

В. О. САЛТИКОВ

# ОСВІТЛЕННЯ МІСТ



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**

**В. О. САЛТИКОВ**

# **ОСВІТЛЕННЯ МІСТ**

*Рекомендовано  
Міністерством освіти і науки України  
як навчальний посібник для студентів  
спеціальності «Світлотехніка і джерела світла»*

**ХАРКІВ–ХНАМГ–2009**

**УДК 628.971.6**

**ББК 31.294**

**С–16**

**Салтиков В. О.**

**Освітлення міст:** Навч. посібник. — Харків: ХНАМГ, 2009.— 221 с.

*Гриф надано Міністерством освіти і науки України,  
рішення № 1.4/18-F2863 від 24.12. 2008 р.*

Розглядаються характеристики установок утилітарного освітлення вулиць, доріг і площ і наводяться методи їхнього розрахунку; принципи нормування й самі норми; джерела світла й світлові прилади; питання електропостачання та розрахунку електричних мереж; класифікація установок й області застосування, а також питання керування роботою освітлювальних установок.

Рекомендовано для студентів спеціальності "Світлотехніка і джерела світла"

Рис. 53. Табл.35. Бібліогр.32 назв.

***Рецензенти:***

*І.А. Зеленков*, к.т.н, професор, Національний авіаційний університет, м. Київ

*Г.М. Кожушко*, д.т.н., директор ТОВ „Український науково-дослідний інститут джерел світла”, м. Полтава

*Ю.П. Мачехін*, д.т.н., професор, лауреат Державної премії, зав. каф. оптоелектроніки Харківського національного університету радіоелектроніки

ISBN 978-966-695-126-0

© Салтиков В. О., ХНАМГ, 2009

## ЗМІСТ

<b>Вступ.....</b>	<b>6</b>
<b>Глава 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСВІТЛЕННЯ ВУЛИЦЬ І ДОРІГ</b>	
1.1. Видимість і розрізненість як характеристики зорового процесу.....	8
1.2. Нормативні вимоги до зовнішнього освітлення міст і населених пунктів.....	11
1.3. Норми зовнішнього освітлення в Україні (ДБН В 2.5–2006).	17
1.4. Завдання проектування освітлення доріг і магістралей.....	23
1.5. Світлові властивості й класифікація дорожніх покриттів.....	25
1.6. Видимість об'єктів на освітлених вулицях.....	35
<b>Глава 2. СВІЛОТЕХНІЧНІ РОЗРАХУНКИ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ</b>	
2.1. Розрахунок освітленості вулиць і доріг.....	38
2.2. Розрахунок середньої яскравості дорожнього покриття.....	51
2.3. Сліпуча дія вуличних освітлювальних установок.....	53
<b>Глава 3. ДЖЕРЕЛА СВІТЛА ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ</b>	
3.1. Визначення і принцип дії штучних джерел світла.....	58
3.2. Джерела світла та їх характеристики.....	60
3.3. Області застосування джерел світла.....	68
<b>Глава 4. СВІТЛОВІ ПРИЛАДИ ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ</b>	
4.1. Загальні вимоги до світильників зовнішнього освітлення....	71
4.2. Світлотехнічні характеристики й класифікація світильників для освітлення вулиць.....	72
4.3. Оптичні системи світильників.....	82
4.4. Конструкція світильників для освітлення вулиць.....	86

4.4.1. Пристрої для установки та приєднання світильника до мережі .....	87
4.4.2. Ущільнення, вологостійкість, нагрівання.....	88
4.4.3. Фокусуючі пристрої.....	91
4.4.4. Стійкість світильників проти вібрації.....	92
4.4.5. Кріпильні деталі світильників.....	92
4.4.6. Матеріали для виготовлення світильників.....	93
4.5. Вітчизняні світильники зовнішнього освітлення.....	95
<b>Глава 5. ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ</b>	
5.1. Міські електричні мережі й мережі зовнішнього освітлення.	97
5.2. Розрахунок перерізів проводів при рівномірному навантаженні фаз.....	103
5.3. Розрахунок перерізів проводів при нерівномірному навантаженні мережі.....	111
5.4. Улаштування електричних мереж зовнішнього освітлення...	120
5.5. Захист мереж зовнішнього освітлення.....	126
5.6. Спеціальні схеми й конструкції електричних мереж зовнішнього освітлення.....	127
<b>Глава 6. ОПОРИ УСТАНОВОК ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ</b>	
6.1. Загальні вимоги до опор зовнішніх освітлювальних установок.....	130
6.2. Матеріали для виготовлення опор та їх конструкції.....	132
6.3. Залізобетонні опори.....	137
6.4. Підвіски.....	141
6.5. Типи залізобетонних опор.....	148
6.5.1. Стояки.....	150
6.5.2. Кронштейни.....	156

## **Глава 7. СИСТЕМИ ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ ВУЛИЦЬ, ДОРІГ І МАГІСТРАЛЕЙ**

7.1. Класифікація установок зовнішнього освітлення.....	159
7.2. Установки звичайної системи освітлення .....	161
7.3. Установки проміжної системи освітлення .....	166
7.4. Установки високомачтової системи освітлення .....	167
7.5. Установки поздовжно-підвісної системи освітлення .....	171
7.6. Установки парапетної системи освітлення.....	173
7.7. Освітлення ділянок, що ускладнюють рух.....	174
7.8. Освітлення пішохідних шляхів і перетинань.....	181

## **Глава 8. ОСВІТЛЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ТУНЕЛІВ**

8.1. Умови видимості об'єктів у тунелі та при під'їзді до тунелю.	186
8.2. Освітлювальні установки транспортних тунелів.....	193

## **Глава 9. КЕРУВАННЯ ДІЄЮ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ**

9.1. Загальні завдання керування зовнішнім освітленням.....	201
9.2. Дистанційне централізоване керування.....	204
9.3. Автоматичне керування освітленням.....	216

<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>219</b>
-------------------------------	------------

## Вступ

Зовнішнє штучне освітлення міста одночасно виконує естетичну, екологічну й економічну функції, тому що є одним з найважливіших елементів його благоустрою та архітектурно-художнього оформлення. Забезпечення світлового комфорту у вечірній і нічний час досягається за рахунок раціонально обраних кількісних й якісних характеристик штучного освітлення, що регламентуються нормами.

Освітлення міст передбачає як нормовану величину яскравість, або освітленість поверхонь дорожніх покриттів. Норми регламентують значення яскравості (освітленості) дорожніх покриттів залежно від інтенсивності руху транспорту, визначають припустимі величини нерівномірності розподілу яскравості по поверхні дорожнього покриття в поздовжньому й поперечному напрямках, а також припустиме значення характеристики сліпучої дії вуличних світильників. Ці обмеження є граничними значеннями характеристик якості освітлення.

Оскільки зовнішнє освітлення міст є елементом середовища перебування городян, то воно може впливати на їхнє повсякденне життя. Залежно від характеристик освітлювальних установок останні мають позитивний і негативний вплив на якість життя городян і навколишнє середовище. До негативного відносять так зване "світлове забруднення" міського середовища. "Світлове забруднення" — це ефект, що створюється освітлювальними установками, які крім освітлення зон, для яких вони призначені, додатково освітлюють інші, прилеглі зони. Наприклад, світильники зовнішнього освітлення або освітлювальні прилади спортивних споруд, площ, архітектурних об'єктів, освічують фасади прилеглих будинків і вікна житлових будинків, що порушує спокій мешканців.

У рекомендаціях МКО є обмеження рівнів вертикальної освітленості, створюваної випромінюванням освітлювальних приладів вуличного й архітектурного освітлення, що проникає через вікна будинків. Ці обмеження

знайшли відображення й у діючих в Україні нормах природного й штучного освітлення.

Розсіяне світло світильників сильно впливає на навколишнє середовище, створюючи як дискомфорт для жителів, так і забруднення нічного небосхилу через випромінювання частки світлового потоку у верхню півсферу (Світлова завіса над містом ускладнює роботу, наприклад, астрономів і льотчиків, крім того, свідчить про перевитрату електричної енергії на зовнішнє освітлення).

Великим є естетичний вплив освітлювальних установок на нічне й денне обличчя міста. Уночі підсвічування будинків, ансамблів і пам'ятників поліпшує їхній архітектурний вигляд і сприятливо впливає на їхнє сприйняття.

Нарешті, зовнішнє освітлення, будь-то освітлення вулиць, площ, пішохідних зон, зон відпочинку й розваг благотворно впливає на відчуття свободи й безпеки громадян.



## **Глава 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСВІТЛЕННЯ ВУЛИЦЬ І ДОРІГ**

### **1.1. Видимість і розрізнення як характеристики зорового процесу**

Видимість будь-якого об'єкта визначається його розмірами, яскравістю або кольорами, що відрізняються від яскравості або кольорів фону, на якому він перебуває, рівнем освітлення, наявністю в полі зору інших більш яскравих об'єктів або джерел світла, що сліплять.

Для вирішення технічних завдань освітлення необхідно мати можливість виразити умови видимості числом або системою чисел, від значення яких можна було б розрахунковим шляхом перейти до значень параметрів освітлювальних установок, що забезпечують можливість бачити.

Умови, що визначають видимість, можна звести в три групи:

- залежні від властивостей об'єкта (розмір, форма, здатність відбивати світло);
- залежні від характеристик освітлення (яскравість, кольори);
- залежні від властивостей і стану ока спостерігача (стан адаптації, засліпленість).

Здатність бачити досить багатогранна, багатобічна й внаслідок цього не може бути просто виражена. Однак сторони цієї здатності, названі функціями зору, функціями зорового апарата або аналізатора, взяті окремо, можуть отримати досить прості характеристики, значення яких у спеціально поставлених дослідах можуть бути обмірювані й, отже, виражені числом. Як приклади таких функцій можна назвати здатність розрізняти різницю яскравостей, що виражається величиною контрастної чутливості, здатність бачити об'єкти малих розмірів, мірою якої є гострота зору, стійкість зорового образу та ін.

Серед функцій зору найбільше значення має здатність розрізняти різницю яскравостей. Значення цієї функції насамперед визначається тим, що яскравість — це фотометрична величина, що визначає, щоправда досить

складним шляхом, рівень зорового відчуття. Ця здатність виявляється найбільш чутливою до зміни умов освітлення і фотометричних властивостей об'єктів. Внаслідок цього здатність розрізняти різницю яскравостей може бути обрана й використана як наближена характеристика видимості. Розглянемо це дещо докладніше.

Різницю яскравостей якого-небудь об'єкта, розглянутого на деякому фоні, виражають або безпосередньо як

$$\Delta L = L_{\phi} - L_0, \quad (1.1)$$

де  $L_{\phi}$  и  $L_0$  — яскравості фону й об'єкта,

або у відносній мірі — величиною контрасту:

$$K = \frac{L_{\phi} - L_0}{L_{\phi}}. \quad (1.2)$$

Величину різниці яскравостей, що ледве розрізняються, називають порогом різниці яскравості або пороговою різницею яскравостей  $\Delta L_{\text{пор}}$ . Як величина  $\Delta L_{\text{пор}}$ , так і величина

$$K_{\text{пор}} = \frac{(L_{\phi} - L_0)_{\text{пор}}}{L_{\phi}} = \frac{\Delta L_{\text{пор}}}{L_{\phi}}, \quad (1.3)$$

знаходиться в залежності від яскравості фону.

При яскравостях фону, що спостерігаються в умовах денного освітлення,  $K_{\text{пор}} = 0,02$ , тобто об'єкт при цих умовах буде помітний, якщо його яскравість всього на два відсотки відрізняється від яскравості фону. При зменшенні яскравості фону, при виникненні неоднорідностей у розподілі яскравості фону, при наявності в полі зору спостерігача більш яскравих, ніж фон об'єктів або джерел світла, величина порогового контрасту зростає, виявляється необхідною більш значна різниця яскравостей фону й об'єкта, щоб він став помітним. Слід зауважити, що при величині контрасту, близькій до порогової, видимість об'єкта характеризується деяким ступенем непевності. Для повної впевненості й вірогідності розрізнення об'єктів, що спостерігаються у складній обстановці, наприклад під час руху,

при наявності декількох об'єктів у полі зору потрібна більш значна різниця яскравостей об'єкта й фону, потрібний контраст, що в кілька разів перевищує пороговий.

На освітленій вулиці, при наявності перешкод зору створюваних яскравими джерелами світла (у тому числі вуличними світильниками), контраст, рівний пороговому, не може забезпечити досить велику ймовірність виявлення і стійку видимість об'єктів. Ймовірність і стійкість видимості, що забезпечують потрібний ступінь безпеки руху на освітлених вулицях, досягаються лише при величині спостережуваного контрасту, що істотно перевищує порогову.

Величину контрасту, достатню для того, щоб водій транспорту міг не тільки виявити перешкоду, але й, визначивши її характер, прийняти потрібне рішення, називають критичною. Ця величина, як і пороговий контраст, виявляється залежною від рівня яскравості, до якої адаптоване око, від ступеня складності вуличної обстановки й швидкості руху засобів транспорту. У результаті спеціальних досліджень було встановлено значення критичного контрасту  $K_{кр} = 0,45$ , що забезпечує, з повною ймовірністю, видимість типових об'єктів для гранично припустимих швидкостей руху засобів транспорту й самої високої його інтенсивності. Ця величина контрасту у більш ніж двадцять разів перевищує абсолютну порогову величину, отриману в лабораторних умовах.

На підставі розглянутих вище міркувань можна записати наступну умову видимості об'єкта:

$$\frac{L_{\phi} - L_0}{L_{\phi}} \geq K_{кр}. \quad (1.4)$$

Ліва частина цього виразу дає величину спостережуваного, дійсного, або фотометричного контрасту об'єкта з фоном. Цей вираз дозволяє, якщо відома або задана величина  $L_0$  — яскравості об'єкта, знайти величину  $L_{\phi}$  — яскравості поверхні дорожнього покриття, що є фоном, якій забезпечує

видимість об'єкта в умовах, обумовлених значенням  $K_{кр}$ .

З усього різноманіття об'єктів, розрізнення яких є необхідним в умовах вуличного руху, найбільш імовірним і важливим виявляється пішохід. Набутий досвід і спеціальні дослідження показують, що в переважній більшості випадків пішоходи видні як темні силуети на фоні більш світлого дорожнього покриття. У результаті спостережень було виявлено, що близько 60% пішоходів мають одяг з коефіцієнтом відбиття  $\rho = 0,1$  і нижче, тобто дуже темний, майже у всіх пішоходів коефіцієнт відбиття одягу нижче 0,4.

Викладене дозволяє стверджувати, що значення яскравості найбільш імовірних об'єктів можуть бути визначені з достатнім ступенем вірогідності, що, в свою чергу, дозволяє знайти необхідні значення яскравості фону, тобто яскравості поверхні дорожнього покриття при штучному освітленні вулиць.

Розглянута роль яскравості фону щодо видимості об'єктів на освітлених вулицях приводить до рішення про доцільність вибору як нормованої величини саме яскравості поверхні дорожніх покриттів і рішення реалізоване в нормах освітлення вулиць.

## **1.2. Нормативні вимоги до зовнішнього освітлення міст і населених пунктів**

Норми регламентують значення яскравості дорожніх покриттів залежно від інтенсивності руху засобів транспорту, встановлюють припустимі величини нерівномірності розподілу яскравості освітлюваної поверхні дорожнього покриття в поздовжньому й поперечному напрямках, а також припустиме значення характеристики сліпучої дії вуличних світильників. Ці обмеження є граничними значеннями характеристик якості освітлення.

Ефективність освітлювальних установок залежить від типу й класу дороги, від виду й інтенсивності дорожнього руху. Тому в більшості зако-

рдонних країн основою технічної політики в області зовнішнього освітлення є підвищення рівнів яскравості дорожніх покриттів. Аналіз закордонних норм показує, що рівень яскравості в різних країнах різний і перебуває в межах:

- для сільських автодоріг - від 0,2 до 1,5 кд/м<sup>2</sup>;
- для міських магістралей - від 0,4 до 1,5 кд/м<sup>2</sup>;
- для міських головних вулиць - від 1,0 до 5,0 кд/м<sup>2</sup>;
- для міських допоміжних вулиць - 0,2–0,5–0,7 кд/м<sup>2</sup>.

В Європі останнім часом все в більшій мірі дискутується питання про розробку єдиних європейських норм освітлення міських вулиць і магістралей.

Діючи в наш час в Україні норми зовнішнього освітлення міст, селищ і сільських населених пунктів за рівнем яскравості дорожніх покриттів наближаються до європейських. Сучасна технічна політика в області освітлення міст та інших населених пунктів спрямована на відновлення втрачених в 90-ті роки освітлювальних установок вулиць з використанням збережених опор і світильників. При цьому освітлення частини вулиць і доріг відповідає нормам, більша частина освітлена недостатня, а деяка частина — з надлишком.

Нормативні вимоги до рівномірного розподілу яскравості є необхідною умовою забезпечення стійкості можливості бачити об'єкти спостереження який перебуває в русі. Важливість виконання цієї умови особливо зростає, коли і спостерігач, і об'єкти спостереження рухливі. Справді, при переміщенні об'єкта по нерівномірно яскравій поверхні, зміна яскравості фону приводить до зміни величини контрасту і, як наслідок, до зміни видимості об'єкта. Глибока зміна яскравості фону може призводити навіть до втрати можливості бачити. Особливо важливу роль відіграє рівномірність розподілу яскравості поверхні дорожнього покриття в поперечному на-

прямку, тому що втрата видимості об'єктів, які перебувають поблизу границь проїзної частини, особливо небезпечна. Раптові переходи від затемнених ділянок поверхні до світлих, особливо з різкими границями, дуже помітні й викликають незручності для пішоходів і водіїв транспорту. Ступінь незручностей, що виникають через наявність темних областей на освітленій поверхні вулиці, залежить від їхнього розміру, форми й розташування. Якщо така область мала, спостерігач схильний оцінювати її як незначну перешкоду, якщо темна область велика, то це може бути сприйняте й оцінене як серйозна перешкода. Наприклад, тінь справжня або уявна, що перетинає вулицю, може бути сприйнята як заглиблення або траншея.

Діючі норми регламентують визначати рівномірність розподілу яскравості дорожнього покриття відношенням мінімальної яскравості до середнього значення, а також відношенням мінімальної яскравості до максимального по смузі руху.

На здатність бачити істотний вплив робить наявність у полі зору ока джерел світла й взагалі об'єктів, що світять, яскравість яких значно вище яскравості фону, що визначає рівень адаптації ока. Такі об'єкти прийнято називати блискими, їх дію на око — блискістю або сліпучою дією, а стан органа зору, в якому його здатність бачити знижена дією блисків джерел — засліпленістю.

Під засліпленістю розуміється будь-яке, навіть не дуже значне зниження здатності бачити. Відповідно до цього слід розуміти сліпучу дію яскравих джерел.

У результаті наявності в полі зору ока яскравих об'єктів збільшується значення порогової різниці яскравості, що може відзначити орган зору при даній яскравості фону. Внаслідок збільшення порогової різниці яскравості зростає величина порогового контрасту і, як наслідок, зменшується контрастна чутливість і здатність бачити.

Стан ока, що опинився під впливом сліпучих об'єктів, тобто ви-

явився осліпленим, прийнято характеризувати величиною коефіцієнта засліпленості:

$$S = \frac{\Delta L_s}{\Delta L}, \quad (1.5)$$

де  $\Delta L_s$  — порогова різниця яскравості, що розрізняється оком, при наявності в його полі зору сліпучих джерел;

$\Delta L$  — те ж, у випадку відсутності сліпучих джерел.

Виявилося можливим зв'язати величину коефіцієнта засліпленості зі значеннями параметрів освітлювальної установки. Як буде показано нижче, цей зв'язок дозволяє оцінити величину сліпучої дії, яку чинять елементи установки, однак вирішення зворотного завдання — розрахунок параметрів установки за заданим, або граничним рівнем сліпучої дії не можна вважати остаточно знайденим.

Вище відзначалося, що через параметри освітлювальної установки можна виразити величину коефіцієнта засліпленості. Отже ця величина, крім того, що вона є характеристикою стану ока, обумовленого дією на нього елементів цієї установки, може бути ще прийнята за характеристику самої установки й умов освітлення, що вона створює. Внаслідок цього міркування величину коефіцієнта засліпленості вважають характеристикою якості освітлення і діючі норми строго її регламентують. Для вуличних освітлювальних зупинок граничне значення показника засліпленості приймається рівним 150.

Розглянемо ще одну характеристику видимості. Нехай у даних умовах освітлення, пороговою характеристикою розрізнення даного об'єкта є величина порогового контрасту  $K_{\text{пор}}$ . У цих же умовах освітлення фотометричний контраст яскравостей фону й об'єкта (тобто тих яскравостей, які можуть бути виміряні в реальних умовах) дорівнює  $K$ . Відношення

$$V = \frac{K}{K_{\text{пор}}}, \quad (1.6)$$

називають видимістю об'єкта.

Відповідно до цього визначення видимість  $V$  виражається числом порогових контрастів, яке укладається у величині фотометричного, тобто дійсно існуючого контрасту.

Можна уявити собі можливість теоретично або експериментально встановити значення  $V$ , необхідно для потрібного ступеня стійкості бачення об'єкта з заданими характеристиками. Тоді якщо вважати відомим величину  $K_{\text{пор}}$ , можна знайти величину  $K$  й визначити характеристику освітлення, що забезпечує заданий ступінь видимості даного об'єкта на даному фоні.

Дослідження показали, що у вираз для величини видимості можуть бути введені характеристики якості освітлення, тобто сліпучої дії й нерівномірності розподілу яскравості дорожнього покриття. Таким чином, здається можливим визначення параметрів освітлювальної установки, що забезпечує задану видимість об'єктів з відомими характеристиками. Однак дослідження, що відкрили можливість розрахунку величини  $V$  для освітлення, яку створюють установки із заданими (відомими) параметрами, ще не відкрили прямих шляхів розрахунку значень параметрів установок за заданою величиною видимості.

Отже в сучасному стані питання єдиним надійним шляхом визначення технічних параметрів вуличних освітлювальних установок є розрахунок, відправною точкою якого служить величина середньої яскравості поверхні дорожнього покриття, встановлена нормами.

З цією метою необхідне більш детальне ознайомлення з діючими і з нормами вуличного освітлення, що розробляються, за допомогою оптичних характеристик дорожніх покриттів, методів розрахунку освітленості і яскравості покриттів, коефіцієнтів засліпленості й величини видимості.

Освітлювальні установки вулиць міст і населених пунктів призначені для створення умов безпечного водіння транспорту й руху пішоходів по вулицях і зниження протиправних дій у темний час доби. Разом з іншими видами зовнішнього освітлення (архітектурного, рекламного, ілюмінацій-



ного і т.п.) вони створюють зовнішній вигляд сучасних міст і населених пунктів і забезпечують світловий комфорт для їхніх жителів.

Безупинно зростаюча інтенсивність і швидкість руху механізованого транспорту на вулицях міст, велике число складних транспортних перетинань висувають високі вимоги до зовнішніх освітлювальних установок, основними з яких є:

- забезпечення відповідно до існуючих норм необхідних рівнів освітленості (яскравості) з урахуванням особливостей зорової роботи водіїв транспорту й пішоходів;
- обмеження нерівномірності розподілу яскравості в полі зору й створення необхідної контрастності освітлення, що сприяє кращій видимості об'єктів, які перебувають у полі зору;
- забезпечення спектра випромінювання джерел світла для сприятливого відтворення передачі кольору людської особи в пішохідних зонах;
- вибір освітлювальних приладів і схем їхньої установки, що забезпечують заданий рівень і рівномірність розподілу яскравості, просторову орієнтацію, не створюють сліпучої дії більше припустимого значення і засвічення вікон житлових будинків, які утворюють вулицю або площу.

Як показано вище, видимість об'єктів залежить від яскравості дорожнього покриття, сліпучої дії освітлювальних приладів, рівномірності розподілу яскравості й спектральних характеристик використовуваних джерел світла, тобто цей критерій охоплює практично всі основні параметри вуличних освітлювальних установок. В основу математичної моделі МКО, прийнятої для математичної оцінки впливу параметрів освітлення на зорову працездатність, покладений так званий фовеальний рівень видимості. Для створення повної функціональної моделі зорової працездатності треба враховувати процеси зору як у центральній (фовеальній) час-

тини поля зору, так і на периферичних ділянках, тому що негативний вплив нерівномірності яскравості пояснюється індуктивною дією периферії поля зору, що має яскравість, відмінну від яскравості центру, і переадаптацією з однієї яскравості на іншу.

Периферичний зір важливий при сприйнятті комплексних «сцен» у навколишньому світі, при цьому вилучені деталі немовби зникають, більші об'єкти й грубі контури яскравості відображаються на периферичних ділянках сітківки. При щільному вуличному русі лінія зору водія фіксується на автомобілі, що їде спереду, щоб уникнути наїзду при гальмуванні. Тому світлові сигнали, знаки, покажчики, пішоходи, велосипедисти та ін. об'єкти попадають на периферію поля зору. У процесі обгону відносно переміщення автомобіля, який обганяє, фіксується водієм також периферичною ділянкою сітківки.

Таким чином, у реальних умовах водіння автотранспорту виявлення об'єктів здійснюється як у центральній, так й у периферичній частинах поля зору. При цьому вважається, що лінія зору фіксована й спрямована вниз на  $1^\circ$  щодо обрію, а сприйняття дорожньої ситуації здійснюється в динаміці, що відображається на часі виявлення перешкод і прийняття відповідних дій водіями транспорту. У зв'язку з цим при нормуванні зовнішнього освітлення, в першу чергу передбачається забезпечення безпеки руху транспорту, тобто створення для водіїв умов своєчасного виявлення перешкод.

Для пішоходів найбільш важливе значення в умовах зовнішнього освітлення набуває можливість бачення всього навколишнього оточення, а також розрізнення інших пішоходів. При цьому бажано, щоб освітлювальна установка забезпечувала правильну передачу кольору людської особи.

### **1.3. Норми зовнішнього освітлення в Україні (ДБН В.2.5.–28–2006)**

Як було показано вище, основною світлотехнічною характеристикою, що визначає видимість об'єктів на освітленій вулиці, є середня яскравість

поверхні проїзної частини. Величина яскравості регламентується залежно від категорії і значення вулиць, доріг і площ у містотвірній структурі й інтенсивності руху засобів транспорту.

Міські площі додатково класифікуються залежно від їхнього призначення і розташування щодо вулиць і магістралей, які поділяються на категорії згідно табл. 1.1, для них приводяться значення яскравості домінуючого в утворенні площі об'єкта, а також фасадів супідрядних об'єктів єдиного ансамблю.

Міські вулиці й дороги за своїм призначенням розділяються на такі категорії: швидкісні дороги, магістральні вулиці загальноміського й районного значення, вулиці й дороги місцевого руху, пішохідні дороги. Класифікація заснована на принципі функціонального розподілу, що бере до уваги роль певної вулиці в плані міста.

**Таблиця 1.1 – Середня яскравість удосконалених покриттів  
(ДБН В.2.5-28-2006)**

Категорія об'єкта заосвітленням	Вулиці, дороги й площі	Найбільша інтенсивність руху транспорту в обох напрямках, од/год	Середня яскравість покриття, кд/м <sup>2</sup>	Середня горизонтальна освітленість покриття,лк
А	Магістральні дороги, магістральні вулиці загальноміського значення	Більше 5000	2,0	20
		Від 3000 до 5000	1,5	20
		Від 1000 до 3000	1,2	20
		Від 500 до 1000	0,8	15
		Менше 500	0,6	10
Б	Магістральні вулиці районного значення	Більше 2000	1,0	15
		Від 1000 до 2000	0,8	15
		Від 500 до 1000	0,6	10
		Менше 500	0,4	10
В	Вулиці й дороги місцевого значення	500 і більше	0,4	6
		Менше 500	0,3	4
		Одиночні автомобілі	0,2	4

Виходячи з умов забезпечення функціональних призначень вулиць, що відповідають вимогам організації руху певної кількості транспорту, кожен клас вулиць поділяється на підкласи, а величина яскравості дорожнього покриття в кожній категорії вулиць, доріг і площ установлюється залежно від кількості транспортних одиниць у транспортному потоці в обох напрямках за одиницю часу (година).

Для вулиць, доріг і площ всіх категорій з регулярним транспортним рухом й удосконаленими типами покриттів регламентується величина середньої яскравості (табл. 1.1); для вулиць, доріг і площ з перехідними й нижчими типами покриттів, а також для сільських населених пунктів — величина середньої горизонтальна освітленості (табл. 1.3).

Яскравість покриттів тротуарів, що примикають до проїзної частини вулиць, доріг і площ, повинна бути не менше половини середньої яскравості проїзної частини цих доріг і площ.

Освітлення покриттів непроїзних частин вулиць, доріг і площ, бульварів і скверів, пішохідних вулиць і територій мікрорайонів у містах регламентується рівнем середньої освітленості, що приймається відповідно до табл. 1.2.

**Таблиця 1.2 – Середня горизонтальна освітленість непроїзних і пішохідних частин вулиць**

Освітлювані об'єкти	Середня горизонтальна освітленість, лк
1	2
Головні пішохідні вулиці, непроїзні частини площ категорій А та Б і площі перед заводами	10
Пішохідні вулиці:	
• у межах громадських центрів;	6
• на інших територіях.	4

Продовження табл.1.2.

1	2
Тротуари, відділені від проїзної частини на вулицях категорій: <ul style="list-style-type: none"> <li>• А та Б;</li> <li>• В.</li> </ul>	4 2 <sup>1</sup>
Площадки зупинок громадського транспорту на вулицях усіх категорій	10
Пішохідні містки	10
Пішохідні тунелі: <ul style="list-style-type: none"> <li>• вдень;</li> <li>• увечері й вночі.</li> </ul>	100 50
Сходи пішохідних тунелів увечері й вночі	20
Пішохідні доріжки бульварів і скверів, що примикають до вулиць категорій: <ul style="list-style-type: none"> <li>• А;</li> <li>• Б;</li> <li>• В.</li> </ul>	6 4 2
<b>Території мікрорайонів</b>	
Проїзди: <ul style="list-style-type: none"> <li>• основні;</li> <li>• другорядні, в тому числі тротуари — під'їзди</li> </ul>	4 2
Господарські площадки й площадки при сміттєзбиральниках	2
Дитячі майданчики в місцях розташування обладнання для рухливих ігор	10

<sup>1</sup> Норма поширюється також на освітленість тротуарів, що примикають до проїзної частини вулиць категорії Б та В з перехідними й нижчими типами покриттів.

Норми регламентують рівномірність розподілу яскравості дорожнього покриття відношенням мінімальної яскравості до середнього значення величиною не менше 0,4 при рівні середньої яскравості більше 0,6 кд/м<sup>2</sup> і не менше 0,6 — при рівні 0,6 кд/м<sup>2</sup> і нижче. Відношення мінімальної яскравості до максимальної по смузі руху повинне бути не менше 0,6 при рівні більше 0,6 кд/м<sup>2</sup> і не менше 0,4 — при рівні 0,6 кд/м<sup>2</sup> і нижче.

**Таблиця 1.3 – Середня горизонтальна освітленість вулиць, доріг і площ сільських населених пунктів**

Освітлювані об'єкти	Середня горизонтальна освітленість, лк
Головна вулиця, площі громадських і торгових центрів	4
Вулиці в житловій забудові:	
• основній;	4
• другорядній (провулки);	2
• проїзд	2
Селищна дорога	2

Ділянки автомобільних доріг загальної мережі в межах сільських поселень належать до вулиць категорії Б і залежно від типу дорожніх покриттів нормуються або за яскравістю, або за освітленістю.

Рівень освітленості ділянок неосвітлених вулиць, що примикають до швидкісних доріг і магістральних вулиць категорій А та Б, повинен бути рівний нормі яскравості (освітленості) цих вулиць, але не менше  $\frac{1}{3}$  від головної вулиці на відстані не менше 100 м від лінії примикання.

Рівень освітлення трамвайних шляхів, розташованих на проїзній частині вулиць, повинен відповідати нормі освітлення вулиці. Освітленість відособленого трамвайного шляху приймають рівною 6 лк.

Рівні освітлення транспортних тунелів довжиною більше 60 м у денному режимі приймаються за табл. 1.4, у вечірньому й нічному режимі освітленість протягом всьому тунелю має бути рівною 50 лк.

Таблиця 1.4. Освітлення транспортних тунелів у денному режимі

Довжина тунелю, м	Швидкість руху, км/год	Система освітлення	Середня горизонтальна освітленість, лк, покриття проїзної частини на відстані від початку в'їзного portalу, м												
			10–30	50	75	100	125	150	175	200	250	300	350	400	450 і більше
61–100	60	Зустрічна	500	250	100	50									
	80		600	500	300	100									
	100		750	750	500	200									
Більше 100	60	Зустрічна	1250	740	280	160	110	80	60	50	50	50	50	50	50
	80		1500	1500	1050	600	330	210	160	120	80	50	50	50	50
	100		2000	2000	2000	1700	1300	940	530	360	195	120	90	80	50
	60	Симетрична	2000	1200	500	250	180	120	90	80	50	50	50	50	50
	80		2500	2500	1750	1000	530	340	220	180	115	80	65	50	50
	100		3000	3000	3000	2550	2000	1400	900	580	300	200	140	110	50

#### **1.4. Завдання проектування освітлення доріг і магістралей**

Будь-яка освітлювальна установка вулиць, доріг і площ складається з більшої або меншої кількості опор зі світильниками, освітлювана поверхня являє собою сполучення світлих плям, створюваних окремими світильниками. Це справедливо для будь-якої системи освітлення і найбільше просто й чітко виявляється при фотографуванні освітленої вулиці.

Завдання проектування освітлення вулиць і доріг, у першому наближенні, полягає у виборі освітлювальних приладів, які мають такий розподіл світла і встановлених на такій висоті, при якій найбільш економічно були б отримані світлі плями потрібної форми і яскравості. Далі визначають таке розміщення світильників, при якому світлі плями були б видні з нормальної позиції спостерігача такими, що дотикаються, і між ними не було б темних ділянок. Розташування плям, які бачить спостерігач, залежить від його положення на вулиці, від розташування світильників у полі зору й міняється при зміні позиції спостерігача. Навіть на прямій горизонтальній вулиці, при звичайно використовуваних розташуваннях світильників утворюються роздільно помітні світлі плями. При зміні положення спостерігача, який перебуває на вулиці напрямку, що змінюється, або профілю, відзначається особливо значна зміна положення плям у полі зору й розподілу яскравості. Розподіл яскравості міняється також зі зміною характеру й стану (рід покриття, чистота, вологість) дорожньої поверхні. Яскравість поверхні вулиці нестабільна, вона міняється від однієї ночі до іншої, від одного положення спостерігача до іншого. Отже видимість на вулиці також змінна. Проте найважливішим функціональним призначенням освітлювальних установок вулиць і доріг є створення фону такої яскравості, що необхідний для стійкого розрізнення об'єктів.

Однак прагнучи до рівномірного розподілу яскравості покриття проїзної частини, не слід домагатися високого ступеня рівномірності яскравості в іншій частині поля зору водія транспорту або пішохода. Саме такі час-



тини поля зору на границях рівномірно яскравої проїзної частини й навіть за її межами мають велике значення. Край проїзної частини найчастіше виявляється за темною тінню тротуару, що піднімається, вулиця, що перетинає дорогу, легше й на більшій відстані виявляється за тінню бортового каменя тротуару. Однієї з важливих частин поля зору є ближнє узбіччя дороги. Гарна видимість узбіччя полегшує водіння автомобіля. Крім того, поблизу узбіччя найчастіше виявляються перешкоди руху: автомобілі й мотоцикли, що стоять, можлива поява пішоходів. При осьовому розміщенні світильників, що приводить до високого ступеня рівномірності освітленні проїзної частини, її границі й найближчі частини узбіччя, які служать орієнтирами руху, виявляються недостатніми.

Таким чином, завданням зовнішнього освітлення є не тільки рівномірне освітлення проїзної частини, але й навіть створення тіней і підкреслення об'єктів, що полегшують орієнтування на дорозі.

Іншою важливою особливістю і призначенням систем освітлення є їхня здатність підкреслити характер зміни напрямку або профілю дороги. Дуже важливо, щоб розташування світильників дозволяло з можливо більшої відстані виявити поворот або вигин дороги, а також зміну її поздовжнього профілю. Для цього важливо встановлювати світильники на однаковій висоті над поверхнею проїзної частини й розташовувати їх строго на одній лінії, паралельній осі руху. Невиконання цих вимог призводить до виникнення незручності для водіїв, створює враження неорганізованості висвітлення.

Освітленню вулиць, що встановлюється для зручності й безпеки руху, сприяють архітектурне й декоративне освітлення, світлова реклама й інформація. Виконуючи свої функції, вони можуть значно впливати на ефективність освітлювальних систем доріг і вулиць. Дійсно, яскраве освітлення фасаду будинку, концентровані пучки освітлення пам'ятника, сильно освітлений майданчик і т. п. можуть миттєво й значно змінювати рівень адап-

тації і, отже, чутливість очей водіїв транспорту. З метою запобігання цьому всі види пристроїв освітлення міста повинні плануватися як єдине ціле.

Проекти установок утилітарного й архітектурно-декоративного (художнього) освітлення повинні виконуватися у спеціалізованих проектних організаціях із залученням архітекторів, дизайнерів і, можливо, екологів.

Проекти освітлення архітектурних об'єктів треба, як правило, апробувати на макетах або за допомогою дослідно-експериментальних установок безпосередньо на об'єктах. При розробці макета повинна бути передбачена можливість створення декількох варіантів освітлення з наступним вибором оптимального, що узгоджується із замовником.

Освітлювальні установки відкритих спортивних споруд, автостоянок та ін. об'єктів, у яких застосовуються світильники й прожектори, повинні відповідати нормам на їх проектування і забезпечувати обмеження їх негативного впливу на загальне світлове середовище даної міської зони.

При модернізації існуючих установок зовнішнього освітлення всі зміни повинні бути погоджені із замовником, підприємством "Держсвітло" і внесені у проекти даних установок.

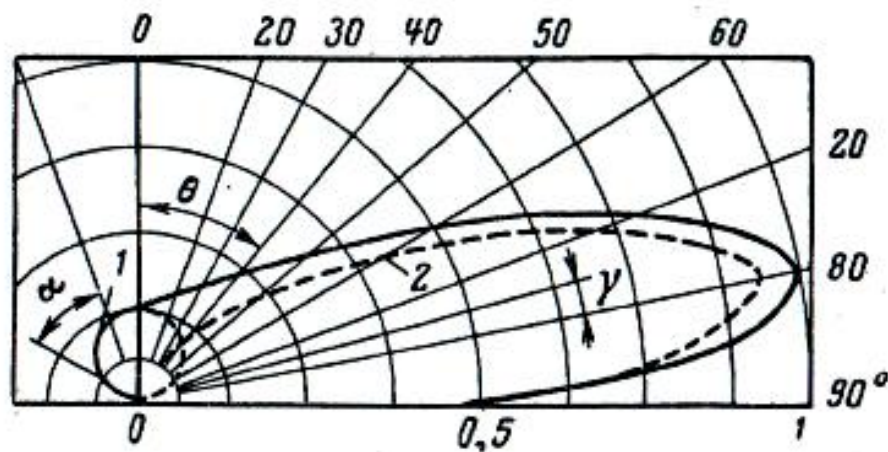
### **1.5. Світлові властивості й класифікація дорожніх покриттів**

Як показано вище, величина яскравості поверхні дороги безпосередньо визначає видимість об'єктів, що перебувають і розглядається на її фоні. Це приводить до необхідності розробки методів розрахунку, виміру та інших шляхів визначення яскравості дорожніх покриттів. Першим в ряді задач, вирішення яких приводять до визначення величини яскравості, є вивчення і облік відбивної здатності поверхонь дорожніх покриттів.

Дорожні покриття сучасних типів (асфальт, асфальтобетон, бетон) мають різко виражену здатність відбивати світло направлено. У цьому неважко переконатися, не вдаючись до спеціально поставлених дослідів. З цією метою треба, перебуваючи на площі, або широкій вулиці, заощеної

асфальтом, встати обличчям до Сонця і на погляд порівняти яскравість асфальту поблизу, під ногами, з яскравістю віддалених ділянок покриття. Якщо асфальт трохи зношений і Сонце досить низько, то яскравість віддалених ділянок буде значно більш високою, ніж яскравість поблизу ніг і навіть може виявитися сліпучою при зовсім сухому покритті.

Спеціально поставлені лабораторні дослідження і виміри, виконані в натурних умовах, дозволили встановити розподіл світла, що відбивається дорожніми покриттями різних типів. Найпоширеніше покриття — асфальт, що зазнав запилення і зношування, поряд зі здатністю відбивати дифузно, має досить виражену спрямованість відбиття. Розподіл сили світла, відбитого ділянкою поверхні асфальту, поданий на рис. 1.1.



**Рис 1.1 — Індикатриса відбиття асфальтового покриття**

Розподіл сили світла ділянки в результаті дифузного відбиття характеризується околom, що дотикається поверхні, яка відбиває, у точці падіння променя. Значна частина відбитого світлового потоку відкидається в напрямках, що примикають до напрямку дзеркально відбитого променя.

Здатність поверхонь направлено відбивати падаючі на них пучки світла характеризується величиною коефіцієнта яскравості, обумовленої як відношення яскравості даної поверхні, в розглянутому напрямку, до яскравості однаково з нею освітленої поверхні, що ідеально розсіює, тобто

$$r = \frac{L}{\frac{1}{\pi} \cdot E}$$

звідки впливає співвідношення між яскравістю й освітленістю такої поверхні:

$$L = \frac{r \cdot E}{\pi}. \quad (1.7)$$

Особливо відзначимо залежність величини  $r$  не тільки від властивостей поверхні, але й від напрямку падаючого на неї пучка й того напрямку, в якому ця поверхня розглядається. У випадку, що нас цікавить, відбиття світла поверхнею дороги, яскравість розглянутого елемента поверхні (і коефіцієнт яскравості) виявляються досить складною функцією сполучення параметрів, які визначають властивості поверхні, положення елементів, напрямок пучків світла й напрямом, в якому розглядається елемент. М. А. Островським запропоновано загальний аналітичний вираз цієї залежності, що має вигляд

$$r = r_0 + \frac{a}{(1 + b \cdot \text{Ctg}^2 \alpha) \cdot \text{Sin} \varphi} \cdot e^{-c\gamma^2}, \quad (1.8)$$

де  $r_0$  — коефіцієнт дифузійного відбиття покриття;

$a, b, c$  — постійні, значення яких залежать від типу й стану покриття;

$\alpha$  — кут падіння пучка на освітлювану поверхню (рис. 1.2);

$\gamma$  — кут, утворений лінією зору спостерігача й напрямком дзеркально відбитих променів.

Величина коефіцієнта яскравості, взята для конкретно визначених умов освітлення і спостереження, становить обмежений інтерес. Набагато більший інтерес і значення являє собою величина яскравості дорожньої поверхні в окремій точці й середньої яскравості покриття. При розрахунку цих величин, у значення яких входять і величини  $r$ , можуть бути використані прийоми й зроблені допущення, що приводять до можливості застосування побудованих таким шляхом методів розрахунку в інженерній практиці.



або

$$L = f'(\alpha, \beta) \cdot \frac{I(\alpha, \beta)}{H^2}, \quad (1.10)$$

де

$$f'(\alpha, \beta) = \frac{r(\alpha, \beta) \cdot \cos^3 \alpha}{\pi}. \quad (1.11)$$

Практично рівну можливість розрахунку величини  $L$  в даній точці дорожнього покриття дає застосування функції

$$f''(\alpha, d) = \frac{r(\alpha, d) \cdot \cos^3 \alpha}{\pi}, \quad (1.12)$$

значення якої також можуть бути заздалегідь розраховані. Тут  $d = \frac{X}{H}$  (див. рис. 1.2).

Достоїнством застосування цієї залежності є простота визначення координат розглянутої точки дороги.

М. А. Островський запропонував характеризувати світлотехнічні властивості світильників для освітлення вулиць набором кривих розподілу сили світла, отриманих перетинами фотометричного тіла світильника площинами, що проходять через лінію, яка з'єднує світлові центри світильників, як це показано на рис. 1.3. Площини утворюють послідовність двограних кутів, плоскі кути яких однакові (наприклад, рівні  $10^\circ$ ). Положення кожної з цих площин визначається величиною кута  $\alpha_{0i}$ , обмірюваного у вертикальній площині, що проходить через опору й горизонтальну лінію, перпендикулярну до узбіччя дороги ( $\beta = 0$ , що відзначається індексом 0 при  $\alpha$ ). Пропонується задавати  $\alpha_{0i}$  значення  $5^\circ, 15^\circ, 25^\circ, \dots$ .

Відзначимо, що подання кривих розподілу сили світла світильника в похилих перетинах має ряд переваг: криві розподілу сили світла  $I(\alpha_{0i}, \gamma)$  зручно будуються у прямокутних координатах, спрощуються розрахунки значень освітленості і яскравості в окремих точках дорожнього покриття, спрощується врахування впливу кута нахилу світильників на техніко-економічні показники освітлювальних установок.

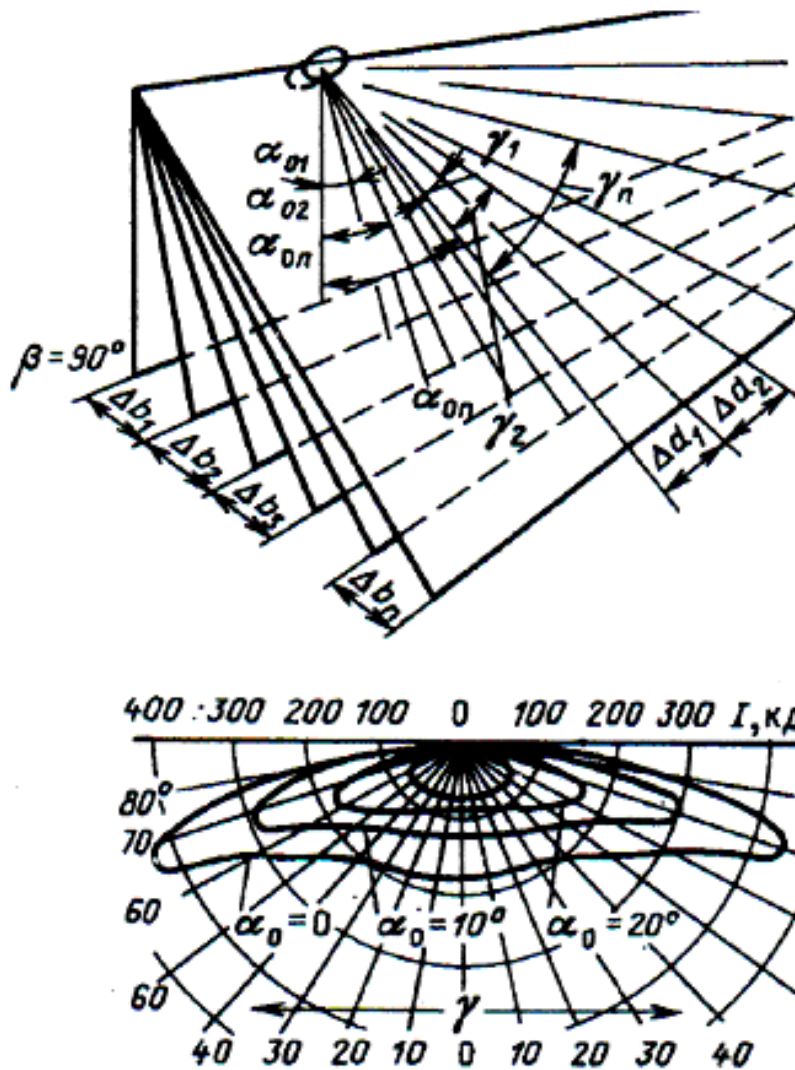


Рис.1.3 — До подання розподілу сили світла в похилих площинах

Величина яскравості дорожнього покриття у будь-якій його точці виражається формулою, аналогічною (1.10):

$$L = f(\alpha_{0i}) \frac{I(\alpha_{0i}, \gamma)}{H}, \quad (1.13)$$

де  $I(\alpha_{0i}, \gamma)$  — сила світла світильника в напрямку  $(\alpha_{0i}, \gamma)$  до розглянутої точки А (рис. 1.4);

$f(\alpha_{0i}, \gamma)$  — функція, що характеризує відбиття світла елементом поверхні дороги, положення якого характеризується значеннями  $\alpha_{0i}$  й  $\gamma$ .

