993 .-309 с.

## ЗМІСТ

Лекція 1	
ПАРАБОЛОЦИЛІНДРИЧНИЙ ПРОЖЕКТОР .....	3
Лекція 2	
СВІТИЛЬНИКИ З ДЗЕРКАЛЬНИМИ ВІДБИВАЧАМИ.....	10
Лекція 3	
РОЗРАХУНОК ЗОНАЛЬНИХ КСС ДЗЕРКАЛЬНИХ ВІДБИВАЧІВ .....	15
Лекція 4	
ЛІНЗОВІ СВІТЛОВІ ПРИЛАДИ .....	23
Лекція 5	
РОЗРАХУНОК КСС ПРИЛАДІВ З ДИСКОВИМИ ФРЕНЕЛІВСЬКИМИ ЛІНЗАМИ.....	29
Лекція 6	
РОЗРАХУНОК КСС ЦИЛІНДРИЧНИХ ФРЕНЕЛІВСЬКИХ ЛІНЗ .....	32
Лекція 7	
СВІТИЛЬНИКИ З ПРИЗМАТИЧНИМИ ЗАЛОМЛЮЮЧИМИ ОПТИЧНИМИ ПРИСТРОЯМИ.....	38
Лекція 9	
СВІТИЛЬНИКИ ІЗ СВІТЛОРозСІЮЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ .....	46
Лекція 10	
ОСВІТЛЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ ІЗ СВІТЛОВОДАМИ. ПОРОЖНИСТІ ПРОТЯЖНІ СВІТЛОВОДИ .....	56
Лекція 11	
ОСВІТЛЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ ІЗ СВІТЛОВОДАМИ. ГНУЧКІ ВОЛОКОННІ СВІТЛОВОДИ .....	63
Лекція 12	
СВІТЛОВІ ПРИЛАДИ ДЛЯ МЕДИЦИНИ.....	67
Лекція 13	
ПРОЕКТУВАННЯ СВІТЛОСИГНАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ .....	80
Лекція 14	
ПРОЕКТУВАННЯ ПРОЖЕКТОРІВ ДАЛЬНЬОЇ ДІЇ.....	87
Лекція 15	
ОСВІТЛЕННЯ І СВІТЛОВА СИГНАЛІЗАЦІЯ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ .....	93
Лекція 16	
ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЗПЕКИ СВІТЛОВИХ ПРИЛАДІВ .....	104
ЛІТЕРАТУРА.....	118