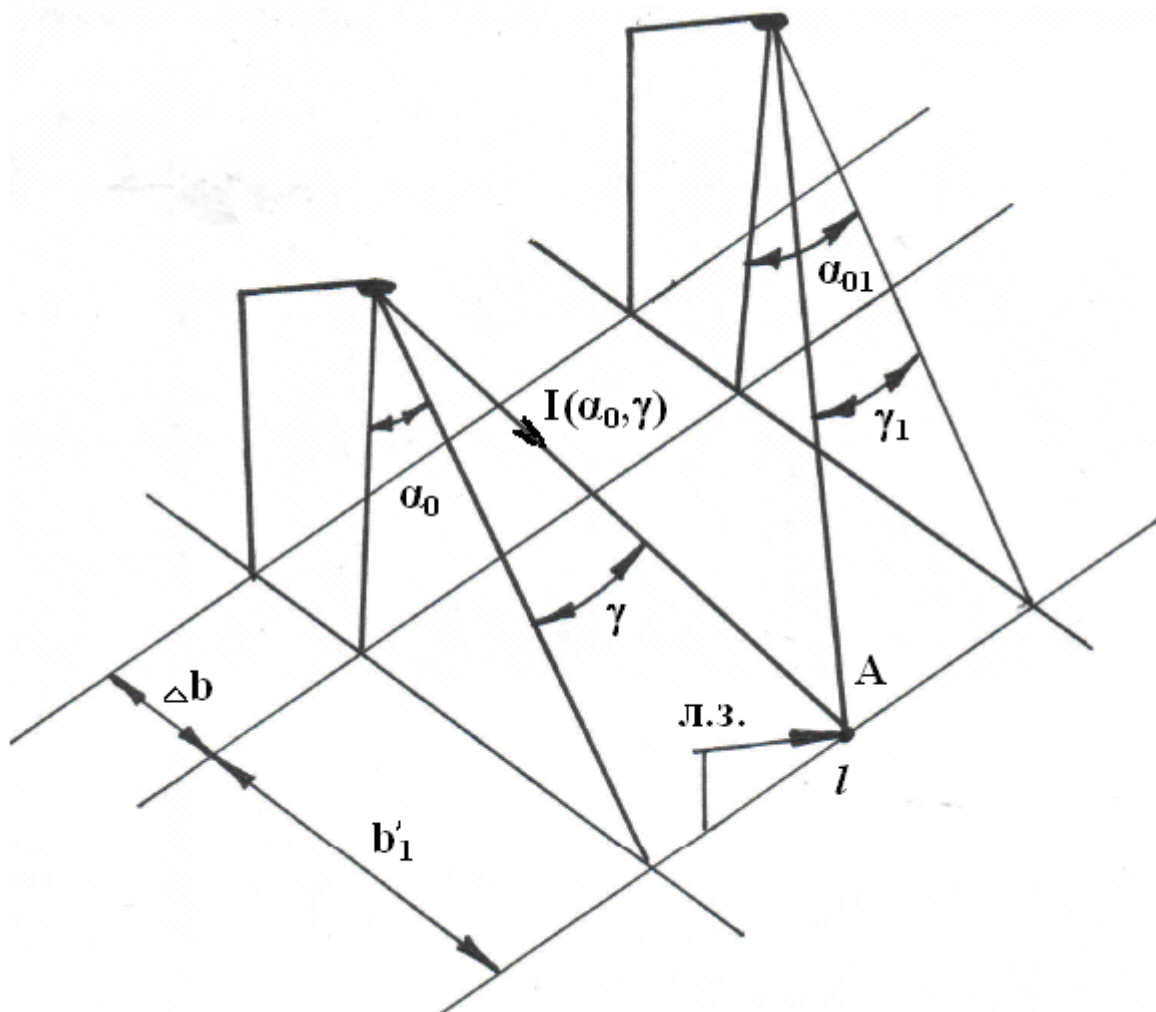


Рис. 1.4 — До визначення яскравості в точці А

Встановлення описаних вище особливостей відбиття світла поверхнями сучасних дорожніх покриттів і розробка методів розрахунку яскравості освітлюваної поверхні дороги має велике практичне значення. Відзначимо у зв'язку зі сказаним розходження розмірів внеску у величину яскравості ділянки покриття, створюваної світильниками, що знаходяться спереду й позаду спостерігача. Припустимо, що ділянка поверхні дороги поблизу точки А (рис. 1.4) по черзі висвітлюється «переднім» й «заднім» (стосовно спостерігача, напрямом лінії зору якого на рисунку позначене л. з.) світильниками, які створюють у цій точці однакову освітленість. Величина яскравості цієї ділянки, що представляється спостерігачеві, в першому випадку буде пропорційна довжині відрізка  $r$  (спрямоване відбиття), а в друго-



му, при освітленні «заднім» світильником — довжині відрізка  $r_0$ , величина якого визначається індикатрисою дифузійного відбиття.

Значення коефіцієнтів яскравості для поверхонь дорожніх покриттів встановлюються залежно від кутів падіння  $\alpha$ , що орієнтує напрямки сили світла світильника в меридіональній площині, відносної ширини освітлюваної смуги до висоти установки світильників  $b/H$  і кута спостереження  $\varphi = 1^\circ$  для стандартизованих типів покриттів. В Україні стандартизовані два типи покриттів: гладкі дрібнозернисті й шорсткуваті асфальтобетонні покриття.

Як було показано раніше, під коефіцієнтом яскравості ми розуміємо відношення яскравості даної поверхні, в розглянутому напрямку до яскравості однаково з нею освітленої поверхні, що ідеально розсіює:

$$r(\alpha, \beta, \varphi) = \frac{L(\alpha, \beta)}{L_{uu}(\alpha)} = \frac{L(\alpha, \beta)}{\frac{1}{\pi} E(\alpha)}. \quad (1.14)$$

У закордонній практиці коефіцієнт яскравості визначається за відношенням яскравості дорожнього покриття в розрахунковій точці до освітленості цієї ділянки дороги в тій же точці:

$$q(\beta, \delta, \alpha) = \frac{L(\beta, \delta)}{E(\delta)} \quad (1.15)$$

З (1.14) і (1.15) випливає, що

$$r(\alpha, \beta, \delta) = \pi q(\beta, \delta, \alpha), \quad (1.16)$$

тобто  $r$  в  $\pi$  раз більше  $q$ . У цих формулах прийняті позначення, що використовуються у закордонній практиці:

$\delta$  — кут, що визначає напрямок сили світла світильника у вертикальній площині в розрахункову точку (у наших позначеннях кут  $\alpha$ );

$\beta$  — кут між площинами падіння і спостереження;

$\alpha$  — кут спостереження (у наших позначеннях  $\varphi$ ).

Для характеристики дорожніх покриттів у закордонній практиці застосовують не безпосередньо коефіцієнт яскравості  $q$ , а так званий редуцирований коефіцієнт яскравості  $r(\beta, \delta)$ :

$$r(\beta, \delta) = q(\beta, \delta) \cos^3 \delta \text{ (стер}^{-1}\text{)} \quad (1.17)$$

Залежність величини коефіцієнта яскравості від напрямку спостереження, навіть у разі строгої специфікації умов спостереження, не дозволяє прийняти коефіцієнт яскравості як єдину ознаку для класифікації дорожніх покриттів за їх відбивними властивостями. Разом з тим, через велику кількість типів покриттів й їх станів така класифікація необхідна, тому що відбивні властивості покриття досить впливають на потужність освітлювальної установки. Із цією метою Міжнародною комісією з освітлення розглянута й рекомендована до застосування класифікація дорожніх покриттів за їх відбивною здатністю.

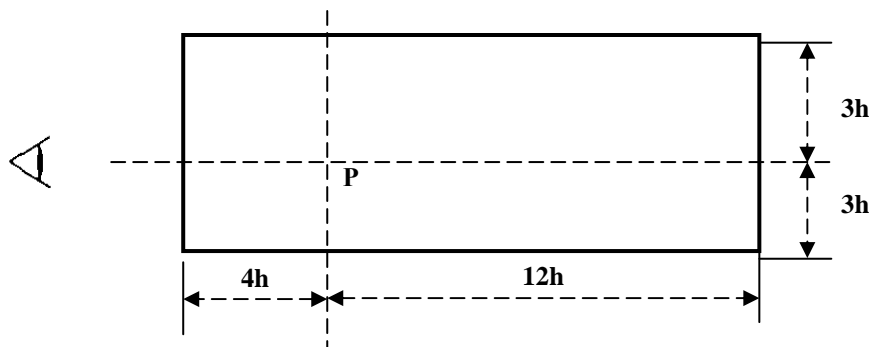
Дорожні покриття пропонується характеризувати двома комплексними показниками  $Q_o$  й  $S_I$ . Перший характеризує загальний ступінь відбиття покриття і визначається як середньозважений коефіцієнт яскравості  $q$  по регламентованій частині простору напрямків падіння світла  $\Omega_o$  відносно точки  $P$  (рис. 1.5), тобто

$$Q_o = \frac{1}{\Omega_o} \int_{\Omega_o} q(\beta, \delta) d\Omega(\beta, \delta) . \quad (1.18)$$

Другий показник  $S_I$  характеризує ступінь спрямованості відбиття і визначається як

$$S_I = r(0.2) / r(0.0), \quad (1.19)$$

де  $r(0.2)$  і  $r(0.0)$  —редуцировані коефіцієнти яскравості відповідно для  $\beta = 0$  й  $\text{tg} \delta = 2$  і для  $\beta = 0$  й  $\text{tg} \delta = 0$ .



**Рис.1.5 — До визначення простору напрямків падіння світла  $\Omega_0$**

У даний час за кордоном застосовуються кілька класифікацій дорожніх покриттів за коефіцієнтом яскравості. У R-класифікації, що одержала найбільше поширення, залежно від спрямованості відбиття світла розрізняють чотири типи дорожніх покриттів (табл. 1.5).

**Таблица 1.5 – R-класифікація дорожніх покриттів**

Тип покриття	Характеристика	Граничні значення	Стандартні значення	
			$S_1$	$\Omega_0$
R1	дифузійне	$S_1 < 0,42$	0,25	0,10
R2	близьке до дифузійного	$0,42 < S_1 < 0,85$	0,58	0,07
R3	трохи спрямоване	$0,85 < S_1 < 1,35$	1,11	0,07
R4	спрямоване	$S_1 > 1,35$	1,55	0,08

Існують ще інші класифікації, наприклад, C-класифікація, в якій розрізняють два типи покриттів (табл. 1.6) і W-класифікація для вологих покриттів.

**Таблиця 1.6 – С-класифікація дорожніх покриттів**

Тип покриття	Характеристика	Граничні значення	Стандартні значення	
			S1	Ω <sub>0</sub>
C1	дифузійне	S1<0,4	0,24	0,10
C2	спрямоване	S1>0,4	0,97	0,07

Зіставлення вітчизняних і закордонних типів покриттів за критеріями S1 й Ω<sub>0</sub>, показують, що гладке дрібнозернисте покриття за критерієм Ω<sub>0</sub> близьке до R1, а за критерієм S1 відповідає типу R3; шорсткувате покриття за обома критеріями ближче до R2.

### **1.6. Видимість об'єктів на освітлених вулицях**

Оскільки основною метою освітлення вулиць і доріг є створення умов, що забезпечують водіям засобів транспорту можливість бачити перешкоди руху, найбільш важливим критерієм регламентації освітлення вулиць є величина видимості. Як зазначалося вище, ця величина може бути встановлена як відношення значення фотометричного контрасту  $K$  яскравостей об'єкта й фону й порогового контрасту  $K_{пор}$ , що відповідають умовам освітлення:

$$V = \frac{K}{K_{пор}}. \quad (1.20)$$

Інакше кажучи, видимість  $V$  виражається числом порогових контрастів  $K_{пор}$ , що укладається у величині фотометричного контрасту.

Ввівши поняття критичного контрасту  $K_{кр}$ , можна знайти найменше значення видимості, необхідне для розрізнення стандартного об'єкта при різних умовах освітлення дорожньої поверхні й швидкості руху.

На підставі поняття критичного контрасту й критичної видимості отриман вираз для величини фактичної видимості об'єктів на освітлених вулицях.

Ця величина (фактична видимість) - є "запасом" видимості в порівнянні з критичною. Її вираз вказує на пряму залежність цієї величини від умов освітлення. Введення в цю величину значення критичного контрасту, що залежить від стану адаптації, робить цю величину видимості функцією стану органа зору.

Величина фактичної видимості, отримана на підставі викладених вище міркувань, виражається співвідношенням

$$V = L_{\phi}^{0,4} \left( 36,5 - 1,16 \frac{E_v}{L_{\phi}} \right) \quad (1.21a)$$

або

$$V = (kL_n)^{0,4} \left( 36,5 - 1,16 \frac{E_v}{kL_n} \right), \quad (1.21b)$$

де  $L_{\phi} = kL_n$  — яскравість фону, прийнята рівною фактичній яскравості дорожнього покриття;

$E_v$  — вертикальна освітленість об'єкта спостереження.

Більш пізні дослідження дозволили встановити залежність видимості від показників якості висвітлення: нерівномірності розподілу яскравості дорожнього покриття і величини коефіцієнта засліпленості.

У результаті цього вираз для величини видимості набуває вигляду

$$V = 47,5 \frac{(kL_n)^{0,4}}{\gamma_0 S} \left( 1 - \frac{E_v}{3,14 kL_n} \right), \quad (1.22)$$

де  $\gamma_0$  — показник нерівномірності освітлення — функція відношення  $L_{max}/L_{min}$ , його величина має вираз

$$\gamma_0 = 1 + 10^{-3} \left( \frac{L_{max}}{L_{min}} \right). \quad (1.23)$$

### **Контрольні питання до глави 1**

1. Умови, що визначають видимість об'єктів.
2. Контраст, пороговий контраст й їх залежність від яскравості фону.
3. Поняття критичного контрасту.
4. Нормативні вимоги до освітлення вулиць, доріг і площ.
5. Визначення видимості об'єкта.
6. Вимоги до зовнішніх освітлювальних установок.
7. Функціональна модель зорової працездатності за МКО.
8. Структура норм зовнішнього освітлення (ДБН В.2.5–28–2006).
9. Завдання проектування зовнішнього освітлення.
10. Відбивні характеристики дорожніх покриттів.
11. Визначення коефіцієнта яскравості.
12. Розходження яскравостей, створюваних у точці світильниками, розташованими перед спостерігачем і за ним.
13. Класифікація дорожніх покриттів в Україні й у Європейських державах.
14. Видимість об'єктів на освітленій вулиці.



ділу приводить до необхідності використання набору кривих, кожна з яких дає значення сили світла світильника в одній вертикальній площині. Положення цих площин визначається величиною кута  $\beta$  між горизонтальними слідами вертикальних площин (рис. 2.2).

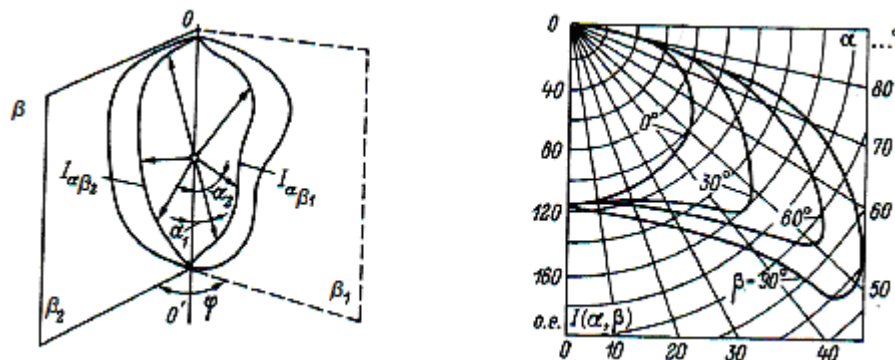


Рис 2.2 — Криві сили світла несиметричного світильника

При несиметричному світлорозподілі сила світла світильника представляється як  $I(\alpha, \beta) = f(\alpha, \beta)$ . Величини  $I(\alpha)$  і  $I(\alpha, \beta)$  відносяться до випадку, коли вважають, що в світильнику перебуває так звана умовна лампа, світловий потік якої дорівнює 1000 лм. Саме ці значення сили світла даються в каталогах світильників і довідниках. Величину освітленості, що створюється світильником з таким джерелом світла, називають умовною і позначають  $e$ . Для переходу від умовної освітленості до її дійсної величини  $E$ , значення  $e$  множать на співвідношення  $\frac{\Phi_{\lambda}}{1000}$ , де  $\Phi_{\lambda}$  — величина світлового потоку лампи, установленної у світильнику, тобто

$$E = e \frac{\Phi_{\lambda}}{1000}. \quad (2.1)$$

У випадку, коли світлорозподіл світильника симетричний щодо осі, тобто сила світла  $I(a)$  однакова для всіх значень  $\beta$ ,

$$e = \frac{I(a)}{l^2} \cos a. \quad (2.2)$$

У випадку несиметричного світлорозподілу



$$e = \frac{I(\alpha, \beta)}{l^2} \cos a. \quad (2.3)$$

Співвідношення  $l = \frac{H}{\cos a}$  між величиною  $l$  і висотою  $H$  установки світильника дозволяє надати виразу для  $e$  вигляд, більш зручний для розрахунків:

$$e = \frac{I(a)}{H^2} \cos^3 a; \quad (2.4)$$

$$e = \frac{I(a, \beta)}{H^2} \cos^3 a. \quad (2.5)$$

У разі похилої установки світильників визначення величини освітленості стає більш трудомістким.

Нехай світильник установлений над проїзною частиною вулиці шириною  $b$  так, що консоль виносить його світловий центр на величину  $b_2''$  від краю дороги (рис. 2.3).

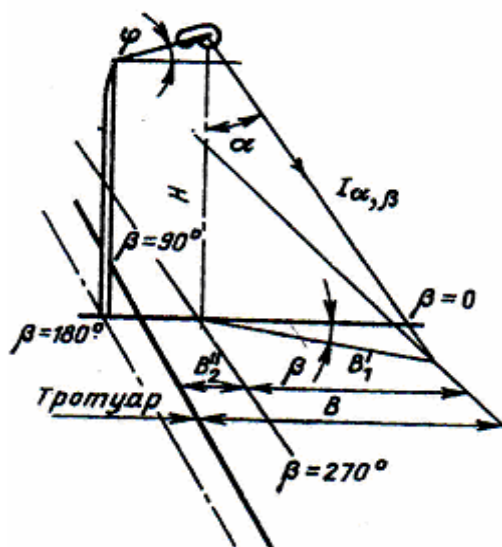


Рис. 2.3 — До розрахунку освітленості

Тоді освітленість у точці, що лежить на протилежному світильникові краї проїзної частини, на прямій, що проходить через основу опори й проекцію світильника, буде

$$e = \frac{I(a, \beta = 0)}{H_p^2} \cos a, \quad (2.6)$$

де  $a$  — кут між вертикаллю і напрямком зі світлового центру світильника в розрахункову точку;

$\alpha$  — кут між напрямком оптичної осі світильника й напрямком зі світлового центру світильника в розрахункову точку (при установці світильника під кутом  $\varphi$  до обрію).

Для обчислення величини освітленості треба знати  $I(\alpha, \beta = 0)$ ,  $a$  й  $H_p$ .

Величини  $H_p$ ,  $b_2''$  й  $\varphi$  задані, або визначаються при виборі опори і її розміщенні. З метою визначення величини  $I(\alpha, \beta = 0)$  треба насамперед знайти кут  $\alpha$  між напрямком сили світла й віссю світильника. З рисунка треба  $\alpha = a - \varphi$ , де  $\varphi$  — кут нахилу консолі.

Величина  $a$  визначається вибором положення розрахункової точки. Коли точка розташована на протилежному світильникові краї проїзної частини

$$\operatorname{tga} = \frac{b_1'}{H_p}.$$

При заданих  $H$ ,  $b$  й  $\varphi$  доцільний наступний хід обчислень:

- знайти  $a = \arctg \frac{b_1'}{H_p}$ ;
- обчислити  $\alpha = a - \theta$ ;
- за кривими розподілу сили світла обраного світильника для отриманого значення  $\alpha$  і  $\beta = 0$  знайти  $I(a, \beta)$ ;
- за формулою (2.6) обчислити величину  $e$ .

Припустимо тепер, що розрахункова точка В винесена на відстань  $l$  від лінії О'А (рис. 2.4). Нехай світильник установлений над поверхнею проїзної частини, як показано на рисунку. Проведемо через лінію АВ площину, перпендикулярну до осі світильника ОО" (на рис. 2.4 — заштрихо-

вана). Лінія  $AO''$  — слід перетину цієї площини з вертикальною площиною, що проходить через опору й лінію  $O'A$ .

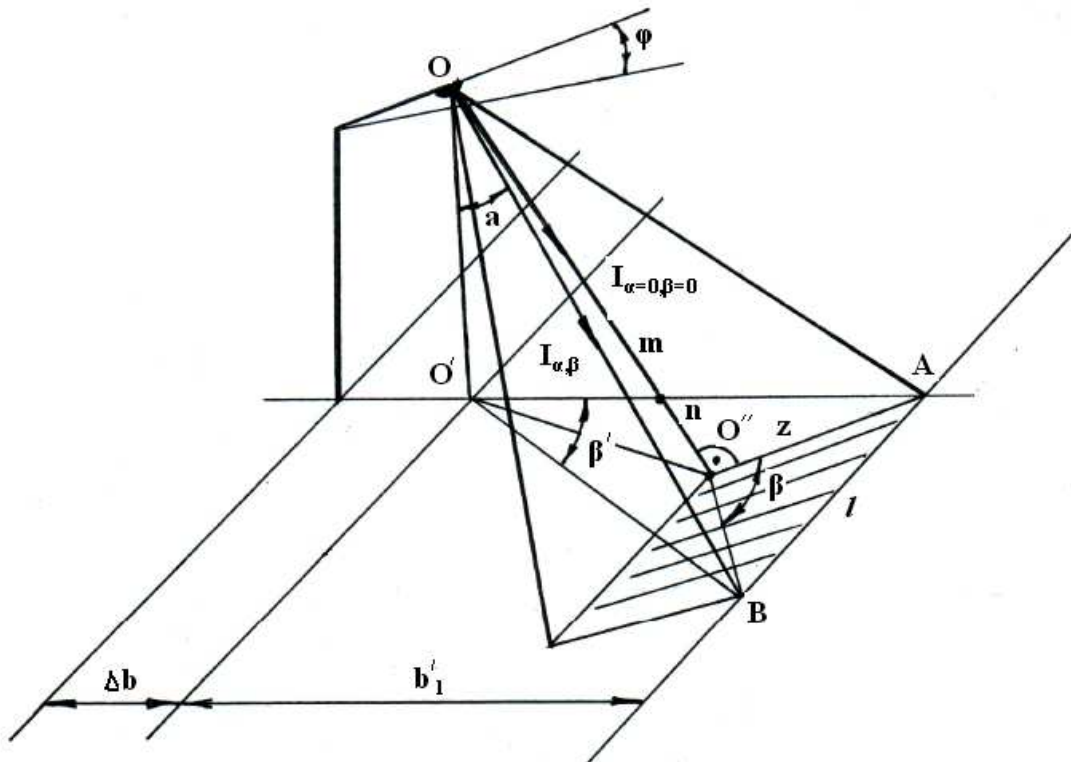


Рис.2.4 — До визначення кутів  $a$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ , відстаней  $z$  й  $m + n$

Прийmemo наступні позначення:

Кут  $O'OB$  —  $a$ ;  $O''OB$  —  $\alpha$ ;  $AO''B$  —  $\beta$ ;  $AO'B$  —  $\beta'$ .

Так само, як і раніше

$$e = \frac{I(\alpha, \beta)}{H_p^2} \cos^3 a,$$

$$\operatorname{tg} a = \frac{BO'}{H_p} = \frac{\sqrt{l^2 + (b_1')^2}}{H_p}.$$

Для того, щоб знайти величину  $I(\alpha, \beta)$ , треба визначити кути  $\alpha$  і  $\beta$ . Трикутники  $BO''O$  й  $BAO''$  прямокутні, з прямими кутами  $O''$  й  $A$  відповідно. Отже визначивши катети  $OO''$  й  $AO''$ , можна визначити кути  $\alpha$  і  $\beta$ .

З рис. 2.4 видно, що

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{AB}{AO''} = \frac{l}{z},$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{BO''}{OO''} = \frac{\sqrt{(l^2 + z^2)}}{m + n}.$$

Визначимо тепер  $m$  і  $n$ . З рисунка випливає, що  $z = y \cos \varphi$

$$y = AO' - O' = [b_1' - H_p \operatorname{tg} \varphi],$$

отже

$$z = [b_1' - H_p \operatorname{tg} \varphi] \cos \varphi = [b_1' \cos \varphi - H_p \sin \varphi],$$

$$m = \frac{H_p}{\cos \varphi},$$

$$n = y \cos \varphi = [b_1' - H_p \operatorname{tg} \varphi] \sin \varphi,$$

$$m + n = \frac{H_p}{\cos \varphi} + \frac{[b_1' - H_p \operatorname{tg} \varphi] \cos \varphi \sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{H_p + z \sin \varphi}{\cos \varphi},$$

значить

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{(l^2 + z^2)}}{m + n} = \frac{\sqrt{(l^2 + z^2)} \cos \varphi}{H_p + z \sin \varphi}.$$

Для визначення величини освітленості в розрахунковій точці (точці В), розташованій як показано на рис. 2.4, можна використати наступну розрахункову схему:

- знайти  $\alpha = \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{l^2 + (b_1')^2}}{H_p}$
- обчислити  $\alpha = \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{(l^2 + z^2)} \cos \theta}{H_p + z \sin \theta}$  і  $\beta = \operatorname{arctg} \frac{l}{z}$ ,

$$\text{де } z = [b_1' \cos \theta - H_p \sin \varphi];$$

- за кривими розподілу сили світла світильника для знайдених значень  $\alpha$  і  $\beta$ , визначити  $I(\alpha, \beta)$ ;
- за формулою (1.28) обчислити величину  $e$ .

У випадку, коли характеристики світлорозподілу світильника задані кривими, що лежать у похилих площинах, розрахунок величини освітленості принципово залишається таким самим.

Нехай світильник установлений так, що його вісь вертикальна й проходить через границю проїзної частини шириною  $b$  (рис. 2.5). Потрібно визначити освітленість у точці В.

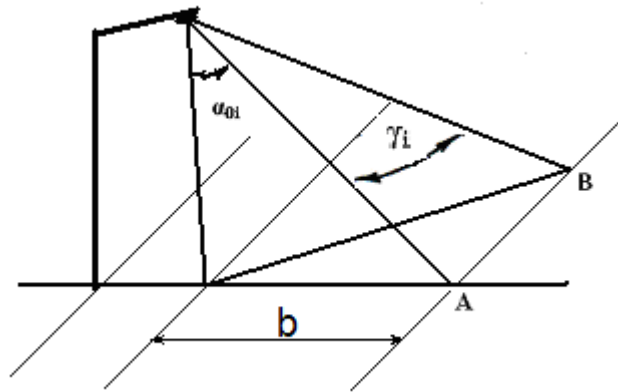


Рис 2.5 — До розрахунку  $E$  від світильника з розподілом  $I(\alpha_0, \gamma)$

Вважаємо заданими величини  $H$ ,  $b$  й  $l$ , де  $l = AB$ .

Для визначення значення  $I(\alpha_0, \gamma)$  знаходимо  $\alpha_0 = \arctg \frac{b}{H}$  і

$$\gamma = \arctg \frac{l}{\sqrt{H^2 + b^2}}.$$

Освітленість у точці В буде рівною

$$e = \frac{I(\alpha_0, \gamma)}{H^2} \cos^3 a, \quad (2.7)$$

$$\text{де } \tg a = \frac{d}{H} = \frac{\sqrt{l^2 + b^2}}{H} = \sqrt{\tg^2 \alpha_0 + \tg^2 \alpha_0 \tg^2 \gamma + \tg^2 \gamma}.$$

Для визначення величини освітленості в розрахунковій точці, розташованій як показано на рисунку, пропонується наступна схема:

- визначити  $\alpha_0 = \arctg \frac{b}{H}$ ;
- обчислити  $\gamma = \arctg \frac{l}{\sqrt{H^2 + b^2}}$ ;
- за кривими розподілу сили світла світильника й отриманим розрахунком величин  $\alpha_0$  і  $\gamma$  знайти  $I(\alpha_0, \gamma)$ ;

- за формулою  $\operatorname{tg} a = \frac{\sqrt{l^2 + b^2}}{H}$  визначити кут  $a$  й  $\cos^3 a$ ;
- за формулою 2.7 обчислити величину  $e$ .

У разі установки світильника похило, під кутом  $\varphi$  до обрію, схема розрахунку величини освітленості в точці В буде:

- визначити  $\alpha_0 = \operatorname{arctg} \frac{b}{H} - \varphi$ ;
- обчислити  $\gamma = \operatorname{arctg} \frac{l}{\sqrt{H^2 + b^2}}$ ;
- для знайдених значень  $\alpha_0$  і  $\gamma$  за кривими сили світла знайти  $I(\alpha_0, \gamma)$ ;
- обчислити  $a = \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{l^2 + b^2}}{H}$ ;
- за формулою (2.7) обчислити величину  $e$ .

При виносі світильника над проїзною частиною на відстань  $\Delta$  від її краю, в розрахунок вводиться замість  $b$  величина  $(b - \Delta)$ .

**Розрахунок середньої освітленості поверхні.** Установлений на висоті  $H$  світильник з круглосиметричним світлорозподілом освітлює смугу необмеженої довжини, що має ширину  $b$  (рис. 2.6).

Обертанням навколо вертикальної осі ліній ОА й ОВ, що складають з нею кути  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ , утворимо зональний тілесний кут  $\Delta\omega$ , який містить світловий потік  $\Delta\Phi$ . Поверхні проїзної частини досягає лише деяка частка потоку  $\Delta\Phi$ , саме та, що доводиться на заштриховані площадки. Розмір цієї частки буде мінятися разом зі зміною  $\alpha$ . Якщо  $\alpha$  прийме значення, при якому  $O'S < b$  й  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  близькі один до одного, то весь потік, що міститься в зональному тілесному куті, досягає поверхні дороги й буде корисним. При  $O'S > b$  поверхні дороги досягає й буде корисною тільки частина потоку. Мірою використання світлового потоку, як видно з рис. 2.6, є величина відносини  $2\gamma/360^\circ$  або  $\gamma/180^\circ$ .

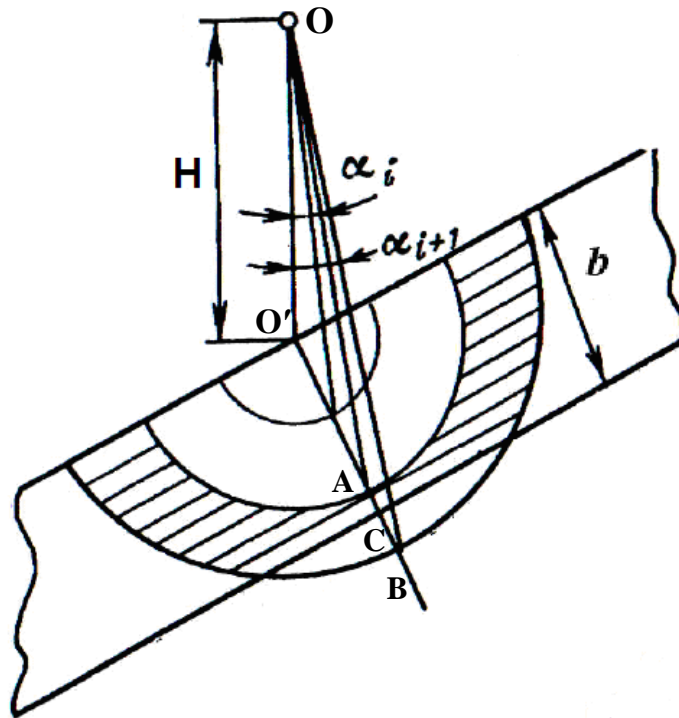


Рис.2.6 — До розрахунку світлового потоку, що падає на смугу нескінченної довжини

Корисна частина зонального потоку

$$\Delta \Phi_{\text{кор}} = \frac{\gamma}{180^\circ} \Delta \Phi,$$

або

$$\Delta \Phi_{\text{кор}} = \frac{\gamma}{180^\circ} I'(\alpha) \Delta \omega \quad (2.8)$$

Корисна частина повного світлового потоку світильника визначається шляхом підсумовування корисних потоків усіх зональних тілесних кутів  $\Delta \omega$ , які можуть бути утворені шляхом зміни кута  $\alpha$  на величину  $\Delta \alpha$  в межах від  $\alpha = 0^\circ$  до  $\alpha = 90^\circ$ , тобто

$$\Phi_{\text{кор}} = \sum_{\alpha=0^\circ}^{\alpha=90^\circ} \Delta \Phi_{\text{кор}}$$

або

$$\Phi_{\text{кор}} = \sum_{\alpha=0}^{\alpha=90^\circ} \frac{\gamma}{180^\circ} I'(\alpha) \Delta \omega . \quad (2.9)$$

Вираз, що стоїть під знаком суми, неважко привести до виду, що містить одну змінну —  $\alpha$ , тому що

$$\gamma = \arcsin \frac{b}{H \operatorname{tg} \alpha} \text{ і } \Delta \omega = 2\pi(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2).$$

Відзначимо, що у виразах (2.8) і (2.9)  $I'(\alpha)$  — дійсне значення сили світла світильника, що перебуває з довідковим (для світильників з умовною лампою) у співвідношенні

$$I'(\alpha) = I(\alpha) \frac{\Phi}{1000}.$$

Підставивши цей вираз в (2.9) отримаємо

$$\Phi_{\text{кор}} = \sum_{\alpha=0^0}^{\alpha=90^0} \frac{\gamma}{180^0} I(\alpha) \frac{\Phi}{1000} \Delta \omega$$

або

$$\Phi_{\text{кор}} = \frac{\Phi}{1000} \sum_{\alpha=0^0}^{\alpha=90^0} \frac{\gamma}{180^0} I(\alpha) \Delta \omega. \quad (2.10)$$

Величину

$$\eta_E = \frac{1}{1000} \sum_{\alpha=0^0}^{\alpha=90^0} \frac{\gamma}{180^0} I(\alpha) \Delta \omega \quad (2.11)$$

називають коефіцієнтом використання світлового потоку світильника за освітленістю.

Вираз для  $\eta_E$  показує, що ця величина є індивідуальною для кожного світильника, тому що визначається характером його світлорозподілу (множник  $I(\alpha)$ ). Крім того, величина  $\eta_E$  залежить від висоти  $H$  установки світильника й ширини  $b$  освітлюваної смуги.

Визначимо величину середньої освітленості смуги, освітлюваної рядом світильників. Нехай на деякій ділянці дороги з кроком  $D$  установлені й діють  $n$  світильників. Величина корисного світлового потоку дорівнює  $n \Phi_{\text{кор}}$ .



Площа освітлюваної поверхні:

$$\sigma = n D b$$

Середня освітленість

$$E_{сер} = \frac{n\Phi_{кор}}{\sigma} = \frac{\Phi_{кор}}{Db}$$

або тому що  $\Phi_{кор} = \Phi \eta_E$ :

$$E_{сер} = \frac{\Phi}{Db} \eta_E, \quad (2.12)$$

де  $\Phi$  — світловий потік джерела світла у світильнику.

Для забезпечення стабільності характеристик освітлювальної установки при проектуванні вводиться деякий запас потужності, що враховується коефіцієнтом запасу  $k$ .

З урахуванням відзначеного вираз (2.12) можна записати у вигляді

$$kE_{сер.н} = \frac{\Phi}{Db} \eta_E, \quad (2.13)$$

що дає можливість визначити величину світлового потоку лампи, установленної в обраний світильник:

$$\Phi = \frac{kE_{сер.н} Db}{\eta_E}. \quad (2.14)$$

Якщо дорога освітлюється двома й більше рядами світильників ( $M$  рядів), то

$$kE_{сер.н} = \frac{M\Phi}{Db} \eta_E \quad \text{і} \quad \Phi = \frac{kE_{сер.н} Db}{M\eta_E}.$$

У випадках, коли лінія проєкцій світильників зміщена щодо границь проїзної частини, розрахунковий вираз набуває вигляду

$$\Phi = \frac{kE_{сер.н} Db}{\eta_E' + \eta_E''}, \quad (2.15)$$

де  $\eta_E'$  і  $\eta_E''$  — значення коефіцієнтів використання окремо для кожної з областей, що перебувають по обидві сторони від вертикальної площини, яка проходить через лінію світлових центрів світильників.

При несиметричному розподілі сили світла світильника  $I(\alpha, \beta) = f(\alpha, \beta)$  визначення зональних корисних потоків може здійснюватися за наведеними вище формулами за значеннями сили світла для окремих вертикальних площин. У разі подання світлорозподілу в двох площинах:  $\beta = 0^\circ$  й  $\beta = 90^\circ$  розрахунок зональних корисних потоків робимо за формулою

$$\Delta \Phi_{\text{кор}} = \frac{4I(\alpha, \beta = 90^\circ) \frac{\gamma}{180^\circ} \Delta \omega + 3I(\alpha, \beta = 0^\circ) \Delta \omega}{7}, \quad (2.16)$$

де  $I(\alpha, \beta = 90^\circ)$  — значення сили світла світильника у вертикальній площині  $\beta = 90^\circ$  для 10-ти градусних кутів  $\alpha$ .

$I(\alpha, \beta = 0^\circ)$  — те ж, у площині  $\beta = 0^\circ$ .

Подальший розрахунок  $\eta_E$ ,  $\Phi_{\text{сер}}$  і  $\Phi$  виконуємо за наведеними вище співвідношенням.

Розглянемо вирішення цього завдання при поданні розподілу сили світла світильника у вигляді  $I(\alpha_0, \gamma) = f(\alpha_0, \gamma)$ .

Нехай вулиця освітлюється одним рядом світильників, установлених на краю її проїзної частини (рис. 2.7). На поверхні дороги виділимо елемент поверхні, який із світлового центру світильника видний у тілесному куті  $\Delta^2 \omega$  (покритий штрихуванням) і має розміри  $\Delta b$  і  $\Delta d$ .

Світловий потік світильника, що припадає на поверхню цього елемента, очевидно, буде

$$\Delta^2 \Phi_{\text{кор}} = I'(\alpha_0, \gamma) \Delta^2 \omega.$$

Величина світлового потоку  $\Delta \Phi$  на смугу може бути отримана підсумовуванням потоків  $\Delta^2 \Phi$ :

$$\Delta \Phi_{\text{кор}} = 2 \sum_{\gamma} I'(\alpha_0, \gamma) \Delta^2 \omega.$$

Межі підсумовування від  $\gamma = 0^\circ$  до  $\gamma = 90^\circ$ .

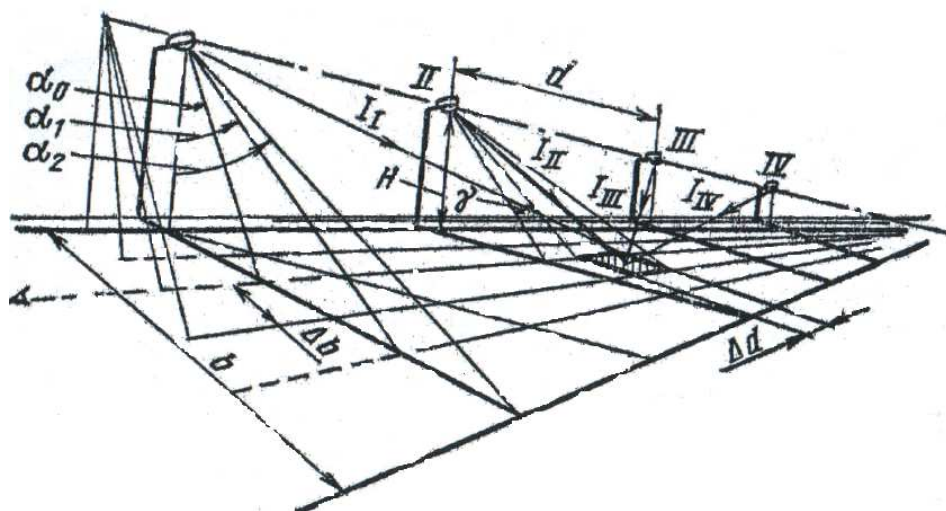


Рис.2.7 — До визначення  $\Phi_{кор}$  при поданні сили світла у похилих площинах

Величина світлового потоку, що припадає на всю проїзну частину, знаходимо в результаті підсумовування потоків  $\Delta\Phi$ :

$$\Phi_{кор} = \sum_{\alpha} 2 \sum_{\gamma} I'(\alpha_0, \gamma) \Delta^2 \omega \quad (2.17)$$

Підсумовування ведеться в межах від  $\alpha_0 = 0$  до  $\alpha_{0гр}$ .

Замінивши в (2.17)  $I'(\alpha_0, \gamma)$  на  $I(\alpha_0, \gamma) \frac{\Phi}{1000}$  отримаємо:

$$\Phi_{кор} = \frac{2\Phi}{1000} \sum_{\alpha} \sum_{\gamma} I(\alpha_0, \gamma) \Delta^2 \omega. \quad (2.18)$$

Тут

$$\frac{2}{1000} \sum_{\alpha} \sum_{\gamma} I(\alpha_0, \gamma) \Delta^2 \omega = \eta_E. \quad (2.19)$$

Отже

$$\Phi_{кор} = \Phi \eta_E. \quad (2.20)$$

Коефіцієнт використання за освітленістю є важливою характеристикою світильників, його значення наводяться в каталогах як один з параметрів.

## 2.2. Розрахунок середньої яскравості дорожнього покриття

Визначаючи величину середньої яскравості поверхні дорожнього покриття, слід враховувати розходження внеску, зробленого у величину цієї яскравості світильниками, які знаходяться спереду або позаду стосовно спостерігача, а також брати до уваги віддалення світильників від точки, що розглядається.

Яскравість ділянки поверхні дороги  $\Delta\sigma$ , обумовлена дією світильників, що знаходяться попереду ділянки й спостерігача, буде рівною

$$L_r = \frac{1}{\pi\Delta\sigma} \sum_{\alpha_0} \sum_{\gamma} r(\alpha_0, \gamma) I'(\alpha_0, \gamma) \Delta^2 \omega \quad (2.21)$$

де  $r(\alpha_0, \gamma)$  — коефіцієнт яскравості розглянутого елемента дорожньої поверхні, визначений для напрямку очей спостерігача на елемент  $\Delta\sigma$ .

Яскравість цієї ж ділянки, обумовлена дією світильників, які знаходяться за ділянкою й спостерігачем, складе:

$$L_\rho = \frac{1}{\pi\Delta\sigma} \rho \sum_{\alpha_0} \sum_{\gamma} I'(\alpha_0, \gamma) \Delta^2 \omega, \quad (2.22)$$

де  $\rho$  — коефіцієнт дифузійного відбиття поверхні дорожнього покриття.

Отже повна величина яскравості дорівнює

$$L = L_r + L_\rho = \frac{1}{\pi\Delta\sigma} \left[ \sum_{\alpha_0} \sum_{\gamma} r(\alpha_0, \gamma) I'(\alpha_0, \gamma) \Delta^2 \omega + \rho \sum_{\alpha_0} \sum_{\gamma} I'(\alpha_0, \gamma) \Delta^2 \omega \right] \quad (2.23)$$

Беручи до уваги, що

$$I'(\alpha_0, \gamma) = I(\alpha_0, \gamma) \frac{\Phi}{1000},$$

можна записати:

$$L = \frac{\Phi}{\pi\Delta\sigma} \left[ \sum_{\alpha_0} \sum_{\gamma} \frac{1}{1000} r(\alpha_0, \gamma) I(\alpha_0, \gamma) \Delta^2 \omega + \rho \sum_{\alpha_0} \sum_{\gamma} \frac{1}{1000} I(\alpha_0, \gamma) \Delta^2 \omega \right]. \quad (2.24)$$

Поширивши  $\Delta\sigma$  на площу, рівну кроку світильників, тобто  $\Delta\sigma = Db$ , і позначивши

$$\eta_r = \sum_{\alpha_0} \sum_{\gamma} \frac{1}{1000} r(\alpha_0, \gamma) I(\alpha_0, \gamma) \Delta^2 \omega \quad (2.25)$$

$$\text{і} \quad \eta_\rho = \rho \sum_{\alpha_0} \sum_{\gamma} \frac{1}{1000} I(\alpha_0, \gamma) \Delta^2 \omega \quad (2.26)$$

запишемо

$$L = \frac{\Phi}{\pi Db} (\eta_r + \eta_\rho), \quad (2.27)$$

де  $\eta_r$  — коефіцієнт використання спрямованої складової світла, відбитого дорожнім покриттям;

$\eta_\rho$  — коефіцієнт використання дифузійної складової відбитого світла;

$\eta_L = \eta_r + \eta_\rho$  — коефіцієнт використання світлового потоку джерела світла по яскравості дорожнього покриття.

З (2.25) і (2.26) видно, що коефіцієнт використання за яскравістю  $\eta_L$  є функцією властивостей світильника  $[I(\alpha_0, \gamma)]$ , особливості відбиття світла поверхнею дороги  $[r(\alpha_0, \gamma)]$  й характеристикою освітлювальної установки  $\left[ \alpha_0 = \arctg \frac{b}{Hp} \right]$ .

Розглядаючи вирази (2.19) і (2.26) можна відзначити, що коефіцієнти використання світлового потоку за освітленістю  $\eta_E$  й дифузійною складовою відбитого потоку зв'язані між собою співвідношенням

$$\eta_\rho = \frac{\rho \eta_E}{2} = \frac{0,1 \eta_E}{2},$$

що дозволяє записати:

$$\eta_L = \eta_r + \frac{0,1 \eta_E}{2} \quad (2.28)$$

Оскільки розрахункова величина яскравості поверхні дорожнього покриття (при проектуванні освітлення) повинна бути не менше  $kL_n$ , то можна записати:

$$kL_n = \frac{\Phi}{\pi D b} \eta_L . \quad (2.29)$$

У випадку, коли в світильнику встановлюються  $m$  ламп і дорогу висвітлюють  $M$  рядів світильників:

$$kL_n = \frac{M m \Phi}{\pi D b} \eta_L . \quad (2.30)$$

Якщо світильник винесений над поверхнею дороги і його світлорозподіл несиметричний, то

$$kL_n = \frac{M m \Phi}{\pi D b} (\eta'_L + \eta''_L), \quad (2.31)$$

де  $\eta'_L$  й  $\eta''_L$  — коефіцієнти використання за яскравістю, визначені для обох областей, що лежать по ту й іншу сторони вертикальної поверхні, яка проходить через світлові центри світильників.

Рівняння (2.30) і (2.31) дозволяють визначити параметри освітлювальної установки при заданих її світлотехнічних характеристиках.

Коефіцієнт використання за яскравістю є найважливішою характеристикою світильника, призначеного для освітлення транспортних шляхів, що регламентуються величиною середньої яскравості дорожнього покриття. Ця величина повинна наводитися в каталогах або довідниках для кожного світильника у вигляді ряду значень, що відповідають різним величинам відношення  $b/H$  або у вигляді графіка, що виражає цю залежність для напрямків  $\beta = 0^\circ$  і  $\beta = 180^\circ$  і має вигляд, представлений на рис. 4.5.

### 2.3. Сліпуча дія освітлювальних установок

Зорове відчуття виникає в результаті порушення елементів сітчастої оболонки в зоні зображення об'єкта, що перебуває в полі зору. Крім елементів сітківки, розташованих у межах зображення, виявляються збудже-

ними й елементи, суміжні з ними. Цю непряму дію випромінювання прийнято називати *зоровою індукцією*.

Явище зорової індукції приводить до зниження видимості. Найбільше помітно це зниження здатності бачити проявляється при наявності в полі зору ока джерел світла, більш яскравих, ніж фон, що визначає рівень адаптації.

Дія на око тіл, що світять, поверхонь, взагалі яскравих об'єктів, що зменшують здатність бачити, прийнято називати *блискістю або сліпучою дією*.

Самі об'єкти, що світять, випромінювання яких має цю дію, називають *блискими або сліпучими*.

Зниження чутливості органа зору внаслідок індуктивної дії блисків джерел називається *засліпленістю*.

При наявності в полі зору блискучого джерела гранична різниця яскравості при розгляданні об'єкта з яскравістю  $L'_o$  на фоні яскравості  $L_\phi$

$$\Delta L_s = L_\phi - L'_o$$

виявляється більш високою, ніж та ж різниця

$$\Delta L = L_\phi - L_o,$$

коли в поле зору таких джерел немає.

Величину відношення  $\frac{\Delta L_s}{\Delta L} = S$  приймають як міру сліпучої дії й називають *коефіцієнтом засліпленості*.

Тут  $\Delta L_s$  — гранична різниця яскравості при наявності в полі зору блисків джерел;

$\Delta L$  — те ж, при відсутності блисків джерел.

Зменшення здатності бачити в результаті засліпленості прийнято пояснювати виникненням *вуалюючої завіси*, що накладається на розглянутий об'єкт як вуаль і приводить до підвищення граничної різниці яскравості.

Відповідно до цього можна записати:

$$\frac{\Delta L_s}{\Delta L_{\text{нор}}} = \frac{L_{\text{ао}} + \beta_{\text{э}}}{L_{\text{ао}}}$$

В умовах вулиць цей вираз має вигляд:

$$S = \left(1 + \frac{\beta_{\text{э}}}{L_{\text{ао}}}\right)^{0,6} = \left(1 + \frac{\beta_e}{L_n}\right)^{0,6} \quad (2.32)$$

Тут  $L_{\text{ао}} = L_n$  — яскравість фону на якому перебувають розглянуті об'єкти й до якої адаптований око.

З (2.32) видно, що для розрахунку коефіцієнта засліпленості необхідне визначення величини  $\beta_e$ , яку прийнято називати *яскравістю вуалюючої завіси, або еквівалентною вуалюючою яскравістю*.

У результаті численних досліджень доведено, що яскравість завіси, що вуалює, еквівалентна за своєю дією на око сліпучого джерела світла, пропорційна величині освітленості створюваної цим джерелом у площині зіниці ока спостерігача, швидко убиває зі збільшенням кута дії  $\theta$  і залежить від яскравості фону, до якої адаптоване око, й спектрального складу випромінювання сліпучого джерела.

Цю величину, обумовлену дією на око одного джерела, можна розрахувати за формулою

$$\beta_{ei} = C_{\lambda} C_L \frac{E_{\text{зіні}}}{\theta_i^2}, \quad (2.33)$$

де  $E_{\text{зіні}}$  — освітленість, що створюється сліпучим джерелом у площині зіниці ока спостерігача;

$\theta_i$  — кут дії сліпучого джерела, утворений лінією зору й лінією, що з'єднує джерело світла й зіницю;

$C_{\lambda}$  — коефіцієнт нееквівалентності сліпучої дії джерел світла різного спектрального складу, рівний 1,0 для ламп розжарювання; 1,1 для МГЛ; 1,3 для ламп типу ДРЛ й 0,9 для НЛВТ;



$C_L$  — коефіцієнт, що залежить від рівня нормованої середньої яскравості дорожнього покриття (рис. 2.9). Яскравість вуалюючої завіси, еквівалентна дії на око декількох сліпучих джерел, дорівнює сумі  $\beta_e$  від усіх блисків джерел ряду, тобто  $\beta_e = \sum_i \beta_{ei}$ .

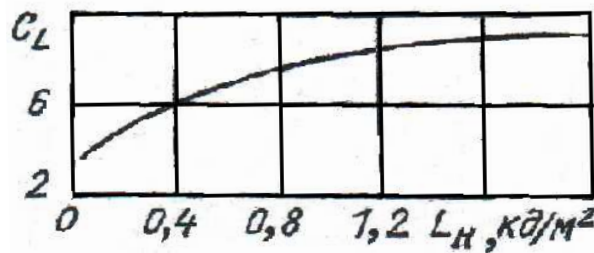


Рис 2.9 — Залежність коефіцієнта  $C_L$  від нормованої яскравості

На освітленій вулиці сліпучу дію роблять світильники кожного з рядів, що перебувають у полі зору водія або пішохода.

Дослідження і розрахунки показали, що при визначенні величини  $\beta_e$  досить враховувати дію лише десяти світильників, що можна прийняти деякі фіксовані значення величини кутів дії  $\theta$  і, отже, вводити в розрахунок освітленості зіниці ока спостерігача значення сил світла світильників, які відповідають цим кутам.

З урахуванням відзначеного, виразу для величини  $\beta_e$  яскравості завіси, що вуалює, можна надати вигляду

$$\beta_e = \frac{C_\lambda C_L}{3300(H-h)^2} (0,88I_{75} + 0,82I_{80} + 2,1I_{85} + 1,55I_{90}), \quad (2.34)$$

де  $H$  — висота установки світильників;

$h$  — висота (над поверхнею дорожнього покриття) розташування ока спостерігача;

$I_{75}, I_{80}, I_{85}, I_{90}$  — значення сили світла світильника в напрямках, що відповідають кутам в  $75, 80, 85, 90^\circ$  з вертикаллю.

У випадках, коли проекція лінії зору спостерігача зміщена щодо про-

екції світильників на відстань  $\Delta b$ , величину  $\beta_e$  визначають за формулою

$$\beta_e = \frac{C_A C_L}{3300[(H-h)^2 + \Delta b^2]} (0,88I_{75} + 0,82I_{80} + 2,1I_{85} + 1,55I_{90}). \quad (2.35)$$

З припустимої для практики точністю можна вважати, що

$$\left(1 + \frac{\beta_e}{L_n}\right)^{0,6} = 1 + 0,57 \frac{\beta_e}{L_n} \quad (2.36)$$

і вираз для величини коефіцієнта засліпленості має вигляд

$$S = 1 + \frac{0,57}{k_3 L_n} \sum_i^M \beta_{ei}, \quad (2.37)$$

де  $M$  — число рядів світильників, що роблять сліпучу дію.

Як критерій оцінки сліпучої дії вуличних освітлювальних установок приймають *показник засліпленості*, рівний

$$P = (S - 1)1000$$

$$\text{і} \quad P = \frac{570}{k_3 L_n} \sum_i^M \beta_{ei}. \quad (2.38)$$

## Контрольні питання до глави 2

1. Точковий метод розрахунку освітленості при симетричному й несиметричному розподілі сили світла світильників.
2. Методика розрахунку освітленості в точці (точковий метод).
3. Методика розрахунку середньої освітленості (за світловим потоком).
4. Коефіцієнт використання світлового потоку світильника за освітленістю, його визначення.
5. Коефіцієнт використання світлового потоку світильника за яскравістю, його визначення.
6. Розрахунок середньої яскравості дорожнього покриття.
7. Поняття зорової індукції і її вплив на видимість.
8. Розрахунок показника засліпленості.

## Глава 3. ДЖЕРЕЛА СВІТЛА ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ

### 3.1. Визначення і принцип дії штучних джерел світла

Штучними називають джерела світла, призначені для перетворення якого-небудь виду енергії в оптичне випромінювання. За фізичною природою розрізняють три види випромінювання: теплове, люмінесценцію і лазери.

Оптичне випромінювання, що виникає при нагріванні тіл, називають тепловим. Електричні лампи розжарювання є найпоширенішим джерелом теплового випромінювання.

Люмінесценцією називають спонтанне випромінювання, надлишкове над тепловим випромінюванням, якщо його тривалість значно перевищує період коливань електромагнітної хвилі відповідного випромінювання.

Явище люмінесценції відбувається в газоподібних, рідких і твердих тілах. Залежно від форми енергії, що підводиться, розрізняють наступні види люмінесценції:

- електролюмінесценція газів і пари, твердих тіл і світловипромінюючих діодів під впливом ударів електронів (іонів) при проходженні електричного струму;
- фотолюмінесценція — світіння речовини за рахунок енергії оптичного випромінювання, що поглинається ним;
- радіолюмінесценція — випромінювання деяких речовин (люмінофорів) під впливом продуктів радіоактивного розпаду.

Джерела світла характеризуються параметрами, що визначають їх електричні, світлові й експлуатаційні властивості.

Електричними параметрами джерел світла є: потужність лампи  $P_d$ , робоча напруга на лампі  $U_d$ , напруга живлення  $U_m$ , робочий струм  $I$  і рід струму (постійний, змінний з частотою  $f$  і т.п.). Для характеристики елект-

ричного режиму РЛ додатково вводять наступні параметри: втрати потужності в ПРА, коефіцієнт потужності  $\cos\varphi$ , ряд напруг, пов'язаних із запалюванням і роботою лампи та ін.

До світлових параметрів джерел світла відносяться: світловий потік, що випромінюється лампою  $\Phi_{\lambda}$ ; сила світла  $I_{\lambda}$  (максимальна сила світла, середня сферична сила світла або яскравість фону розжарення для спеціальних ламп розжарювання); світлова яскравість  $L_{\lambda}$ , її розподіл; спектральна щільність вказаних величин.

Кольори випромінювання ламп додатково характеризується параметрами кольору: координатами кольоровості  $x$  і  $y$ , колірною температурою  $T_{\text{цв}}$  й індексами передачі кольору — загальним  $R_a$  і спеціальним  $R_i$ ; кольори випромінювання ламп типу ДРЛ оцінюються так званим «червоним відношенням».

До експлуатаційних властивостей джерел світла відносяться: геометричні й конструктивні параметри, параметри теплового режиму, параметри довговічності й ефективності (економічності).

Габаритні й приєднувальні розміри, висота світлового центру, розміри випромінюючого тіла належать до геометричних параметрів ламп, до конструктивних — форма колби, її оптичні властивості (прозора, матова, з дзеркальним або дифузійним відбивачем і т.п.), форма й розташування тіла розжарення, конструкція ніжки або вводів, тип цоколя та ін.

Тепловий режим джерел світла характеризується температурою тіла розжарення, колби, цоколя, вводів, електродів та інших вузлів.

Ефективність джерел світла визначається їх світловим ККД або світловою віддачею, обумовленою відношенням світлового потоку, випромінюваного лампою, до її потужності:

$$\eta_{\lambda} = \frac{\Phi_{\lambda}}{P_{\lambda}} \text{ (лм/Вт)}.$$

Основними показниками довговічності є повний і корисний терміни служби. Під повним терміном служби розуміють тривалість горіння ламп від початку експлуатації при номінальних умовах до повної або часткової відмови (перегорання для ламп розжарювання, відмова в запалюванні для більшості розрядних ламп). Корисний термін служби — тривалість горіння ламп від початку експлуатації до зниження одного з основних параметрів (світлового потоку, яскравості) до рівня, при якому його подальша експлуатація стає недоцільною.

### 3.2. Джерела світла і їх характеристики

У наш час в освітлювальних установках зовнішнього освітлення знаходяться застосування дугові ртутні люмінесцентні лампи типу ДРЛ, натрієві лампи високого тиску ДНаТ, металогалогенні лампи ДРИ, а також лампи розжарювання й, рідше, в установках архітектурного освітлення, натрієві лампи низького тиску ДНаО. Для освітлення більших відкритих просторів застосовують ксенонові лампи типу ДКсТ і галогенні лампи розжарювання КГ, які використовуються й в освітлювальних установках відкритих спортивних споруд.

Відповідно до існуючих стандартних систем напруги в електричних освітлювальних мережах джерела світла випускаються на номінальну напругу 220, 380 В. У вуличних освітлювальних установках застосовується напруга 380/220 В, джерела світла включаються на фазну напругу 220 В.

Будова джерел світла й фізичні процеси, що відбуваються в них, викладені у спеціальній літературі, в цій главі розглянемо їх особливості з погляду застосування в освітлювальних установках зовнішнього освітлення.

**Лампи розжарювання.** Діапазон потужностей ламп розжарювання загального призначення, що застосовується в зовнішньому освітленні, перебуває в інтервалі від 60 до 500 Вт. Як правило, лампи цих потужностей випускаються на напругу 215–225, 220–230, 230–240, 235–245 В. У марку-

ванні ламп буква В позначає вакуумні лампи, Г — лампи з газовим наповненням, К — лампи з криптоновим наповненням, Б — біспіральні аргонові лампи, БК — біспіральні криптонові лампи. Лампи потужністю до 150 Вт можуть виготовлятися як у прозорих, так й у матованих, молочних й опалових колбах. Лампи потужністю до 200 Вт мають різьбовий цоколь Е27; лампи 500 Вт і більше — цоколь Е40; лампи 300 Вт можуть бути як з цоколем Е27 так і з цоколем Е40.

Світлова віддача ламп основної серії лежить у межах 7–19 лм/Вт і підвищується зі збільшенням одиничної потужності ламп і знижується зі збільшенням номінальної напруги. Номінальний термін служби ламп 1000 годин.

Випромінювання ламп розжарювання значно відрізняється від денного світла. У зв'язку з перевагою у спектрі ламп розжарювання видимого випромінювання в жовтогарячій і червоній частинах і недостатчею його в синій і фіолетовій частинах відбувається перекручення передачі кольору, тобто підсилюються «теплі» колірні тони (червоні, жовтогарячі, коричневі) і послабляються «холодні» (зелені, блакитні, фіолетові).

Робота ламп розжарювання практично не залежить від умов зовнішнього середовища, в тому числі від температури. Але характеристики ламп розжарювання дуже чутливі до рівня напруги, що підводиться. При відхиленнях напруги від номінальної на 1% світловий потік ламп змінюється на  $\pm 3,7\%$ , потужність на  $+1,5\%$ , світлова віддача на  $\pm 2,2\%$ , термін служби на  $\pm 14\%$ .

Різновидом звичайних ламп розжарювання є лампи з йодним циклом — кварцові галогенні лампи. В освітлювальних установках в основному застосовуються трубчасті лампи типу КГ потужністю 0,5–1,0–1,5–2,0–5,0–10,0 кВт. Лампи мають форму трубки з кварцового скла з циліндричними або плоскими металевими цоколями. Світлова віддача ламп 22–26 лм/Вт, термін служби 2000 годин, положення горіння — горизонтальне.

**Лампи типу ДРЛ.** Дугові ртутні лампи високого тиску з люмінофорним покриттям на колбі випускають потужністю від 50 до 2000 Вт, в установках освітлення міст знаходять застосування лампи потужністю від 80 до 400 Вт. Маркування ламп містить такі елементи: Д — дугова, Р — ртутна, Л — люмінесцентна. Цифри після букв відповідають потужності ламп у ватах, далі в дужках — «червоне відношення», %, цифра після дефіса — номер розробки.

У спектрі випромінювання ламп типу ДРЛ існують два максимуми — у зеленій і червоній частинах спектра; домінуючими є зелені випромінювання. Тому при освітленні лампами ДРЛ всі кольори, крім зеленого, сприймаються менш яскравими і з перекручуванням за кольоровістю, що істотно погіршує передачу кольору. У лампах останніх розробок застосовують люмінофори, що перетворюють ультрафіолетове випромінювання ртутного розряду у відсутнє випромінювання в червоній частині спектра. Якість виправлення передачі кольору ламп типу ДРЛ визначається відносним вмістом червоного випромінювання — відношенням світлового потоку в червоній частині спектра (600–780 нм) до загального світлового потоку лампи («червоне відношення»). Лампи випускаються трьох модифікацій з «червоним відношенням» 6, 10, 12–15%.

Лампи типу ДРЛ випускаються чотирьохелектродними — два основних і два додаткових електроди, що слугують для полегшення запалювання розряду.

Світлова віддача ламп типу ДРЛ зростає зі збільшенням одиничної потужності ламп і становить від 40 до 60 лм/Вт.

Термін служби ламп потужністю 80–400 Вт становить 12–15 тис. годин, причому до кінця терміну служби світловий потік знижується до 70% номінального. Лампи характеризуються значними пульсаціями світлового потоку. При живленні ламп змінним струмом з частотою 50 Гц у схемах зі стандартними ПРА коефіцієнт пульсації становить 63–74%.

Процес розгорання ламп після вмикання триває 5–7 хв. При перерві живлення лампи гаснуть і повторне запалювання відбувається після їх остигання протягом 7–10 хв. Лампи допускають будь-яке положення горіння. Однак при горизонтальному положенні дуга в пальнику злегка вигинається догори, що призводить до невеликого зниження потужності й світлової віддачі.

Температура навколишнього середовища впливає на параметри ламп. При від’ємних температурах потрібна більш висока напруга запалювання, але лампи надійно запалюються і горять з існуючими типами ПРА при температурі до  $-25^{\circ}\text{C}$ . При більш низьких температурах (нижче  $-25^{\circ}\text{C}$ ) для надійного запалювання ламп необхідно застосовувати ІЗУ.

Робочий режим ламп визначається напругою мережі. При зміні напруги на  $\pm 1\%$  світловий потік змінюється на  $\pm 2,5\%$ , потужність на  $\pm 2\%$ . Лампи надійно працюють тільки при напрузі не менше 90% номінальної.

Основні параметри ламп типу ДРЛ наведені в табл. 3.1.

**Таблиця 3.1 – Основні параметри ламп типу ДРЛ**

Тип лампи	Потуж- ність ла- мпи, Вт	Напруга на лампі, В	Струм, А	Світловий потік, клм	Термін служби, тис. год	Тип цоколя
ДРЛ50(15)	50	95	0,61	1,9	10	E27/27
ДРЛ80(6)				3,3		E27/30
ДРЛ80(10)				3,6		E27/30
ДРЛ80(15)				3,6		E27/27
ДРЛ125(6)	125	125	1,15	5,9	12	E27/30
ДРЛ125(10)				6,3		E27/30
ДРЛ125(15)				6,3		E27/27
ДРЛ250(6)–4				13,0		E40/45
ДРЛ250(10)–4	13,5					
ДРЛ250(14)–4	13,5					
ДРЛ400(6)–4	23,5					
ДРЛ400(10)–4	400	135	3,25	24,0	15	E40/45
ДРЛ400(12)–4				24,0		



**Натрієві лампи високого тиску (НЛВТ).** Натрієві лампи - найбільш ефективні джерела видимого випромінювання. Вони мають найвищу світлову віддачу й незначне зниження світлового потоку при тривалому терміні служби (15–20% за 10 тис. годин горіння). Колір випромінювання натрієвих ламп високого тиску має приємний золотаво-білий відтінок за рахунок переваги в спектрі жовто-жовтогарячого випромінювання з довжинами хвиль 560–610 нм.

Запалювання натрієвих ламп високого тиску здійснюється через ІЗП, що подає на лампу імпульс високочастотної напруги з амплітудою 2–4 кВ. Час розгорання лампи становить 5–7 хв. Для повторного запалювання погаслої лампи потрібний час (2–3 хв) на остигання розрядної трубки до температури, при якій подавані імпульси напруги достатні для повторного запалювання розряду.

Сучасні конструкції НЛВТ допускають будь-яке положення горіння на відміну від раніше існуючих типів, коли положення горіння вказувалося на лампі, наприклад «цоколем вгору», «цоколем униз», «будь-яке  $\pm 90^\circ$ » та ін.

Основні типи натрієвих ламп високого тиску і їх параметрів наведені в табл. 3.2.

**Таблиця 3.2 – Основні параметри НЛВТ**

Тип лампи	Потужність, Вт	Напруга на лампі, В	Робочий струм, А	Світловий потік, клм	Термін служби, тис. год	Тип цоколя
ДНаТ50	50	85	0,76	4,0	6	E27
ДНаТ70	70	90	1,0	6,0	10	E27
ДНаТ100	100	100	1,2	10,0	10	E27
ДНаТ150	150	100	1,8	15,0	15	E40
ДНаТ250	250	100	3,1	26,0	20	E40
ДНаТ400	400	100	4,6	50,0	20	E40

Натрієві лампи ВТ типу ДНаТ виготовляють, як правило, у циліндричній прозорій зовнішній колбі. НЛВТ, призначені для заміни ламп типу ДРЛ, виготовляють в зовнішній колбі від ламп типу ДРЛ з внутрішнім світлорозсіюючим покриттям.

Серед відмінних рис електричних параметрів НЛВТ у порівнянні з іншими РЛВТ (ДРЛ, ДРИ) слід зазначити меншу на 25–30% початкову напругу горіння, що підвищується до кінця терміну служби на 25–30%, тому для стандартних НЛВТ не можна застосовувати дроселі від ДРЛ. При заміні ламп типу ДРЛ в існуючих світильниках лампами ДНаТ слід застосовувати спеціально для цього призначені НЛВТ зі збільшеною напругою на лампі й меншим робочим струмом, ніж у стандартних ламп ДНаТ. Напруга запалювання в них повинна бути нижче напруги мережі.

На світлові й електричні параметри НЛВТ напруга мережі має такий же вплив, як і на параметри інших РЛВТ. Пульсації світлового потоку при живленні змінним струмом частотою 50 Гц становлять близько 70%.

**Натрієві лампи низького тиску (НЛНТ).** Сучасні натрієві лампи низького тиску являють собою U-подібний пальник з невеликими опуклостями або пряму жолобкову розрядну трубку, вміщені в скляні колби.

Лампи мають високу світлову віддачу (у кращих закордонних зразках до 150 і більше лм/Вт), характеризуються майже однорідним монохроматичним видимим випромінюванням у жовтій частині спектра (589,0 й 589,6 нм). Час розгорання лампи становить 10–15 хв. Для запалювання ламп необхідна напруга 450–500 В, тому їх включають у мережу через підвищувальні автотрансформатори з розсіюванням. Зміна електричних характеристик ламп у період розгорання незначна, вони змінюються услід за миттєвими змінами напруги мережі. Пульсації світлового потоку наближаються до 100% внаслідок майже повної безінерційності розряду.

Основні параметри натрієвих ламп низького тиску потужністю 85 й 140 Вт наведені в табл. 3.3.

**Таблиця 3.3 – Параметри НЛНТ**

Тип лампи	ДНаО85	ДНаО140
Потужність лампи, Вт	85	140
Напруга на лампі, В	115	190
Струм лампи, А	0,74	0,95
Світлова віддача, лм/Вт	80	70
Середня тривалість горіння, год.	5000	2000
Габаритні розміри, мм:		
• діаметр	38	75
• довжина	550	560
Тип цоколя	G13/35	B15
Тип розрядної трубки	Пряма жолобкова	U-образна

**Металогалогенні лампи типу ДРИ.** Маркування лампи містить наступні елементи: Д — дугова, Р — ртутна, И — з випромінюючими добавками, число — номінальна потужність у ватах, цифри після дефіса — номер розробки або модифікації. Лампи за конструкцією подібні до ламп типу ДРЛ з пальниками й без або з одним запалюючим електродом. Лампи ДРИ випускаються в колбах ламп типу ДРЛ або в спеціальних циліндричних колбах.

На параметри ламп істотний вплив робить положення горіння: так світловий потік у горизонтальному положенні на 15–18% нижче, ніж у вертикальному. Значення світлового потоку ламп типу ДРИ наведені в табл. 3.4.

**Таблиця 3.4 – Світловий потік (кЛм) МГЛ типу ДРИ  
загального призначення**

Потужність лампи, Вт	Із кварцовим пальником					З керамічним пальником
	В еліпсоїдній світлорозсіюючій зовнішній колбі		В еліпсоїдній прозорій зовнішній колбі		У циліндричній прозорій зовнішній колбі	У циліндричній прозорій зовнішній колбі
	T=3000K $R_a = 80$	T $\geq$ 4000K $R_a = 40-69$	T=3000K $R_a = 80$	T $\geq$ 4000K $R_a = 40-69$	T=4000K $R_a = 40-69$	T=3000K $R_a = 80-89$
70	4,9–6,0	4,9–5,2	4,7–6,3	5,2–5,4	–	6,3–6,6
100	8,0–8,7	7,3	8,5–9,2	7,8	–	8,7–9,2
150	12,0–13,5	10,5–12,2	12–13,5	11,4–12,5	–	13,5–14,5
250	23,5–24,5	19,0–19,5	–	22,5	19,0–21,0	25,0–25,8
400	40,0	35,0–40,0	–	42,0	35,0–39,0	42,0

Температура навколишнього середовища впливає на напругу запалювання. Однак при використанні ІЗУ підвищення напруги запалювання зі зниженням температури навколишнього середовища не впливає на запалювання, тому що ІЗУ дає імпульс напруги з запасом.

На характеристики ламп ДРИ напруга мережі має такий же вплив, як і на інші РЛВТ, тобто при зміні напруги на  $\pm 1\%$  при роботі зі стандартним дроселем світловий потік ламп міняється на  $\pm 2,5\%$ , потужність на  $\pm 2,2\%$ .

Пульсації світлового потоку ламп ДРИ нижче, ніж у ламп типу ДРЛ, і становлять близько 30%.

Термін служби сучасних ламп ДРИ складає у середньому 7500–12000 годин, а спад світлового потоку до кінця терміну служби більше, ніж у ламп типу ДРЛ.

Лампи ДРИ з кварцовим пальником потужністю 70, 100, 150 Вт випускають з різьбовим цоколем E27, 250 й 400 Вт — з цоколем E40. Лампи ДРИ з керамічним пальником, за винятком лампи потужністю 70 Вт, мають різьбовий цоколь E40, лампи 70 Вт — E27.

### **3.3. Області застосування джерел світла**

Вибір джерела світла залежить від багатьох факторів, що визначають конкретні умови освітлення заданого об'єкта, а також енергетичні й економічні можливості. Ефективність освітлювальних установок великою мірою визначається ефективністю застосовуваних джерел світла і їхніми характеристиками. Для зовнішнього освітлення велике значення мають одинична потужність і світловий потік джерела світла, незалежність (або незначна залежність) параметрів роботи від умов зовнішнього середовища, а також тривалість горіння у процесі експлуатації.

Спектральний склад випромінювання і передача кольору в умовах утилітарного зовнішнього освітлення менш важливі, але в установках архітектурно-художнього, декоративного й ландшафтного освітлення та освітлення пішохідних зон вимоги до передачі кольору підвищуються.

Виходячи зі спектрального складу випромінювання окремих джерел світла, прийнято рекомендувати наступні області їхнього застосування:

Лампи типу ДРЛ широко застосовують в освітлювальних установках вулиць і площ, доріг і тротуарів. У зв'язку з тим, що лампи типу ДРЛ перекручують передачу кольору обличчя людської особи, їх не слід рекомендувати для висвітлення пішохідних зон. Однак їх застосування для освітлен-

ня в паркових зонах дуже ефективно, тому що в світлі ламп ДРЛ зелень виглядає яскраво й насичено за кольоровістю.

Натрієві лампи високого тиску застосовують для освітлення проїзних частин вулиць і доріг, під'їздів, пішохідних переходів, вони останнім часом, поступово витісняють лампи типу ДРЛ у цих установках.

Для освітлення вулиць, доріг, площ і ансамблів з підвищеними архітектурними вимогами, а також скверів, парків, бульварів і пішохідних зон перевагу слід віддавати металогалогенним лампам типу ДРИ.

Лампи розжарювання звичайні й галогенні знаходять застосування в установках архітектурного й декоративного освітлення, освітлення парків і скверів. У пристроях ілюмінації застосовують гірлянди ламп розжарювання, що працюють як у режимі безперервного горіння, так і в режимі періодичних проблісків. Характерною рисою пристроїв цього роду є застосування великої кількості нормальних малопотужних ламп, призначених для роботи в мережах з номінальною напругою. На це слід звертати увагу, тому що ряд ламп у цих установках дуже тісний і вихід з ладу навіть однієї з них порушує цей ряд і псує враження, створене ілюмінаційним або декоративним пристроєм.

Лампи розжарювання можуть застосовуватися і для освітлення сільських вулиць і доріг з нижчими й перехідними типами покриттів.

Останнім часом в установках архітектурно-декоративного освітлення скверів і парків знаходять застосування компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ), що характеризуються задовільною передачею кольору й працездатністю при низьких температурах.

Слід відзначити можливість використання для наземних пішохідних переходів з метою створення контрастності освітлення джерел світла зі спектральними характеристиками, відмінними від спектра випромінювання джерел світла основної вулиці, наприклад, ДНаТ і ДРЛ, ДРИ й ДРЛ, ДРИ й ДНаТ.

### **Контрольні питання до глави 3**

1. Електричні, світлові й експлуатаційні характеристики джерел світла.
2. Лампи розжарювання і їх характеристики.
3. Основні характеристики ламп типу ДРЛ.
4. Основні характеристики натрієвих ламп високого тиску типу ДНаТ.
5. Натрієві лампи низького тиску типу ДНаО.
6. Основні характеристики металогалогенних ламп типу ДРИ.
7. Рекомендовані області застосування джерел світла в зовнішніх установках.

## **Глава 4. СВІТЛОВІ ПРИЛАДИ ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ**

### **4.1. Загальні вимоги до світильників зовнішнього освітлення**

Світильники є однією з основних частин освітлювальних установок і пристроїв освітлення міст. Їх вартість після вартості опор і мереж є головною складовою вартості установок. Світлотехнічні властивості світильників: характер світлорозподілу, значення ККД і коефіцієнтів використання визначають витрати електроенергії. Конструкція світильників визначає їхню надійність, довговічність і зручність експлуатації.

Світильник повинен виконувати такі функції:

1. Здійснювати необхідний перерозподіл світлового потоку джерела світла.
2. Охороняти джерело світла від впливу середовища.
3. Забезпечувати можливість живлення джерела світла електроенергією.

Світильники освітлювальних установок вулиць і доріг виконують свої функції, працюючи у важких умовах, вони зазнають впливу атмосферних опадів, вітру, сухих димів, вібрації та підвищеної температури. Це є причиною висуння до їх конструкції, технології і матеріалів особливих вимог.

Конструкція світильників повинна забезпечувати виконання їх функцій протягом тривалої експлуатації без зміни їх світлотехнічних властивостей при найбільшій простоті і, отже, найменшій вартості догляду. Конструкція світильника повинна забезпечувати не тільки необхідний характер світлорозподілу, але і його стійкість у часі. Зміна розподілу світла може мати місце внаслідок забруднення, зміни відбиваючих властивостей поверхні або зміни прозорості елементів світильника. Однією з причин зміни світлових властивостей є зміна взаємного розташування джерела світла й оптичних деталей світильника, порушень при заміні джерела світла або частин світильника, а також при його чищенні. Виконання вимог до точності світлорозподілу і його стійкості призводить до необхідності відомого ускладнення конструкції, висуває складні й строгі вимоги до техно-



логії виготовлення (точність оптичних поверхонь, точність і незмінність взаємного розташування частин світильника, взаємозамінність частин).

Оптична система світильників для зовнішніх освітлювальних установок, внаслідок необхідності задовольняти специфічним вимогам світло-розподілу, є дуже складною. Вона істотно визначає його конструкцію. Для керування розподілом світла використовують роздільно або в сполученнях, наступні явища:

- переломлення;
- відбиття;
- розсіювання світла.

Конструкція світильників повинна забезпечувати простоту догляду за ними й ремонту, зокрема найбільш характерні операції догляду — заміна джерела світла й чищення приладу.

Ряд вимог до конструкції світильників є суперечливими, наприклад максимальний ступінь ущільнення для захисту від пилу й проникнення комах, зручності доступу до джерела світла, ущільнення і охолодження світильника і т.п.

Виконання розглянутих вище вимог, робить оптичну схему й конструкцію світильників для зовнішнього освітлення більш складною, ніж схеми й конструкції більшості світильників для освітлення приміщень. Внаслідок цього світильники зовнішнього освітлення виявляються дорожчими, ніж світильники загальнопромислового призначення.

#### **4.2. Світлотехнічні характеристики й класифікація світильників для освітлення вулиць**

Основною світлотехнічною характеристикою світильника будь-якого призначення є той або інший вид розподілу сили світла. Характер розподілу сили світла світильника визначається його призначенням і способом використання. Світильник для освітлення вулиць має бути побудований з розрахун-

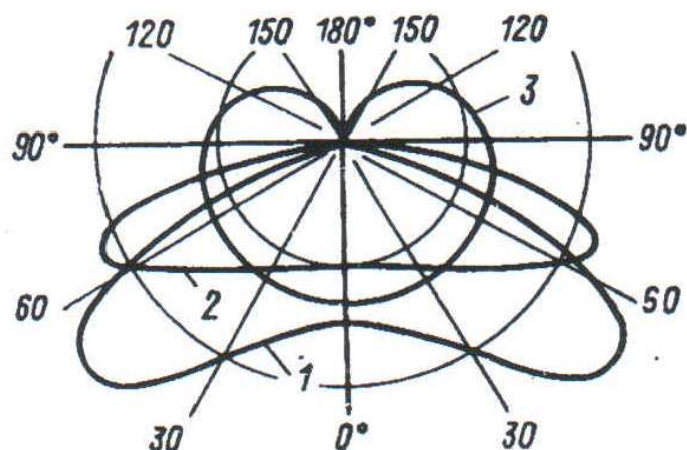
ком на те, щоб направляв і розподіляв можливо більшу частину світлового потоку джерела світла на порівняно нешироку й довгу поверхню проїзної частини вулиці. Це призначення світильника для освітлення вулиць і доріг визначає необхідність несиметричного світлорозподілу. Такий світильник характеризується вертикальною полярною кривою, побудованою в площині, що містить напрямок  $I_{\max}$ . Ця крива дає уявлення про положення пучка з найбільшою силою світла, а також про величину частин світлового потоку, що направляються світильником нагору й униз. Якщо азимутальний кут малий, то вид кривої дозволяє судити про сліпучу дію світильника. Для характеристики дії світильника в бічних напрямках будують криву розподілу сили світла на поверхню конуса, що містить напрямок  $I_{\max}$ . Ця крива може бути спроектована на горизонтальну площину.

Крива розподілу сили світла у вертикальній площині, що проходить через напрямок  $I_{\max}$ , є основною світлотехнічною характеристикою світильників і служить ознакою їх світлотехнічної класифікації. Зазначимо, що найчастіше вертикальну площину, в якій будують вертикальну криву розподілу сили світла, проводять не через  $I_{\max}$ , а через лінію, на якій лежать світлові центри світильників.

Відповідно до міжнародної класифікації залежно від положення напрямку максимальної сили світла світлорозподіл вуличних світильників підрозділяють на (рис. 4.1):

- 1 - обмежений (напрямок  $I_{\max}$  лежить нижче  $\alpha = 65^\circ$  — вимога МКО);
- 2 - напівобмежений (напрямок  $I_{\max}$  лежить нижче  $\alpha = 75^\circ$ );
- 3 – необмежений.

Характер світлорозподілу перших двох типів додатково уточнюється вимогами до розподілу сили світла в напрямках, що лежать нижче й вище напрямку  $I_{\max}$ .



**Рис. 4.1 — Міжнародна класифікація світильників за світлорозподілом**

Розподіл сили світла в межах кутів  $\alpha = (0^\circ - 70^\circ)$  визначає досяжний при застосуванні світильника рівень середньої яскравості і його економічність, тому бажані, можливо, більш високі значення сили світла. Однак при цьому є необхідним обмеження цих значень у зоні  $\alpha = (0^\circ - 30^\circ)$  з метою рівномірності розподілу яскравості.

Сила світла світильника в напрямках, що лежать вище напрямку  $I_{\text{макс}}$ , особливо для напрямків  $\alpha = (80^\circ - 90^\circ)$  обмежується внаслідок необхідності зменшити сліпучу дію освітлювальної установки.

**Таблиця 4.1 – Допустимі значення сили світла в зоні кутів  $\alpha = 75^\circ - 90^\circ$**

$\alpha$ , град	75	80	85	90
Сила світла*, кд	200/200	80/50	25/15	20/10

\* Чисельник — значення для ламп типу ДРЛ, знаменник — для МГЛ й НЛВТ.

Характерною рисою світильників з лампами ДРИ й ДНаТ є можливість забезпечення широкого напівобмеженого світлорозподілу з різким спадом значень сили світла для напрямків  $\alpha > 75^\circ$ , що дозволяє істотно знизити сліпучу дію установки.

У деяких випадках для оцінки розподілу сили світла використовують додаткову характеристику, вводячи поняття про пучок світильника. Пуч-

ком називають область (тілесний кут), що включає всі напрямки, сила світла в яких дорівнює і перевищує  $0,9 I_{\text{макс}}$ . Розміри й положення пучка в просторі істотно визначають рівномірність розподілу яскравості освітлюваної поверхні й сліпучу дію світильника. Пучок (що включає і напрямки  $I_{\text{макс}}$ ), залежно від призначення світильника, орієнтують так, що напрямки  $I_{\text{макс}}$  лежить у межах азимутального кута  $\alpha = (65^\circ - 75^\circ)$ . Азимутальне положення пучка робить також істотний вплив на рівномірність розподілу яскравості в поперечному напрямку проїзної частини.

Крім того, що світлотехнічні характеристики світильників встановлюють значення показників рівня і якості освітлення, тобто величину середньої яскравості, її розподіл по освітлюваній поверхні й сліпучу дію, вони впливають і на економічність установок.

Викладене вище виявляє тільки загальні риси раціонального світло-розподілу світильників для освітлення вулиць. Визначення точного виду кривої розподілу сили світла світильника можливе лише з урахуванням конкретних умов його застосування (висота установки, крок, положення щодо освітлюваної поверхні).

Завдання побудови раціональної (зразкової) кривої розподілу сили світла світильника враховує наступні загальні вимоги й обмеження:

- значення коефіцієнта використання світлового потоку за яскравістю мають бути досить високими;
- розподіл яскравості поверхні дорожнього покриття повинен бути рівномірним;
- сліпуча дія освітлювальної установки з даними світильниками повинна бути обмежена значенням  $S \leq 1,15$ .

Розглянемо хід вирішення завдання побудови кривої розподілу сили світла у вертикальній площині, що проходить через світлові центри ряду світильників. При цьому використаємо прийом перетину фотометричного

тіла світильників меридіональними площинами (рис. 4.2 а) і в похилих перетинах (рис. 4.2 б).

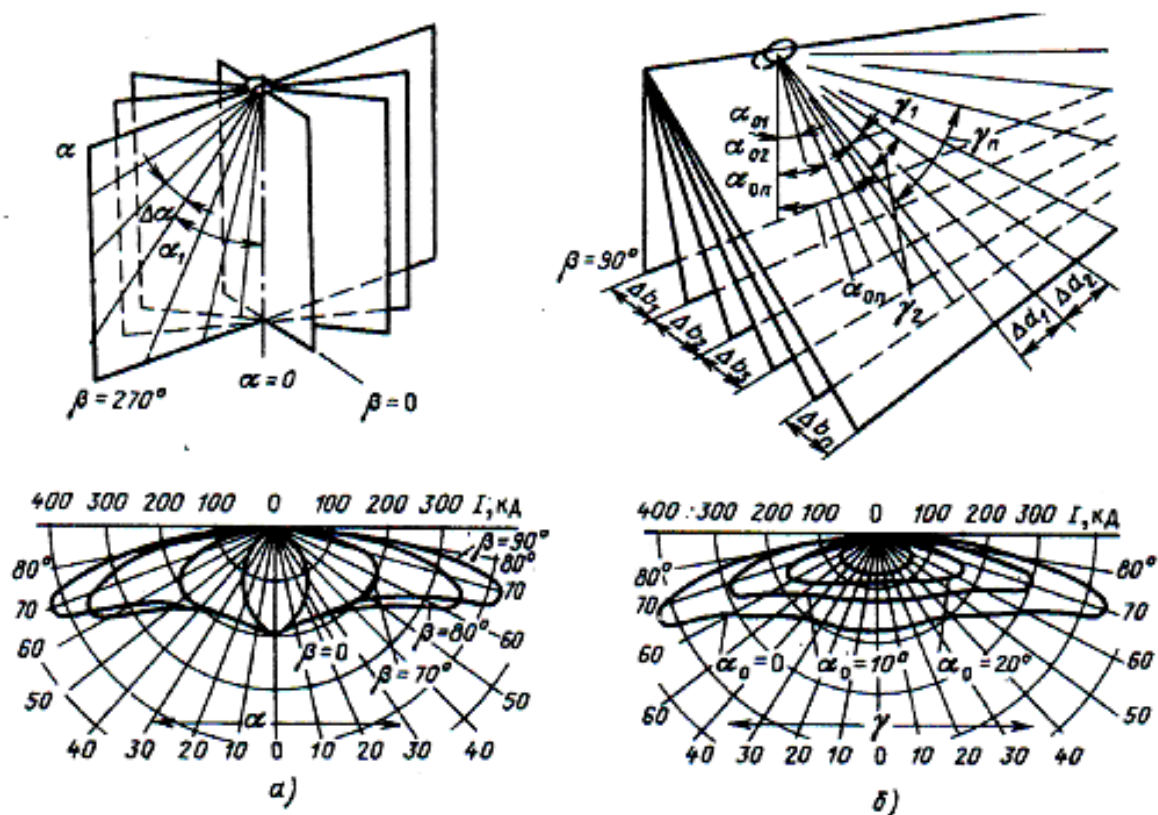


Рис. 4.2 — Криви розподілу сили світла у вертикальних і похилих площинах

Вертикальну напівплощину (див. рис. 4.3) можна розділити на дві зони: I і II.

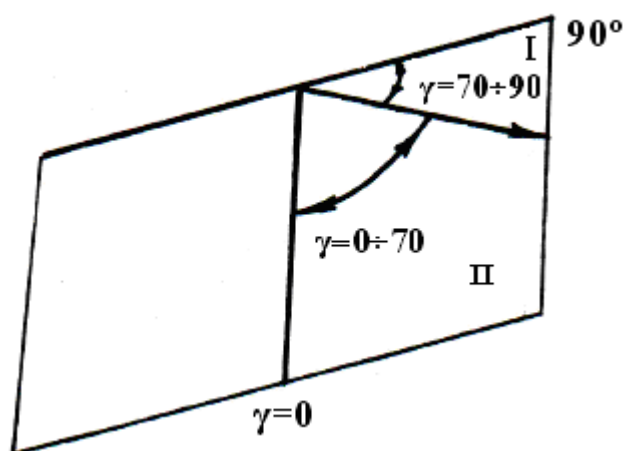


Рис. 4.3 — До визначення оптимальної кривої сили світла світильника

У зоні І лежать напрямки, що становлять з вертикаллю кути  $\gamma = 70 + 90^\circ$ , у зоні II — напрямки, що становлять кути  $\gamma = 0 + 70^\circ$ .

Для одержання високих значень коефіцієнта використання за яскравістю необхідна можливо більша концентрація світлового потоку в зоні 1, тобто створення в напрямках, що лежать у межах  $\gamma = 70 - 90^\circ$ , можливо більших сил світла світильника. Природно, що в результаті цього сліпуча дія світильників зростатиме й може досягти й перевершити припустимий рівень.

Отже, визначення сили світла в цих напрямках являє собою пошук таких значень, при яких досягається найбільша величина коефіцієнта використання за яскравістю  $\eta_B$  й сліпуча дія не перевершує припустиму.

Кількісну сторону цих обмежень можна визначити наступним шляхом.

Підстановка значення  $S=1,15$  і виразу  $E_{\text{зин}} = \frac{I(\alpha_{0i}, \gamma_i) \cos \theta}{l_i^2}$

у формулу

$$S = 1 + C_\lambda C_L \frac{1}{k_3 L_n} \sum_{i=1}^{10} \frac{E_{\text{зин}i}}{\theta_i^2} \quad (4.1)$$

дозволяє одержати вираз

$$C_\lambda C_L \sum_{i=1}^{10} \frac{I(\alpha_{0i}, \gamma_i) \cos \theta \cdot i}{l_i^2 \theta_i^2} \leq 0,15 L, \quad (4.2)$$

де  $L_n$  — рівень середньої яскравості дорожнього покриття.

Використовуючи вираз (4.2), можна підібрати такі значення сил світла в напрямках зони ( $70^\circ - 90^\circ$ ), при яких сліпуча дія світильників не буде перевершувати рівень, обумовлений величиною  $S=1,15$ .

Розподіл сили світла в зоні II може бути знайдений з умов одержання рівних значень яскравості дорожнього покриття уздовж лінії, що з'єднує проєкції світильників  $O_1O_2$  або будь-якої іншої лінії  $A_1A_2$ , паралельної  $O_1O_2$  і є наслідком перетинання похилої площини, проведеної під кутом  $\alpha_0$  до вертикалі, з площиною дороги (рис. 4.4).

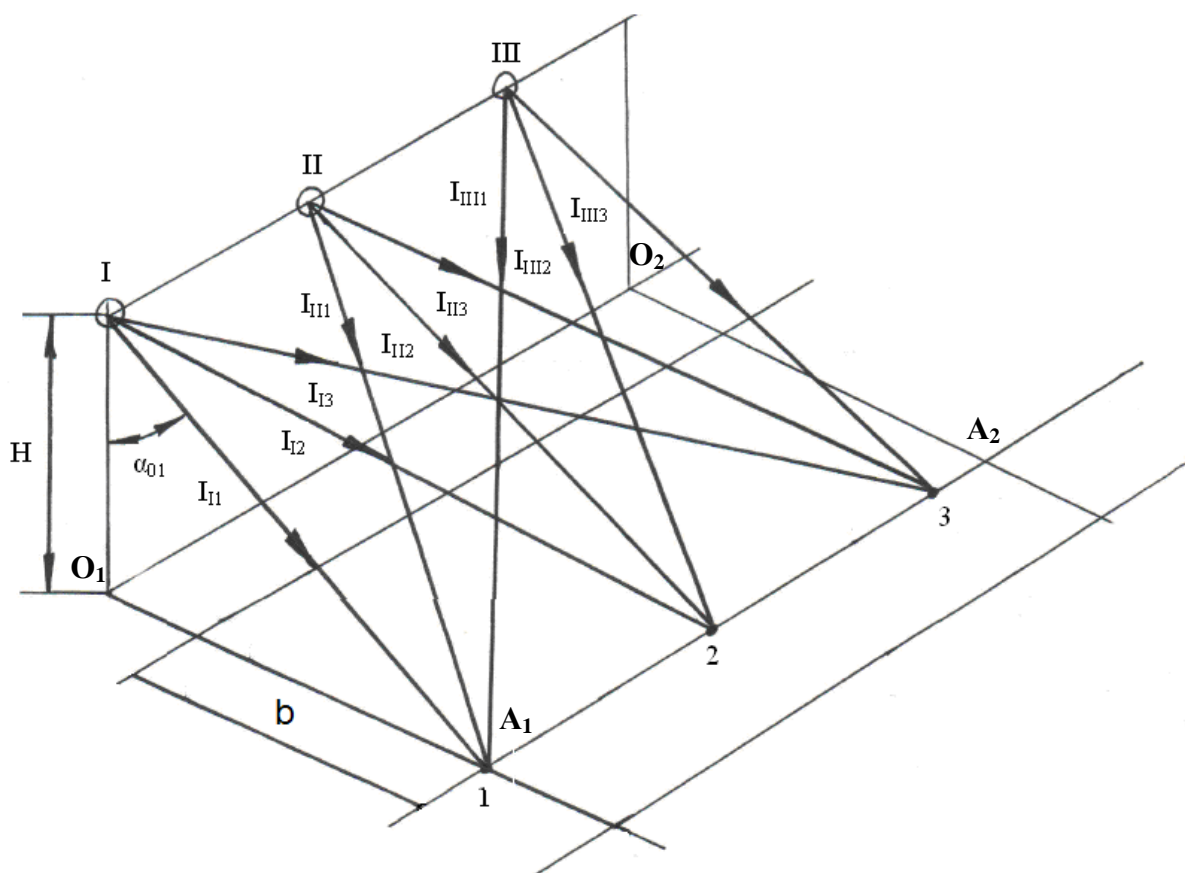


Рис. 4.4 — До визначення сил світла в зоні II

Використовуючи вираз для величини яскравості поверхні дорожнього покриття в деякій його точці

$$L = \sum_{n=1}^n \frac{f(\alpha_0 i, \gamma \cdot i) I(\alpha_0 i, \gamma \cdot i)}{H^2}, \quad (4.3)$$

можна скласти систему рівнянь, в яку ввійдуть як шукані величини значення сил світла світильників у напрямку розрахункової точки. У виразі (4.3)  $n$  — число світильників, дія яких приймається в розрахунок. Наприклад, вибравши в якості розрахункової точку 2 і з огляду на дію трьох світильників (рис. 4.3) одержуємо рівняння

$$I_{I,2} \cdot f(\alpha_0, \gamma_1) + I_{II,2} \cdot f(\alpha_0, \gamma_2) + I_{III,2} \cdot f(\alpha_0, \gamma_3) = c.$$

Аналогічні рівняння можуть бути складені й для точок 1 й 3.

Спільне рішення цих рівнянь дає можливість визначити значення сил світла раціональної кривої світлорозподілу, що забезпечує одержання однакових значень яскравості у всіх розрахункових точках.

У ВНДСІ виконані розрахунки значень сили світла оптимальних кривих світлорозподілу світильників для освітлення вулиць і доріг. Оскільки вимоги одержання заданих значень рівня яскравості, рівномірності її розподілу й сліпучої дії не можна задовольнити, використовуючи при різних співвідношеннях  $d/H$  який-небудь єдиний світлорозподіл, вводять три типових кривих розподілу сили світла вуличних світильників у вертикальній площині, що відповідають міжнародній класифікації (рис. 4.1).

Для забезпечення рівномірного розподілу яскравості по поверхні дорожнього покриття в поздовжньому й поперечному напрямках світловий потік світильників повинен бути сконцентрований у зоні кутів  $\alpha = 30 \div 40^\circ$ , напрямки максимальних значень сили світла повинні визначитися величинами кутів  $\gamma(\text{макс}) = 55^\circ$  — для світильників обмеженого світлорозподілу й  $\gamma(\text{макс}) = 65^\circ$  — напівобмеженого.

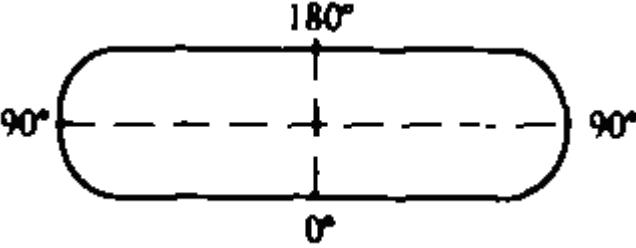
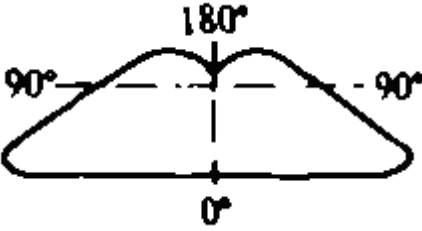
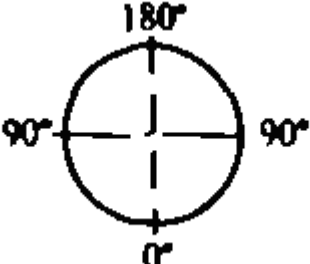
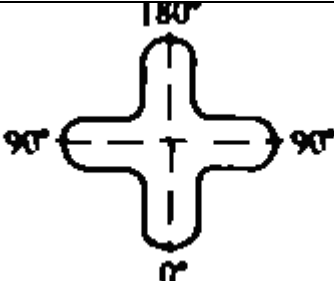
Як зазначалося вище, характеристикою розподілу світлового потоку в бічних напрямках служить крива розподілу сили світла, побудована на поверхні конуса, твірною якого є напрямок  $I_{\text{макс}}$ . З метою зручності подання цю криву дають у проекції на горизонтальну площину й називають кривою світлорозподілу в горизонтальній площині.

Як і характеристики світлорозподілу у вертикальній площині, ці криві типізовані відповідно до запланованого способу використання світильника.

У вітчизняній практиці встановлені чотири типи світлорозподілу в горизонтальній площині, які схематично подані в таблиці 4.2.



**Таблиці 4.2 – Класифікація світильників утилітарного зовнішнього освітлення по світлорозподілу у горизонтальній площині**

Тип кривої сили світла	Зовнішній вигляд КСС в горизонтальній площині	Позначення
Осьова		Ц
Бокова		Б
Кругло-симетрична		КС
Чотири-стороння		П

Ц — несиметричне осьове — світильники для освітлення вулиць і доріг, що встановлюються на осі вулиць і смуг руху;

Б — несиметричне бічне — світильники для освітлення вулиць, площ і доріг, що встановлюються на краю проїзної частини;

КС — симетричне — світильники для освітлення площ і вулиць нижчих категорій;

П — несиметричне чотиристороннє — для світильників, що встановлюються на перехрестях вулиць і доріг.

Іншими важливими, світлотехнічними характеристиками світильника, що залежать від способу його застосування, є величини коефіцієнтів використання світлового потоку джерела світла за яскравістю і освітленістю. Коефіцієнти використання мають ряд значень, кожне з яких відповідає певній величині відношення  $b/H$  або графіку, що виражає цю залежність, подібно до представленого на рис. 4.5.

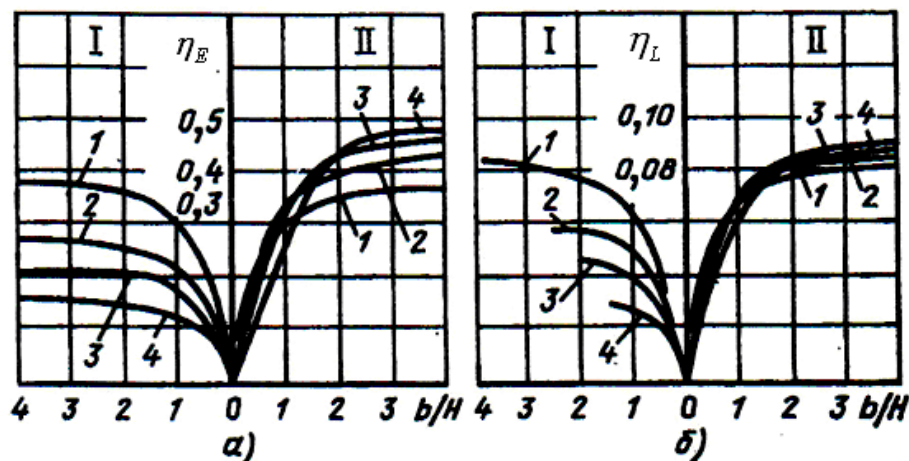


Рис. 4.5 — Залежність коефіцієнтів використання за освітленістю (а) і яскравістю (б) від відношення  $b/H$  для кутів нахилу світильників: 1—0°; 2—10°; 3—20°; 4—30° (I — у бік тротуару, II — у бік проїзної частини)

Для світильників, установлених на консолі, або світильників з несиметричним світлорозподілом, даються два ряди значень або дві гілки графіка  $\eta_E = f(\frac{b}{H})$ .

Зазначимо, що крім світлотехнічної класифікації, ознаки якої розглянуті вище, вуличні світильники можуть бути підрозділені на класи за способом їхньої установки.

Розрізняють світильники:

- підвісні, для підвішування до консолей опор і тросів;
- що вінчають, що є продовженням опори вгору;
- консольні, що є продовженням горизонтальної або похилої консолі.

Вибір того чи іншого способу установки світильника знаходить вираження в конструкції вузла, за допомогою якого здійснюються установка й закріплення світильника, а також у способі й конструктивному виконанні введення проводів.

#### **4.3. Оптичні системи світильників**

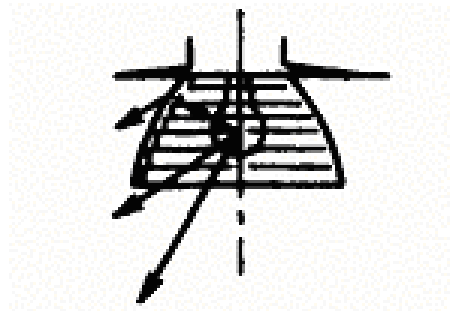
Схема й конструкція оптичної системи світильника зовнішнього освітлення визначаються характеристиками джерела світла, що використовується, і необхідним характером світлорозподілу. Як показує аналіз раціональних кривих розподілу сили світла, максимальна концентрація світлового потоку повинна досягатися в зоні, вісь якої лежить у напрямках, що становлять  $30\text{--}40^\circ$  з вертикаллю. Напрямки, в яких сила світла світильника повинна бути максимальною, утворюють із вертикаллю кути  $65\text{--}75^\circ$ . Обмеження сліпучої дії приводить до необхідності строгої регламентації значень сил світла світильників у зоні кутів  $\gamma=70\text{--}90^\circ$ .

Для досягнення рівномірного розподілу яскравості уздовж дорожньої поверхні величина сили світла повинна певним чином і плавно убувати від максимального до заданого значення при  $\gamma=0^\circ$ . Вище відзначалася необхідність концентрації світлового потоку в зоні  $\alpha=30\text{--}40^\circ$ , що становить особливі ускладнення при використанні джерел світла з циліндричним тілом, що світить.

При побудові оптичних систем вуличних світильників застосовують елементи, що відбивають або заломлюють світло, а також пристрої, в яких поєднується використання цих явищ. У світильниках ці пристрої застосовують для зміни напрямку, а в деяких випадках і форми світлових пучків.

Найпростішим і, разом з тим заломлюючим елементом, що найчастіше використовується, є призма з невеликим, що запобігає виникненню дисперсії, кутом, який переломлює. Застосування призматичних елементів

дозволяє досягати не дуже значних змін напрямку розподілу й геометрії світлових пучків (див. рис. 4.6).



**Рис.4.6 — Формування світлового пучка за допомогою призматичних заломлюючих елементів**

Використання явища заломлення в комбінації з повним внутрішнім відбиттям у склі дозволяє одержати практично будь-яку зміну ходу променів, розсіювання або концентрацію пучка, що розходить, (рис. 4.7), тобто практично будь-який необхідний світлорозподіл.

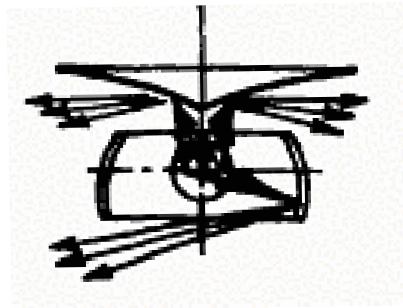


**Рис.4.7 — Формування світлового пучка за допомогою заломлення і повного внутрішнього відбиття**

Комбінації елементів заломлення приводять до можливості одержання несиметричного світлорозподілу. У реальних конструкціях це досягається сполученням горизонтального й вертикального розташування призм. Найбільш точне вирішення цього завдання досягається при застосуванні джерела світла із світним тілом малих розмірів, наприклад, ламп розжарювання.

У випадку джерел світла більших розмірів, таких, наприклад, як лампи ДРЛ, одержання необхідного світлорозподілу за допомогою заломлюючих елементів виявляється не тільки важким, але найчастіше й просто неможливим.

Дія відбивачів, використовуваних у світильниках, заснована на добре відомому законі дзеркального відбиття світла. Форми дзеркальних відбивачів досить різноманітні й ретельний підбір форми дзеркала відповідно до форми, розмірів й положення джерела світла дає можливість здійснити практично будь-який світлорозподіл освітлювального приладу рис. (4.8).



**Рис. 4.8 — Формування світлових пучків при використанні дзеркальних відбивачів**

Слід зазначити, що відхилення форми дзеркала від розрахункової або зміна положення джерела світла щодо дзеркала істотно змінює світлорозподіл світильника. Це явище тим більше помітне, чим менше розмір світлого тіла джерела і чим більше відхилення форми дзеркала від заданої.

Зміна положення джерела світла щодо дзеркала може виникати у процесі експлуатації світильника при заміні ламп, які вийшли з ладу. Ефект до деякої міри ілюструє рис. 4.9.

При побудові світлотехнічних схем вуличних світильників застосовують також комбінації відбиваючих і заломлюючих пристроїв.

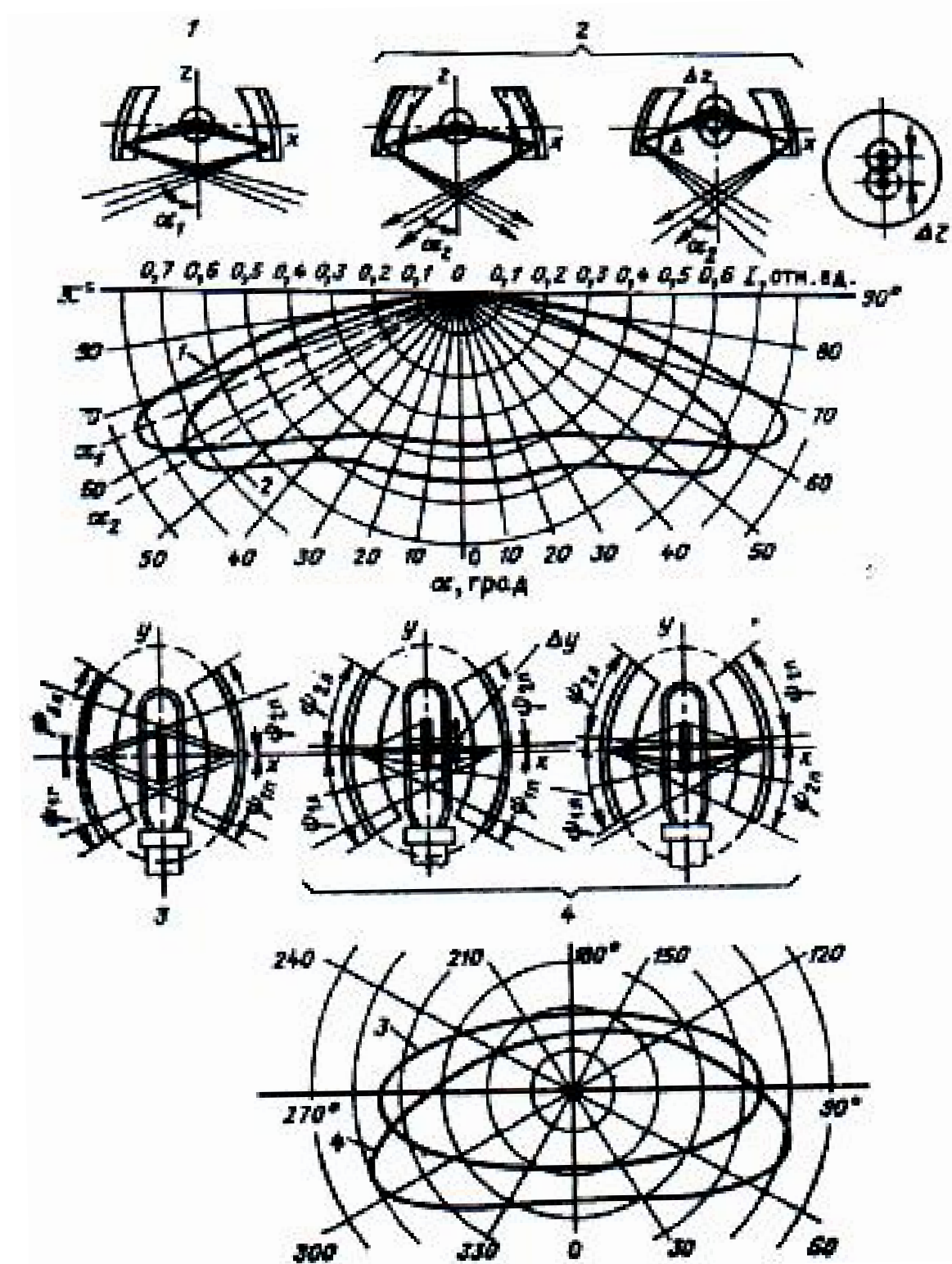


Рис.4.9 — Зміна світлорозподілу світильників

#### **4.4. Конструкції світильників для освітлення вулиць**

Висока ефективність й експлуатаційна надійність світильників зовнішнього висвітлення забезпечуються належною механічною конструкцією і застосуванням відповідних умовам експлуатації матеріалів.

Необхідність високої точності світлооптичних систем впливає не тільки на їхню конструкцію, але й технологію виготовлення.

Зміна світлорозподілу світильників приводить до зміни розподілу яскравості на поверхні дорожнього покриття. Спільна дія всіх факторів, що впливають на світлорозподіл, може бути досить помітною. Відзначене вимагає строгого дотримання форм і параметрів деталей оптичної системи, вузлів і деталей, що забезпечують одноманітне положення джерела світла при виготовленні світильника, при заміні джерела світла, при виконанні будь-яких інших робіт з обслуговування світильника. Вимоги до точності й стабільності світлорозподілу світильників повинні бути визначені з урахуванням способу установки світильника. Справді, найвищі вимоги до точності світлооптичної системи підвісного світильника не забезпечують стабільність його ефективності, хоча б тому, що його положення може змінитися під дією вітру. Так само висока точність світлооптичної системи консольного світильника не буде реалізована в експлуатації, якщо конструкція вузла установки світильника на закінченні консолі не буде забезпечувати необхідну точність положення світильника й збереження цього положення при його використанні й виконанні робіт з обслуговування.

Число конструктивних різновидів вуличних світильників зовнішнього освітлення досить велике.

Незважаючи на очевидні вигоди несиметричного світлорозподілу, невелике число світильників, особливо для ламп невеликої потужності виготовляються круглосиметричними. Світильники цього конструктивного різновиду, що володіють симетричним світлорозподілом, не вимагають

якого-небудь особливого орієнтування щодо освітлюваної поверхні. Круглосиметричні світильники звичайно виготовляють для підвішування і як вінчаючі. Слід зазначити, що у разі застосування високих опор й установки на кожній з них групи світильників, круглосиметричні світильники із симетричним світлорозподілом є цілком раціональними.

Широке застосування опор з консолями, що виносять світильник за краї проїзної частини вплинуло на конструкцію сучасних світильників. У цьому випадку світильник є продовженням і завершенням консолі. На його форму й розміри впливають також вимоги естетичного характеру. Застосування у світильниках цього конструктивного різновиду розрядних ламп високого тиску й розміщення у світильнику ПРА привело до збільшення ваги й розмірів світильників. При використанні консолей великої довжини дія вітру викликає своєрідні й значні навантаження опор і вібрацію як опор, так і світильників. Це змусило звернути увагу на аеродинамічні властивості корпусів світильників і стійкість їхньої конструкції проти дії вібрації.

Загальною вимогою до конструкції вуличних світильників у всіх її різновидах є максимальна пристосованість до умов експлуатації і забезпечення зручності обслуговування. Гвинти, затиски, замки і т.п. повинні бути легко відгвинчуваними й звільнюваними, повинен бути забезпечений максимально простий доступ до тримачів і патронів ламп, пристроїв, що фокусують, і т.п.

Розглянемо окремо деякі елементи й вузли світильників зовнішнього освітлення.

#### **4.4.1. Пристрої для установки й приєднання світильника до мережі**

Ці пристрої призначені для кріплення світильника до опори, кронштейну, підвісу й т. д., забезпечення необхідної орієнтації світильника відносно дороги й збереження заданого світильнику положення протягом йо-



го експлуатації, а також для забезпечення можливості приєднання світильника до електричної мережі.

Конструкція пристрою залежить від способу установки. У разі установки світильника на консолі або увінчання опори пристрій для установки прилаштовують і для введення проводів у світильник. Особливу турботу конструктора викликає пристрій для введення у світильник проводів, що з'єднують його з мережею або пристроями керування роботою. Ввідний пристрій повинен бути ущільненим і захищати порожнину світильника від проникнення в неї вологи й пилу. Причиною виникнення конструктивних ускладнень у цьому разі може бути висока температура в цій області. Це може вимагати застосування проводів з термостійкою ізоляцією і термостійкими матеріалами ущільнення введення.

Останнім часом випускають світильники, що передбачають їх підключення за допомогою штепсельних рознімачів, що істотно полегшує їхній монтаж і заміну елементів.

#### **4.4.2. Ущільнення, вологостійкість, нагрівання**

Тепло, що виділяється джерелом світла при його дії тією чи іншою мірою нагріває інші деталі світильника. Єдиним, практично реалізованим засобом відведення надлишкового тепла є його передача деталями й вузлами світильника навколишньому повітрю. З метою реалізації цього в конструкції світильника повинно бути передбачене вільне обтікання потоками повітря джерела світла, що має місце у відкритих світильниках; улаштування отворів і каналів, що створюють упорядковані, спрямовані потоки охолодного повітря (вентильовані світильники); охолодження світильника із замкнутою порожниною потоками повітря, що омивають його поверхню (невентильовані світильники).

Слід зазначити, що прийнятий у конструкції спосіб охолодження світильника робить істотний вплив на його світлові властивості. Дійсно, зміна величини світлового потоку світильника в процесі його експлуатації внаслідок забруднення значно залежить від ступеня зіткнення його деталей з навколишнім середовищем.

Метою будь-якого способу охолодження світильника є зниження температури його вузлів й елементів до тієї величини, при якій вони здатні ефективно працювати протягом усього терміну експлуатації світильника. Перегрів, або перевищення температури деталі чи вузла світильника над припустимою викликає:

- скорочення терміну служби лампи;
- зменшення світлової віддачі ламп;
- відокремлення колби лампи від цоколя;
- пошкодження і прискорене старіння ізоляції проводів, що перебувають у корпусі світильника;
- пошкодження скляних деталей при дуже твердому кріпленні внаслідок нерівномірності нагрівання і розширення металів і скла.

Розробка й здійснення способів охолодження світильників мають вихідною точкою необхідність зниження робочої температури деталі або вузла до її припустимої величини. Якщо мета виявиться досяжною в конструкції невентильованого світильника, то цим, поряд з нормальним температурним режимом, буде досягнута висока стабільність його світлових характеристик у процесі експлуатації.

Повинні бути взяті до уваги наступні важливі властивості невентильованого світильника. Зробити світильник абсолютно герметичним практично неможливо. Світильники «дихають». Це значить, що після включення лампи тиск повітря, що заповнює порожнину світильника, підвищується через нагрівання його теплом, яке виділяється лампою. У результаті при-

родного вирівнювання тисків у порожнині світильника й у навколишньому середовищі нагріте повітря частково залишає порожнину, використовуючи всі дефекти ущільнення. Після вимикання лампи тиск повітря, що охолоджується, в порожнині світильника виявляється нижче атмосферного і у світильник починає попадати забруднене повітря навколишнього середовища. Оскільки цей процес «дихання» світильника цілком природний, то конструктор повинен, зважаючи на невідворотність процесу, забезпечувати світильник «органами дихання». Найпростішим вирішенням цього питання є вибір матеріалу ущільнювальної прокладки між відділеними одна від одної частинами світильника. Цей матеріал повинен, припиняючи доступ волозі, забезпечувати можливість проникнення повітря. Але разом з течією повітря у світильник буде, у тій чи іншій мірі, проникати пил і волога. Практика конструювання та експлуатації світильників указує на неможливість створення абсолютно стійкого проти вологи й пилу ущільнення, здатного «дихати». За закордонними даними, при ущільненні оптичного відсіку світильника абсорбуючим фільтром світловий потік між чищеннями на 25% вище, ніж без фільтра.

Вимоги до ущільнення щодо його водонепроникності ще більш високі. Волога може проникати через введення, нарізні сполучення та ущільнення багатьох типів. З цього погляду з'єднання, що не рознімають при обслуговуванні й поточному ремонті, доцільно робити на сурику або спеціальних водостійких клеях і замазках.

Вибір матеріалу, визначення форми й розмірів прокладок, що ущільнюють, є одним з відповідальних завдань конструювання світильників. Доцільне застосування (приклеювання) прокладки до однієї з частин, що рознімають. Матеріал прокладки повинен бути міцним і еластичним. Цьому відповідають прокладки з гуми, фетру, повсті й т.п., а також спеціальні фільтри, які затримують пил і гази.

#### 4.4.3. Фокусуючі пристрої

Пристрої, що фокусують, найчастіше вводять в конструкцію сучасного світильника, призначеного для використання ламп різної потужності або типу, або для одержання різних кривих розподілу сили світла від одного джерела. Наявність фокусуючого пристрою істотно ускладнює конструкцію світильника й ставить під загрозу стабільність його світлових характеристик. Справді, ненадійно виконаний пристрій, що фокусує, сам по собі може стати причиною порушення фокусування. Виконання операції фокусування може виявитися ускладненим через ураження частин пристрою корозією або затвердіння змащення, що визначає неточність виконання цієї операції.

Наявність фокусуючого пристрою у світильнику може бути доцільною у разі його використання при реконструкції освітлювальної установки, коли світильники встановлюються на опорах, що використовувалися раніше, певної висоти й кроку.

Пристрій, що фокусує, коли його введення в конструкцію світильника є неминучим, повинен забезпечувати правильні, цілком закономірні переміщення лампи, тобто поздовжнє або вертикальне переміщення рухливого патрона має бути прямолінійним, строго уздовж осі світильника, поворот лампи навколо осі її симетрії не повинен супроводжуватися зсувом її світлового центру з осі світильника. Горизонтальне переміщення дає змогу регулювати перерозподіл світлового потоку залежно від відносної ширини освітлюваної вулиці, а вертикальне дозволяє одержати обмежений або напівобмежений світлорозподіл.

Наявність у світильнику фокусуючого пристрою визначає необхідність пристроїв, що дозволяють визначити правильність положення тіла, яке світить, щодо елементів оптичної системи світильника. Такими пристроями можуть бути мітки на деталях фокусуючого пристрою, покаж-

чики числа оборотів гвинта, що переміщує тримач джерела світла або навіть візирні пристрої.

#### **4.4.4. Стійкість світильників проти вібрації**

Вібрація світильників на опорах може бути більш значною, ніж про це можна припускати, не маючи даних дослідів й спостережень. Особливо значною може бути вібрація світильників, установлюваних на опорах контактної мережі міського електричного транспорту й підвішених до тросів, натягнутими між ними.

Схильність світильників до вібрації висуває вимоги до механічної міцності світильників.

Рух пристроїв підвісу й кріплення світильників щодо тросів і опор, викликаний вібрацією, супроводжується тертям і зношуванням. Це може стати причиною поломки вузлів кріплення світильників і їх падіння. Сказане вище вказує на необхідність застосування в конструкціях вуличних світильників вібростійких типів з'єднання частин, ущільнень і т.п.

#### **4.4.5. Кріпильні деталі світильників**

Кріпильні деталі, стопори, шарніри й т.п. повинні бути, по можливості, простими. Для цього слід використовувати болти й гвинти можливо більшого діаметра, з голівками або барашками, що усувають необхідність застосування інструментів для відгвинчування та загвинчування. Гайки повинні мати конструкцію, що запобігають самовідгвинчуванню. Застосування шайб, що запобігають самовідгвинчуванню, слід вважати мало доцільним через велику ймовірність їх втрати при першому ж використанні (робота на висоті). У конструкціях рознімних з'єднань доцільне застосування болтів, які не випадають, і гвинтів.

Особливої уваги вимагають конструкція і спосіб кріплення знімних елементів світильника, що забезпечують доступ в його порожнину. Конструкція кріплення цих елементів повинна забезпечувати швидке відокремлення деталей від корпусу без застосування інструментів, бути вібростійкою і створювати достатнє, але не надмірне стискальне зусилля.

#### **4.4.6. Матеріали для виготовлення світильників**

Найважливішими проблемами конструювання світильників зовнішнього освітлення є забезпечення найменшої їх вартості й ваги при достатній точності, надійності, стійкості проти корозій і вібрацій. Серед цих проблем суттєвою є вибір матеріалу.

Для виготовлення заломлюючих пристроїв і розсіювачів найбільш широко застосовуються термостійке силікатне скло, полікарбонат світлотехнічного призначення та інші полімерні матеріали. Скло — світлотехнічний матеріал, що давно використовується, володіє рядом достоїнств, які довго зберігають його застосування при виготовленні світлових приладів. Ці достоїнства полягають в дешевизні, термо- й хімічній стійкості, здатності приймати будь-яку форму. Недоліками є значна вага, крихкість і складність механічної обробки.

В останні роки при виготовленні світлових приладів використовують прозорі пластмаси й пластмаси, що просвічуються. Серед них найбільш сприятливими для використання при конструюванні світлових приладів є полікарбонат, поліметилметакрилат, менше силікатне скло. Ці матеріали легко перетворюються у вироби будь-якої форми методами лиття, пресування і екструзії, допускають механічну обробку й легко офарбуються. Вони стійкі до дії води, багатьох кислот і лугів, мають відмінні експлуатаційні характеристики в межах температур від 20° до 120°С, у достатній мірі пожежобезпечні.

Для виготовлення відбиваючих елементів світильників тривалий час використовувалось срібло. У наш час воно практично витіснене алюмінієм високої чистоти, якій володіє високими відбивними властивостями й достатньою хімічною й механічною міцністю.

Прогресивним технологічним процесом виготовлення дзеркальних відбивачів є алюмінівання шляхом випарювання металу у вакуумі. У цьому процесі частки алюмінію осаджуються на покриту лаком поверхню сталевого або алюмінієвого відбивача. Як підкладка можуть використовуватися також скло й пластики. Достоїнством цього процесу є усунення необхідності якої-небудь механічної обробки поверхні відбивача. Часто використовується ще інший широко відомий спосіб — альзак-процес — електрохімічне об'яскравлення чистого алюмінію.

Дешевизна відбивних елементів, виготовлених цими способами, дозволяє ввести в практику застосування змінних елементів цього роду. У певний момент експлуатації відбивний елемент може бути замінений запасним, що продовжує термін служби світильника.

Як матеріали для виготовлення корпусів та багатьох інших деталей світильників сьогодні переважно застосовують сталевий і алюмінієвий прокат, алюмінієві сплави, пластики, холодноштамповані пластмаси з добавкою скловолокна.

Для відсіку ПРА, що піддається великим силовим навантаженням, найчастіше застосовують матеріали, в тому числі чавун, отримані литтям під тиском.

Листова сталь — найбільш дешевий, зручно оброблюваний і стійкий до корозії матеріал.

У ряді конструкцій вітчизняних і закордонних світильників знайшли застосування легкі сплави на основі алюмінію. Це обумовлене можливістю одержання складних і точних форм виробів методами лиття. При виборі

матеріалів цієї групи слід пам'ятати, що деякі сплави мають недостатньо високу стійкість до корозії і вимагають захисту.

Для захисту металевих деталей застосовують хімічні покриття (оцинкування, анодування і т.д.), рідкі й порошкові емалі.

#### **4.5. Вітчизняні світильники зовнішнього освітлення**

Причиною конструювання нових світильників є зміна вимог до освітлення вулиць, поява нових джерел світла, світлотехнічних і конструкційних матеріалів, нових технологічних процесів, а також вимоги естетичного характеру.

Розробка й виробництво світильників здійснюються на спеціалізованих підприємствах. Це дозволяє створювати й випускати світильники необхідного числа типів, певною мірою уніфікованих, раціональне застосування яких дозволяє вирішувати досить різноманітні завдання освітлення міст. Прикладом цього можуть служити серії уніфікованих світильників для розрядних ламп високого тиску типу ДРЛ, ДРИ й ДНаТ, розробка й виробництво яких здійснюються в більшості країн світу, в тому числі в Україні.

Вказані світильники класифікують за типом і потужністю джерела світла, а також за способом установки, вони мають наступні позначення:

РКУ, РСУ, РТУ — консольні, підвісні й вінчаючі для ламп типу ДРЛ;

ГКУ, ГСУ, ГТУ — те ж для металогалогенних ламп типу ДРИ;

ЖКУ, ЖСУ, ЖТУ — те ж для натрієвих ламп високого тиску типу ДНаТ.

Далі в позначенні вказують номер серії (розробки), потужність ламп і кліматичне виконання.



Світильники кожної групи (по способу установки) побудовані за єдиною схемою.

Оптична система більшості консольних і підвісних світильників складається із дзеркального відбивача, форма й розміри якого визначені розрахунком, і захисного скла, що може бути просто прозорим, захищаючим оптичний відсік від зовнішніх впливів. При нанесенні на його поверхню заломлюючих елементів або елементів, що розсіюють, захисне скло може стати частиною оптичної системи. Світильники цих типів можуть виготовлятися і без захисного скла.

#### **Контрольні питання до глави 4**

1. Загальні вимоги до світильників зовнішнього освітлення.
2. Графічне подання кривих розподілу сил світла світильників зовнішнього освітлення.
3. Світлотехнічна класифікація світильників зовнішнього освітлення за формою кривої сили світла.
4. Вимоги до зразкових кривих розподілу сили світла світильника.
5. Класифікація світильників за формою кривої розподілу в горизонтальній площині.
6. Класифікація світильників за способом установки.
7. Побудова оптичних систем світильників зовнішнього освітлення.
8. Питання конструювання світильників зовнішнього освітлення.
9. Пристрої для установки світильників на опорі.

## **Глава 5. ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ**

### **5.1. Міські електричні мережі й мережі зовнішнього освітлення**

Електропостачання міст почало свій розвиток з влаштування пристроїв і електричних мереж, призначених для живлення освітлювальних установок, що переводяться на використання електричних джерел світла. У початковий період застосування електроенергії для освітлення вулиць установки цього призначення в містах були основними споживачами електроенергії, головною метою створення пристроїв розподілу енергії й міських електричних мереж було саме живлення зовнішнього освітлення. Досить високий технічний рівень пристроїв і мереж цього призначення дозволяв використовувати їх для живлення електроенергією також інших споживачів. Швидке зростання побутових і комунальних потреб в електроенергії (особливо для міського електричного транспорту) і неможливість задоволення їх шляхом використання електричних мереж освітлення вулиць привели до поступового створення потужних і досить розгалужених міських мереж так званого загального користування.

Електричні мережі сучасних міст передають і розподіляють енергію в кількостях, що набагато разів переважають розмір споживання енергії установками зовнішнього освітлення. У результаті цього електричні мережі освітлення вулиць і доріг втратили свій колишній самостійний характер і перетворилися в елемент єдиних міських електричних мереж, що задовольняють всі потреби міст в електроенергії.

Особливістю енергопостачання (міст, підприємств та інших об'єктів) у нашій країні є те, що енергетичні компанії відпускають і продають електроенергію безпосередньо в точці її споживання. Це обумовлює особливі характеристики електричних мереж й установок споживачів. Цим, зокрема, пояснюється той факт, що електричні мережі установок зовнішнього освітлення у більшості випадків структурно є груповими лініями. З метою під-

твердження цього розглянемо найбільш просту схему міської електричної мережі.

Енергія виробляється двома електростанціями (ЕС) і за допомогою підстанцій, що підвищують, і двох ЛЕП напругою 110 (35) кВ, з яких одна подвійна, а інша одинарна, передається в місто. Обидві ЛЕП приєднані до шин центральної знижувальної підстанції (ЦЗП). Від ЦЗП, при напрузі 6–10 кВ електроенергія надходить по двох живильних лініях (одинарній і подвійній) до двох розподільних пунктів (РП), від яких відходять лінії розподільної мережі високої напруги з трансформаторними підстанціями (ТП) 6–10/0,4 кВ. Більшість ТП — прохідні, хоча можуть бути доцільними й тупикові ТП. Між РП і тупиковими ТП встановлені (на напругу 6–10 кВ) перемички, які перетворюють розподільну мережу в кільцеву, що істотно підвищує надійність міської електричної мережі. Частина споживачів одержує енергію безпосередньо з шин ЕС.

У містах, які одержують енергію від мереж енергетичної системи (у місті або поблизу немає ЕС), вона лініями електропередачі 110 або 220 кВ підводиться безпосередньо в район споживання (глибоке введення), що істотно скорочує довжину мереж 6–10 кВ і зменшує витрату провідникового матеріалу. Надійність і безперебійність постачання електроенергією в цьому разі забезпечується шляхом прокладки подвійних ліній високої напруги й застосуванням перемичок, що утворюють кільцеві мережі.

Резервування в мережах низької напруги, що є додатковим заходом підвищення надійності електропостачання, досягається шляхом побудови частково або повністю замкнутих мереж і автоматизації їх комутації.

Найбільш просто здійснюється повздовжно-замкнута мережа, в якій дві або більше ТП, що живляться від однієї лінії високої напруги, включаються в загальну ділянку мережі низької напруги. Потужність трансформаторів цих ТП вибирають так, щоб при виході з ладу одного з них інші мог-

ли, із припустимим перевантаженням, продовжувати живлення всієї ділянки низької напруги.

Мережі низької напруги двох суміжних ТП, що живляться різними лініями високої напруги, можуть бути об'єднані в поперечно-замкнуті мережі, з розбивкою на ділянки, що живляться за перехресною схемою. Сполучення цих схем дозволяє створювати складно-замкнуті мережі високої надійності.

Досить високою надійністю відрізняються автоматизовані мережі живлення від комплектних трансформаторних підстанцій, в яких установлюються по два трансформатори, що живляться кожен окремою лінією високої напруги. Трансформатори вибираються так, що в нормальних умовах кожний з них був навантажений до 60% своєї номінальної потужності. При відключенні однієї з живильних ліній високої напруги, або виході з ладу одного з трансформаторів, все навантаження ТП автоматично перемикається на трансформатор, якій залишився справним, він буде працювати із припустимим перевантаженням в 20%. Така надійність електропостачання міських споживачів, а також існуючі в наш час можливості дистанційного і телемеханічного вмикання й відмикання приймачів енергії від її джерел допускають широке використання міських електричних мереж та їхніх трансформаторних підстанцій для живлення освітлювальних установок зовнішнього освітлення. Саме це визначає структуру мереж цих установок, їх схеми, конструкції й методи розрахунку, на відміну від використовуваної в закордонній практиці «незалежної» системи, з окремими лініями високої напруги й трансформаторами для живлення освітлювальних установок доріг і магістралей.

Систему живлення освітлювальних установок зовнішнього освітлення, що використовує міську електричну мережу загального користування, і її ТП, прийнято називати «залежною».

Залежною *роздільною* називають систему живлення освітлювальних установок, що використовує міську електричну мережу високого напруги, до якої приєднуються окремі трансформатори, призначені для живлення тільки пристроїв зовнішнього освітлення. Ця система реалізується лише у великих містах, у випадках значного освітлювального навантаження і економічної виправданості. Її недоліком є ускладнене здійснення заходів резервування на стороні низької напруги.

Залежною *нероздільною* називають систему, в якій для живлення освітлювальних установок зовнішнього освітлення використовують трансформаторні підстанції (і мережі високої напруги) міської електричної мережі.

Високий ступінь централізації і надійності електропостачання міст і населених пунктів, а також економічні міркування, визначили майже виняткове використання нероздільної залежної системи живлення електроенергією установок і пристроїв освітлення міст.

У нероздільній залежній системі низьковольтна мережа зовнішнього освітлення приєднується до шин споживчої напруги трансформаторів міської електричної мережі. Лінії установок зовнішнього освітлення приєднуються до шин трансформаторів через шафи керування, що являють собою контрольно-комутаційні пристрої, за допомогою яких здійснюється живлення освітлювальних приладів електроенергією і керування їх дією.

Таким чином, електричні мережі освітлювальних установок зовнішнього освітлення являють собою, за своєю структурною ознакою, сукупність групових ліній більшої або меншої довжини й потужності.

Групові лінії називають *незв'язаними*, якщо вони призначені для живлення тільки пристроїв освітлення.

*Зв'язаними* називають мережі і лінії, які використовують нульовий провід міської електричної мережі.

*Незв'язана система* застосовується для живлення освітлювальних установок чотирипровідною кабельною, або повітряною мережею, коли потужність освітлювального навантаження перевищує 20% потужності живильного трансформатора, а також у всіх випадках підвищених вимог до надійності освітлення.

*Зв'язана нероздільна система*, тобто система, заснована на використанні нульового провідника міської електричної мережі, застосовується в районах малоповерхової забудови й для живлення пристроїв освітлення окраїнних вулиць великих міст, де міські електричні мережі повітряні й для установки світильників можуть бути використані опори цих мереж.

В освітлювальних установках, у мережах з напругою 380/220 В лампи включають на фазну напругу, тобто між фазними й нульовими проводами. Залежно від потужності установки застосовують наступні схеми ліній (у незв'язаній нероздільній системі):

- один фазний і нульовий провід — при невеликій потужності установки й відсутності необхідності нічного часткового відключення;
- два фазні й нульовий провід — при необхідності нічного відключення половини світильників, залежно від потужності установки;
- три фазні й нульовий провід — при значній потужності установок і необхідності часткового відключення 1/3, 1/2 або 2/3 світильників.

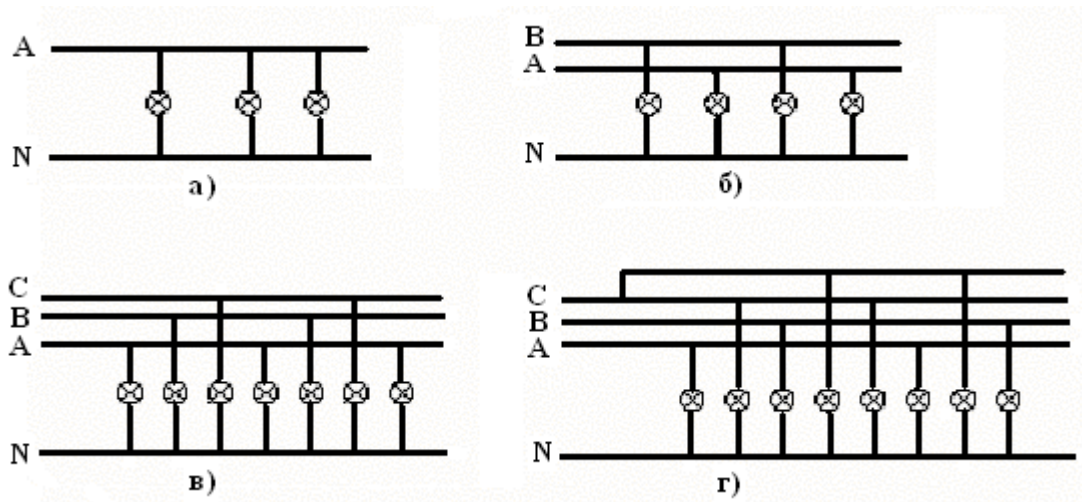
У зв'язаній нероздільній системі, що використовує нульовий провід міської електричної мережі:

- один фазний провід — у випадках, коли потужність освітлювальної установки менше 10% навантаження живильного трансформатора й при відсутності необхідності нічного відключення частини світильників;
- два фазних проводи — у випадках, коли потужність освітлювальної установки більше 10 і менше 20 % навантаження живильного

трансформатора й при необхідності нічного відключення половини світильників;

- три фазних проводи — у випадках значної потужності освітлювальної установки, при необхідності нічного відключення 1/3 або 2/3 світильників, а також при використанні сталевих проводів.

Необхідність часткового відключення світильників в нічні години, а також досягнення рівномірності навантаження окремих фаз мережі приводить до використання схем і порядку включення світильників, показаних на рис. 5.1, як у незв'язаній, так і зв'язаній системах. Схему рис. 5.1,а застосовують у випадках відсутності необхідності в частковому відключенні й забезпечує можливість здійснення одного режиму роботи установки - «все ввімкнено». Схему рис. 5.1,б застосовують у разі необхідності дворежимного використання установки - «все ввімкнено», «ввімкнена половина світильників».



**Рис. 5.1 — Схеми ввімкнення світильників**

Ланцюг, побудований за схемою рис. 5.1,в, допускає здійснення трьох режимів - «все ввімкнено», «ввімкнені 2/3 світильників», «ввімкнена 1/3 світильників».

При необхідності здійснення чотирьох режимів, або навіть відключення половини світильників, що живляться чотирипровідною лінією, вдаються до «розщеплення фази», тобто заміни одного з фазних проводів двома (припустимо, меншого перерізу) (рис. 5.1,г). Мережа, побудована за цією схемою, допускає можливість відключення 1/3, 1/2 або 2/3 світильників. Застосування цієї схеми виявляється можливим тільки у випадку повітряної мережі.

Слід зазначити, що чергування приєднання світильників, обумовлене метою рівномірного розподілу навантаження між фазами мережі ще іншим вимогам. Наприклад, необхідність зробити світильники такими, що не відключаються, які встановлені у перехрестях вулиць, перетинаннях доріг і пішохідних переходах, може вплинути на порядок приєднання світильників, обумовлений вимогами рівномірного розподілу навантаження.

## **5.2. Розрахунок перерізів проводів при рівномірному навантаженні фаз**

Як зазначалося, електричні мережі живлення освітлювальних установок вулиць і доріг — групові лінії значної довжини, з навантаженням, практично рівномірно розподіленим по їх довжині. Розрахунок таких ліній зводиться до визначення перерізу проводів, що забезпечують задану втрату напруги.

У загальному випадку величина втрати напруги в лінії дорівнює:

$$\Delta U = Ir \cos \varphi + Ix \sin \varphi = I(r \cos \varphi + x \sin \varphi), \quad (5.1)$$

де доданки правої частини — втрати напруги в активному й індуктивному опорах проводів лінії.

У випадках, коли індуктивний опір лінії малий в порівнянні з активним, і навантаження характеризується значеннями коефіцієнта потужності, близькими до одиниці, то

$$\Delta U = Ir,$$

оскільки  $Ix \sin \varphi$  навіть при значних  $I$  й  $x$  мале.



Коли лінія двопровідна (лінія постійного струму або однофазна лінія змінного струму), то її опір

$$r = 2r_{np},$$

де  $r_{np}$  — величина опору одного проводу.

Тоді

$$\Delta U = 2Ir_{np}. \quad (5.2)$$

При розрахунках прийнято величину втрати напруги виражати у відсотках від величини номінальної напруги приймача (лінії), тобто вважати

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_H} 100.$$

Величина активного опору проводу:

$$r_{np} = \frac{\rho R}{s},$$

де  $\rho$  — питомий опір матеріалу проводу  $\frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ ;

$l$  — довжина лінії, м;

$s$  — площа перерізу проводу,  $\text{мм}^2$ .

Підставляючи наведені вище вирази для  $\Delta U$  й  $r_{np}$  у рівність (5.2) і розв'язуючи її відносно  $s$ , знайдемо

$$s = \frac{200\rho \cdot l \cdot I}{\Delta U\% U_H}.$$

Помноживши чисельник і знаменник правої частини на  $U_H$  можемо записати:

$$s = \frac{200\rho \cdot I \cdot U_H \cdot l}{\Delta U\% U_H^2}.$$

Тут добуток  $I \cdot U_H$  при коефіцієнті потужності, близькому до одиниці — потужність навантаження. Якщо величина навантаження  $P$  виражена в кВт, то

$$IU_H = P \cdot 10^3.$$

Добуток  $Pl = M$  називають моментом навантаження.

З огляду на це вираз для  $s$  запишемо у вигляді

$$s = \frac{200 \cdot 10^3 \rho M}{\Delta U \% U_H^2}.$$

Позначаючи

$$c = \frac{U_H^2}{200 \cdot 10^3 \rho}$$

і з огляду на те, що лінія може жити кілька приймачів енергії, виразу для  $s$  надаємо вигляду

$$s = \frac{\sum M}{c \Delta U \%}, \quad (5.3)$$

де  $\sum M$  — сума моментів (кВт·м) усіх навантажень лінії.

Вираз (5.3) можна застосовувати і до випадків визначення перерізів фазних проводів чотирипровідної (трифазної з нульовим проводом) і трифазної (дві фазних і нульовий провід) лінії.

Зазначимо, що у всіх випадках  $\sum M$  ( $\sum m$ ) означає суму моментів повного навантаження лінії. Однак тому що у всіх випадках визначається переріз одного фазного проводу, а в розрахунок вводиться повне навантаження лінії, значення коефіцієнта  $c$ , яке вводять у формулу для розрахунку дво-, три- або чотирипровідної лінії, будуть різними.

При розрахунку електричних мереж освітлювальних установок величина навантаження, розподіл навантаження за довжиною лінії, напруги приймачів енергії (лінії) вважаються заданими або визначаються на попередніх етапах проектування.

Найважливішим етапом розрахунку є визначення величини припустимої (розрахункової) втрати напруги  $\Delta U\%$  у проєктованій лінії.

Величина припустимої втрати напруги залежить від розмірів нормованого відхилення (від номіналу) напруги на затискачах трансформатора, на затискачах приймачів і розміру втрат напруги в трансформаторі. В ос-

нову розрахунку будь-яких мереж низької напруги приймається, що напруга на затискачах вищої напруги трансформатора дорівнює номінальній. Напруга холостого ходу трансформатора на стороні низької напруги, при виконанні цієї умови, дорівнює 105% номінальної. Припустима найменша напруга на затискачах приймачів (найбільш віддалених від початку лінії ламп) для вуличних освітлювальних установок вважається (ПУЕ) рівною 95% номінальної. Отже як розрахункова втрата напруги в лінії повинна бути прийнята різниця між повними (розташовуваними) втратами  $U_{xx} - U_{\lambda}$  й втратами напруги всередині трансформатора  $\Delta U_{mp}$ , тобто

$$\Delta U \% = U_{xx} - U_{\lambda} - \Delta U_{mp}$$

або

$$\Delta U \% = 105 - 95 - \Delta U_{mp} = 10 - \Delta U_{mp} . \quad (5.4)$$

Тут  $U_{\lambda}$  — допустима напруга на лампах, В.

Таким чином, знаючи величину втрат напруги в трансформаторі можна визначити припустиму (розрахункову) втрату напруги в проектованій мережі.

Втрати напруги всередині трансформатора, у відсотках від номінальної напруги мережі, задаємо виразом

$$\Delta U_m = \beta (U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi) , \quad (5.5)$$

де  $U_a$  — активна складова напруги короткого замикання трансформатора, %;  
 $U_p$  — реактивна складова напруги короткого замикання трансформатора, %;  
 $\beta$  — коефіцієнт завантаження трансформатора — відношення величини фактичного навантаження до номінальної потужності трансформатора;  
 $\cos \varphi$  — коефіцієнт потужності навантаження трансформатора.

Значення  $U_a$  й  $U_p$  у відсотках від номінальної напруги знаходимо за виразами

$$U_a = \frac{P_k}{P} \cdot 100,$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2},$$

де  $P_k$  — втрати короткого замикання трансформатора при номінальному струмі, кВт;

$P$  — номінальна потужність трансформатора, кВА;

$U_k$  — напруга короткого замикання трансформатора, рівна 4,5% для трансформаторів з напругою до 10 кВ.

Величина втрат короткого замикання трансформаторів наведена в табл. 5.1.

**Таблиця 5.1 – Значення втрат короткого замикання у трансформаторах**

Номінальна потужність трансформатора, кВА	25	40	63	100	160	250	400	630
Втрати короткого замикання, кВт	0,60	0,88	1,28	1,97	2,65	3,70	5,50	7,60

Наведені дані, а також відомості про величину й характер навантаження трансформатора дозволяють визначити величину розрахункової втрати напруги.

Оскільки оцінка режиму роботи трансформатора, тим більше трансформаторів міських електричних мереж у більшості випадків не є точною. Доцільно користуватися таблицею (табл. 5.2) припустимих втрат для трансформаторів найбільш часто застосовуваних потужностей і найбільш імовірних характеристик навантаження.

**Таблиця 5.2 – Найбільші припустимі (розрахункові) втрати напруги в лініях освітлювальних установок від шин ТП до найбільш віддалених ламп**

Потужність трансформатора, кВА	Коефіцієнт завантаження трансформатора	Коефіцієнт потужності сумарного навантаження				
		1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
		Розрахункова втрата напруги, %				
160–250	1,0	8,2	6,6	6,1	5,9	5,6
	0,9	8,4	6,9	6,5	6,3	6,8
	0,8	8,6	7,2	6,9	6,7	6,4
	0,7	8,8	7,5	7,3	7,1	6,8
400	1,0	8,6	6,8	6,3	6,0	5,7
	0,9	8,7	7,1	6,7	6,4	6,1
	0,8	8,8	7,4	7,1	6,8	6,5
	0,7	8,9	7,7	7,5	7,2	6,9
630–1000	1,0	8,7	6,5	5,8	5,5	5,0
	0,9	8,8	6,8	6,2	5,9	5,6
	0,8	8,9	7,1	6,6	6,3	6,0
	0,7	9,0	7,4	7,0	6,7	6,5
1500	1,0	8,9	6,7	5,9	5,5	5,1
	0,9	9,0	7,0	6,3	5,9	5,6
	0,8	9,1	7,3	6,7	6,3	6,1
	0,7	9,2	7,6	7,1	6,7	6,6

Значення припустимих втрат напруги для цієї таблиці отримані розрахунком за формулою (5.4), величина  $\Delta U_m$  знайдена з виразу (5.5).

Оскільки в умовах кожного конкретного завдання значення величин  $P$  і  $U_n$ , що входять у вираз для  $s$ , залишаються постійними, можливо заздалегідь обчислити набір значень  $s$  для мереж різних схем і напруг.

У таблиці (5.3) наводяться значення коефіцієнтів  $s$  для напруг і матеріалів, використовуваних для побудови незв'язаних мереж, тобто мереж з окремим нульовим проводом.

У випадках, коли потужність освітлювальної установки невелика, може виявитися, що переріз мідних або алюмінієвих проводів повітряної лінії, знайдений в результаті розрахунку, не задовольняє вимогам механічної міцності. У таких випадках доцільне застосування сталевих проводів (телеграфного дроту або катанки). Припустимий за втратою напругі переріз сталевих проводів може бути визначений шляхом розрахунку за формулою (5.3). Значення коефіцієнта  $c$  у цьому разі будуть іншими.

Слід додатково зазначити, що асортименти сталевих проводів значно вужче асортименту мідних й алюмінієвих. Внаслідок цього виявляється доцільним попередній вибір перерізу (діаметра) проводів за умовами механічної міцності (залежно від величини кроку опор) і наступне визначення величини фактичної втрати напруги в обраному проводі й порівняння її із припустимою в цьому випадку.

Величину втрати напруги визначаємо за допомогою виразу

$$\Delta U_{cm} = \frac{\sum M}{c \cdot s}, \quad (5.6)$$

де  $c$  — значення коефіцієнта, обране за даними табл. 5.3.

Моменти навантажень, що виражають у кВт·м, визначають у відповідності до схем рис. 5.2. У разі навантаження, рівномірно розподіленою за довжиною лінії, що є типовим для освітлювальних установок, сукупність окремих навантажень  $P$  заміняють зосередженою  $nP$ , прикладеною в центрі розподіленої. Відстань  $\lambda$  від початку лінії до точки прикладання зосередженого навантаження називають приведеною довжиною лінії.

Момент навантаження за рис. 5.2,а дорівнює:

$$\sum M = P \frac{l}{2},$$

для ділянки мережі за рис. 5.2,б:

$$\sum M = P \left( l_1 + \frac{l_2}{2} \right),$$

для ділянки мережі за рис. 5.2,в:

$$\Sigma M = P_1 \left( l_1 + \frac{l_2}{2} \right) + P_2 \left( l_1 + l_2 + l_3 + \frac{l_4}{2} \right).$$

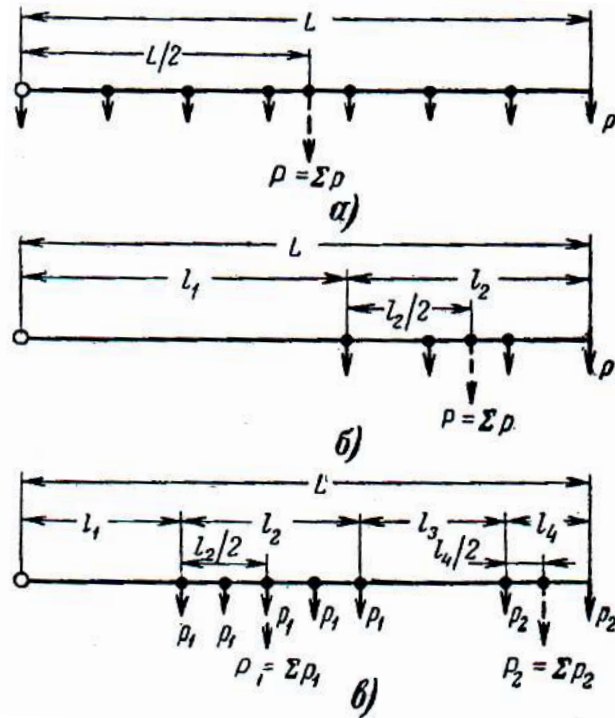


Рис 5.2 — Приклади визначення моментів навантаження

При визначенні величини моментів навантаження ліній, що живлять розрядні лампи, необхідно враховувати втрати енергії в ПРА.

У практиці проектування, з метою спрощення розрахунків, використовують таблиці, в яких для ряду перерізів мідних й алюмінієвих проводів, типу й напруг мережі, а також припустимих втрат напруги дано граничні значення моментів навантаження. Визначення перерізу за допомогою таких таблиць зводиться до підбору його величини, що відповідає припустимій (у цьому випадку) втраті напруги й сумі моментів навантаження, визначеної як вказано вище.

### 5.3. Розрахунок перерізів проводів при нерівномірному навантаженні мережі

У ряді випадків живлення освітлювальних установок вулиць і доріг проектувальники зустрічаються з необхідністю враховувати нерівномірність навантаження проектованої мережі, а також завантаження й пропускну здатність використовуваного нульового проводу міської електричної мережі. Немає сумнівів у тому, що це накладає певні особливості на прийоми розрахунку мереж.

Випадком, що часто зустрічається у практиці, є необхідність розрахунку повітряної лінії, в якій буде використаний нульовий провід вже існуючої міської мережі.

Якщо навантаження лінії вуличного освітлення і навантаження лінії міської мережі, нульовий провід якої передбачається використати в лінії освітлення, рівномірно розподілені між фазами мережі й нульовий провід міської мережі має переріз, рівний перерізу фазних проводів мережі освітлення, то переріз цих проводів визначається за формулою

$$s = \frac{\sum M}{\Delta U \% c} \left( 1 + \frac{ak}{\sqrt{P_{осв}}} \right), \quad (5.8)$$

де  $c$  — коефіцієнт, значення якого вибирають з табл. 5.3;

$a$  — коефіцієнт, що залежить від напруги мережі, перетину нульового проводу й співвідношень величини освітлювального навантаження й навантаження загального користування (значення дані в табл. 5.4);

$k$  — відношення величин навантажень освітлення й загального користування.



**Таблиця 5.3 – Значення коефіцієнта  $c$**

Напруга мережі, В	Число фаз в лінії	Значення коефіцієнта $c$ для мідних й алюмінієвих проводів			
		При окремому нульовому проводі		При використанні нульового проводу мережі загального користування	
		алюміній	мідь	алюміній	мідь
380/220	3	46	77	46	77
	2	20	34	30	51
	1	7,7	12,8	15,3	25,6

**Таблиця 5.4 – Значення коефіцієнта  $a$  для розрахунку перерізу проводів у зв'язаних мережах**

Співвідношення навантажень $k = \frac{P_{yocv}}{P_{on}}$	Співвідношення опору фазного й нульового проводів міської електричної мережі	
	1:1	2:1
	Напруга мережі 380/220 В	
0,05	9,5	18,2
0,10	6,8	13,0
0,20	4,6	9,1
0,30	3,8	7,4
0,40	3,3	6,5
0,50	2,9	
0,60	2,7	
0,70	2,5	
0,80	2,3	
0,90	2,2	
1,00	2,1	

*Примітка:*  $P_{on}$  — величина навантаження лінії міської електричної мережі, нульовий провід якої використовується для живлення вуличних освітлювальних установок.

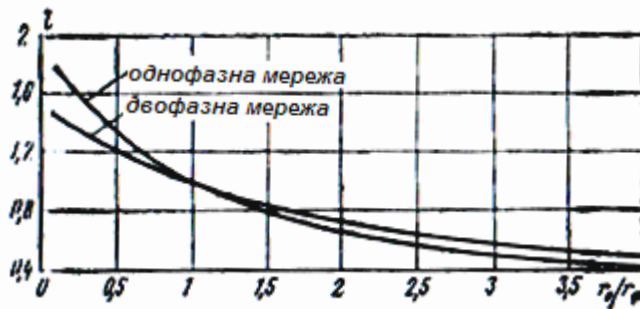
У міських електричних мережах нульовий провід може виявитися навантаженим струмами, що виникають через порушення симетрії навантаження загального користування. Для того, щоб забезпечити певні значення напруги на затискачах найбільш віддалених ламп, необхідно, при можливості навантаження нульового проводу, збільшити переріз фазного. Розмір цього збільшення визначається другим додатком виразу (5.8) і залежить від напруги мережі, величини освітлювального навантаження і її співвідношення з величиною навантаження загального користування.

Якщо переріз нульового проводу міської мережі відрізняється від перерізу фазного проводу освітлювальної мережі, то в значення  $c$  вводиться виправлення  $l$ , величина якого визначається за допомогою графіка рис. 5.3. У розрахунок вводиться коефіцієнт  $c' = cl$ , де  $c$  — значення коефіцієнта, взяте з таблиць.

На графіку рис. 5.3  $r_0/r_\phi$  — відношення величин опорів нульового проводу міської мережі й фазного проводу мережі зовнішнього освітлення. Порівняння даних табл. 5.3 й 5.5 показує, що значення з табл. 5.5 за винятком трифазної мережі, дещо вище, ніж відповідні їм значення, взяті з табл. 5.3. Пояснюється це наступним. Навантаження трансформаторів і міських електричних мереж, створюване пристроями зовнішнього освітлення, завжди нижче, ніж навантаження іншими приймачами. Тому переріз проводів розподільчих ліній низької напруги міських електричних мереж майже завжди більше перерізів проводів освітлювальної мережі.

Часто може виявлятися, що переріз нульового проводу міської мережі більше, ніж переріз фазних проводів двофазної або однофазної мережі зовнішнього освітлення. У цих випадках, коли нульовий провід працює в освітлювальній мережі так само, як фазний і не проводить струму навантаження загального користування (внаслідок його рівномірності) виникає можливість зменшення перерізу фазних проводів освітлювальної мережі.

Це добре підтверджується даними графіка рис. 5.3. Коли опір нульового проводу менше опору фазного, переріз фазного проводу можна зменшити введенням виправлення  $l > 1$ , якщо  $r_0 > r_\phi$  — переріз фазного проводу збільшується введенням виправлення  $l < 1$ .



**Рис. 5.3 — Графік для визначення виправлення  $l$ , що враховує відмінність перерізу нульового проводу від перерізу фазних проводів мережі зовнішнього освітлення**

Необхідність зіставлення перерізів нульового й фазного проводів до розрахункового визначення перерізу фазного, вказує на те, що завдання розрахунку перерізу проводів зв'язаної мережі може бути вирішено методом послідовних наближень. Наприклад, спочатку знаходять переріз фазного проводу, припускаючи, що він однаковий з перерізом нульового (значення  $s$  беруть з табл. 5.5), після цього, визначаючи  $r_0/r_\phi$ , вводять виправлення й знову обчислюють величину  $s$ .

При проектуванні електричних мереж освітлювальних установок не завжди може бути знайдено рішення рівномірного розподілу навантаження. Більше того, необхідність часткового відключення світильників може переводити рівномірно навантажену мережу в режим нерівномірного навантаження фазних проводів. У цьому разі виникає необхідність перевірки працездатності мережі в такому режимі, що полягає у визначенні величини втрат напруги в проводах.

Розглянемо трифазну мережу, чисто активне навантаження якої нерівномірно розподілене між фазами (рис. 5.4). У фазних проводах протіка-

ють струми  $I_1$ ,  $I_2$  й  $I_3$ , у нульовому проводі виникає зрівняльний струм  $I_0$ . Струм  $I_0$  викликає спад напруги в нульовому провіднику, величина якого

$$\Delta U_0 = I_0 r_0 = I_1 r_0 + I_2 r_0 + I_3 r_0.$$

Цей спад напруги змінює величину спаду напруги в кожному з фазних проводів.

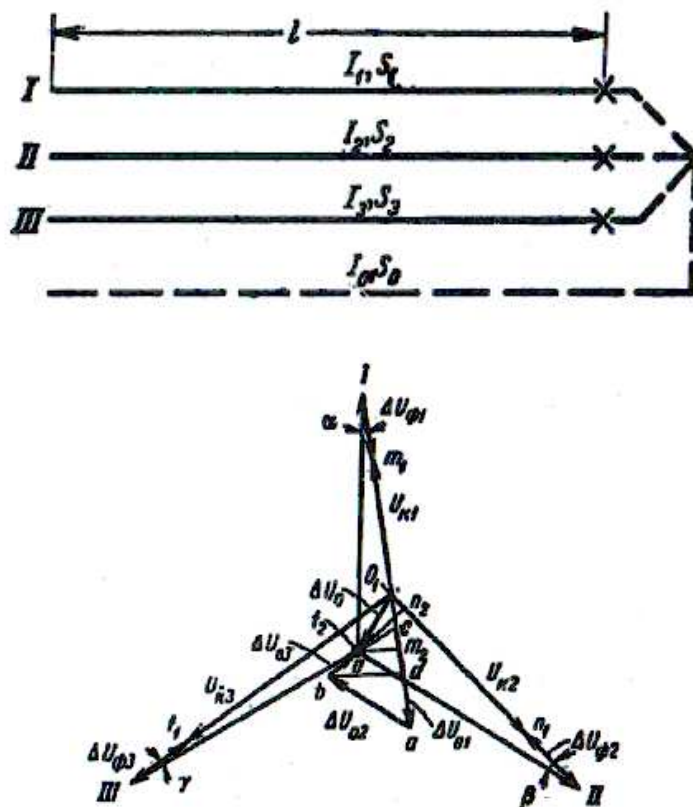


Рис. 5.4 — До розрахунку трифазної мережі з нерівномірним навантаженням по фазах

Розглянемо векторну діаграму цього ланцюга. Відрізки  $OI$ ,  $OII$  й  $OIII$  зображують фазні напруги джерела живлення мережі (фазні напруги на затискачах трансформатора). У результаті спаду напруги в нульовому проводі нульова точка навантаження  $O_1$  виявиться зміщеною відносно  $O$ . Відрізок  $OO_1$  зображує спад напруги  $\Delta U_0$  в нульовому проводі. Відрізками  $O_1I$ ,  $O_1II$ , і  $O_1III$  зображені суми фазних напруг на затисках приймача й втрат напруги  $\Delta U_{\phi 1}$ ,  $\Delta U_{\phi 2}$  і  $\Delta U_{\phi 3}$  у фазних проводах, обумовлених стру-

мом навантаження фази. Повна втрата напруги в кожному з фазних проводів буде складатися з величини спаду напруги у фазному проводі, обумовленого струмом цієї фази, і спадом напруги в нульовому проводі, викликаним цим же струмом.

Наприклад, для першої фази

$$\Delta U_1 = \Delta U_{\phi 1} + \Delta U_0 \cos \alpha ,$$

де  $\Delta U_{\phi 1}$  — втрата напруги в першому фазному проводі, обумовлена струмом  $I_1$ ;

$\Delta U_0 \cos \alpha$  — втрата напруги в нульовому проводі, викликана струмом першої фази.

З векторної діаграми видно, що ця втрата визначена як проекція вектора повного спаду напруги в нульовому проводі на напрямок  $O_1I$ , що є напрямком векторів напруги й струму першої фази.

Визначимо  $\Delta U_0 \cos \alpha$  і  $\Delta U_{\phi 1}$ .

Вектор повного спаду напруги в нульовому проводі може набути розкласти на складові  $U_{01}$ ,  $U_{02}$ , і  $U_{03}$ , спрямовані уздовж векторів струмів кожної фази, тобто уздовж напрямків  $O_1I$ ,  $O_1II$ , і  $O_1III$ . Ці складові — часткові спади напруги в нульовому проводі, викликані струмами першої, другої і третьої фаз.

Сума  $\dot{\Delta U}_0 = \dot{\Delta U}_{01} + \dot{\Delta U}_{02} + \dot{\Delta U}_{03}$  на векторній діаграмі представлена чотирикутником  $O_1cdO$ , розгляд якого вказує, що

$$O_1d = Oc + bc + ab$$

або

$$\Delta U_0 \cos \alpha = \Delta U_{01} - \Delta U_{02} \cos \beta - \Delta U_{03} \cos \gamma .$$

Через малість  $\Delta U_0$  у порівнянні з величиною фазної напруги можна вважати, що  $\beta = \gamma = 60^\circ$ , що дає право записати:

$$\Delta U_0 \cos \alpha = \Delta U_{01} - \frac{1}{2}(\Delta U_{02} + \Delta U_{03}).$$

Таким чином, повна втрата напруги в першому фазному проводі:

$$\Delta U_1 = \Delta U_{\phi 1} + \Delta U_{01} - \frac{1}{2}(\Delta U_{02} + \Delta U_{03}).$$

Міркуючи аналогічно, можна написати вирази для втрат напруги у двох інших фазах:

$$\Delta U_2 = \Delta U_{\phi 2} + \Delta U_{02} - \frac{1}{2}(\Delta U_{01} + \Delta U_{03}),$$

$$\Delta U_3 = \Delta U_{\phi 3} + \Delta U_{03} - \frac{1}{2}(\Delta U_{01} + \Delta U_{02}),$$

Виражаючи навантаження у кВт і використовуючи вирази

$$\Delta U_{\phi i} = \frac{\sum M_i}{c s_i}$$

і

$$\Delta U_{oi} = \frac{\sum M_i}{c s_0},$$

де  $\sum M_i$  — сума моментів навантаження  $i$ -ї фази, кВт·м;

$s_i$  — площа перерізу проводу  $i$ -ї фази, мм<sup>2</sup>;

$s_0$  — площа перерізу нульового проводу, мм<sup>2</sup>.

одержимо значення повної втрати напруги у фазних проводах  $\Delta U_1$ ,  $\Delta U_2$  і  $\Delta U_3$ .

Значення коефіцієнта

$$c = \frac{U_\phi^2}{10^5 \rho}$$

наведені в табл. 5.5.

**Таблиця 5.5 – Значення коефіцієнта  $c$**

Напруга мережі, В	$c$	
	Мідні проводи	Алюмінієві проводи
380/220	25,6	15,5

Отриманий результат дозволяє виконати тільки контроль розмірів втрати напруги, що виникає в результаті асиметрії активного навантаження ланцюга, перерізи проводів якої задані або визначені раніше на основі якихось інших міркувань. Розгляд випадку нерівномірного індуктивного навантаження виявляється набагато складнішим.

Необхідність вирішувати завдання розрахунку нерівномірно навантажених мереж приводить до використання наближених формул. В основу їх побудови приймають наступні міркування. При нерівномірному розподілі навантаження між фазами мережі навантаженим виявляється нульовий провід, в якому також відбуваються втрати напруги. Для того, щоб втрата напруги у всіх проводах мережі не перевищила припустимої, необхідно дещо збільшити переріз фазних. Очевидно, що розмір цього збільшення залежить від ступеня асиметрії навантаження лінії освітлювальної мережі, співвідношення величин навантаження освітлювальних пристроїв та інших приймачів, від напруги мережі й перерізу нульового проводу.

Практика проектування і експлуатації електричних мереж установок зовнішнього освітлення показала доцільність вибору перерізів проводів нерівномірно навантажених мереж за величиною найбільшого фазного навантаження.

Розрахунок перерізів проводів ведуть за формулами

- трифазна чотирипровідна лінія з окремим нульовим проводом

$$s = \frac{3M}{\Delta UC} (1 + K_{nc} \cdot m \cdot \epsilon) \quad (5.9)$$

- двофазна трипровідна лінія з окремим нульовим проводом:

$$s = \frac{2M}{\Delta UC} (1 + K_{nc} \cdot m \cdot \epsilon) \quad (5.10)$$

- трифазна лінія з використанням нульового проводу міської електричної мережі

$$s = \frac{3M}{\Delta UC} \left( 1 + \frac{aK}{\sqrt{P_{yocv}}} + K_{nc} \cdot m \cdot \epsilon \right) . \quad (5.11)$$

Тут  $M$  — сума моментів навантажень найбільш навантаженого фазного проводу лінії зовнішнього освітлення, кВт·м:

$\epsilon$  — коефіцієнт, що залежить від співвідношення навантажень фазних проводів. Значення  $\epsilon$  наведені в табл. 5.6;

$m$  — співвідношення опорів нульового й фазного проводів;

$K_{nc}$  — коефіцієнт несиметрії фазних навантажень.

Значення коефіцієнта несиметрії визначають за допомогою графіка рис. 5.5.

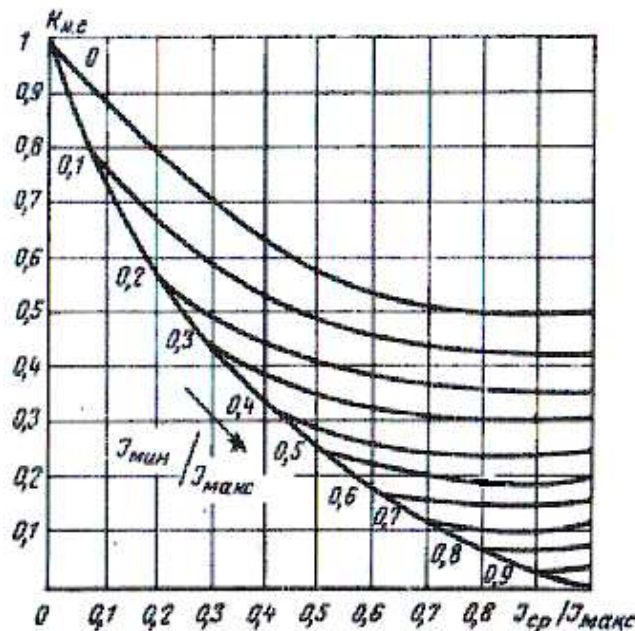


Рис. 5.5 — Для визначення коефіцієнта несиметрії навантаження



**Таблиця 5.6 – Значення коефіцієнта  $\epsilon$**

Число фаз у лінії напругою 380/220 В	Співвідношення навантажень у фазах, %			Коефіцієнт $\epsilon$
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	
3	100	0	0	1
	100	0	25	1,2
	100	0	50	1,3
	100	0	75	1,4
	100	0	100	1
	100	25	25	1.5
	100	25	50	1,6
	100	25	75	1,7
	100	25	100	1,1
	100	50	50	2
	100	50	75	1,9
	100	50	100	1,2
	100	75	75	2,5
	100	75	100	1,3
	100	75	100	1,3
	100	75	100	1,3
2	100	0	-	1
	100	25	-	1,2
	100	50	-	1,3
	100	75	-	1,4
	100	100	-	1

#### **5.4. Влаштування електричних мереж зовнішнього освітлення**

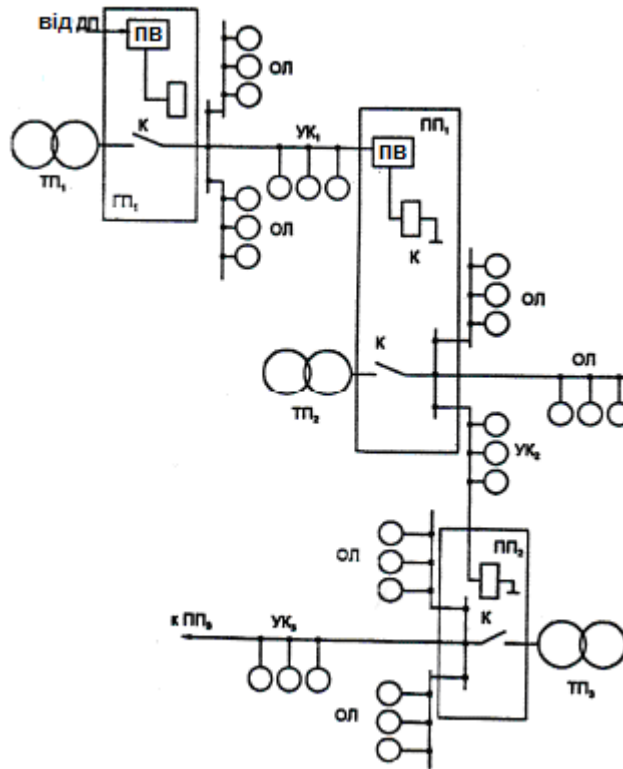
Особливості режимів використання і обслуговування освітлювальних установок виключають можливість глухого приєднання ліній, що живлять ці установки, до шин трансформаторних підстанцій міських електри-

чних мереж. Справді, установки повинні повністю відключатися на світлий час доби, необхідне можливість часткове відключення в нічні години, і, нарешті, ввімкнення освітлення вдень з метою контролю стану установок. Ці операції не можуть бути виконані без застосування схем комутації і комутаційної апаратури. Відповідно до ПУЕ ця апаратура, доступ до якої повинен мати персонал, який обслуговує зовнішнє освітлення, не може бути змонтована у приміщенні ТП міських мереж.

Цими міркуваннями обґрунтовується необхідність у спеціальному комутаційному пристрої, що з'єднує лінії освітлювальних установок з шинами низької напруги міських ТП. Такий комутаційний пристрій, оснащений необхідними приймальними елементами, є, разом з тим, виконавчим пунктом системи дистанційного керування. Цей пристрій домовимося називати головним пунктом живлення (ГП). При каскадному з'єднанні ланцюга керування наступні пункти живлення не мають виконавчих пристроїв системи телекерування. Котушки їх комутаційних апаратів отримують живлення лінії освітлення попереднього щабля каскаду. Для позначення цього різновиду комутаційних пристроїв приймемо назву "проміжний пункт живлення" (ПП) (див. рис. 5.6).

Як такі пристрої можуть бути використані виготовлювані промисловою шафи керування того або іншого призначення, які повинні бути піддані тій чи іншій реконструкції при використанні в мережах вуличного освітлення.

В Україні застосовують централізованого виготовлення універсальні шафи управління типу И-710, схеми й апаратури яких спеціально призначені для приєднання до джерела живлення і керування дією установок зовнішнього освітлення.



**Рис. 5.6 — Каскадна схема живлення й керування зовнішнім освітленням**

Шафа допускає приєднання трьох кабельних або повітряних чотирипровідних ліній 380/220 В з навантаженням до 100 А в кожному з фазних проводів. Схема й апаратура головних пунктів забезпечують можливість часткового відключення, обліку електроенергії, що витрачається, і керування дією освітлення вручну, або автоматично за допомогою реле часу, дистанційно або за допомогою системи телекерування. Шафа керування, пристосована до установки на вертикальній стіні або горизонтальній опорній поверхні, монтується безпосередньо або можливо ближче до ТП, завдяки чому лінія, що з'єднує його затискачі із шинами ТП, є, скоріше, короткою перемичкою, ніж живильною лінією, що дозволяє розглядати електричні лінії освітлювальних установок як групові.

При виконанні шафою И-710 функцій головного пункту живлення в ньому встановлюють пристрій ПВ — "Пункт виконання" — осередок системи телекерування УТУ-4 або аналогічна системи ТНО. Осередок ПВ має

зв'язок з пультом керування за допомогою провідної, як правило, телефонної лінії, що абонується у міських АТС. Пристрій ПВ в шафі И-710 підключається до полюсів ліній, що відходять, з метою контролю стану кожного проводу, що відходить, за напругою, а також передає сигнали керування котушкам контакторів нічного КН і вечірнього КВ режимів.

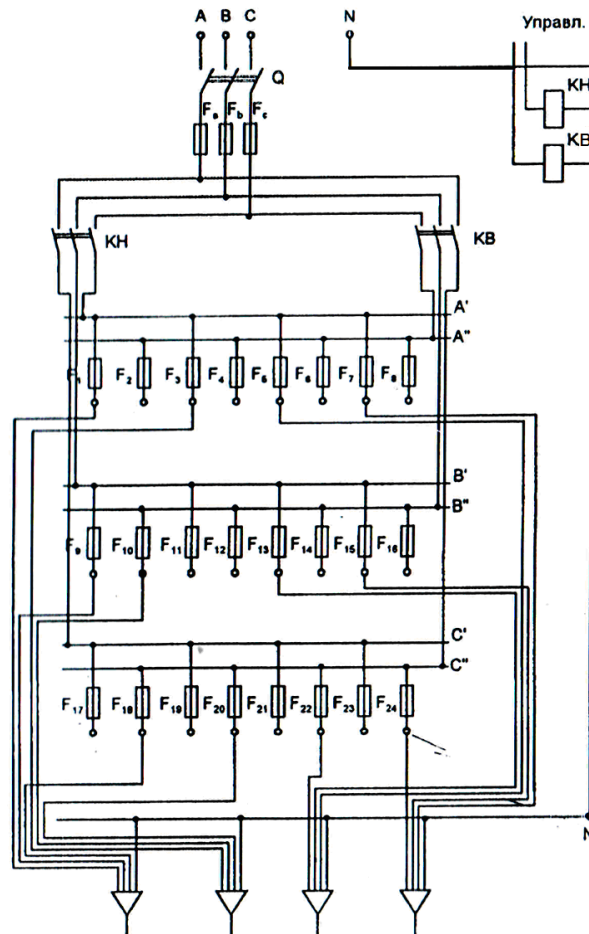
При установці шафи И-710 на проміжному пункті живлення осередок ПВ в шафі відсутній. Котушки контакторів нічного й вечірнього режимів підключені до нічної й вечірньої фаз керування каскаду. Контроль стану ліній, що відходять, у цьому разі відсутній.

На рис. 5.8 наведена схема розподільчої частини шафи з подвійною системою шин. Фазні проводи живильної мережі *ABC* через запобіжники *FA*, *FB*, *FC* підключені до лінійних полюсів контакторів нічного КН і вечірнього КВ режимів. Навантажувальні полюси контактора КН з'єднані з розподільними шинами *A'*, *B'*, *C'*, а контактори ВН — із шинами *A''*, *B''* і *C''*. лінії, що відходять, підключені до розподільних шин через запобіжники.

Лінії електричних мереж установок зовнішнього освітлення можуть бути повітряними й кабельними.

Кабельні лінії відзначаються високою надійністю і вимагають менших трудових і матеріальних витрат на обслуговування, ніж повітряні. Освітлювальні установки з кабельними лініями більш естетичні й можуть бути зроблені відповідно до архітектурних особливостей освітлюваних вулиць і площ. Кабельні лінії виконуються одним перерізом по всій довжині (у межах однієї лінії) за системою «вхід-вихід» з повним обробленням кабелю в цоколі кожної опори або із застосуванням трійникових муфт без розрізування жил кабелю. На відгалуженнях від кабельного входу до світильників у кожній опорі встановлюють запобіжники або автоматичні вимикачі. Виконання лінії однаковим перерізом кабелю по всій її довжині забезпечує можливість резервування пристроєм нормально відключених перемичок між сусідніми ділянками ліній магістральних вулиць і площ.

Резервування кабельних ліній виявляється необхідним, тому що ремонт їх більш трудомісткий і тривалий, ніж ремонт повітряних ліній. Для ліній освітлювальних установок кращим є використання кабелів з усіма чотирма жилами однакового перерізу.



**Рис. 5.8 — Схема шафи з подвійною системою шин**

Повітряні лінії живлення освітлювальних установок вулиць і доріг виконують відповідно до вимог ПУЕ до влаштування повітряних ліній напруженою до 1000 В.

Найменша відстань від опор до проїзної частини вулиці або дороги повинна бути не менше 0,6 м від лицьової грані бордюрного каменю. Цю відстань на середквартальних вулицях допускається зменшувати до 0,3 м за умови відсутності регулярного вантажопасажирського руху, в інших ви-

падках опори повинні розташовуватися так, щоб вони не заважали руху транспорту й пішоходів. З метою зменшення захаращеності вулиць при перетинанні вулиць повітряними лініями з кроком опор менше 40 м, допускається не застосовувати анкерні опори і подвійне кріплення проводів.

Провода ліній незв'язаної системи підвішують на опорах, що несуть світильники. Крок опор визначається й задається світлотехнічним розрахунком. Це приводить до необхідності перевірки перерізів проводів, знайдених електричним розрахунком, на механічну міцність.

На вулицях з багатоповерховою забудовою, при не дуже значній ширині проїзної частини, застосовують підвіску світильників на тросах, що перетинають вулицю. Відповідне врахування збільшення навантаження на трос від підвішування до нього проводів дозволяє прокласти лінію, що живить світильники, на несучих тросах. Освітлювальні установки, світильники й лінії живлення які підвішують і прокладають на поперечних тросах, вимагають найменших капітальних витрат і характеризуються простотою обслуговування, оскільки для доступу до них можуть бути використані телескопічні підйомники, найбільш дешеві й доступні з існуючих.

Правилами влаштування електроустановок допускається установка світильників і підвішування проводів системи освітлення на опорах повітряних ліній міської електричної мережі. У цьому разі для живлення освітлювальних пристроїв використовують лише нульовий провід міської мережі. Фазні проводи цих мереж підвішують нижче фазних проводів міської електричної мережі й вище нульового загального проводу. ПУЕ вимагають заземлення фазних проводів освітлювальної мережі після відключення. Ця вимога обумовлена небезпекою для експлуатаційного персоналу, що виконує роботи на відключеній освітлювальній лінії, тому що обірвані проводи міської мережі, яка перебуває під напругою, передадуть його освітлювальній лінії, що викличе запалення ламп і небезпеку враження струмом працюючих на лінії.

ПУЕ допускають використання металевих і залізобетонних опор контактної мережі міського електричного транспорту для установки світильників вуличного освітлення і прокладки мереж їх живлення. При цьому щоб уникнути попадання напруги контактної мережі в мережу освітлення, проводи й кабелі, комутаційні пристрої, а також самі світильники повинні бути ізольовані від опор і несучих конструкцій контактної мережі. Кабелі на відстані двох метрів від опори повинні бути прокладені в трубах з ізолюючого матеріалу (наприклад, асбоцементних), а проводи, що йдуть до світильників усередині опор, повинні мати ізоляцію, розраховану на напругу до 1000 В змінного струму й захисну оболонку. Допускається також провідку всередині опор виконувати кабелем. При напрузі контактної мережі до 600 В і при її подвійній ізоляції щодо опор, допускається не ізолювати світильники від опор або несучих конструкцій.

Металеві конструкції освітлювальної мережі на залізобетонних опорах контактної мережі (консолі, кронштейни, хомути й т.п.) повинні бути заземлені.

### **5.5. Захист електричних мереж зовнішнього освітлення**

У процесі експлуатації установок зовнішнього освітлення можливі аварійні ситуації в електричних мережах, пов'язані з проходженням струмів, які перевищують номінальні струми ліній. При наявності таких ситуацій мережа повинна автоматично відключатися за допомогою захисних апаратів — запобіжників або автоматичних вимикачів. У найпоширеніших в Україні шафах керування зовнішнім освітленням як апарати захисту застосовують запобіжники, встановлювані на всіх лініях, що відходять. Принцип дії запобіжника полягає в перегорянні його металевої плавкої вставки при проходженні через нього струму більше певного номінального значення, на яке калібрована вставка.

При використанні інших розподільних пунктів як шаф керування в них можуть застосовуватися для захисту ліній, що відходять, автоматичні вимикачі (автомати), які мають наступні, що обернено залежать від струму, тимчасові характеристики розчіплювачів:

- теплові нерегульовані;
- комбіновані (теплові й електромагнітні) нерегульовані;
- комбіновані (теплові й електромагнітні) регульовані.

Відключення автомата відбувається при проходженні через теплове реле або котушку електромагнітного розчіплювача струмів, що перевищують струм спрацьовування розчіплювача.

Відгалуження до світильників повинні захищатися індивідуальними запобіжниками або автоматами, якщо захисний апарат на пункті живлення захищає лінію, до якої приєднано більше 20 світильників на фазу.

На відгалуженнях від кабельного уведення до світильників у цоколі кожної опори треба встановлювати запобіжники або автомати.

У лініях, що живлять світильники з розрядними лампами, номінальний струм плавкої вставки повинен бути не менше 1,25 величини робочого струму, а вставка автомата з тепловим або комбінованим розчіплювачем — не менше 1,5 величини робочого струму.

## **5.6. Спеціальні схеми й конструкції електричних мереж зовнішнього освітлення**

Особливості електропостачання міста можуть приводити до необхідності застосування досить специфічних і різноманітних систем живлення установок зовнішнього освітлення.

У ряді міст західноєвропейських країн знаходить застосування незалежна система живлення освітлювальних установок вулиць і доріг. Наприклад, у невеликих містах, з населенням 100–200 тис. жителів для живлення



пристроїв освітлення вулиць установлюють 2–3 трансформатори по декілька сотень кВА на напругу 20/3,3 кВ. Групові лінії приєднують до трансформаторів потужністю 0,5–5 кВА, на напругу 3300/220 В, установлюваних у бетонних контейнерах в основі опор. Кожен трансформатор живить групу, що складається з 4–12 світильників.

Таким чином, розглянута система живлення зовнішніх освітлювальних пристроїв складається з невеликої групи трансформаторів, приєднаних до мережі загального користування, що живлять ліній напруги 3300 В, і трансформаторів споживчої напруги, до яких приєднані групові лінії. Ця система дає змогу досягати значної економії провідникового матеріалу й істотно спрощує схему, апаратуру й знижує витрати, пов'язані з керуванням дією пристроїв освітлення.

Значний вплив на схему й техніку живлення пристроїв освітлення може зробити конструктивний принцип освітлювальної установки. За кордоном часто застосовується поздовжньо підвісна система освітлення. Вона використовується для освітлення швидкісних автомобільних доріг, зокрема, окружних (розвантажуючих вулиць міста) транспортних магістралей.

При використанні цієї системи залізобетонні опори висотою 15–20 м установлюють на розділовій смугі дороги з кроком  $D = 60\text{--}90$  м. Через вершини опор проходить несучий трос, до якого підвішують кабель високої напруги й горизонтальний фіксуючий трос, що проходить на висоті 12–16 м, що несе світильники й кабель низької напруги, до якого вони приєднуються. Напруга живильної (верхньої) лінії — 3,3 кВ, для живлення ламп ця напруга трансформується до рівня 380/220 В за допомогою трансформаторів, установлюваних в основі опор на відстані близько 500 м один від одного. Кожен трансформатор живить дві лінії, що відходять від нього в обох напрямках.

### **Контрольні питання до глави 5**

1. Загальні схеми електропостачання міст і населених пунктів.
2. Поздовжньо- і поперечно-замкнуті мережі, питання надійності електропостачання.
3. Системи живлення освітлювальних установок зовнішнього освітлення.
4. Схеми розподільних (групових) мереж зовнішнього освітлення.
5. Визначення припустимих втрат напруги в електричних мережах зовнішнього освітлення.
6. Визначення моментів навантажень електричних мереж.
7. Розрахунок мереж за втратою напруги.
8. Розрахунок мереж на найменшу витрату провідникового матеріалу.
9. Розрахунок перерізів проводів при нерівномірному навантаженні фаз мережі.
10. Структура електричних мереж зовнішнього освітлення.
11. Загальні відомості про шафи керування зовнішнім освітленням.
12. Влаштування електричних мереж зовнішнього освітлення.
13. Захист електричних мереж зовнішнього освітлення.

## **Глава 6. ОПОРИ УСТАНОВОК ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ**

### **6.1. Загальні вимоги до опор зовнішнього освітлення**

Опори — найбільш відповідальний елемент конструкції освітлювальних установок вулиць, доріг і магістралей, що забезпечує їхню ефективність, надійність і безпеку. Це єдиний елемент установок, що несе значні й важко визначувані механічні навантаження. Опора з вінчаючим світильником, що живиться кабельною мережею, несе тільки навантаження, що виникає від дії вітру. Навіть при сильному вітрі вона дуже невелика; осьове навантаження опори, створюване вагою світильника — мізерно мала й може зовсім не братися до уваги. Опори, навантажені описаним чином, називають вільностоячими, або ненавантаженими.

Набагато значніше й більш складніше навантажені опори, що несуть світильники на консолях, особливо, опори, що несуть крім світильників, проводи повітряних ліній.

Нерідкі випадки, коли виліт консолі досягає трьох-п'яти метрів. Вага світильника (іноді — десятки кілограмів), прикладена до краю консолі, створює момент, що згинає опору поздовжньо. Навантаження від вітру, особливо значні у випадках великої площі й поганої обтічності світильника, чинять на опору скручуючу дію. У деяких районах траплялися випадки повороту консолі в місці її кріплення до опори, викликані сильним вітром. Прийнято вважати, що проводи повітряної лінії навантажують опору в осьовому напрямку й це навантаження не має помітного впливу на розміри перерізу опори. Однак проводи виявляються причиною виникнення вітрового навантаження, що може досягати небезпечних значень, особливо у випадках утворення ожеледі.

Небезпечні навантаження опор виникають при обриві всіх або частини проводів по одну сторону опори. У випадках, коли вага проводів сильно збільшена льодом, обрив проводів супроводжується виникненням ла-

маючого навантаження, або вириває опору з ґрунту. Змінне навантаження опор, створюване вітром, може виявлятися причиною виникнення їх вібрації, що іноді приводить до їх руйнування. Вібрації найчастіше піддаються опори з консолями й опори великої висоти, що мають масивні площадки для установки світильників. Стійкість опор досягається або особливими конструктивними заходами, або застосовують спеціальні пристрої, що гасять вібрації.

Відзначене пояснює необхідність особливої уваги до завдань конструювання і технології виробництва опор, а також ретельність при установці їх у ґрунт або на фундаменти.

Однак погляд на опору пристроїв зовнішнього освітлення тільки як на технічну конструкцію, що відповідає своєму призначенню і працює в певних умовах, треба вважати однобічним. Опора повинна оцінюватися як архітектурна деталь оточення і навіть як засіб прикраси. Вимоги цього ряду, як і технічні, повинні одержати своє відображення в конструкції та структурі опори.

Опори, як й інші елементи освітлювальних установок, пройшли великий шлях розвитку. На його початку виконанню архітектурно-художніх вимог приділялася основна увага. Дотепер можна зустріти опори — монументи й навіть скульптурні витвори. Зростання міст, розвиток їх благоустрою і викликане цим збільшення потреби в опорах привели поступово до панування погляду на них як на технічну конструкцію певного призначення. Ця оцінка, доведена до крайності, не зжита й дотепер. Правда, у наш час охоче визнається й навіть декларується необхідність задоволення технічних й архітектурно-художніх вимог у конструкції у вигляді опор для влаштування зовнішнього освітлення. Але можливо почасти й тому, що до опори повітряних ліній міських електричних мереж і контактних мереж міського транспорту ніяких архітектурно-художніх вимог не ставиться, освітлювальні опори залишаються голими конструкціями. Непривабли-

вість конструктивних форм опор, ощадливість їх виконання (особливо залізобетонних) - найбільш істотні перешкоди до досягнення приємного окуденного вигляду установок зовнішнього освітлення.

## **6.2. Матеріали для виготовлення опор і їх конструкції**

Вибір матеріалу для виготовлення опор освітлювальних пристроїв визначається ефективністю його використання в цих виробах і вартістю. Відзначимо, що при економічній оцінці матеріалу береться до уваги не тільки його вихідна вартість, але й вплив властивостей матеріалу на економічність технології виробництва й експлуатації опор. Звичайно, в окремих випадках вирішальними умовами вибору матеріалу можуть бути особливі призначення або спосіб застосування опор, а також особливості економічної кон'юнктури або технічної політики.

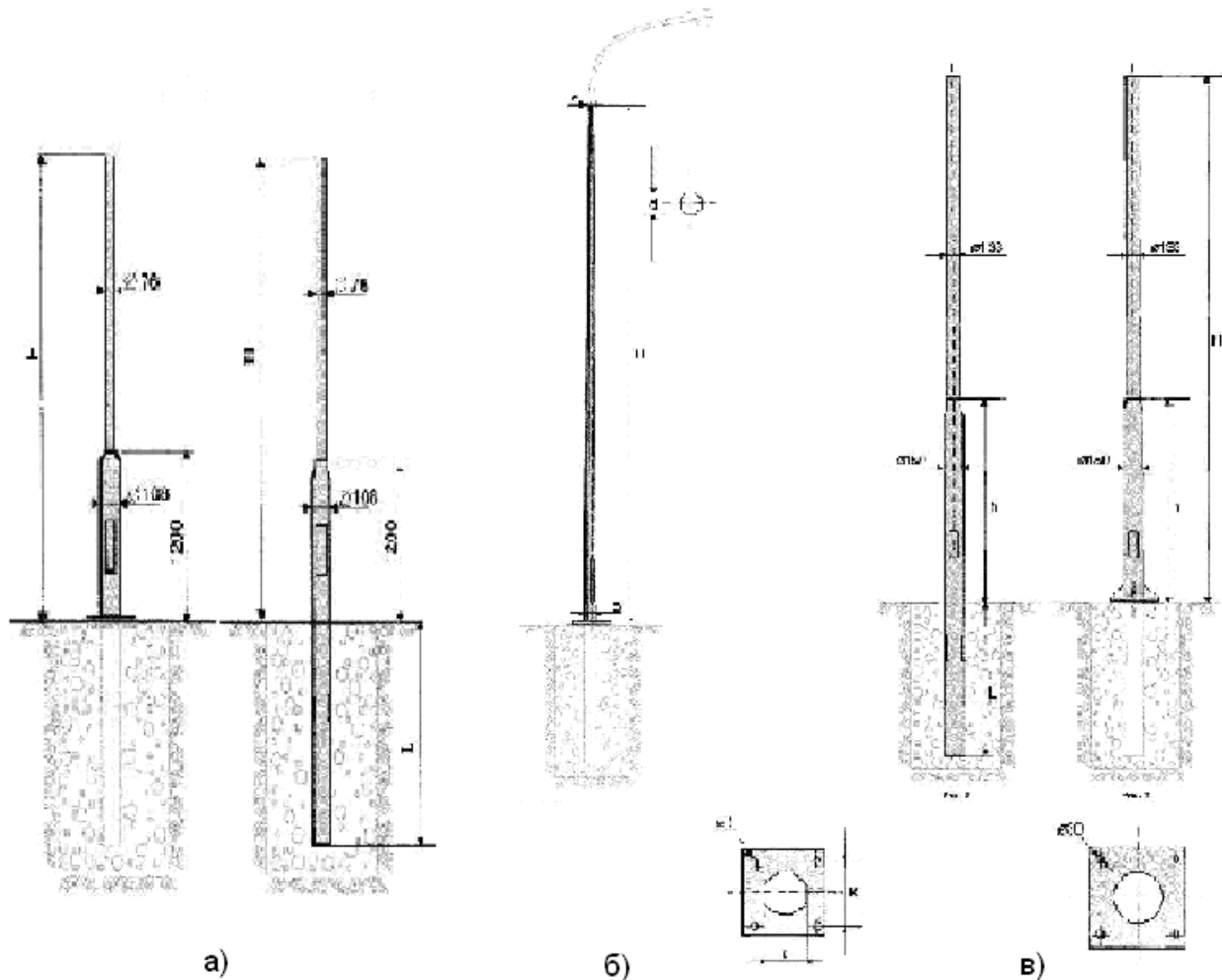
Такі матеріали, як сталь, залізобетон, чавун і деревина характеризуються дуже високим значенням відношення міцність/вартість. Коли особливе значення має величина відношення міцність/вага, перевага може бути віддана алюмінію і його сплавам, а також синтетичним матеріалам.

Застосування дерев'яних опор обмежується їх використанням у сільських місцевостях й областях, де деревина є найбільш доступним і недорогим матеріалом, а електричні мережі — повітряні. Можна відзначити можливість застосування дерев'яних опор у пристроях паркового й декоративного освітлення. Особлива їх обробка прозорими смолами або лаками дозволяє створювати опори, прикрасою яких, крім форми, служить фактура самої деревини.

Виготовлення і застосування алюмінієвих опор зростає дуже повільно. Причинами цього є висока вартість, складність виготовлення опор великої висоти й необхідність вживання складних заходів захисту від корозії. Алюмінієві опори одержали поширення в установках освітлення парків, скверів і пішохідних шляхів.

За кордоном входять у практику опори із шаруватих і волокнистих пластичних мас. Ці опори дуже легкі, досить міцні й практично абсолютно стійкі проти гниття і корозії. Дотепер ще немає досвіду виготовлення опор великої висоти.

У наш час переважаюче застосування у світовій практиці зовнішнього освітлення одержали залізобетонні й сталеві опори.



**Рис. 6.1 – Сталеві опори:**  
**а) трубчаті зварювані цільні і фланцеві; б) багатогранного перерізу, що убуває; в) круглого перерізу, що убуває, цільні і фланцеві**

Сталеві опори круглого за висотою перерізу, що убуває, виготовляють методами прокату. Опори коробчатого й багатогранного перерізу, що також зменшується за висотою, виготовляють з листової сталі. Опори невеликої висоти виготовляють штампуванням з однієї

заготовки, високі — з двох коробчатих заготовок, що з'єднують зварюванням. Досягнення автоматики, зварювальної техніки й техніки гальванопокриттів дозволили організувати підприємства з напівавтоматизованим виробництвом опор 5, 6, 8, 10 й 12 м заввишки, з однією або двома консолями для установки світильників. Опори забезпечують порожнинами для розміщення запобіжників і контактних з'єднань, при виготовленні опор у них закладають проводи для приєднання світильників. У необхідних випадках опори забезпечують пристроями й отворами для кріплення додаткових кронштейнів, ізоляторів і т.п.

Внутрішня і зовнішня поверхня опори захищається гальванічним покриттям, що забезпечує термін служби опор у промислових районах міст до 60 років.

Сталь, мабуть, є єдиним матеріалом, що має всі можливості для виготовлення опор, які мають ті чи інші спеціальні властивості й призначення. Наприклад, однією з найважливіших властивостей освітлювальної опори є опорність наїзду. У різних випадках вимоги цього характеру можуть бути зовсім протилежними. Висока опорність наїзду є необхідною характеристикою опори, використовуваної в місті, де рух з високою швидкістю незвичний і вулиці людні. Низький опір наїзду, здатність опори зламуватися в багатьох місцях або відокремлюватися від основи — цінна якість при використанні опор на заміських дорогах зі швидкісним рухом транспорту й практичною відсутністю пішоходів. Застосування опор, що зламуються в багатьох місцях, приводить до зменшення числа смертних випадків і важких поранень при наїзді на них автомобілів. Опори цього типу конструюють якнайлегшими, застосовуючи високоякісні сталі. Найбільш ефективною виявилася конструкція так званої зрізуваної опори. Опора цього конструктивного різновиду встановлюється на фундаменті й з'єднується з ним

фланцем. Болти цього з'єднання встановлюють не в отворах, а в прорізах, при наїзді на опору вони вибиваються з прорізів, відокремлюючи опору від основи.

Проблема освітлення транспортних перетинань і розв'язання, виконаних на різних рівнях, а також більших площ з інтенсивним рухом, автомобільних стоянок і т.п. одержала своє вирішення у застосуванні потужних освітлювальних пристроїв, установлених на опорах висотою 30–60 м. Досвід багатьох країн виявив переваги в цих випадках сталевих опор. Немає сумнівів у тому, що такі опори конструюють і виготовляють особливо для кожного випадку їх використання. Достоїнством застосування сталевих конструкцій високих опор є можливість виготовлення їх складеними з декількох секцій, які з'єднують зварюванням в одне ціле безпосередньо на місці, що значно спрощує їх транспортування.

Використання сталі як конструкційного матеріалу, дозволило досить просто й ефективно вирішити завдання конструювання і виготовлення опускних опор (рис.6.2). Застосування їх знижує експлуатаційні витрати, пов'язані з придбанням дорогих піднімальних механізмів. При складності або неможливості під'їзду до місця установки світильника застосування опускних опор є неминучим.

Залізобетон виявився матеріалом, здатним витиснути багато інших, що раніше використовувалися для виготовлення опор. Можливість економії сталі, порівняно нескладна технологія виготовлення і довговічність залізобетонних опор зробили їх основним типом пристроїв цього призначення в багатьох країнах.

У нашій країні залізобетонні опори одержали виняткове поширення.



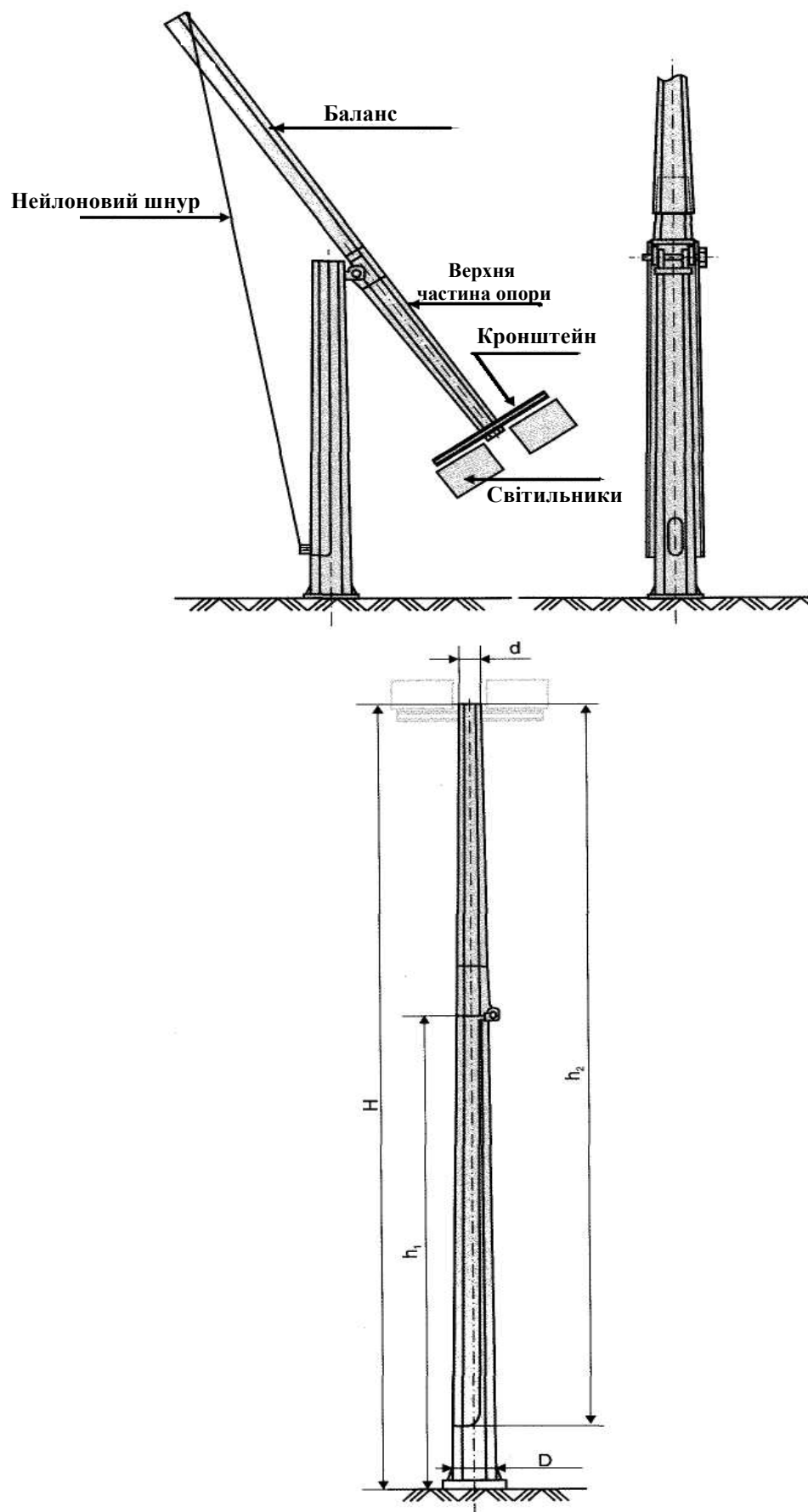


Рис.6.2 – Опускні опори

### 6.3. Залізобетонні опори

Конструктивну основу залізобетонної опори становить каркас зі сталевих стрижнів, розташованих уздовж тіла опори, й поперечних сталевих хомутів, зварених зі стрижнями каркаса. Каркас, або арматура, надає опорі її основні властивості — здатність протистояти вигину, зламу й розтягу. При виготовленні опори каркас уміщають у форму й проміжки між стрижнями арматур заповнюють бетоном.

Структура й матеріал каркаса, тобто число й переріз стрижнів, властивості сталі, з якої вони виготовлені, якість бетону, спосіб його ущільнення і технологічний режим виготовлення опори визначають її властивості.

Конструювання і застосування залізобетонних опор вважається засобом економії дефіцитної сталі, але це не завжди так. Витрати сталі на виготовлення каркаса деяких типів опор, особливо без попереднього напруження стрижнів арматури, можуть значно перевершувати витрати матеріалу на виготовлення чисто сталевих опор.

Виграш, що дають залізобетонні опори, полягає:

- у можливості застосування для їх виготовлення більш дешевих сортів сталі й прокату;
- у відсутності відходів металу при виготовленні каркасів;
- у довговічності залізобетонних опор порівняно із сталевими;
- у практичній відсутності необхідності заходів догляду за залізобетонними опорами протягом усього терміну їх експлуатації.

Однак думку про "вічність" залізобетонних опор слід вважати перебільшенням їх достоїнств. Залізобетонні опори піддаються своїм «хворобам» і «старінню». Причинами цього є властивості матеріалів, використаних для їх виготовлення і умови роботи опор.

Специфічним для залізобетонних опор освітлювальних установок і електричних мереж є протікання через каркас арматур електричних стру-

мів — струмів витоку через ізоляцію проводів і кабелів. Стрижні арматур, занурені в бетон, які досягли деякого ступеня зволоженості, подібні до електродів, занурених в електроліт і несучих той чи інший потенціал. Електролітом є дощова або атмосферна волога, що містить кисень, вуглекислоту й продукти розчинення вапна цементу. Залежно від співвідношення компонентів, що розчинилися у воді, цементу, електроліт може бути легкокислим або лужним. Кислий електроліт сприяє корозії сталі. Постійний струм, необхідний для протікання процесів електролізу й, отже, корозії, виникає внаслідок розходжень у ступені ізоляції і процесів поляризації на поверхнях різних частин арматури. Корозія стрижнів у результаті процесів електролізу й взаємодії речовин арматури й цементу приводить до розширення бетону й утворення поздовжніх тріщин, що поширюються по лініях розташування стрижнів арматури. Основна причина виникнення тріщин — недостатня товщина шару бетону над стрижнем і високе вологовбирання бетону.

Крім цього, причинами виникнення дефектів залізобетонних опор є нераціональні способи ущільнення бетону і серед них найбільш погані: лиття бетону, тобто самоущільнення, ручне трамбування, додавання хлорного вапна з метою прискорення твердіння. Причинами виникнення дефектів можуть бути застосування водовбирних заповнювачів, таких як щебені з піщанику, шлаки й т.п., а також передчасно складування і транспортування опор.

Метод і техніка ущільнення бетону при виготовленні опор є найбільш характерною відмітною ознакою цього технологічного процесу, вона істотно визначає якість виробів.

Практика виготовлення опор показала, що такі методи ущільнення як лиття, ручне й механічне трамбування і струшування не забезпечують можливості одержання виробів необхідної якості. Тільки ущільнення бетону вібруванням і центрифугуванням вважається придатним для виготовлення

високоякісних опор. Центрифугування потребує складного, громіздкого й дорогого устаткування і високої кваліфікації виробничого персоналу, цей процес застосовується головним чином для виготовлення опор, що сильно навантажуються, і високих опор.

Попереднє напруження арматур, центрифугування і застосування спеціальної рецептури бетону дозволяють одержувати опори великої висоти, що володіють високими механічними властивостями.

Ущільнення бетону вібруванням — основна технологічна характеристика виготовлення великої кількості типів і типорозмірів освітлювальних опор. Достоїнством цього методу є його здатність зручно сполучатися з іншими технологічним прийомами й процесами даного виробництва. Вартість устаткування для цього методу значно нижче, ніж інших прогресивних методів ущільнення бетону. Ущільнення вібрацією дозволяє одержати бетон з дуже малим водопоглинанням. Опори, виготовлені при ущільненні вібруванням, мають всі якості й характеристики, необхідні для застосування в освітлювальних установках, і виявляються істотно дешевшими, чим центрифугування.

При вібраційному ущільненні бетону опори виготовляють в металевих або дерев'яних формах, що точно передають зовнішній вигляд і розміри готової опори. Конструкція і виконання форми повинні забезпечувати її здатність протистояти вібраціям.

Арматура опори — каркас зі сталі, найчастіше періодичного профілю, складається з поздовжніх стрижнів і хомутів. При вібраційному способі ущільнення бетону твердість і стійкість форми каркаса є основними вимогами до нього, що повніше всього забезпечується шляхом зварювання елементів каркаса.

Бетон для виготовлення опор повинен мати можливо мале водопоглинання, що забезпечується застосуванням щебенів зі скельних порід. Щебені з піщанику, сланців, а також шлаки для цих цілей вважаються непри-

датними. Вміст піску або кам'яного борошна повинен бути мінімальним. Марка бетону опор має бути не нижче 300, краще 400–450. На 1 кубометр бетону необхідно 375–450 кг цементу, тому що бетони з меншим вмістом цементу, що задовольняють вимогам міцності, піддаються вивітрюванню, що має своїм наслідком підвищення водопоглинення.

Найбільше прогресивним і продуктивним є застосування для ущільнення бетону вібраційних столів — установок, довжина яких не менше повної довжини виготовлених опор. У процесах потокового виробництва високу продуктивність забезпечує застосування візкового вібратора. Вібратор цього типу встановлюють на візку, що пересувається по бортах конвеєра, який передає форму від місця виконання однієї операції виготовлення опори до місця іншої операції. У цьому разі ущільнення виконується послідовно на окремих (0,75–1 м) ділянках довжини опори. При виготовленні опор дрібними серіями, або опор особливо складної конфігурації використовують малопотужні вібраційні пристрої, що накладають або підвішують на форму в окремих її точках. Вібраційні пристрої надають формі коливання невеликої амплітуди, що мають частоту 3000 або дещо більше за хвилину. Процес вібраційного ущільнення на столі вимагає декількох хвилин.

Після ущільнення бетону опора утримується у формі протягом 6–8 годин. Після рознімання форми опора утримується протягом 3–4 діб на піддоні форми й тільки після цього може бути перенесена на проміжний склад для витримування. Штабелювання опор допускається тільки після досягнення 70% проектної (розрахункової) міцності, що вимагає 14–28 днів.

Перевезення і установка опор припустимі лише при досягненні ними проектної міцності.

На міцність і довговічність залізобетонних опор великий вплив робить стан їх поверхні, досягнутий в процесі виготовлення й обробки. Для

одержання гладкої поверхні необхідне застосування більш сухих бетонних сумішей. Особливо висока якість поверхні досягається в результаті введення у форму перед її заповненням бетоном цементного молока (розведеної водою суміші цементу й дрібного піску в співвідношенні 1:1).

Гладка поверхня зменшує водопоглинення й, отже, запобігає розбуханню бетону й виникненню тріщин. У результаті такої обробки опори значно збільшується термін служби й поліпшується її зовнішній вигляд.

Крім того залізобетонні опори можуть бути піддані чисто декоративній обробці. Прийомами такої обробки є насічка або шліфування. Насічка полягає в обробці поверхні молотками вручну або за допомогою пневматичних інструментів. Шліфують опори наждаковим кругом. Шліфування дає можливість одержати поверхню високої чистоти й гладкості, що забезпечує високий ступінь опірності опори атмосферним впливам. Але цей процес трудомісткий, дорогий і може застосовуватися тільки в окремих випадках.

#### **6.4. Підвіски**

На порівняно нешироких вулицях з багатоповерховою забудовою найбільш економічним і задовільним з експлуатаційного погляду є підвішування світильників і проводів електричних ліній на поперечних тросах.

Поперечні троси (поперечні підвіски, або просто поперечки) прикріплюють до гаків, укріплених у стінах будинків (або, в необхідних випадках — до вершин опор) на відстанях  $D$  одна від одної, рівних розрахунковій величині кроку світильників. Поперечки навантажені вагою укріплених на них проводів, світильників з ПРА й зазначають зусилля, що їх розтягують.

Залежно від параметрів освітлювальної установки й прийнятого способу розміщення світильників поперечні троси можуть навантажуватися в одній або декількох точках. Число прикладених навантажень і їх величина визначають характер і ступінь провисання троса. У результаті

провисання поперечки висота підвісу світильників і висота точки закладення гаків відрізняються одна від одної, остання повинна визначатися при монтажі установки.

Вище, при ознайомленні з типами опор ми не торкалися питань їх розрахунку. Дійсно, опора — складна й важко навантажувальна будівельна конструкція, розрахунок її — справа спеціалістів з будівельних конструкцій. Проектувальники, монтажники й експлуатаційники одержують або вибирають опори готовими. Зовсім інша справа у разі застосування підвісок. Уже на етапі проектування й у процесі монтажу, особливо при застосуванні поздовжньої підвіски виявляється необхідним виконання деяких розрахунків на міцність, цілі, завдання і найбільш прості та доступні методи вирішення яких будуть розглянуті нижче.

Найбільш простий випадок навантаження поперечного троса — прикладання навантаження від ваги проводів, світильника й ПРА до однієї точки, що перебуває на середині поперечки. У цьому разі, як це видно з рис. 6.3, зусилля, що розтягують поперечку  $P$ , однакові для обох її гілок. Зусилля  $P$  і навантаження  $Q$ , що створює його, перебувають в очевидному співвідношенні:

$$\frac{Q/2}{P} = \sin \alpha,$$

звідки

$$P = \frac{Q}{2 \sin \alpha}.$$

Величина  $\alpha$  настільки мала, що можна вважати

$$\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = \frac{f}{b/2} = \frac{2f}{b}.$$

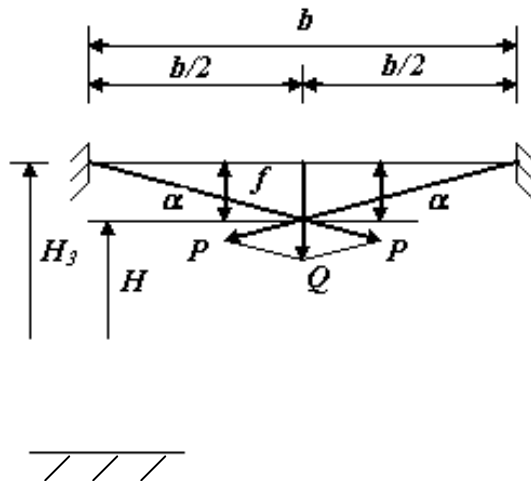


Рис. 6.3 — Поперечна підвіска з одним навантаженням у середині

У практиці проектування і спорудження поперечних підвісок нахил поперечки звичайно виражають частками одиниці, тобто

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2f}{b} = \frac{1}{b/2f} = \frac{1}{n}$$

і приймають

$$\frac{1}{n} = \left( \frac{1}{8} \div \frac{1}{12} \right),$$

тоді

$$P = \frac{Q}{2 \frac{1}{n}} = \frac{nQ}{2}$$

або приймаючи  $\frac{1}{n} = \frac{1}{10}$

$$P = 5Q.$$

За знайденою таким шляхом  $P$  вибирають, з урахуванням необхідного значення коефіцієнта запасу, переріз троса поперечної підвіски.

Величина навантаження  $Q$  визначається в такий спосіб:

$$Q = (g_{np} + g_l) nD + G_{cv} + G_{пра},$$





Довжина гілок поперечки  $b_1$  й  $b_2$  визначається прийнятим способом розташування світильників (наприклад, по осі руху).

З умови

$$f = \left( \frac{1}{8} \div \frac{1}{12} \right) b_1$$

визначають величину стріли прогину (доцільно прийняти нижню межу значення  $\frac{1}{W}$ ).

У зручному масштабі зображують відстань  $b$  між точками А та В закріплення поперечки. На відстані  $AC=b_1$  від точки А будують відрізок CF, що зображує стрілу прогину. Ламана лінія AFB зобразить положення навантаженої поперечки, а напрямки її частин AF і BF — напруження дії зусиль, що розтягують поперечину,  $P_2$  і  $P_1$ .

Зобразивши певне, як сказано вище, навантаження  $Q$  і розклавши його за напрямками дії зусиль  $P_2$  і  $P_1$ , виміром визначають їх величину. Очевидно, що у випадку, зображеному на рис. 6.2, більшим виявиться зусилля  $P_1$ , за величиною якого й вибирається переріз троса розтяжки.

У випадках, коли навантаження прикладені в декількох точках поперечок, їх потрібно привести до однієї, як це показано на рис. 6.5. У результаті цього все наступне зводиться до розглянутого вище.

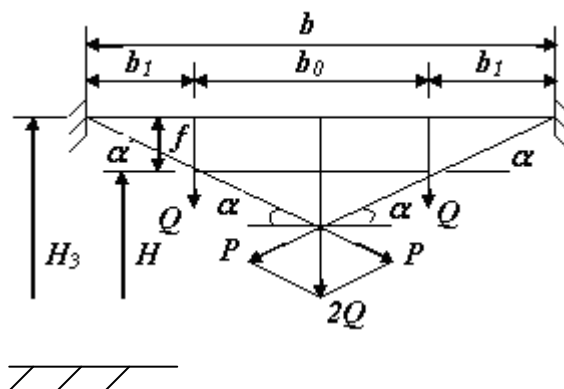
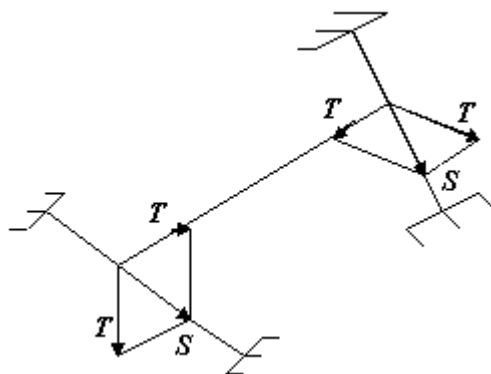


Рис. 6.5 — Поперечна підвіска з двома зміщеними навантаженнями

Відзначимо особливість навантаження і роботи поперечки на закругленнях або вигинах вулиць. Ця особливість полягає у виникненні горизонтальних сил, обумовлених натягом проводів ліній, які несе поперечка. На рис. 6.6 через  $T$  позначені сили натягу проводів, що прикладені до точок їх кріплення до поперечки. Ці сили лежать практично в горизонтальній площині й викликають виникнення сил  $S$ , спрямованих радіально всередину закруглення.



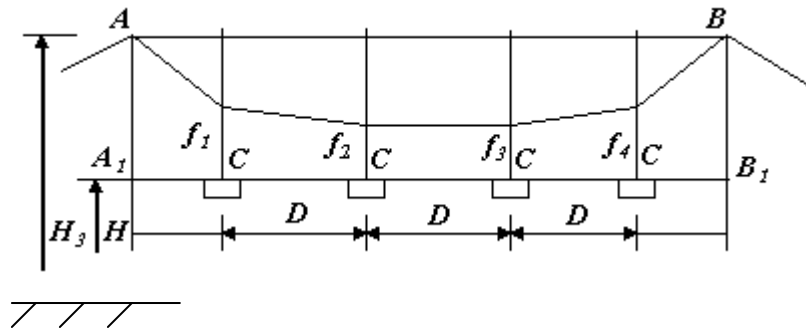
**Рис.6.6 — Виникнення поздовжніх навантажень на закругленні**

Для поперечної підвіски застосовують сталевий дріт і сталеві семипроволочні канати, основні дані яких наведені в табл. 6.1.

**Таблиця 6.1 – Основні дані сталевого дроту і сталевих канатів**

Діаметр, мм		Переріз, мм <sup>2</sup>	Середнє руйнуюче зусилля, Н	Маса одного метра, кг
Каната	Дроту			
Сталевий дріт				
	4	12,5	12500	0,1
	5	19,6	19600	0,155
	6	28,3	28300	0,224
Сталеві канати семипроволочні				
6,7	2,3 + 6 × 2,2	26,9	31700	0,2345
7,3	2,5 + 6 × 2,4	32,05	37700	0,2786
8,0	2,8 + 6 × 2,6	38,01	44500	0,3305
8,6	3 + 6 × 2,8	44,01	51500	0,3821
9,2	3,2 + 6 × 3	50,45	58800	0,4385

У ряді випадків за кордоном при конструюванні звичайної і проміжної систем освітлення вулиць й особливо прилеглих до міст доріг, знайшла застосування поздовжня система підвіски освітлювальних приладів і проводів електричних мереж установок. Ця система підвіски схематично подана на рис. 6.7.



**Рис.6.7 — Поздовжня підвіска на розділовій смузі**

Через вершини опор A та B проходить несучий трос. До нього через струни  $f$  підвісок і в точках A та B опор закріплений фіксуючий трос, до якого підвішуються світильники C. Основним достоїнством поздовжньої підвіски є можливість розмістити світильники з розрахунковим кроком  $D$ , у кілька разів меншим відстані між опорами. До несучого троса може бути підвішений кабель високої напруги, а фіксуючий трос може нести кабель або проводи мережі, що відповідає напрузі джерел світла. Застосування поздовжньої підвіски дозволяє значно зменшити число опор, скоротити число пунктів живлення і спростити систему й апаратуру керування дією установки.

Підвіска, схема якої показана на рис. 6.7 застосовна лише в разі установки опор на розділовій смузі. При неможливості цього опори встановлюють по обидві сторони дороги, і поздовжня підвіска здійснюється на розтяжках по осі дороги.

## 6.5. Типи залізобетонних опор

Опори, застосовувані в наш час для освітлювальних установок звичайного типу, розрізняються за призначенням, способом виготовлення, формою і довжиною і використовують для установки світильників і підвіски контактної мережі міського електричного транспорту. Єдиної, нормативно затвердженої номенклатури опор в Україні немає, тому зупинимося на питаннях, пов'язаних з конструюванням і виробництвом їх на підставі типу, розробленого в 80–ті роки в Росії (рис. 6.8).

У документації з цієї розробки прийнята така термінологія: стояк; опора — стояк з кронштейном; ліхтар — опора з одним або декількома світильниками.

Опори призначені для установки на них консольних або підвісних світильників з розрядними лампами, ПРА яких вбудовані в світильник і розроблені відповідно до вимог норм штучного освітлення, а також вказівок з проектування контактних мереж трамвая і тролейбуса.

Номенклатура опор включає типи:

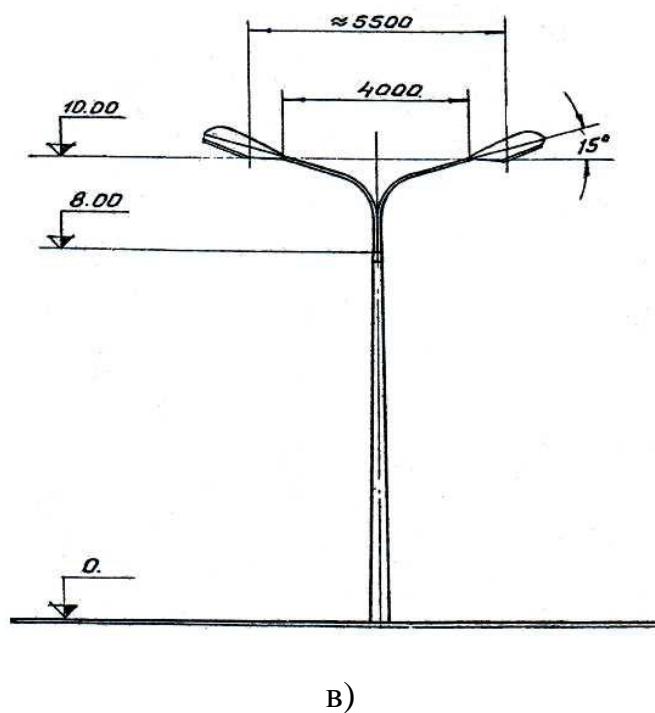
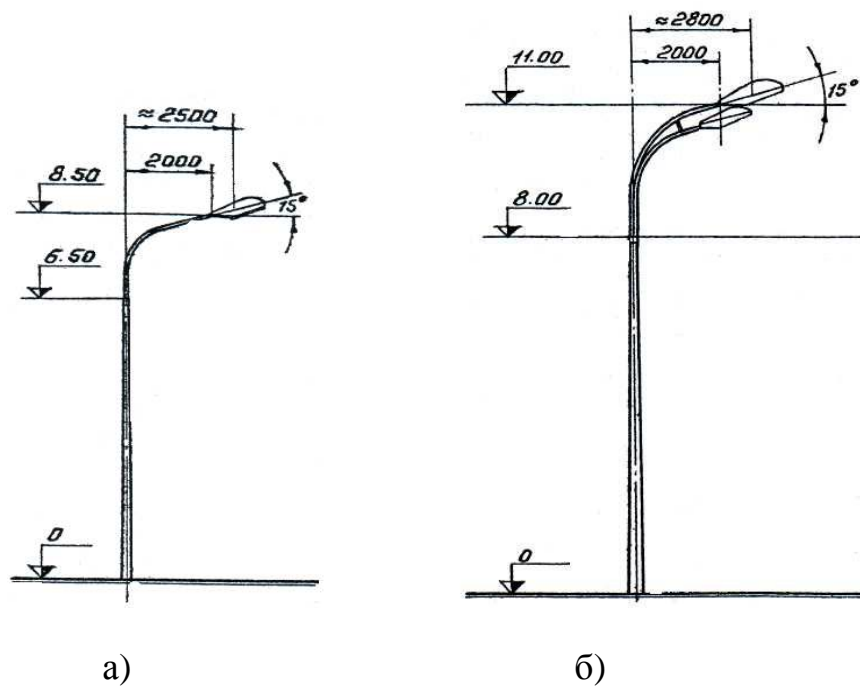
I — освітлювальні опори для установок з кабельною мережею живлення;

II — освітлювальні опори для установок з повітряною мережею живлення;

III — сполучені опори для установки світильників і монтажу контактних мереж міського електричного транспорту з кабельною мережею живлення освітлювальних установок.

Опори типу II підрозділяються на два підтипи: проміжні й анкерні.

Серія опор складається з комбінацій восьми типорозмірів (марок) стояків й 22 типорозмірів (марок) кронштейнів, що маркуються роздільно.



**Рис. 6.8 — Загальний вид опор зовнішнього освітлення (розміри зазначені для одного з варіантів опори зі світильниками)**

### 6.5.1. Стояки

Стояки опор виготовляють з бетону, армованого сталлю, що ущільнюється центрифугуванням. Всі стояки серії мають форму кругового усіченого конуса зі стоком по довжині 1,5%. У процесі ущільнення бетону усередині стояка утворює наскрізна конічна порожнина. Товщина стінок по всій довжині стояка — однакова.

Каркас арматури стояків всіх типів побудований за однією схемою. Він складається із суцільних поздовжніх стрижнів, довжина яких дорівнює довжині стояка, монтажних кілець, хомутів і спіралі. Частина стрижнів стояків каркаса анкерних опор типу II і всіх стояків типу III піддається попередній напрузі. Арматури стояків типу I і стояків проміжних опор типу II попередній напрузі не підлягають.

Для виготовлення стояків застосують бетони різних марок, властивості яких відповідають навантаженням опор й умовам їх роботи (температура й ступінь агресивності середовища). Стояки опор, призначені для роботи в умовах агресивного середовища, виготовляють з бетонів підвищеної й особливої щільності, а також мають знижену вологопроникливість. Стояки, призначені для роботи при низьких температурах, виготовляють з відповідних за морозостійкістю бетонів.

У нижній частині стояків опор I й III типів улаштовують проріз для доступу до елементів, що встановлюються в порожнині опори електроустаткування (контактні панелі для приєднання вхідного й відхідного кабелів, площадки для установки автоматів або запобіжників). Проріз окантований металевою рамкою і оснащений металевою кришкою, що забезпечує потрібний ступінь ущільнення. Для введення і виведення кабелю мережі, що живить освітлювальні установки, стояки I й III типів мають два протилежно розташованих отвори. Стояки II й III типів у верхній частині мають отвір для введення проводів до світильників, що живляться повітряними лініями. Стояки закінчуються металевими фланцями, що захищають їх

верхній торець від механічних пошкоджень й забезпечують необхідну точність посадки кронштейнів.

Для улаштування заземлення освітлювальних приладів і нульового проводу повітряної мережі використовують один з ненапружуваних стрижнів арматур. З цією метою верхній кінець стрижня електрично з'єднується з клемою заземлення, виведеною на поверхню стояка в її верхній частині. У нижній частині опор типу II монтують таку ж клему. У стояках опор типів I і III заземлений стержень, що електрично з'єднується з окантовкою прорізу, який забезпечує доступ до монтажу, заземлююча клема встановлена безпосередньо на окантовці.

Конструктивні характеристики та інші розміри стояків визначені розрахунком, що враховує дію на стояк постійних і тимчасових навантажень, що виникають у нормальному й аварійному режимах роботи опор. Постійними є навантаження, що виникають під дією маси самого стояка, кронштейнів і світильників, маси проводів, тросів опорних і підтримуючих пристроїв (траверси, ізолятори і т.п.), а також зусилля, створювані різницею натягу проводів у суміжних прольотах (стояки II типу). На додаток до постійних навантажень враховують тимчасово виникаючі навантаження від тиску вітру на всі елементи мережі, ожеледі або снігу, а також навантаження, що виникають при монтажі або ремонті мережі. Аварійними навантаженнями, врахованими при розрахунку, є навантаження, що виникають при обриві несучих тросів підвіски контактних проводів (тип III) і при руйнуванні сусідньої опори (тип II і III).

Марки, що позначають типорозміри стояків, складаються з певних комбінацій букв і цифр. У марці стояка перша буква «С» позначає «стояк». Друга буква «Н» позначає — з «напружуємою арматурою» (якщо арматура стояка не піддається попередній напрузі, то ця буква в позначенні марки стояка відсутня). Третя буква з індексом «Цс» означає «центрифугування зі стрижневими арматурами».



Наступна після літерного позначення цифра означає величину нормативного (припустимого) моменту (в *тм*) над рівнем земної поверхні. Остання цифра, відділена рискою від попередньої, означає довжину стояка (в м).

Таким чином, марка стояка СЦс–1,2–10 означає: стояк центрифугований, зі стрижневими ненапруженими арматурами, нормативний момент над рівнем землі — 1,2 *тм*, довжина стояка 10 м.

Для вираження особливих призначень і умов роботи стояка, його марка доповнюється умовними позначеннями щодо призначення і умов роботи. З цією метою розглянуте вище позначення стояка вноситься в чисельник, а в знаменнику даються додаткові частини марки, що вказують на її пристосованість до умов роботи.

Стояки, призначені для застосування в умовах агресивних середовищ, виготовляють із застосуванням бетонів марок, підвищених щодо водонепроникності й щільності. Для вказівки на це вводять позначення: «Н» — бетон нормальної щільності; «П» — бетон підвищеної щільності; «ОБ» — бетон особливо щільний.

Для стояків типу III повинна бути відзначена необхідність отвору для виводу кабелю, що живить контактну мережу транспорту. З урахуванням зазначеного марка стояка має вираз:

$$\frac{СЦс - 1,2 - 10}{З - П - К}.$$

Символи над рискою виражають конструктивні характеристики стояка. Знаки під рискою, у знаменнику, виражають характеристики стояка, потрібні за умовами його застосування:

З — означає, що стояк призначений для застосування в районах з розрахунковими зимовими температурами (середня температура найбільш холодної п'ятиденки) від мінус 5<sup>0</sup>С до мінус 20<sup>0</sup>С;

П — необхідність застосування бетону підвищеної щільності для роботи в умовах агресивного газового середовища;

К — необхідність отвору для виводу кабелю, що живить контактну мережу (тільки для стояків типу III).

Основні технічні характеристики стояків, що увійшли в типаж, подані в табл. 6.2, а їх ескізи — на рис. 6.9.

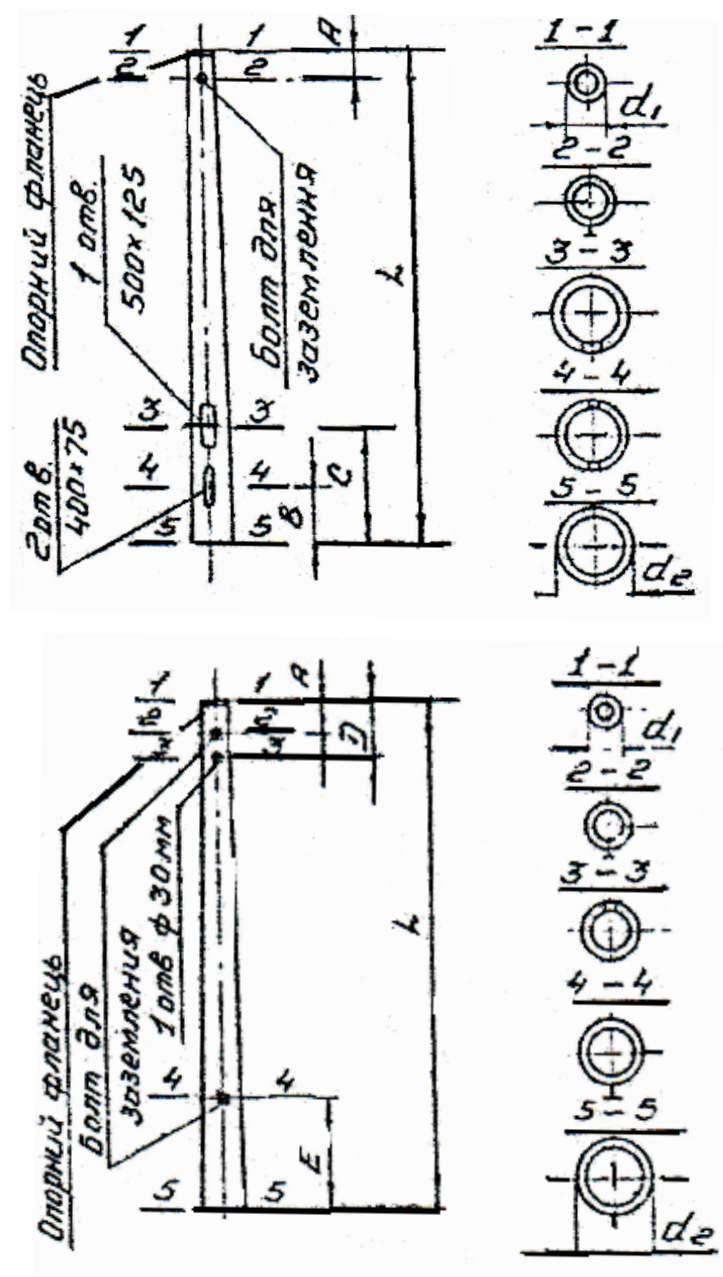


Рис. 6.9 — Стояки для зовнішнього освітлення I і II типів

Стояки марок СЦс–0,65–8, СЦс–0,8–10 і СЦс–1,2–10 установлюють в ґрунт без фундаментів. Стояки цих марок у своїй нижній частині на довжину, рівну зануренню в ґрунт, повинні мати гідроізоляцію (шар бітуму) на зовнішній і внутрішній поверхнях. Гідроізоляцію стояків виконує виробник. Стояки всіх інших марок установлюють в монолітні фундаменти, тип і розміри яких залежать від марки стояка і властивостей ґрунту. Стояки опори СНЦс–2,8–10 установлюють в бетонний фундамент, основні характеристики якого наведені в табл. 6.2.

**Таблиця 6.2 – Основні характеристики фундаментів стояків освітлювальних опор**

Нормований опір ґрунту, кг/см <sup>2</sup>	Марка фундаменту	D	H	Марка бетону	Об'єм бетону, м <sup>3</sup>	Витрати арматурної сталі, кг
4,0	Ø–1	0,6	2	200	0,42	25,2
3,0	Ø–2	0,8	2	200	0,86	33,4
2,0	Ø–3	1,0	2	200	1,43	45,4

Стояки I й III типів установлюють так, щоб отвори для введення і виводу кабелю перебували на лінії його укладання, а кришка прорізу була звернена в напрямку, протилежному напрямку руху транспорту. Точно так само орієнтують закладні деталі заземлення опор типу II.

Таблиця 6.3 – Основні технічні характеристики стояків

Тип	Призначення		№ п/п	Марка стояка	Розміри								Марка бетону	Об'єм бетону, м <sup>3</sup>	Витрати сталі, кг	Витрати стояка, т
					L м	d <sub>1</sub> мм	d <sub>2</sub> мм	A м	B м	C м	D м	E м				
I	Стояк освітлювальної опори	Кабельна мережа	1	СЦс–0, 65–8	8,0	170	290	0,3	1,2	2,05	—	—	300	0,198	40,7	0,54
			2	СЦс–0, 8–10	10,0	170	320	0,3	1,7	2,55	—	—	300	0,271	52,3	0,73
II		Повітряна мережа	3	СЦс–1, 2–10	10,0	170	320	0,3	—	—	1,0	2,3	400	0,297	80,7	0,82
			4	СНЦс–2, 8–10	10,0	170	320	0,3	—	—	1,0	2,3	500	0,291	115,8	0,84
III	Стояк сполученої опори контактної мережі міського транспорту й пристроїв зовнішнього освітлення		5	СНЦс–3, 4–1,5	11,5	200	373	0,3	1,5	2,9	1,6	2,55	400	0,488	188,7	1,40
			6	СЦНс–5, 1–1,5	11,5	200	373	0,3	1,5	2,9	2,1	2,55	500	0,476	280,0	1,47
			7	СНЦс–7, 7–12	12,0	290	470	0,3	1,5	2,9	2,1	3,05	400	0,77	293,8	2,22
			8	СНЦс–10–12	12,0	290	470	0,3	1,5	2,9	2,1	3,05	500	0,764	336,4	2,25

### 6.5.2. Кронштейни

Кронштейн, що є продовженням стояка — частина опори, призначена для безпосередньої установки консольного або підвісного світильника. Установка світильників на кронштейнах дозволяє збільшити на 2–4 метра висоту світильників над освітлюваною поверхнею, не збільшуючи довжину стояка і надати світильнику положення, при якому його проекція перебуває в межах проїзної частини вулиці на відстані близько 2 м від її бічної границі.

Кронштейн являє собою консольну конструкцію, стрижнями якої є сталеві труби. Вузол кріплення кронштейна до опори складається із хвостовика — відрізка труби, що занурюється в порожнину стояка і стакана — обичайки, яка охоплює верхню частину стояка й спирається на його фланець. Фіксація кронштейна щодо опори здійснюється трьома стопорними болтами, що проходять через обичайку. На обичайці встановлений затискач заземлення кронштейна. Діаметри обичайок відповідають діаметрам верхнього краю стояків, що входять у типаж.

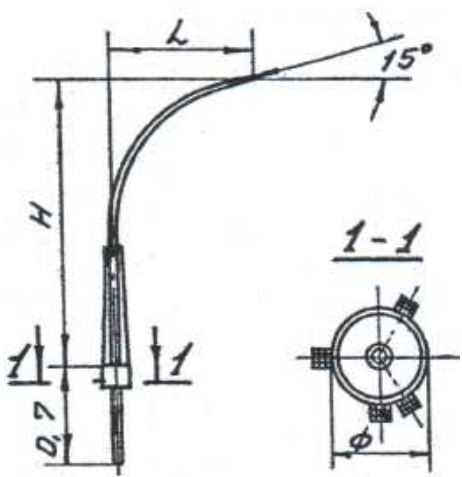
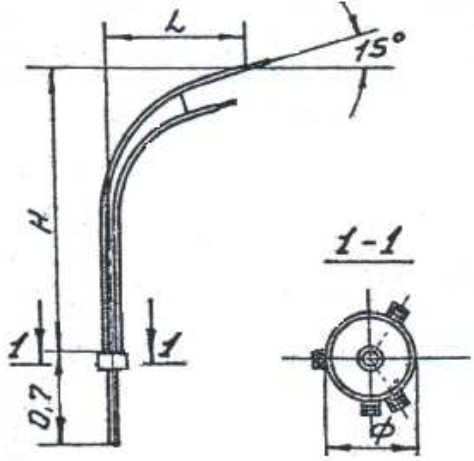
Кронштейн закінчується відрізком труби діаметром 50 мм і довжиною 250 мм, що точно відповідає розмірам втулки установочного вузла консольних світильників. Для світильників, які підвішують, на кінці труби консолі виготовляють чотири отвори.

У типаж входять три різновиди кронштейнів, що підрозділяються залежно від висоти й розмірів обичайки, на 22 типорозміри. Основні технічні характеристики й ескізи кронштейнів подані в табл. 6.4.

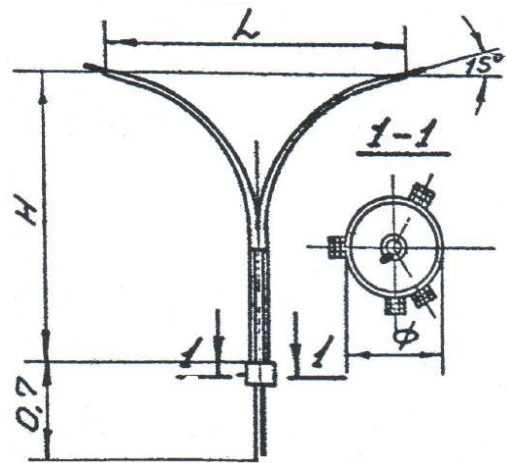
Кожний з типорозмірів кронштейнів позначається своєю маркою.

У чисельнику, записаному як добуток, вказують висоту  $H$  й виліт  $L$  кронштейна (в м). У знаменнику зазначений діаметр обичайки (в м).

Таблиця 6.4 – Основні технічні характеристики кронштейнів

№	Схема	Марка	Розміри ,м			Маса, кг
			H	L	Ø	
1	2	3	4	5	6	7
I. Кронштейни односвітільникові						
1		КО $\frac{2 \times 2}{0,19}$	2,0	2,0	0,19	41,8
2		КО $\frac{3 \times 2}{0,19}$	3,0		0,19	52,5
3		КО $\frac{3 \times 2}{0,22}$			0,22	54,8
4		КО $\frac{3 \times 2}{0,31}$			0,31	62,4
5		КО $\frac{4 \times 2}{0,19}$	4,0		0,19	64,2
6		КО $\frac{4 \times 2}{0,22}$			0,22	67,5
7		КО $\frac{4 \times 2}{0,31}$			0,31	77,9
II. Кронштейни двосвітільникові парні						
8		КО $\frac{3 \times 2}{0,19}$	3,0	2,0	0,19	86,8
9		КО $\frac{3,2}{0,22}$			0,22	89,8
10		КО $\frac{3 \times 2}{0,31}$			0,31	102,7
11		КО $\frac{4 \times 2}{0,19}$	4,0		0,19	116,4
12		КО $\frac{4 \times 2}{0,22}$			0,22	122,7
13		КО $\frac{4 \times 2}{0,31}$			0,31	141,8

Продовження табл. 6.4.

№	Схема	Марка	Розміри ,м			Маса, кг
			Н	L	Ø	
1	2	3	4	5	6	7
III. Кронштейни двосвітільникові різнонаправлені						
14		КО $\frac{2 \times 4}{0,19}$	2,0	4,0	0,19	78,0
15		КО $\frac{2 \times 4}{0,22}$			0,22	80,3
16		КО $\frac{3 \times 4}{0,31}$			0,31	92,5
17		КО $\frac{3 \times 4}{0,19}$	3,0		0,19	93,4
18		КО $\frac{3 \times 4}{0,22}$			0,22	96,3
19		КО $\frac{3 \times 4}{0,31}$			0,31	110,0
20		КО $\frac{4 \times 4}{0,19}$	4,0		0,19	120,9
21		КО $\frac{4 \times 4}{0,22}$			0,22	127,1
22		КО $\frac{4 \times 4}{0,31}$			0,31	146,2

Застосування кронштейнів дозволяє збільшити висоту установки світильників на 2–4 метри. Винос світлового центру світильника щодо осі стояка, залежно від його типу, може досягати 2,5–2,8 м. Всі консольні світильники, установлені на кронштейнах цієї серії, приймають похиле положення, при якому поздовжня вісь світильника становить 15° з горизонталлю.

З метою спрощення вибору кронштейна наводимо табл. 6.5, де подані рекомендовані сполучення стояків і кронштейнів.

**Таблиця 6.5. Рекомендовані марки опор і кронштейнів**

Опори			Стояки	Кронштейни
тип	призначення		марка	номери за табл. 6.4
1	Зовнішнє освітлення	з кабельною підводкою живлення	СЦс–0,65–8	1
			СЦс–0,8–10	1, 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20
П		з повітряною підводкою живлення	СЦс–1,2–10	1, 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20
			СНЦс–2,8–10	2, 5, 8, 11, 14, 17, 20
Ш	Сполучені для зовнішнього освітлення й контактних мереж міського електричного транспорту		НЦс–3,4–11,5	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21
			СНЦс–5,1–11,5	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21
			СНЦс–7,7–12	4, 7, 10, 13, 16, 19, 22
			СНЦс–10–12	4, 7, 10, 13, 16, 19, 22

### **Контрольні питання до глави 6**

1. Алюмінієві опори, переваги й недоліки.
2. Сталеві опори, переваги, недоліки й область застосування.
3. Залізобетонні опори, достоїнства й недоліки.
4. Тросові підвіски світильників.
5. Установка консольних світильників.



## **Глава 7. СИСТЕМИ ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ ВУЛИЦЬ, ДОРІГ І МАГІСТРАЛЕЙ**

### **7.1. Класифікація установок зовнішнього освітлення**

За прийнятою класифікацією освітлювальних установок система освітлення вулиць — система загального освітлення з рівномірним розташуванням світильників. Але це справедливо для прямолінійних ділянок, де опори й світильники розміщені з певним кроком. На перехрестях, примиканнях і відгалуженнях, як правило, установлюють додаткові світильники з метою збільшення рівня яскравості.

В установках освітлення вулиць застосовують джерела світла, потужність яких, як правило, не перевищує 400 Вт. Застосування потужніших джерел світла вимагає збільшення висоти установки світильників, що приводить до збільшення вартості опор і пов'язаного з цим подорожчання обслуговування, а також до можливості зменшення рівномірності розподілу яскравості й появи зон "невидимості" при досить великих відстанях між опорами.

Основною ознакою класифікації освітлювальних установок зовнішнього освітлення є висота установки світильників і, як похідна цього, — висота опор. Саме за цією ознакою розрізняють освітлювальні установки вулиць і доріг наступних типів:

- звичайний, коли для установки світильників використовують опори висотою 8–12 метрів або поперечні тросові підвіски;
- проміжний, коли для установки світильників використовують опори висотою близько 20 м;
- високомачтовий, коли кілька освітлювальних приладів монтують на опорах висотою 30 м і більше;

- поздовжно-підвісний, коли світильники підвішують над серединою вулиці або розділової смуги на тросі, прокладеному вздовж вулиці;
- парапетний, коли світильники монтують в огородженнях дороги або пішохідних шляхів на висоті близько одного метра;
- настінний, коли світильники розташовують на стінах або дахах будинків, що утворюють вулицю або площу.

Кожний з цих типів має свою область застосування і свої переваги використання в даній області.

Звичайний тип установок найпоширеніший. Його виникнення, очевидно, відноситься до часу переважного застосування дерев'яних опор, висота яких лежить у межах 6–10 метрів. Металеві й залізобетонні опори, що вперше застосовувалися на практиці, протягом деякого часу підганяли "під ріст" дерев'яних. Цей тип установок є переважним на вулицях міст, практично основним з відомих і використовуваних у наш час. Розгляду принципів побудови установок цього типу, їх конструкціям і проектуванню повинна бути приділена велика увага, що відповідає значенню таких установок у сучасній практиці освітлення міст.

## **7.2. Установки звичайної системи освітлення**

В установках звичайного типу світильники можуть бути підвішені до троса або кронштейна на опорі (вінчаючі) або консолі, що є продовженням опори. Положення світильника щодо освітлюваної ними проїзної частини і її границі встановлюють значеннями висоти установки  $H$  (м) над поверхнею проїзної частини й вильоту  $\Delta b$  (див. рис. 7.1). Відстань між світильниками, вимірювана уздовж напрямку проїзної частини, називають кроком  $D$  (м) світильників або опор. Консольні світильники часто встановлюють так, що їх поздовжня вісь становить деякий кут  $\varphi$  з обрієм.

Найважливішими характеристиками освітлювальної установки є схеми й параметри розташування світильників (значення  $H$ ,  $D$  і  $\Delta b$ ).

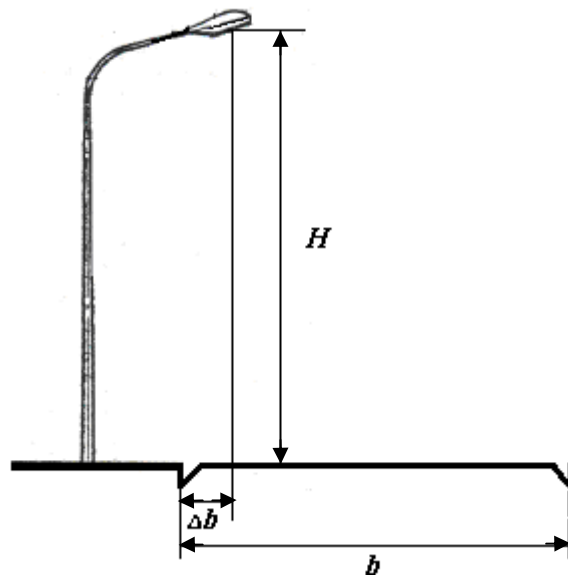




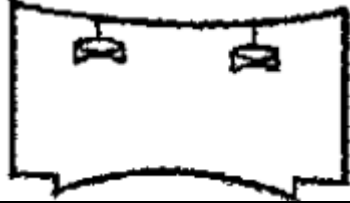

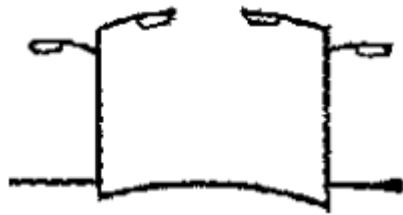
Рис. 7.1 — Установка світильника на опорі

Розрахунки й практика експлуатації установок дозволили визначити область застосування типових схем розташування світильників на вулицях з різною шириною проїзної частини  $b$  (табл. 7.1).

**Таблиця 7.1 – Область застосування типових схем розташування світильників на вулицях з різною шириною проїзної частини**

Найменування схеми	Схема	Ширина проїзної частини	Спосіб установки ОП
1	2	3	4
Одностороння		$<12$	На опорах з однієї сторони проїзної частини
Дворядна в шаховому порядку		$<24$	На опорах з двох сторін проїзної частини в шаховому порядку

Продовження табл.. 7.1.

1	2	3	4
Дворядна прямокутна		<48	На опорах з двох сторін проїзної частини в прямокутному порядку
Осьова		<18	На тросах по осі вулиці або дороги
Дворядна прямокутна по осі руху		<60	На тросах по осі руху в прямокутному порядку
Дворядна прямокутна по осі вулиці або дороги		<24	На опорах, що встановлені по роздільній смугі проїзної частини
Чотирирядна в шаховому або прямокутному порядку		48–100	На опорах з двох сторін проїзної частини в шаховому або прямокутному порядку з додатковими кронштейнами для освітлення

Слід зазначити, що регулярність розміщення світильників, необхідність якої обумовлена характеристиками об'єкта освітлення, завжди коректується з урахуванням конкретної обстановки і її особливостей. Наприклад, при освітленні вулиць, пересічених іншими, крок світильників поблизу перехрестя повинен бути прийнятий таким, щоб найближчі до перехрестя світильники були віддалені від перетинання границь проїзної частини не більш, ніж на  $\frac{1}{4}$  розрахункового кроку, прийнятого для вулиці. При пере-

тинанні вулиці залізничним полотном, а також поблизу пішохідних переходів крок світильників, що містить у собі перехід або перетинання, повинен бути вдвічі менше визначеного для вулиці, що не переривається. На ділянці вулиці або дороги, що плавно змінює свій напрямок, світильники встановлюють на зовнішній стороні закруглення. У випадку, коли радіус закруглення не дуже великий, може виявитися необхідним зменшення кроку світильників проти розрахункового для того, щоб у поле зору водія, який наближається до закруглення, перебували кілька світильників, що виявляє характер зміни напрямку дороги.

Фактором, що найбільш сильно визначає як кількісні, так й якісні показники освітлення вулиць і доріг є висота установки світильників. Встановленню мінімального значення висоти при проектуванні установок приділяється найбільша увага. Очевидно, що зменшення висоти установки світильників дозволяє досягати збільшення освітленості і яскравості дорожніх покриттів. При цьому з тим же ступенем очевидності, росте сліпуча дія установки. Збільшення висоти вимагає більш дорогих опор і зменшує величину контрасту об'єктів і фону.

Діючі в даний час нормативи й вимоги до проектування вказують на необхідність оцінки обираної висоти установки світильників з погляду забезпечення рівномірності розподілу яскравості, припустимої величини сліпучої дії і необхідного значення контрасту об'єкта і фону.

Розрахунки максимального й мінімального значень яскравості поверхні дорожніх покриттів, виконані для установок з різними світильниками й значеннями параметрів  $H$  і  $D$ , дозволили знайти граничні значення відношення мінімальної яскравості покриттів проїзної частини вулиць, доріг і площ до середньої яскравості. При нормі середньої яскравості більше  $0,6$  кд/м<sup>2</sup> відношення  $L_{\text{мин}}/L_{\text{ср}}$  повинне бути не менш  $0,4$  й  $0,3$  при нормі середньої яскравості  $0,6$  кд/м<sup>2</sup> і менше, по смузі руху співвідношення  $L_{\text{мин}}/L_{\text{макс}}$  повинні бути не менше  $0,6$  й  $0,4$ . Для освітлювальних установок вулиць і

доріг категорії В мінімальна висота розташування світильників обмежується, виходячи з умов обмеження засліпленості:

- для світильників із захисним кутом менше 15° — за табл.7.2;
- для світильників із захисним кутом 15° і більше — не менше 3,5 м при будь-яких джерелах світла;

**Таблиця 7.2 – Мінімально припустима висота установки світильників залежно від їх розподілу**

Крива сили світла за ДСТ 17677–82	Найбільший світловий потік джерел світла у світильниках, установлених на одній опорі, лм	Найменша висота установки ОП, м, при	
		ЛР	РЛ
Напівширока	Менше 6000	6,5	7
	Від 6000 до 10000	7	7,5
	Більше 10 000 до 20 000	7,5	8
	Більше 20 000 до 30 000	—	9
	Більше 30 000 до 40 000	—	10
	Більше 40 000	—	11,5
Широка	Менше 6000	7	7,5
	Від 6000 до 10 000	8	8,5
	Більше 10 000 до 20 000	9	9,5
	Більше 20 000 до 30 000	—	10,5
	Більше 30 000 до 40 000	—	11,5
	Більше 40 000	—	13

- для світильників розсіяного світла — не менше 3 м при світловому потоці джерела світла до 6000 лм і не менше 4 м при світловому потоці більше 6000 лм.

З метою забезпечення необхідної рівномірності розподілу яскравості в поперечному напрямку вулиці приймаються схеми розміщення і значення висоти установки світильників, вказані в табл. 7.1 для вулиць різної ширини.

Опори світильників встановлюють на тротуарах або розділювальній смузі проїзної частини й розташовують на відстані не менше 0,6 м від лицьової границі бортового каменю до зовнішньої поверхні опори. З метою зменшення небезпеки наїзду на опори доцільно, у можливих випадках, цю відстань збільшувати. На вулицях з посадками дерев рекомендується установка світильників на консолях або кронштейнах опор, розмір яких забезпечує винос світильника за межі крони дерева в напрямку проїзної частини або підвішення світильників на тросах. При освітленні вузьких вулиць і проїздів крім застосування спеціальних настінних світильників допускається установка світильників на консолях або кронштейнах, що встановлюють на стінах будинків у місцях, що забезпечують достатній ступінь зручності обслуговування й виключають можливість освітлення вікон будинків.

На вулицях, по яких проходять трамвайні або тролейбусні лінії, для установки світильників і прокладки електричних ліній їх живлення використовують опори контактної мережі міського електричного транспорту. Світильники встановлюють на кронштейнах або консолях, що забезпечують їх необхідний винос. Додатковим обмеженням мінімальної висоти установки світильників на опорах контактної мережі тролейбуса є небезпека пошкодження світильників і конструкцій електричної мережі освітлення штангами, що сходять з тролея.

На вулицях і проїздах нижчих категорій для установки світильників і прокладки ліній їх живлення використовують опори міських електричних мереж.

### **7.3. Установки проміжної системи освітлення**

Вимоги до рівномірності розподілу яскравості дорожнього покриття і зменшення сліпучої дії найбільш повно задовольняються шляхом зменшення величини відношення  $D/H$ . Це може бути досягнуте як у результаті

зменшення величини кроку світильників  $D$ , так і шляхом збільшення висоти  $H$  установки світильників. Для освітлення широких доріг і площ економічно ефективним є збільшення висоти опор до 20–25 метрів зі збереженням оптимального відношення  $D/H$ . У цьому разі можуть застосовуватися світильники з потужнішими джерелами світла й спеціально підібраним світлорозподілом.

У наш час цей тип установок отримав переважне застосування для освітлення в'їзних у великі міста автомобільних доріг. Освітлювальні установки проміжного типу також цілком прийнятні й для освітлення центральних вулиць міст з інтенсивним рухом транспорту. Опори цієї висоти можуть бути віднесені від борта проїзної частини вулиці, що істотно зменшить небезпеку наїзду на них і поліпшить освітлення тротуарів. В установках цього типу можливе застосування світильників з потужними джерелами світла або установка на одній опорі декількох світильників середньої потужності. Обслуговування пристроїв таких установок більш дороге, тому що для доступу до світильників потрібні потужніші й, отже, більш дорогі підйомники.

У нашій країні установок цього типу мало й призначаються вони переважно для освітлення площ.

#### **7.4. Установки високомачтової системи освітлення**

Високомачтовий тип установок дістав застосування для освітлення складних транспортних перетинань і розв'язок у містах і на приміських автомобільних магістралях швидкісного руху. Установки цього типу застосовують також для освітлення великих міських площ з інтенсивним рухом транспорту й пішоходів, великих автомобільних стоянок, ділянок територій залізничних станцій, аеропортів і т.п.

Найбільш характерною особливістю установок цього типу є застосування опор-мачт висотою 30–50, а в окремих випадках — до 60 метрів. На



опорах групами встановлюють світильники симетричного концентрованого світлорозподілу, світлові прилади прожекторного типу (заливаючого світла), а в окремих випадках спеціально сконструйовані прилади. На місці установки світильників на опорі споруджують спеціальні площадки або конструкції іншого типу, пристосовані для установки, а в деяких випадках і для обслуговування світлових приладів.

У всіх випадках застосування високомачтових установок досягається можливість одержання високих рівнів і якості освітлення. Легко досягти є створення освітленості в кілька десятків люкс на значних площах і при високому ступені рівномірності. Установка світлових приладів (майже у всіх випадках концентрованого світлорозподілу) на великій висоті усуває їх сліпучу дію. Установка світлових приладів групами запобігає виникненню нерівномірності освітлення при виході з ладу частини джерел світла, тоді як при лінійному розташуванні джерел це викликає виникнення темних плям на освітлюваній поверхні.

У результаті застосування високих опор освітлюється не тільки смуга руху транспорту, й все найближче оточення, що поліпшує орієнтування водіїв у загальній обстановці й сприяє підвищенню безпеки руху. Освітлення оточення поліпшує видимість перешкод й оцінку небезпеки в несприятливих метеорологічних умовах.

Застосування високомачтової системи освітлення приводить до можливості зменшення числа опор в 6–15 разів. Зменшення числа опор і можливість їх віддалення від проїзної частини дороги різко знижує небезпеку наїзду на них, спрощує обслуговування установок і поліпшує їх вид у денний час.

Освітлювальні установки цього типу допускають можливість зменшення величини встановленої потужності в порівнянні з потужністю установок традиційного типу, що приводить до зменшення споживання елект-

роенергії. Витрати на обслуговування установок цього типу можуть бути більш високими.

Значна висота опор установок цього типу виключає можливість використання пересувних підйомників для забезпечення доступу до світильників.

Підйом на опори по сходах, змонтованих зовні або усередині мачт, пов'язаний з небезпекою, стомлює і вимагає великих витрат часу, тому протягом робочого дня однією бригадою обслуговуються освітлювальні пристрої не більше 2–3 мачт. Крім того, для безпечного обслуговування світильників на місці їх установки необхідне спорудження спеціальної площадки, що робить конструкцію дорожчою, вона екранує світильники в деяких напрямках.

У даний час у більшості випадків світлові прилади встановлюють на конструкціях, що опускаються для обслуговування до основи опори.

Високомачтовий тип освітлювальних установок є засобом вирішення найбільш складної проблеми усунення сліпучої дії світильників, що освітлюють дороги і перетинаються на різних рівнях. Справді, світильники, які освітлюють дорогу нижнього ярусу, перебувають на лінії зору водія дороги другого ярусу.

Практика освітлення великих площ з інтенсивним рухом підтверджує високу ефективність застосування високомачтових установок, що дозволяють істотно зменшити число перешкод руху, підвищити рівень і якість освітлення, створити вигляд парадності освітлюваної території.

Високомачтовий тип установок є незамінним при освітленні великих (кілька тисяч) стоянок автомобілів. Наприклад, стоянка в 5600 автомобілів, 1200 з яких перебувають на даху приміщень станції обслуговування (Німеччина), освітлюється з чотирьох мачт висотою 60 м з 12 приладами прожекторного типу потужністю по 2 кВт кожний.

Невелике число освітлювальних пристроїв в установках цього типу дозволяє резервувати освітлення, приєднуючи світлові прилади однієї мачти до двох ТП або застосовуючи схеми автоматичного включення резерву.

Застосування високомачтових установок для освітлення транспортних перетинань, великих міських площ і територій іншого призначення є прикладом локалізованого розміщення світлових приладів.

Не винятком є можливість використання установок цього типу з рівномірним розміщенням світильників.

Спорудження і використання швидкісних автомобільних доріг з багатосмуговим рухом показало, що вони не можуть бути ефективно освітленими за допомогою установок звичайного типу. Установки з опорами проміжної висоти (близько 20 м), установлені на розділовій смузі, забезпечують виконання вимог до освітлення. Але обслуговування освітлювальних пристроїв такого типу ускладнено внаслідок неможливості в'їзду на розділову смугу, а наявність піднімального механізму на проїзній частині створює серйозну небезпеку і є істотною перешкодою руху. У даний час вже є досвід освітлення таких доріг установками з опорами великої висоти.

Практика спорудження і експлуатації високомачтових установок на швидкісних автострадах підтвердила можливість установки опор з кроком  $D = (4-5)H$ , при цьому досягається той же ступінь рівномірності розподілу яскравості, що й при освітленні звичайними засобами. Засліпленість або дискомфорт, обумовлені дією приладів, установлені на високих опорах, малі в порівнянні зі сліпучою дією традиційних установок й, особливо, фар зустрічних автомобілів. Вогні світлових приладів, установлені на високих опорах, помітно виділяються серед вогнів, розташованих на звичайній висоті, що поліпшує орієнтування водіїв, особливо по ділянках напрямку, що змінюється, і профілю. Цьому сприяє освітлення ділянок місцевості, що безпосередньо примикає до дороги. Більша ширина освітленої частини

поля зору підвищує рівень адаптації, що оцінюється водіями як виникнення "почуття безпеки".

При інтенсивному русі, коли автомобілі рухаються на порівняно невеликій відстані один від одного, виникає помітне зорове стомлення, обумовлене періодичною зміною величини й знака контрасту в полі зору водія. При наближенні до ліхтаря поверхня поперед автомобіля, що рухається, здається більш темною, ніж дорожнє покриття, а при проїзді й видаленні від ліхтаря — більше яскравою. Висока частота таких змін при звичайному освітленні викликає більш помітне стомлення, ніж цей же ефект, що відбувається при освітленні з високих опор.

При спорудженні доріг й освітлювальних установок цього типу повинна бути передбачена можливість під'їзду до основи опори й площадка, що забезпечує обслуговування опущених на неї освітлювальних приладів.

### **7.5. Установки поздовжно-підвісної системи освітлення**

Застосування поздовжньої (тобто що йде по осі дороги, або паралельно їй) підвіски світильників допускає розміщення приладів на будь-якій як завгодно малій відстані один від одного, що забезпечує можливість досягнення високого ступеня рівномірності розподілу яскравості в поздовжньому напрямку й дозволяє уникнути загромодження траси установкою великої кількості опор.

Установки поздовжно-підвісного типу одержали найбільше поширення при освітленні швидкісних автомобільних доріг з розділовою смугою.

Опори установок цього типу висотою 15–20 м встановлюються на середині розділової смуги на відстані 60–100 м одна від одної. По вершинах опор прокладають сталевий несучий трос, до якого підвішуєть другий, фіксуючий, прокладений горизонтально. Верхній трос несе також кабель лінії високої напруги. До нижнього троса на висоті 12–18 м і на відстані 12–15 м один від одного, підвішені світильники й кабель мережі низької

напруги, що живить лампи установки. У більшості установок використовуються світильники з натрієвими лампами. Застосування в них двох відбивачів дозволяє одержати в поперечній площині широкий світлорозподіл, що забезпечує досягнення заданого ступеня рівномірності розподілу яскравості в поперечному напрямку освітлюваної дороги. Криві розподілу сили світла в поздовжній площині такого світильника будуть близькі до окіл, що торкається осі лампи, тобто розподіл сили світла в цій площині буде обмеженим, що при невеликому кроці світильників забезпечує рівномірність розподілу яскравості уздовж дороги. Відсутність розділової смуги не є перешкодою застосування установок поздовжно-підвісного типу. У таких випадках опори встановлюють на узбіччях дороги. Верхній несучий трос кріплять до поперечної підвіски, натягнутої між двома опорами, що стоять навпроти.

Освітлювальні установки поздовжно-підвісного типу забезпечують можливість досягнення як завгодно високих значень яскравості дорожнього покриття, високого ступеня рівномірності її розподілу й істотного зниження сліпучої дії установки (тому що лампи розташовані вздовж напрямки лінії зору водія). Установки цього типу забезпечують гарне орієнтування водіїв при зміні поздовжнього профілю дороги й на її відгалуженнях та перетинаннях. У ряді країн Європи і в США є досвід здійснення та експлуатації установок цього типу, застосовуваних для освітлення приміських й окружних доріг. У кожному окремому випадку застосування цього типу установок засновано на техніко-економічному порівнянні можливих варіантів. Капітальні витрати на спорудження установок поздовжно-підвісного типу дещо вище, ніж для установок звичайного типу, експлуатаційні витрати істотно нижче. Особливим достоїнством установок цього типу є можливість індустріалізації монтажних робіт. Оброблення кінців нижнього троса, підвішення до нього кабелю низької напруги, підвішення і приєднання до мережі світильників можуть бути виконані в майстернях.

Розроблено прийоми підвішування світильників, що усувають розгойдування їх вітром.

Відзначимо, що тільки за допомогою установок поздовжньо-підвісного типу можна, з досить високою економічністю, здійснити освітлення з відношенням  $D/H = 1$ , що забезпечує, при застосуванні світильників обмеженого світлорозподілу, рівномірність освітлення, близьку до ідеальної і відсутність сліпучої дії. В установках цього типу, як і в інших, опори яких устанавлюються на розділовій смузі, можливе застосування високої (3–6 кВ) напруги живильних мереж.

#### **7.6. Установки парапетної системи освітлення**

У цій конструкції освітлювальних установок світильники вбудовують в огороження доріг або пішохідних шляхів і розташовують, як правило, у лінію на висоті близько одного метра. У парапетах мостів і шляхопроводів мінімальна висота установки світильників не обмежується за умови застосування світлових пристроїв із захисним кутом не менше  $10^\circ$  і виключення можливості доступу до джерел світла без застосування спеціального інструмента.

Установки цього типу застосовують для освітлення окремих ділянок складних транспортних перетинань, вузьких проїздів, мостів, складних закруглень, особливо на гірських дорогах і т.п.

Установки парапетного типу найбільш дорогі, тому що їх застосування здорожує конструкцію огорожень, для їх здійснення необхідні спеціальні світильники, що володіють підвищеною безпекою і стійкістю проти навмисних руйнувань. У будь-якій конструкції світильника й з будь-яким типом джерела світла складним є одержання світлорозподілу, що забезпечує досягнення рівномірного розподілу яскравості в поперечному напрямку смуги будь-якої ширини. Світильники установки парапет-

ного типу перебувають у центральній частині поля зору водіїв засобів транспорту й роблять значну сліпучу дію. Якщо світильники не утворюють безперервної лінії, а встановлені з розривами, око водія піддається переривчастому освітленню тим більшої частоти, чим вище швидкість руху, що викликає стомлення і дію, яка заважає, знижуючи здатність сприйняття деталей обстановки.

Унаслідок відзначеного застосування установок парапетного типу обмежується випадками, коли ніякий інший тип освітлення не може бути застосований і установка опор неприпустима.

Застосування парапетних установок є виправданим при освітленні порівняно нешироких з'їздів у перетинаннях доріг на різних рівнях. Парапетне освітлення, що є гарним способом орієнтації водіїв, у таких випадках може виявитися незамінним.

### **7.7. Освітлення ділянок, що ускладнюють рух**

Норми так представляють освітлення вулиць і доріг, ніби вони зовсім прямолінійні й горизонтальні. У дійсності ж будь-яка вулиця або дорога має місця і ділянки, що відрізняються зміною структури й геометрії проїзної частини, умов видимості, загального навколишнього оточення, які можуть ускладнювати рух для всіх його учасників. На вулицях і дорогах такими місцями є перетинання, підземні транспортні переходи, ділянки відокремлення або злиття доріг, круті повороти, підйоми й ухили і т.п. Тут перед водіями засобів транспорту виникають більш складні зорові завдання, ускладнюється орієнтування і прийняття рішень. В окремих випадках (гребінь підйому, досить крутий поворот) силуетне сприйняття, що є однією з основних умов бачення, є неможливим. Освітлення таких ділянок вимагає окремого розгляду, застосування особливих прийомів і засобів освітлення, які можуть бути індивідуальними в кожному окремому випадку.

Перетинання на одному рівні вулиць і доріг у випадках регулювання руху, не обмежують пропускну здатність і не знижують безпеки. Деяке підвищення небезпеки виникнення дорожньо-транспортних випадків може викликати наявність на перетинанні пішохідних переходів. З метою залучення уваги водіїв машин і пішоходів до епіцентру підвищеної небезпеки необхідне підвищення рівня освітлення на перехресті.

Діючі норми забезпечують практично подвоєння рівня освітленості, що досягається установкою світильників системи освітлення обох пересічних вулиць на регламентованій відстані від кутів перехрестя, наприклад так, як це показано на рис. 7.2. На чисто пішохідних переходах в одному рівні з проїзною частиною вулиць і доріг з інтенсивністю руху більше 500 од/год повинне бути передбачене підвищення норми освітленості не менше ніж в 1,3 раза в порівнянні з нормою освітлення пересічної проїзної частини. Крім цього увага до перехресть з пішохідними переходами може бути привернута особливими кольорами випромінювання джерел світла, наприклад, спільним використанням для освітлення перехрестя ламп типу ДРЛ і натрієвих ламп або натрієвих ламп і ДРИ. Для поліпшення розрізнення об'єктів на переході можуть застосовуватися освітлені покриття або локальне підвищення величини вертикальної освітленості.

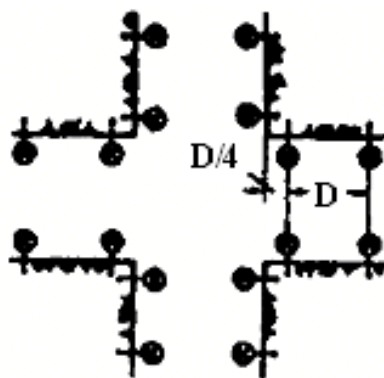


Рис. 7.2 — Розташування світильників на перехресті



Зорові завдання водія істотно ускладнюються на закругленнях і височинах дороги або вулиці. Закруглення великого радіуса або плавний підйом і спуск можуть бути освітлені так само, як і прямі горизонтальні ділянки вулиць. На крутих закругленнях, на підйомах можлива втрата силуетного розрізнення (темний фон узбіччя або неба). У цих випадках розташування світильників повинне забезпечувати не тільки освітлення проїзної частини, але і її границь й узбіч. Освітлення оточення закруглень є важливим засобом орієнтування і полегшення прийняття рішень, особливо у випадках раптової появи перешкод руху.



**Рис. 7.3 — Розташування світильників на закругленні по зовнішній стороні**

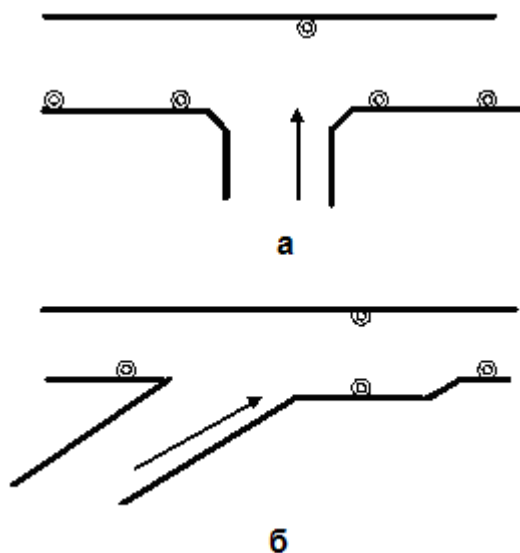
Досягнення оптимального вирішення геометрії закруглень і підйомів, а також відповідного їм розташування і орієнтації світлових приладів є важливим завданням. Наприклад, кращому заповненню світлом дороги з великим радіусом закруглення (більше 250 м) сприяє шахове розташування світильників з кроком, визначеним для прямої дороги. Освітлення крутих закруглень (з радіусом від 60 до 250 м) вимагає зменшення кроку світильників до 0,7 розрахункової величини при установці їх на зовнішньому узбіччі й до 0,55 — на внутрішньому.

При установці світильників на ухилах опори розміщують вертикально, світильники ж повинні бути встановлені так, щоб осі були перпендикулярні до освітлюваної поверхні, що забезпечує рівномірність освітлення і усуває сліпучу дію, що істотно в даній ситуації.

На прямій ділянці дороги або вулиці, де підйом замінюється ухилом, світильники доцільно встановлювати з трохи скороченим кроком.

Особливої уваги вимагає структура освітлення близько розташованих закруглених смуг із зустрічним рухом. На цих ділянках користування фарами становить пряму небезпеку осліплення. Та ж небезпека, в дещо меншій мірі, може виникати в результаті дії світильників зустрічної смуги, якщо їх розташування прийняте без урахування можливості цього осліплення.

Освітлення примикань (рис. 7.4,а) і злиттів (рис. 7.4,б) доріг має проблему освітлення закруглень, що ускладнюється тим, що на цих ділянках завжди зменшується швидкість руху транспортних засобів. Через можливість втрати силуетного сприйняття об'єктів, на цих ділянках доцільні заходи безпосереднього освітлення засобів транспорту, які рухаються по основній дорозі, шляхом установки додаткових світильників, як це показано на рис 7.4.



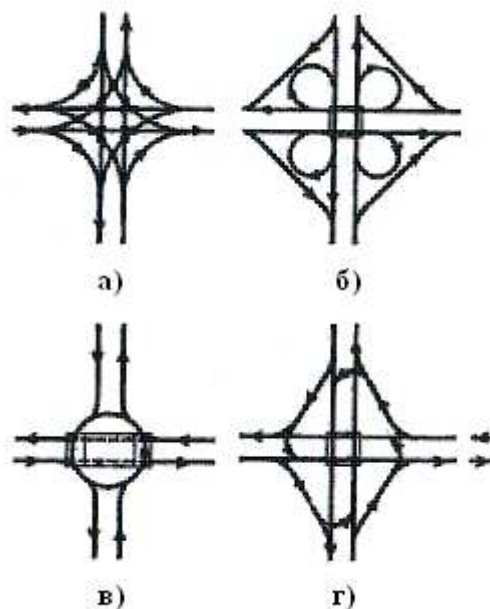
**Рис. 7.4** — Схеми розміщення світильників на примиканнях (а) і злиттях (б)

Найбільш складними об'єктами освітлення є перетинання доріг, що одержали назву транспортних розв'язок. Дорожні структури цього типу характерні не тільки для заміських доріг. Вони, у разі неможливості організації

руху засобами регулювання, можуть виникати й у містах, незважаючи на високу вартість спорудження і необхідність у значній території. Слід особливо зазначити, що основу розробки таких структур становить прагнення створити умови руху, що виключають необхідність його регулювання.

Освітлення транспортних розв'язок практично завжди містить у собі необхідність вирішення всіх проблем освітлення у складних ситуаціях. На рис. 7.5,а подана класична схема перетинання без розв'язки руху. На рис.7.5,б наведена схема побудови універсальної транспортної розв'язки ("лист конюшини"), що дає можливість змінити будь-який напрямок руху на будь-який інший. Очевидною є необхідність спеціального освітлення закруглень, підйомів й ухилів, розгалуження і злиття доріг, а також близько розташованих смуг зустрічного руху.

Схеми рис. 7.5,б, в, г дозволяють установити наявність цих же ускладнень освітлення шляхопровідно-кільцевого й ромбоїдального перетинань і з'єднань доріг.



**Рис.7.5 — Типові перетинання в різних рівнях:**  
**а) без розв'язки руху; б) з розв'язкою руху за типом "конюшиний лист";**  
**в) шляхопровідно-кільцева розв'язка з організацією руху по кільцю;**  
**г) ромбовидна розв'язка руху з організацією лівих поворотів по косих з'їздах.**

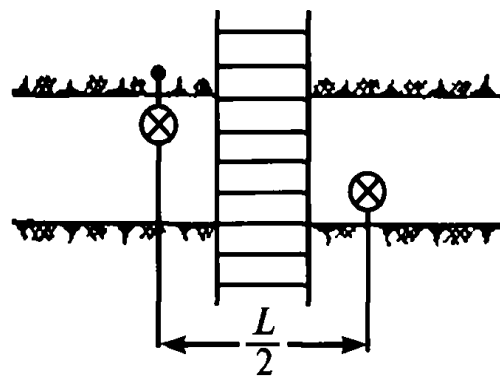
Особливістю освітлення розгалужень і злиттів доріг є необхідність поступового переходу від рівня освітлення однієї дороги до рівня освітлення іншої. Довжина такої перехідної ділянки визначається необхідністю забезпечення принаймні 5-секундної тривалості періоду адаптації до нового рівня освітлення. Норми вимагають, щоб рівень освітлення вулиць, що примикають до швидкісних доріг і магістральних вулиць, був не менше однієї третини від головної вулиці на відстані не менше 100 м від лінії примикання.

Зазначимо, що все розглянуте вище відноситься до звичайного або проміжного типів освітлювальних установок, структура й конструкція яких забезпечують необхідний ступінь можливості орієнтуватися у виборі напрямку руху.

Практика експлуатації таких транспортних розв'язок указує на необхідність належного освітлення не тільки дорожньої поверхні, але й усього оточення, що утворює перетинання або злиття доріг. Вирішення таких завдань можливе при застосуванні високомачтової системи освітлення.

Освітлення перетинань залізниць підпорядковується особливим правилами і перебуває у відомстві їх адміністрації. Очевидно, що з її погляду, основною вимогою освітлення переїздів є забезпечення видимості перешкод руху поїздів. Освітлення доріг, що перетинають залізничні колії, повинне насамперед забезпечувати видимість дорожніх знаків і сигналів, що попереджають про наближення до переїзду, а також можливість оцінки ситуації на самому переїзді, що важливо у випадку нерегульованих перетинань. Загальним правилом є необхідність підвищення, практично подвоєння рівня освітлення дороги на відстані 30–50 м до і після переїзду, а також створення підвищених рівнів освітленості вертикальних поверхонь. На рис. 7.6 наведено приклад кращого розташування світильників при освітленні залізничних переїздів.

На серйозну проблему може перетворюватися освітлення озелених вулиць. При невдалому виборі розташування і різних породах дерев, а також відсутності заходів регулювання їх розростання, озеленення може виявитися істотною перешкодою освітлення. У цій ситуації найбільш ефективна координація дій комунальних служб озеленення і освітлення, спрямованих на усунення таких причин. У випадках уже діючих установок найбільш результативним засобом є регулярна обрізка дерев, в окремих випадках — видалення. При проектуванні нових установок або розробці проектів реконструкції діючих можливі й доцільні деякі компроміси. Ці компроміси полягають у відступах від нормативних або типових розташувань засобів освітлення. У ряді випадків такі відступи можуть викликати зміну раніше зробленого вибору типу світильника.



**Рис.7.6** — Схема розміщення світильників на залізничному переїзді

У всіх випадках освітлення озелених вулиць доцільне винесення світильників за межі крон дерев (наприклад, осьове розташування) і застосування світильників напівобмеженого світлорозподілу. У більшості таких випадків виникає необхідність особливого освітлення тротуарів і пішохідних шляхів. Ці завдання можуть бути вирішені або застосуванням настінних світильників, або спорудженням спеціальних установок.

## 7.8. Освітлення пішохідних шляхів і перетинань

Заходи впорядкування і регулювання міського руху привели до виникнення локальних концентрацій пішоходів на перехрестях. Наземні переходи вулиць з інтенсивним рухом транспорту виявилися зосередженнями підвищеної небезпеки, особливо в нічний час, що викликало необхідність розробки й впровадження спеціальних заходів освітлення пішохідних переходів (рис. 7.7).

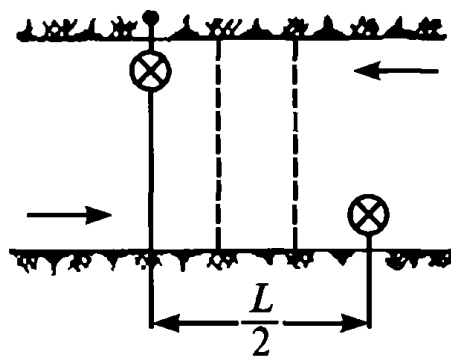


Рис.7.7 — Схема розміщення світильників на пішохідному переході

В останні роки все в більших масштабах здійснюється розвантаження ділових, суспільних і комерційних районів міст від засобів механізованого транспорту й створення умов безперешкодного пересування пішоходів. Вільне планування і забудова міст має як наслідок збільшення довжини шляхів чисто пішохідного руху й відокремлення цих шляхів від вулиць і доріг, призначених для руху засобів транспорту. У результаті виникає нова проблема освітлення пішохідних шляхів, раціональні вирішення якої є відмінними від правил і прийомів освітлення вулиць у зв'язку з більш низькими регламентованими значеннями освітленості (10–6 –4–2 лк).

Спеціальне освітлення наземних пішохідних переходів, визначених маркуванням, дозволяє значно скоротити число дорожньо-транспортних випадків через наїзд на пішоходів на перехрестях. Дослідження і практика показали, що у складній ситуації міського руху на перехрестях звичайного

силуетного сприйняття об'єкта, забезпечуваного традиційним вуличним освітленням, недостатньо, тим більше що в ряді випадків (зниження або поворот дороги за переходом) світлий фон дорожнього покриття може бути відсутній.

Необхідно влаштовувати спеціальне освітлення пішохідних переходів на вулицях з інтенсивним рухом транспорту, де його швидкість перевищує 50 км/год. Це означає, що освітлення цього виду необхідне в першу чергу на вулицях і дорогах з високим рівнем яскравості дорожнього покриття.

Реалізацією вимоги більш інтенсивного освітлення переходів є установка поблизу переходів додаткових ліхтарів зі світильниками звичайного вуличного типу. Створення позитивного і, тим більше, кольорового контрасту вимагає високих освітленостей у вертикальних площинах, перпендикулярних до напрямку руху транспорту, що перебуває в межах переходу. За кордоном випускають спеціальні світильники для освітлення наземних пішохідних переходів з джерелами світла контрастної кольоровості в порівнянні з освітленням основної вулиці. Світильник має яскраве фарбування з нанесеними на корпус вертикальними смугами жовто-гарячо-чорного, біло-чорного або жовто-чорного кольорів.

У ряді міст європейських країн і Японії здійснене спеціальне освітлення пішохідних переходів світильниками типу «зебра» з натрієвими лампами низького тиску. Результатом цього є висока світлова віддача і характерний жовто-жовтогарячий колір випромінювання, що виділяє перехід на вулиці, яка освітлена лампами типу ДРЛ. Зазначимо, що при цьому кольорний контраст не виникає і для його досягнення необхідне використання ламп з гарною передачею кольору.

Описане вище освітлення наземних пішохідних переходів істотно зменшує число дорожньо-транспортних випадків.

Освітлення тротуарів та інших пішохідних шляхів, що примикають до проїзної частини вулиць із розвиненим транспортним рухом, забезпечується світильниками, призначеними для освітлення проїзної частини. Вітчизняні норми вимагають такого світлорозподілу світильників і такої їх установки, які забезпечили б досягнення яскравості покриття тротуару, рівної половині нормованої для проїзної частини.

Освітлення пішохідних шляхів у районах обмеження або заборони транспортного руху, районах вільного планування, а також освітлення алей, бульварів, доріжок у парках і т.п. має інше, відмінне від освітлення вулиць призначення і характеристики.

Освітлення проїзної частини вулиць повинне забезпечити можливість водієві побачити на відстані в кілька десятків метрів й орієнтуватися в зміні напрямку й профілю дороги на відстані 300–500 метрів. Ці можливості дає традиційне освітлення вулиць, що утворює "світловий тунель".

Для пішохода властивості системи освітлення, що орієнтують, відіграють другорядну роль. Освітлення повинне давати змогу бачити найближче оточення, можливість розрізнити й впізнавати обличчя людини на відстані в кілька метрів. Це означає необхідність іншого, ніж для класичного освітлення вулиць, світлорозподілу світильників, необхідність істотно нижчих рівнів освітлення, меншого ступеня рівномірності розподілу освітленості, допустимість не дуже твердих вимог до сліпучої дії світильників. Однак, до світильників для освітлення пішохідних шляхів повинні бути висунуті більш високі естетичні вимоги і, що цілком обов'язково, використання джерел світла з високими колірними характеристиками. Щодо цього особливо важливо, щоб передача кольору випромінювання джерела забезпечувала правильне сприйняття відтінків шкіри особи. З цієї причини для освітлення пішохідних шляхів зовсім небажане використання ртутних ламп високого тиску (ДРЛ) і натрієвих ламп низького й високого тиску. Необхідне застосування ламп розжарювання; люмінесцентних, у тому чис-



лі компактних, ламп білого або теплого білого світла (там, де кліматичні умови допускають їх використання); металогалоїдних ламп невеликої потужності й кварцових галогенних ламп.

Загальновизнаним є вплив гарного освітлення пішохідних шляхів на зменшення числа злочинів і випадків хуліганства. У районах, небезпечних у цьому плані, позитивний результат дає просте підвищення рівня і рівномірності освітлення. На віддалених від людних вулиць й ізольованих пішохідних шляхах не повинне бути затемнених місць. Особлива увага повинна бути приділена освітленню місць підвищеної небезпеки, таких як проходи між будинками й огорожами, в'їзди у двори, ділянки пішохідних шляхів, вилучених від освітленої проїзної частини або затемнені насадженнями.

У великих містах, у районах щільної забудови й вузлах інтенсивного транспортного руху споруджують підземні пішохідні переходи, що мають, у деяких випадках, значну довжину й розміщені дрібні установи торгівлі й побутового обслуговування. Освітлення переходів повністю регламентується нормами, його рівні визначені в ДБН В.2.5–28–2006 значеннями: удень — 100 лк, увечері й уночі — 50 лк.

Для освітлення підземних пішохідних переходів характерне використання настінних, стельових світильників і світильників, що вбудовані. Незначна висота переходів і відносна доступність світильників роблять доцільним застосування вандалостійких світильників і світильників, що відкриваються із застосуванням спеціальних інструментів.

Відповідно до ДБН у пішохідних тунелях повинні використовуватися світильники із захисним кутом не менше 15° або з дифузійними й призматичними розсіювачами:

- з лампами ДНаТ потужністю до 100 Вт;
- з лампами ДРІ потужністю до 70 Вт;

- з лампами типу ДРЛ потужністю до 125 Вт;
- з люмінесцентними лампами сумарною потужністю до 80 Вт;
- протяжні світловоди з лампами потужністю до 400 Вт.

У разі розміщення в переходах магазинів, кіосків і т.п., освітлення повинне відрізнятися від нормативів утилітарного, але ці відмінності, необхідність яких у цьому разі досить очевидна, ніяк не регламентовані, що дозволяє, у таких випадках використовувати більш високі норми освітлення торговельних приміщень.

### **Контрольні питання до глави 7**

1. Класифікація освітлювальних установок вулиць і доріг.
2. Освітлювальні установки звичайного типу.
3. Освітлювальні установки проміжного типу.
4. Освітлювальні установки високомачтового типу.
5. Освітлювальні установки поздовжно-підвісного типу.
6. Освітлювальні установки парпетного типу.
7. Освітлення перехресть, перетинань, закруглень, примикань і злиттів.
8. Освітлення транспортних розв'язок.
9. Освітлення пішохідних шляхів і перетинань.
10. Освітлення підземних пішохідних переходів.

## **Глава 8. ОСВІТЛЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ТУНЕЛІВ**

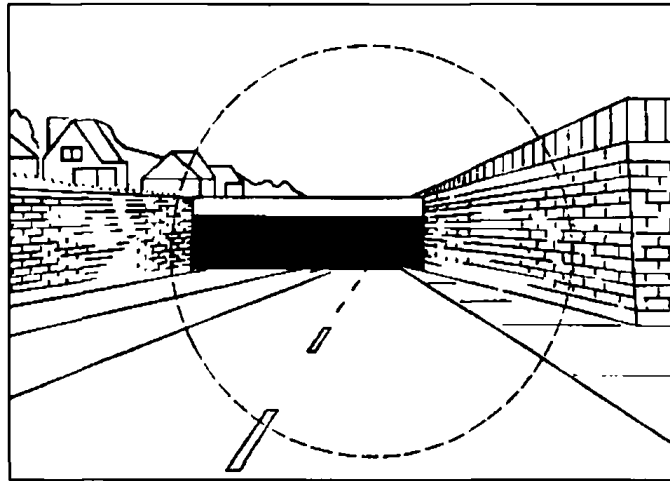
### **8.1. Умови видимості об'єктів у тунелі й при під'їзді до нього**

Транспортні тунелі й підземні шляхопроводи в масовому порядку з'явилися в другій половині XX ст., тому що вони дозволяють забезпечити підвищення пропускної здатності магістралей, перетинань доріг і вулиць. Крім того, вони можуть бути необхідними при подоланні перешкод і ви-  
прямленні доріг.

Тунель як ділянка вулиці або дороги, що геометрично забезпечує сформовану інтенсивність руху, може виявитися перешкодою руху, тому що його наявність і властивості змінюють стан очей водіїв транспорту. Справді, освітленість дороги і яскравість її покриття в тунелі в набагато разів нижче, ніж освітленість і яскравість відкритої дороги. Тунель ізолює водія від оточення, погіршуючи його орієнтування, створює своєрідне звукове середовище, що ускладнює процес керування машиною.

Тунель — довга порожнина, що має у світловому відношенні властивості абсолютно чорного тіла. Тому його в'їзний отвір, на будь-якому фоні буде здаватися чорним. Усякий об'єкт, що перебуває в тунелі на деякій відстані від порталу, стає невидимим спостерігачеві, який перебуває поза тунелем, зокрема водієві, який перебуває на відстані двох-трьох сотень метрів від в'їзду в тунель, автомобіль, що йде спереду, уявляється зниклим в «чорній дирі» порталу. Це явище зникнення видимості об'єктів називають «ефектом чорної дірки», що має на водіїв вплив не тільки фізіологічного, але й психологічного характеру.

При русі в нормальних умовах поле зору водія досить велике, відповідає полю, створюваному вітровим склом автомобіля, становить близько 20°. При наближенні до тунелю поле зору звужується до величини, приблизно обумовленій порталом тунелю, тобто до 2° (рис. 8.1).



**Рис. 8.1 — Поле зору водія при під'їзді до тунелю**

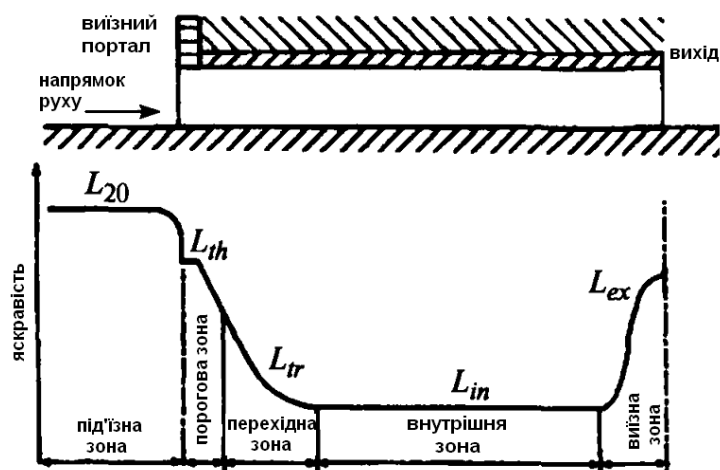
Чорний проріз тунелю, що збільшується в міру наближення до нього, займатиме все більшу й більшу площу на сітківці ока водія, це змінює його стан пристосованості до оточення. Однак на шляху до порталу тунелю в полі зору водія перебуває і займає його значну частину яскраво освітлена дорога і її оточення. У результаті цього процес пристосування ока до умов бачення всередині тунелю виявляється дуже складним. Адаптація центральної частини сітківки до темного, а периферії — до світлого викликає індуктивні впливи станів цих областей однієї на іншу й прямо протилежний зіничний рефлекс. Водій, який потрапив до тунелю з таким станом зорового апарата, може на якийсь час повністю втратити здатність бачити.

Отже одним із завдань освітлення тунелю є створення поля зору таких яскравостей і такого розподілу, при яких водієві забезпечується можливість бачити всі потрібні об'єкти як при в'їзді в тунель, так і при русі в ньому.

За характером умов бачення, а відповідно і за рівнями яскравості (освітленості) тунелі можна розбити на такі зони (рис. 8.2):

1. Під'їзна зона.
2. В'їзна або гранична зона.
3. Перехідна зона.

4. Внутрішня зона.
5. Виїзна зона.



**Рис.8.2 — Типовий поздовжній перетин одношляхового тунелю**

Вирішення завдання освітлення транспортних тунелів не може бути однозначним.

Велике значення для встановлення нормованих величин яскравості (освітленості) має "відстань безпечного гальмування (ВБГ)", під якою розуміється шлях, пройдений транспортним засобом від моменту виявлення водієм перешкоди до моменту повної зупинки (табл. 8.1).

У загальному випадку значення ВБГ знаходять за формулою

$$ВБГ = \left(\frac{v}{10}\right)^2 + 3\left(\frac{v}{10}\right) \text{ (м)}, \quad (8.1)$$

де  $v$  — швидкість руху транспортного засобу, км/г.

**Таблиця 8.1 – Відстань безпечного гальмування.**

<b>Швидкість руху, км/год</b>	60	80	100	120
<b>Відстань безпечного гальмування, м</b>	54	88	130	180

*Примітка.* Зазначені в таблиці ВБГ збільшуються на 3% при наявності спуска до тунелю і зменшуються на 2% при підйомі до в'їзного portalу.

Яскравість поля зору поза тунелем ( $L_{20}$ ) може бути, особливо в ясну погоду, дуже високою (табл. 8.2).

**Таблиця 8.2 – Яскравість ділянок у полі адаптації**

Напрямок руху при в'їзді в тунель	Значення середньої яскравості ділянок поля адаптації, ккд/м <sup>2</sup> .					
	небосхил $L_c$	дорога $L_r$	оточення порталу, $L_e$			
			будинку	скельні породи	трава, листя	сніг*
на північ	6	3	8	3	2	15/15
на схід або захід	12	4	6	2	2	10/15
на південь	16	5	4	1	2	5/15

\*У чисельнику — на вертикальній поверхні, у знаменнику — на горизонтальній поверхні.

Рівень яскравості, який потрібно створити на початку граничної зони, є величиною, похідною від рівня яскравості під'їзної зони  $L_{20}$ , обумовленою середньою яскравістю поля зору при візуванні порталу з відстані, рівної ВБГ. Величина  $L_{20}$  визначається як середньозважена яскравість у середині 20-градусного (за діаметром) поля адаптації, видимого водієм, який перебуває на осі дорожнього полотна на відстані безпечного гальмування перед в'їзним порталом, при цьому лінія зору водія спрямована на центр рамки в'їзного порталу. Величина  $L_{20}$  може бути розрахована за формулою (8.2):

$$L_{20} = K_c L_c + K_r L_r + R_e L_e, \quad (8.2)$$

де  $K_c$ ,  $K_r$  й  $K_e$  — відповідно частини небозводу, проїзної частини й оточення порталу в полі адаптації;

$L_c$ ,  $L_r$  й  $L_e$  — значення їх середніх яскравостей (табл. 8.2).

При тих самих умовах природного освітлення для тунелів з різними під'їздами й природними або штучними спорудженнями будуть виходити різні значення  $L_{20}$ . Природно, що при проектуванні тунелів ставиться завдання зниження  $L_{20}$  за рахунок зменшення яскравості  $L_r$  дороги, що приводить до порталу, здійснюване шляхом її затінення (екранування прямих сонячних променів і розсіяного світла) і спорудження потужної освітлювальної установки в початковій частині тунелю.

Порогову зону відраховують від в'їзного порталу, її довжину приймають не менше відстані безпечного гальмування.

На першій половині цієї дистанції освітлення характеризується постійним значенням  $L_{th}$  і його відношенням до яскравості в'їзної зони  $L_{20}$ , а потім повинне плавно спадати до кінця цієї зони до  $0,4 L_{th}$ . Значення  $L_{th}/L_{20}$  регламентуються залежно від обраної системи освітлення тунелю (табл. 8.3).

**Таблиця 8.3 – Нормовані значення відношення середньої яскравості дорожнього покриття граничної зони до яскравості адаптації**

Інтенсивність на одну смугу руху	Значення $L_{th}/L_{20}$ , %							
	Симетрична система освітлення				Зустрічна система освітлення			
	Швидкість руху, км/г				Швидкість руху, км/г			
	60	80	100	120	60	80	100	120
> 1200	4	5	7	8	2,5	3,2	4	4,5
< 1200	3,5	4,5	6	7	2	2,7	3,5	4

*Примітка.* Наведені значення відношення  $L_{th}/L_{20}$  відносяться до тунелів, що характеризуються такими умовами:

- а) однобічний рух транспорту;
- б) відсутні бічні в'їзди й виїзди в граничній і перехідній зонах;
- в) в'їзд розташовується на прямолінійній ділянці траси.

У тих випадках, коли хоча б одне з цих умов не виконується, відношення  $L_{th}/L_{20}$  слід підвищувати не менше ніж на 30%.

Середня яскравість стін тунелю аж до висоти 2 м приймається не менш 0,7 величини середньої яскравості дорожнього покриття. Характер зниження, що рекомендується, показаний на рис. 8.3.

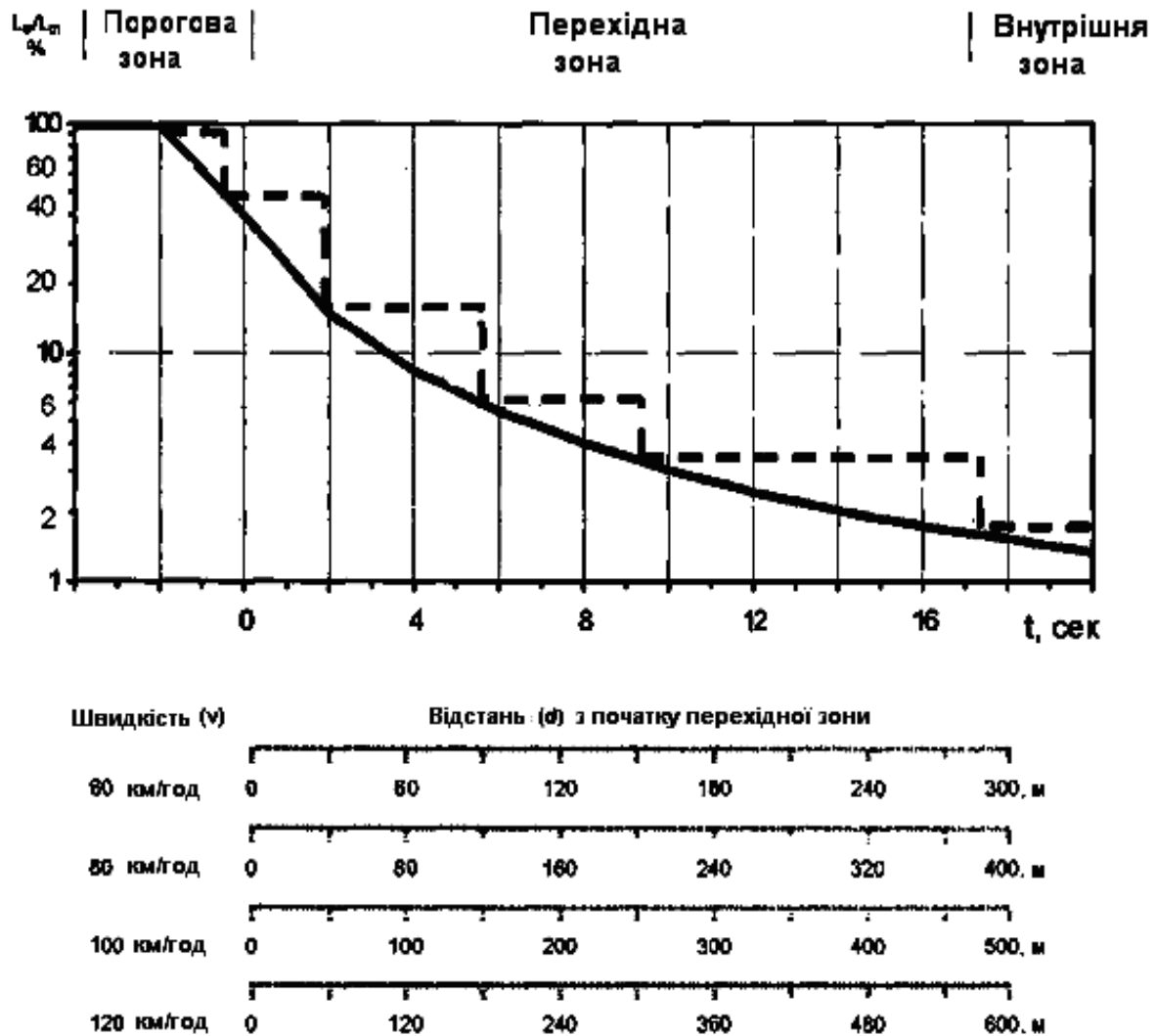


Рис. 8.3 — Крива спаду яскравості дорожнього покриття в перехідній зоні

У перехідній зоні яскравість плавно знижується від рівня яскравості граничної зони до рівня яскравості внутрішньої зони.



Очевидно, що недоцільно в довгих тунелях підтримувати протягом всієї довжини високу яскравість поверхонь, необхідну на початку тунелю. Освітлення тунелю повинне бути побудоване таким чином, щоб яскравість його поверхонь на обмеженій ділянці після в'їзду поступово знижувалася і до кінця ділянки досягала величини, що забезпечує потрібний ступінь безпеки й економічності (рис. 8.2). Природне припущення про необхідність дещо підвищити яскравість поверхонь виїзної частини тунелю з метою пом'якшення умов адаптації при виїзді.

Дані табл. 8.2 вказують на величину яскравості покриття дороги безпосередньо перед в'їздом у тунель в 3–5 тис. кд/м<sup>2</sup>.

Експериментально встановлено, що око водія при наближенні до тунелю може адаптуватися до яскравості, в десять разів меншій протягом 1–2 секунд. Це дозволяє встановити необхідні для початкової частини тунелю значення яскравості й освітленості, а також, з урахуванням припустимої величини швидкості в'їзду в тунель, довжину ділянки дороги, що потребує екранування. Досвід спорудження і експлуатації тунелів і експерименти показали, що при дуже інтенсивному русі яскравість дорожнього покриття в глибині тунелю повинна досягати 10–20 кд/м<sup>2</sup>, при помірній інтенсивності руху ця величина може бути знижена до 5 кд/м<sup>2</sup>. Установлення цього рівня дає можливість визначити величину перепаду яскравості від початкової частини тунелю до його середини, як ту, що наближується до 100. Процес адаптації до такої зміни яскравості займає декілька секунд. Беручи до уваги це й величину допустимої в тунелі швидкості руху, можна визначити довжину адаптаційної зони, у межах якої освітленість повинна бути знижена (плавно або ступінчаста) від величини, прийнятої на початку тунелю до мінімальної.

Таким чином, метою освітлення транспортних тунелів є забезпечення можливості бачити вдень і вночі з тим же ступенем надійності й комфортності, що й на дорозі. Відступ від цієї мети може мати як результат зни-

ження пропускної здатності тунелю й дороги, а також зменшення ступеня безпеки руху, що знижує ефективність споруди.

## **8.2. Освітлювальні установки транспортних тунелів**

Головними завданнями проектування освітлення тунелів є:

- мінімізація "ефекту чорної дірки", що досягається застосуванням як будівельних, так й освітлювальних заходів;
- створення достатнього числа зон і рівнів яскравості, що забезпечують нормальний хід процесу адаптації від яскравого сонячного світла до мінімального освітлення у глибині тунелю;
- належне розташування світильників;
- усунення сліпучої блискості;
- усунення мерехтінь, обумовлених перериваним розташуванням світильників і чергуванням світлих і темних зон поверхонь тунелю;
- забезпечення орієнтуючої дії пристроїв освітлення.

На характер світлотехнічного рішення впливають будівельні й конструктивні характеристики тунелю:

- довжина;
- розміри поперечного перерізу;
- число смуг руху;
- швидкість руху;
- наявність або відсутність закруглень й ухилів;
- світлотехнічні характеристики матеріалів облицювання поверхонь тунелю;
- характеристика поля зору при в'їзді в тунель (яскравість безпосереднього оточення порталу, його орієнтація, оцінена з погляду переважного напрямку, інтенсивності й тривалості природного освітлення, можливість спорудження екрануючих приладів).

Слід відзначити, що для тунелів, перед в'їздом в які рух припиняється (контроль, стягнення плати й т.п.), проблеми освітлення в'їзної зони не існує.

З погляду освітлення тунелі підрозділяють на короткі й довгі.

Коротким називають тунель, вихід якого добре видний з точки, що перебуває перед в'їздом. Удень, протягом усього часу руху по короткому тунелі центральна частина поля зору водія адаптована до яскравості дороги, що перебуває в умовах денного освітлення. Деяке зниження рівня адаптації при подоланні короткого тунелю несуттєве.

Короткими вважають тунелі довжиною близько 45–60 м, хоча, наприклад, тунель і довжиною 100–120 м може бути прийнятим коротким, якщо він призначений для руху в двох напрямках по 3–4 смуги в кожному, тобто має значне відношення ширини до довжини.

Короткі тунелі в більшості випадків не потребують спеціального освітлення вдень. Проникнення природного світла й можливість бачити вихідний портал забезпечують достатній рівень силуетної видимості. Необхідність в освітленні короткого тунелю може виникати лише у випадках, коли в'їзний і виїзний прорізи його екрановані будинками, насадженнями або наявністю закруглень. У цих випадках керуються даними табл. 8.4.

**Таблиця 8.4 – Освітлення коротких тунелів у денному режимі.**

Довжина тунелю, м	Радіус кривої в'їзної ділянки в плані	Освітлення в денному режимі
до 25	будь-який	не потрібно
від 25 до 75	350 і більше	
	менш 350	50% рівня
від 75 до 125	350 і більше	
	менш 350	в повному обсязі
більше 125	будь-який	

Тунелі невеликої довжини (20–30 м) можуть не вимагати особливого освітлення й уночі, тому що відповідне розташування вуличних світильників у змозі забезпечити потрібний ступінь видимості.

У нічний час у коротких тунелях, що вимагають особливих засобів освітлення, достатньо створювати його рівень, що приблизно у два рази перевищує нормований для дороги, на якій він перебуває.

Довгими вважаються тунелі, виїзд з яких не видний з площини вхідного portalу й будь-якої іншої точки, що перебуває всередині тунелю на відстані 50 м від в'їзду. Такий тунель вимагає цілодобового освітлення, режим якого змінюється відповідно до зміни природної освітленості.

Основні труднощі денного освітлення довгого тунелю становить усунення "ефекту чорної діри". Цей ефект значно усувається, коли яскравість  $L_{th}$  дорожнього покриття в'їзної частини тунелю становить принаймні  $0,1 L_{20}$  — яскравості дороги перед тунелем. Оскільки яскравість  $L_{20}$  відповідає освітленості порядку тисяч люкс, величина  $L_{20} = 10L_{th}$  виявляється досяжною лише в результаті затемнення прилягаючої до portalу дороги. Зниженню витрат на екранування сприяє зменшення світлоти покриття дороги перед тунелем і посвітління покриття усередині тунелю. Застосування добавок до звичайного складу асфальту (коефіцієнт відбиття 0,07) дозволяє досягати величини коефіцієнта відбиття освітленого покриття, рівній 0,17–0,20. Довжина екранованої ділянки визначається величиною припустимої швидкості руху на дорозі й тривалістю проміжку часу, необхідного для адаптації ока водія. При яскравості  $L_{20} = 8\text{--}10$  тис. кд/м<sup>2</sup> і перепаді  $L_{20}/L_{th} = 10$  цей проміжок часу становить 2–4 сек. Для виконання цих вимог у в'їзній частині тунелю, що безпосередньо примикає до portalу, доводиться створювати освітленість, значення якої лежать в межах 1–5 тис. лк.

У віддаленій від в'їзду частині тунелю повинен бути забезпечений достатній час для адаптації до більш низької яскравості. Вважається, що процес адаптації від яскравостей, що відповідають тисячам люкс у в'їзній

частині тунелю до яскравості, що відповідає десяткам люкс в його глибині, вимагає 10–15 секунд. З цією метою величину освітленості плавно або ступінчасто знижують від початкової до прийнятої на всій іншій довжині тунелю. Цю ділянку називають адаптаційною, або граничною зоною, бо в її межах сприйняття об'єктів оком, що безперервно адаптується, відбувається біля порога його чутливості. Довжина цієї ділянки визначається прийнятими величинами перепаду яскравостей і швидкістю руху в тунелі. При визначенні числа ступенів зміни яскравості, перепаду яскравості між ними й довжини ділянок постійної яскравості (ширини ступенів) вважаються припустимими наступні зміни яскравості в часі:

- від 100 до 30 кд/м<sup>2</sup> — 1 с;
- від 100 до 10 кд/м<sup>2</sup> — 2 с;
- від 100 до 4 кд/м<sup>2</sup> — 3 с;
- від 100 до 1 кд/м<sup>2</sup> — 4 с.

Значення середньої горизонтальної освітленості дорожнього покриття проїзної частини міських транспортних тунелів довжиною більше 60 м для денного режиму за СНіП 23–05–95 наведені в табл. 8.5, за ДБН В 2.5–28–2006 в табл. 1.4. У вечірньому й нічному режимах вони повинні бути рівні 50 лк. При довжині тунелю до 60 м середня горизонтальна освітленість має бути 50 лк у всіх режимах.

Освітленість покриття проїздів під шляхопроводами й мостами в темний час доби повинна бути не менш 30 лк при довжині проїзду до 40 м, при більшій довжині приймається по нормах освітлення тунелів.

За кордоном питанням освітлення тунелів приділяється більше уваги, ніж у нас, є рекомендації і публікації МКО із цих питань.

По-перше, як і на вулицях, регламентується рівень яскравості.

По-друге як критерій оцінки освітлювальних установок використовується відношення  $L_{\text{ф}}/E_{\text{в}}$ , що приймає різні значення залежно від системи освітлення.

**Таблиця 8.5 – Середня горизонтальна освітленість тунелів  
(СНіП 23–05–95)**

Довжина тунелю, м	Наявність ухилу спуску до порталу	Орієнтація в'їзного порталу	Середня горизонтальна освітленість (лк) на відстані (м) від початку в'їзного порталу						
			5	25	50	75	100	125	150 і більше
Від 1 до 100	не враховується	будь-яка	750	750	400	150	60	-	-
Більше 100	без ухилу	північна	750	750	400	150	75	60	50
		південна	1000	1000	550	250	100	60	50
	с ухилом	будь-яка	1250	1000	650	350	125	60	50

Розміщення освітлювальних приладів й усунення їх сліпучої дії становить істотну проблему. У початковій частині тунелю, де необхідне створення високих освітленостей, площа стелі може виявитися недостатньою для розміщення, скажімо, світильників з люмінесцентними лампами, а застосування світильників з розрядними лампами типу ДРЛ, ДРИ, ДНаТ через незначну висоту їх установки може супроводжуватися істотною сліпучою дією. Вирішення цієї проблеми може бути засноване лише на ретельному вивченні й виборі світлотехнічних характеристик світильників, що ускладнюється ще й необхідністю створення досить високих значень вертикальної освітленості.

Розміщення світильників повинне усувати можливість виникнення монотонних мерехтінь, обумовлених перериваним розташуванням світильників (флікер-ефекту), і забезпечувати створення дії, що орієнтує, освітлювальної установки (табл. 8.6).

**Таблиця 8.6 – Вибір кроку ОП для запобігання флікер-ефекту**

<b>Швидкість руху, км/год</b>	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	<b>120</b>
<b>Мінімальна відстань від в'їзного порталу</b>	<b>500</b>	<b>660</b>	<b>830</b>	<b>1000</b>
Крок, м:				
не більше	1,3	1,7	2,1	2,6
не менше	6,7	8,9	11,1	13,3

Найпоширеніші схеми розташування світильників при освітленні довгих тунелів:

- дворядне на верхній частині стін;
- дворядне по кожній з осей руху;
- однорядне по осі тунелю.

Залежно від характеру світлорозподілу й орієнтації світильників розрізняють симетричну й асиметричну системи освітлення тунелів (табл. 8.7).

**Таблиця 8.7 – Системи освітлення в тунелях**

<b>Системи освітлення</b>			
<b>Симетрична</b>		<b>Асиметрична</b>	
<b>поперечна</b>	<b>поздовжня</b>	<b>зустрічна</b>	<b>попутна</b>
			

Симетрична система підрозділяється на поперечну й поздовжню. Світильники, застосовувані в цій системі, мають симетричний світлорозподіл у двох головних площинах: поздовжній й поперечній. При поперечній системі поздовжні осі світильників (як правило, з люмінесцент-

ними лампами й натрієвими лампами низького тиску) орієнтуються уздовж осі тунелю, що забезпечує переважний напрямок світлового потоку поперек тунелю. При такому освітленні створюються гарна світлова орієнтація, низька сліпимість, висока рівномірність освітлення проїзної частини й стін. До недоліків такої системи відносяться малий крок між світильниками, а значить велике число останніх, підвищені капітальні й експлуатаційні витрати.

При поздовжній системі поздовжні осі світильників орієнтуються поперек осі тунелю, що забезпечує переважний напрямок світлового потоку уздовж тунелю, при цьому забезпечується більш високий коефіцієнт використання світлового потоку й більший крок між світильниками. Але така система характеризується гіршою рівномірністю розподілу яскравості проїзної частини, особливо стін.

Асиметрична система підрозділяється на зустрічну й попутну. Освітлювальні прилади, застосовувані в цій системі, мають ясно виражену максимальну силу світла в головній поперечній площині під кутами  $50^{\circ}$ – $65^{\circ}$  щодо оптичної осі світильника.

Зустрічна система характеризується підвищеним рівнем яскравості дорожнього покриття і низкою яскравістю транспорту, що йде попереду, попутна система, навпаки, забезпечує добре освітлення транспорту, що йде попереду, на фоні низької яскравості, в зв'язку з чим вона практичного застосування не знаходить. Останнім часом велике поширення одержали асиметрична зустрічна система для граничної й перехідної зон. Симетрична поздовжня система застосовується для внутрішньої й виїзної зон у денному режимі й всій транспортній зоні в нічному режимі.

У нічному режимі яскравість покриття протягом всього тунелю підтримується однаковою, на рівні  $2\text{--}5\text{ кд/м}^2$ . Ділянки дороги перед в'їздом у тунель і безпосередньо за вихідним порталом у вечірній і нічний часи повинні бути добре освітлені до рівня, підтримуваного в тунелі.



Особлива увага приділяється освітленню дороги, що виходить з тунелю. Воно повинне виключати різкий перепад яскравості й давати можливість орієнтуватися в оточенні й вказувати напрямок подальшого руху.

Потужність освітлювальної установки довгого тунелю часто становить кілька сотень кіловат. При необхідності забезпечити достатній ступінь надійності освітлення живлення установки електроенергією перетворюється в складну проблему, що вимагає відповідних технічних рішень і додаткових матеріальних витрат. Не можна вказати на які-небудь цілком сформовані принципи електропостачання тунелів, однак необхідність резервування підхідних ліній, трансформаторів і навіть магістральної й групової мережі освітлення є неминучою. Міркування безпеки вимагають автономно діючого аварійного освітлення протягом всього довгого тунелю.

### **Контрольні питання до глави 8**

1. "Ефект чорної дірки" і його вплив на видимість у під'їзній зоні.
2. Зонування тунелів за рівнями яскравості.
3. Поняття "відстані безпечного гальмування".
4. Визначення яскравості під'їзної зони.
5. Основні завдання проектування освітлювальних установок тунелів.
6. Короткі тунелі й особливості їх освітлення.
7. Заходи зниження (усунення) "ефекту чорної дірки".
8. Схеми розташування світильників у довгих тунелях.
9. Системи освітлення в тунелях.

## **Глава 9. КЕРУВАННЯ ДІЄЮ УСТАНОВОК ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ**

### **9.1. Загальні завдання керування зовнішнім освітленням**

Керування дією зовнішнього освітлення передбачає наступні операції: з настанням темряви включити все освітлення, в певний час ночі відключити частину світильників і на світанку виключити інші.

При вирішенні завдань керування насамперед постає питання про режими дії освітлення. Через те що перехід від дня до ночі (вечірні сутінки) і від ночі до дня (ранкові сутінки) відбувається поступово, виникає ускладнення в точному визначенні моменту, коли треба включити або виключити освітлення.

При зниженні природної освітленості нижче 10 лк стає складним виконання більшості робіт на відкритому просторі й підвищується небезпека травматизму, пов'язана з дією транспорту.

Величина природної освітленості залежить від положення Сонця відносно земної поверхні. Зазначений вище рівень освітленості встановлюється, коли Сонце перебуває на  $6^{\circ}$ – $8^{\circ}$  нижче обрію. Час зменшення природної освітленості від денної до величини, що відповідає заходу Сонця на  $6^{\circ}$ , називають вечірніми громадянськими сутінками (ВГС). Момент, коли Сонце займає це положення, спускаючись за обрій, називають кінцем ВГС і вважають, що в цей момент повинне бути включене вуличне освітлення, вогні транспортних засобів і сигнальні вогні, що керують рухом транспорту.

Момент, що відповідає такому ж ( $6^{\circ}$  нижче обрію) положенню Сонця при переході від ночі до дня, називають початком ранкових громадянських сутінків (РГС). У цей момент освітлення має бути виключене.

Оскільки відносний рух Сонця й Землі регулярний, ці моменти, тобто кінець ВГС і початок РГС можуть бути точно обчислені. Вони бу-

дуть різними для різних широт і довгот пунктів земної поверхні, а також днів року. Обчислення цього роду були виконані в Астрофізичній лабораторії Ленінградського університету, результати їх видані як "Таблиці для розрахунку природної освітленості й видимості" (вид. АН СРСР, 1945).

Таблиця 3 цього збірника вказує моменти кінця ВГС і початку РГС за середнім місцевим часом для різних широт, зазначених з інтервалом в 5 градусів. Інтерполяція, правила якої наведені в збірнику, дають можливість визначити ці моменти для будь-якого пункту земної поверхні. Для практичного використання цих даних, місцевий час, наведений у таблиці, переводять у поясне декретне за наступною формулою

$$T_{\text{декр.пояси}} = T_{\text{місц}} - \lambda + N + I,$$

де  $T_{\text{місц}}$  — місцевий час, що визначається за таблицями світлового календаря, год. і хв.;

$\lambda$  — число годин і хвилин, чисельно рівне довготі населеного пункту в градусах і частках градуса, помножене на 4 хв;

$N$  — номер годинного пояса.

У практиці керуванні освітленням звичайно зневажають зміною моментів кінця ВГС і початку РГС від дня до дня й приймають їх однаковими для кожної п'ятиденки або тижня.

Слід зазначити, що на величину природної освітленості в сутінках істотний вплив робить стан погоди в цей момент. Отже дані таблиці можуть вважатися директивною, виконання якої повинне коректуватися з урахуванням існуючих у цей момент метеорологічних умов.

Значення виправлень до моментів включення і вимикання зовнішнього освітлення, що вказані в таблицях для розрахунку природної освітленості, також наведені в додатках до цих таблиць і становлять величину від 4 до 23 хв. залежно від виду хмарності й широти місцевості. Виправлення додається до часу, що визначає момент початку РГС, і віднімається з часу, що визначає момент кінця ВГС.

У практичних умовах моменти включення і вимикання освітлення можуть бути подані у вигляді графіка, побудованого в досить великому, зручному для визначення масштабі. По осі ординат графіка відкладають час доби (години), по осі абсцис — місяці року. Графік має дві криві. На нижній кривій графіка лежать точки, що визначають моменти кінця ВГС — часу, коли освітлення повинне бути включене, на нижній кривій — точки початку РГС — часу, коли освітлення повинне бути виключене.

Такі графіки дозволяють не тільки визначати моменти включення і вимикання освітлення, але й дають можливість знайти сумарний, протягом року або будь-якої його частини час використання освітлення.

Завданнями керування освітлення є:

- вмикання і вимикання освітлювальних пристроїв у певний час доби;
- вмикання і вимикання освітлювальних пристроїв й установок при певному рівні природної освітленості;
- відключення і включення частини освітлювальних засобів відповідно до прийнятого графіка;
- здійснення особливих програм роботи освітлювальних засобів з метою зміни яскравості й кольору освітлюваного об'єкта;
- контроль стану й дії освітлювальних установок.

Ці завдання можуть бути вирішені декількома способами й із застосуванням різних засобів.

Прийнято розрізняти централізоване — з одного або декількох пунктів і децентралізоване керування, здійснюване з великої кількості пунктів. У сучасній практиці більше застосування знаходить централізоване керування.

Залежно від способу й застосовуваних технічних засобів розрізняють місцеве, дистанційне й автоматичне керування.

Місцеве керування означає безпосередній вплив людини на комутаційний апарат, що з'єднує електричну мережу освітлювальної установки з джерелом електроенергії. Місцеве керування зовнішнім освітленням можливе й раціональне лише у випадках обмеженої потужності установок і невеликого числа пунктів живлення, а також при виконанні регламентних робіт на окремих ділянках освітлювальної установки.

## **9.2. Дистанційне централізоване керування**

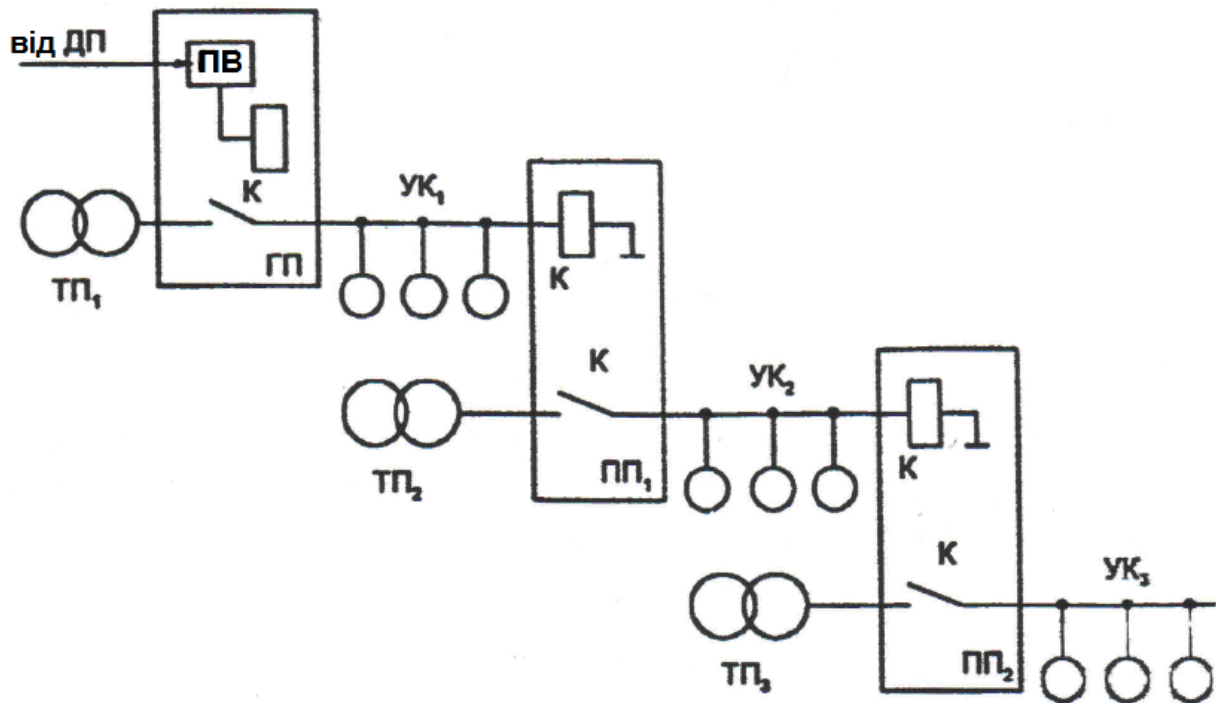
Дистанційним називають керування, коли вплив на комутаційний апарат роблять на більшій або меншій відстані. Для здійснення дистанційного керування треба застосовувати як комутаційні апарати контактори або магнітні пускачі. Пункт керування повинен бути зв'язаний з установками спеціальними електричними лініями керування.

Елементами системи дистанційного керування є диспетчерський пункт (ДП), або пункт керування (ПК), виконавчий пункт (ПВ), або виконавчий пристрій (ВП) і електрична лінія, що з'єднує ПК і ПВ.

Найбільш простою є радіальна схема дистанційного керування декількома установками, подана на рис. 9.1.

У системі керування, побудованій за цією схемою, котушки контакторів або магнітних пускачів, установлених на виконавчих пунктах, одержують живлення від джерела, що перебуває на пункті керування. Електричні лінії, що зв'язують ПК й джерела живлення, є тільки лініями зв'язку системи керування. Неодмінною умовою є наявність на ПК надійного джерела живлення. У випадках, коли на ПК використовується змінний струм напругою 380/220 В, необхідний ступінь надійності забезпечується наявністю двох незалежних введень різних (окремих) мереж цієї напруги. Коли пристрої системи дистанційного керування живляться постійним струмом, як джерело можуть бути використані акумуляторна батарея або випрямляч.

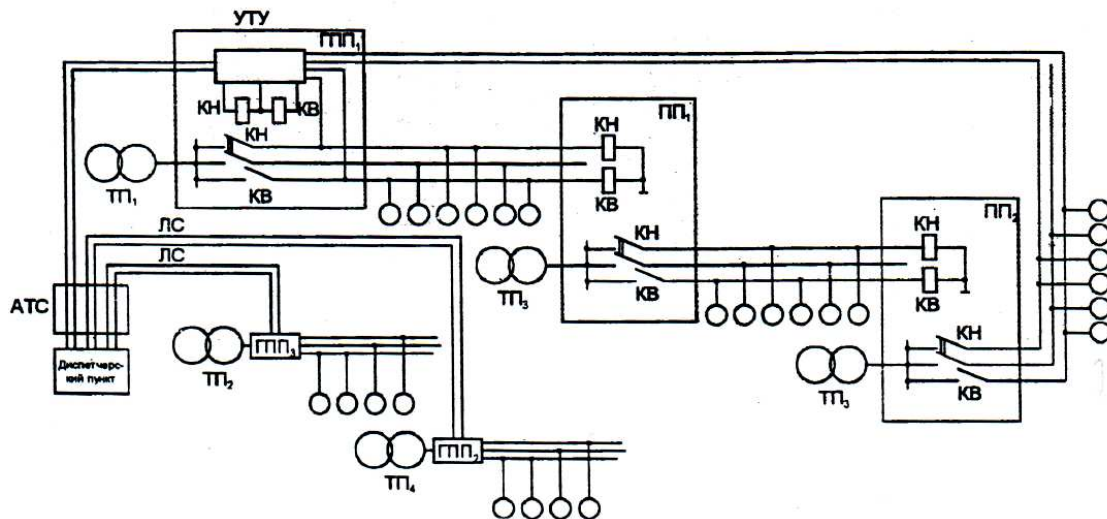
В останньому випадку ступінь резервування джерела змінного струму повинен бути такий, як зазначено вище.



**Рис. 9.1 — Приклад схеми дистанційного керування**

Каналами зв'язку ПК з ПВ, сполученими з пунктами живлення освітлювальних установок, можуть бути спеціальні кабельні або повітряні лінії, а також лінії телефонної мережі.

На рис. 9.2 подана дещо деталізована схема дистанційного керування. Апаратура керування цієї схеми забезпечує можливість роздільного включення і відключення вечірнього (контактор КВ) і нічного (контактор КН) освітлення. Для вимикання освітлювальної установки безпосередньо на пункті живлення в схему введені вимикачі, що забезпечують цю можливість.

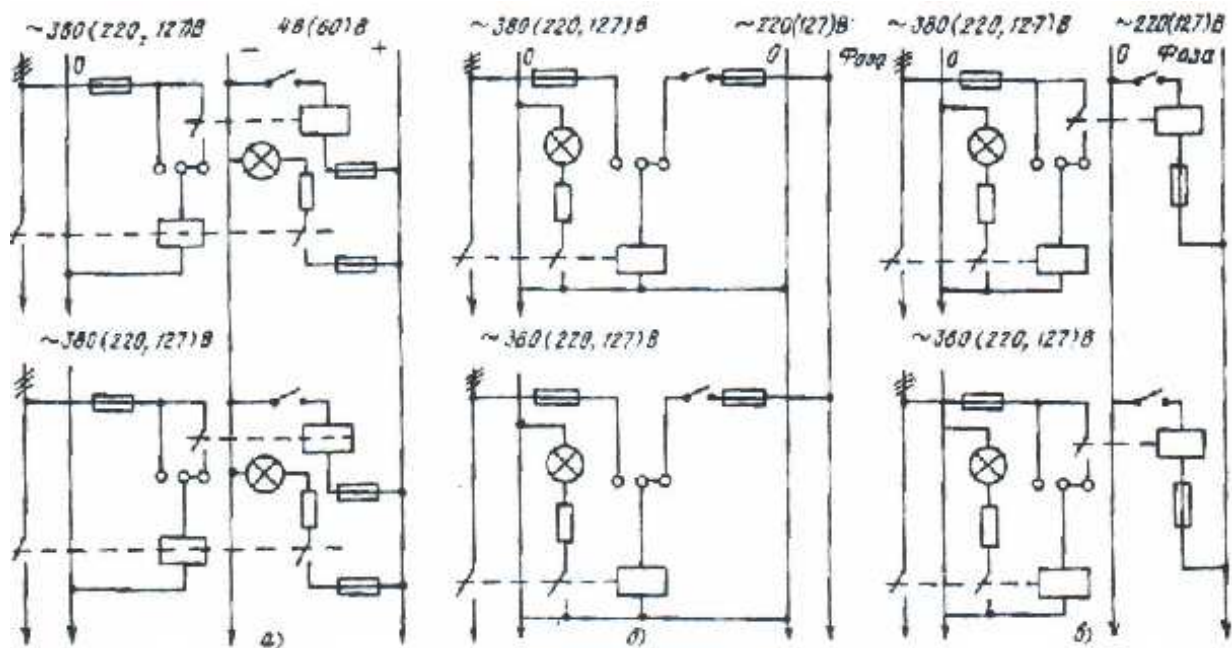


**Рис. 9.2 — Схема дистанційного керування освітленням по силовим проводам з каскадним включенням контакторів пунктів живлення**

У практиці керування вуличним освітленням ця схема одержала велике поширення, тому що в ній як лінії керування використовуються провідники мережі, що живлять освітлювальні прилади. У схемі спеціальна лінія зв'язку з'єднує пункт керування з першим ПВ каскаду. Напруга на катушки контакторів наступних ПВ передається перемичками від кінців попередніх ліній, що утворюють каскад. Схема може бути ускладнена не тільки шляхом збільшення числа її послідовних ланок, але й у результаті відгалужень від проміжних. Така схема керування дає можливість уникнути необхідності спорудження протяжних ліній зв'язку, але недоліком цієї схеми керування є невисока надійність. Справді, при виникненні несправності в одній з ланок припиняється дія наступних. Внаслідок цього, при керуванні вуличним освітленням каскад утворюють не більш ніж з 8–10 ланок.

Істотним ускладненням застосування описаних вище принципово нескладних і не потребуючих дорогої апаратури схем дистанційного керування, є необхідність спорудження спеціальних ліній зв'язку. При бажаності або необхідності контролю стану установки лінії зв'язку повинні бути три- або навіть чотирипровідними. При значній довжині ліній зв'язку ва-

жливим фактором є застосування проводів можливо малих перерізів. У цих цілях вдаються до включення котушок контакторів не на фазну, а на лінійну напругу. У випадках великої довжини ліній зв'язку або при використанні для цієї мети проводів телефонних ліній, приєднання котушок контакторів до джерела живлення здійснюють за допомогою проміжних реле, як це показано на рис. 9.3. Котушки контакторів або магнітних пускачів приєднують до шин ДЖ контактами проміжного реле РП. До джерела живлення ДЖ приєднують малопотужну котушку РП, що дозволяє зменшити переріз проводів лінії зв'язку.



**Рис.9.3 — Схеми керування і сигналізації в установках зовнішнього освітлення:**  
**а) при телефонних кабелях; б) при контрольних кабелях без проміжних реле;**  
**в) при контрольних кабелях з проміжним реле**

Лінія зв'язку є не тільки важливим, але часто й найдорожчим елементом системи керування. У випадках невеликої довжини ліній для їх спорудження застосовують контрольні або навіть силові кабелі. Широко використовують лінії міської телефонної мережі.



Розрахунок перетинів ліній зв'язку відрізняється деякою своєрідністю, що впливає з необхідності враховувати величину опору навантаження.

Мережі керування освітленням призначені для живлення віддалених від джерел котушок реле, контакторів або магнітних пускачів, що є навантаженням з відносно більшим активним й індуктивним опором. У процесі керування до котушки повинна бути прикладена напруга, достатня для надійного спрацьовування комутаційних апаратів. Практика експлуатації показала й це прийнято при розрахунках, що в момент пуску до котушки має бути прикладена напруга не менше 0,85 її номінальної.

У випадках, коли величиною індуктивного опору (наприклад, при виконанні лінії кабелем) можна знехтувати, її розрахунок зводиться до розрахунку послідовного ланцюга (рис. 9.4), що містить еквіваленти активного опору лінії  $R_{\text{л}}$ , активного  $R_{\text{к}}$  й індуктивного  $X_{\text{к}}$  опорів котушки.

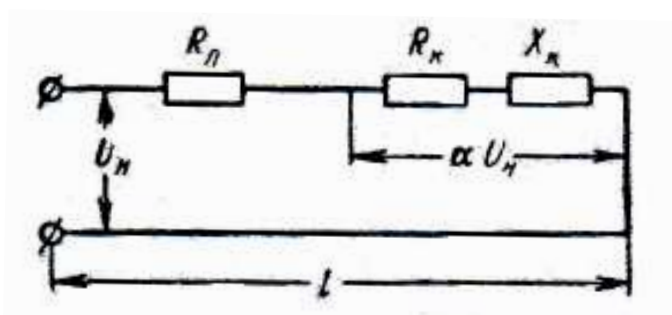


Рис 9.4 — Схема заміщення лінії керування освітленням без індуктивності

Розглянувши цей ланцюг для величини активного опору лінії, можна одержати

$$R_{\text{к}} = Z_{\text{к}} \left[ \sqrt{\frac{1}{\alpha^2} - \sin^2 \varphi_{\text{п}}} - \cos \varphi_{\text{п}} \right], \quad (9.1)$$

де  $\alpha = 0,85$  — рівень номінальної напруги, необхідний для надійного спрацьовування апаратів керування;

$Z_{\text{к}}$  — повний опір котушки, що живить лінією;

$\varphi_n$  — кут зрушення фаз між напругою, прикладеною до котушки, й струмом у момент пуску.

Необхідний переріз проводів лінії керування:

$$s = \frac{2l \cdot I_n \rho}{U_n} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\alpha^2} - \sin^2 \varphi_n - \cos \varphi_n}} \quad (9.2)$$

де  $l$  — довжина лінії (в один кінець), км;

$I_n$  — величина пускового струму, А;

$\rho$  — питомий опір матеріалу проводів лінії, Ом·мм<sup>2</sup>/м;

$U_n$  — номінальна напруга живлення котушки, В.

С. А. Ключевим запропоновано представляти формулу (9.2) у вигляді

$$s = \beta \cdot I_n \cdot \rho, \quad (9.3)$$

де

$$\beta = \frac{2000 \cdot \rho}{U_n \left( \sqrt{\frac{1}{\alpha^2} - \sin^2 \varphi_n - \cos \varphi_n} \right)}.$$

Числові значення коефіцієнта  $\beta$  наведені в табл. 9.1.

Розрахунок повітряних ліній, що супроводжується необхідністю врахування їх індуктивного опору, виявляється набагато складнішим. Зокрема, відсутні методи безпосереднього визначення перерізів проводів ліній, втрати напруги в яких не перевищують заданих. Розроблено прийоми й допоміжні матеріали, що дозволяють визначити величину втрати напруги в проводах лінії, переріз яких визначено або обрано заздалегідь. Очевидно, що в цих випадках розрахунок перерізів складає завдання, розв'язуване методом послідовних наближень. Прийоми вирішення завдань цього роду описуються у спеціальних посібниках.

**Таблиця 9.1 – Значення коефіцієнта  $\beta$**

<b>Значення <math>\cos\beta</math> при пуску</b>	<b>Мідні жили</b>		<b>Алюмінієві жили</b>	
	<b>220 В</b>	<b>380 В</b>	<b>220 В</b>	<b>380 В</b>
1	0,91	0,52	1,51	0,86
0,95	0,86	0,49	1,43	0,81
0,9	0,83	0,47	1,38	0,79
0,85	0,79	0,45	1,31	0,75
0,8	0,75	0,43	1,24	0,71
0,75	0,72	0,41	1,19	0,68
0,7	0,68	0,39	1,13	0,65
0,65	0,64	0,37	1,06	0,61
0,6	0,6	0,34	1,00	0,57
0,55	0,57	0,33	0,95	0,55
0,5	0,54	0,31	0,90	0,52
0,45	0,51	0,30	0,85	0,50
0,4	0,48	0,28	0,80	0,46
0,35	0,45	0,26	0,75	0,43
0,3	0,42	0,24	0,69	0,41
0,25	0,38	0,22	0,64	0,36
0,2	0,36	0,20	0,59	0,34

Розрахунок повітряних ліній, що супроводжується необхідністю врахування їх індуктивного опору, виявляється набагато складнішим. Зокрема, відсутні методи безпосереднього визначення перерізів проводів ліній, втрати напруги в яких не перевищують заданих. Розроблено прийоми й допоміжні матеріали, що дозволяють визначити величину втрати напруги в проводах лінії, переріз яких визначено або обрано заздалегідь. Очеви-

дно, що в цих випадках розрахунок перерізів складає завдання, розв'язуване методом послідовних наближень. Прийоми вирішення завдань цього роду описуються у спеціальних посібниках.

При використанні як лінії керування проводів кабельних телефонних мереж, параметри яких відомі, найчастіше виникає завдання визначення граничної дальності дії ліній керування.

При живленні котушок постійним струмом можливі два випадки:

- напруга джерела живлення  $U_\delta$  перевершує номінальну напругу котушки реле  $U_n$ ; у цьому випадку необхідне включення у провід лінії додаткового опору, величина якого може бути визначена розрахунком;
- напруга джерела живлення дорівнює номінальній напрузі котушки  $U_\delta = U_n$ ; у цьому випадку необхідне визначення граничної дальності дії апаратури керування.

У першому випадку, коли  $U_\delta > U_n$ , величина додаткового опору може бути визначена на підставі наступних міркувань. Напруга джерела дорівнює сумі падінь напруги в проводах лінії, додатковому опорі й котушці (рис. 9.5,а):

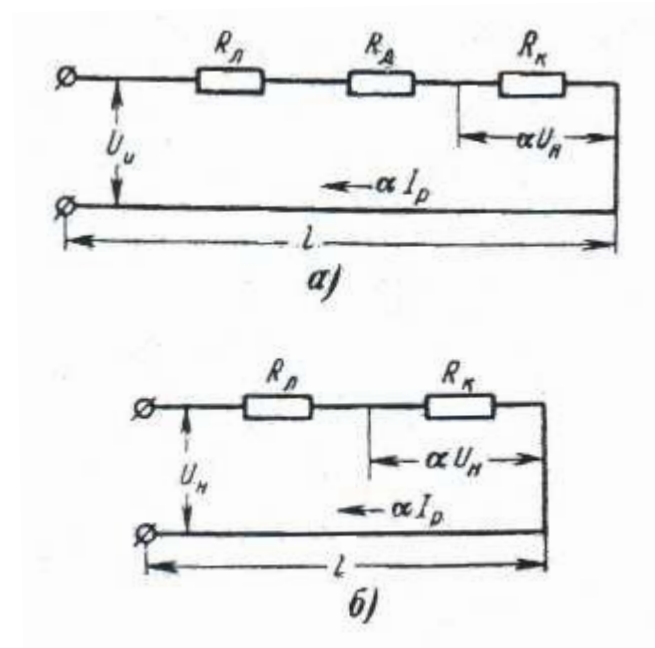
$$U_\delta = \alpha I_p (R_l + R_\delta + R_k) , \quad (9.4)$$

де  $I_p$  — робочий струм котушки реле.

Опір проводу телефонної кабельної лінії  $r_o = 95 \text{ Ом/км}$ , тому опір лінії  $R_l = 2 r_o l = 190 l$ , а коефіцієнт  $\alpha = 0,85$ .

Отже, величина опору резистора керування, що включається додатково в лінію, дорівнює:

$$R_\delta = \frac{U_n}{0,85 I_p} - 190 \cdot l - R_k .$$



**Рис. 9.5** — Схеми заміщення ліній керування, що живляться постійним струмом:  
**а)** напруга джерела живлення більша напруги котушки реле;  
**б)** напруги джерела живлення і котушки реле однакові.

У випадку, коли напруга джерела й номінальна напруга котушки однакові, втрата напруги в лінії:

$$\Delta U\% = \frac{\alpha \cdot I_p \cdot R_{\text{л}}}{U_{\text{н}}} \cdot 100\% . \quad (9.5)$$

При напрузі  $U_{\text{д}} = 48 \text{ В}$  для кабелю з діаметром жили  $0,5 \text{ мм}$  ( $r_0 = 95 \text{ Ом/км}$ ) і  $\alpha = 0,85$ , втрати напруги в лінії:

$$\Delta U\% = 337 I_p l \quad (9.6)$$

За цією формулою може бути визначена найбільша довжина лінії, при якій не буде потрібно джерело енергії з напругою, що перевищує номінальну напругу котушки.

Неважко побачити, що застосування описаних вище схем не може забезпечити досить високий ступінь централізації керування і областю їх використання можна вважати тільки невеликі населені пункти. Крім цього,

контроль стану установок вимагає застосування три- і чотирипровідних ліній зв'язку, тому що застосування телефонних пар у цьому разі є неможливим. У зв'язку з цим для централізації керування зовнішнім освітленням і здійснення контролю його станів застосовують засоби телемеханіки.

При значному віддаленні керованого об'єкта від ПК й необхідності контролю керуючих впливів і стану об'єкта особливого значення набувають лінії зв'язку. Справді, при дистанційному керуванні вуличним освітленням за розглянутими схемами, якщо буде потреба здійснення двох режимів освітлення (вечірнього й нічного) і елементарного контролю керуючих впливів (сигнальні лампи), потрібна, як правило, чотирипровідна лінія.

Ускладнення цього роду можуть бути подолані в результаті використання телемеханічних засобів керування. Головною ознакою, що відрізняє систему телекерування від засобів дистанційного керування, є використання принципів і методів "ущільнення ліній зв'язку", що дозволяє передавати й приймати число сигналів, яке перевищує число проводів лінії зв'язку. У техніці телекерування прийняте використання терміну "канал зв'язку", під яким розуміють сукупність лінії зв'язку й процесів у ній, що допускають незалежну передачу декількох різних сигналів. З цією метою різні керуючі впливи перетворюються в сигнали, що відрізняються один від одного, передані в лінію зв'язку. На приймальному пункті ці сигнали піддаються зворотному перетворенню (дешифруванню), що перетворює їх у керуючі впливи. Зміни стану керованого об'єкта також можуть бути перетворені в різні сигнали й передані по тій же лінії зв'язку на ПК. Таким чином, за допомогою телемеханічної системи можливе здійснення як керування дією об'єкта, так і контролю його стану, що й виражається в скороченому найменуванні цих систем — ТК-ТС (телекерування і телесигналізація). Зазначимо, що в системах ТК-ТС як лінії зв'язку можуть використовуватися не тільки провідні лінії, але й радіолінії й силові лінії електропостачання.

У даний час в установках зовнішнього освітлення використовують, як правило, системи телекерування ВТК (вуличне телекерування) або аналогічні системи ТЗО (телекерування зовнішнім освітленням).

У системі ВТК для передачі сигналів може використовуватися як змінний (ВТК–1), так і постійний (ВТК–4) струм.

У ВТК–1 ознаками розходження сигналів служать розходження амплітуди й полярності. Ознаку розходження амплітуди не можна вважати цілком надійною, тому що амплітуда сигналу може бути змінена втратами в лінії. Нестійкою є і друга ознака розходження сигналів внаслідок можливої зміни порядку приєднання проводів.

В установках ВТК–4 для передачі сигналу використовується постійний струм й ознакою розходження сигналів є тривалість імпульсів постійного струму. Застосування постійного струму забезпечує надійну передачу сигналів керування.

У комплект апаратур ВТК входять:

- пульт керування (ПК), призначений для передачі сигналів керування й прийому й відтворення сигналів стану установок;
- виконавчі пульти (ПВ), призначені для прийому й виконання сигналів керування, а також для формування і передачі на ПК сигналів стану освітлення;
- канали зв'язку, в якості яких можуть використовуватися вільні кабельні лінії (пари) міської телефонної мережі або лінії, що споруджують спеціально.

Пульт керування системи ВТК встановлюють в центрі освітлювального навантаження, можливо ближче до АТС. Апаратуру кожного виконавчого пункту монтують в шафі керування головної лінії каскаду.

Центральний диспетчерський пункт через АТС з'єднаний лініями міського телефонного зв'язку з виконавчими пристроями, установленими на головних пунктах живлення каскадів освітлювальних ліній. У першому

каскаді, за допомогою контакторів вечірнього (КВ) і нічного (КН) режимів роботи здійснюється задана програма дії освітлення. Котушки контакторів проміжних пунктів живлення приєднані двопровідними перемичками до кінця лінії, що живить освітлювальні прилади попередньої ділянки каскаду. Двопровідні лінії, що з'єднують кінець освітлювальної мережі останньої ділянки каскаду з апаратами ПВ, передають сигнали стану освітлювальних установок, що утворюють каскад.

Освітлювальні установки, що утворюють другий каскад працюють в аналогічному режимі.

З пункту керування передаються сигнали керування:

- включити все освітлення;
- відключити (або включити) частину освітлення;
- відключити все освітлення.

На виконавчому пункті формуються і передаються на ПК сигнали виконання операцій:

- включене все освітлення;
- відключена (або включена) частина освітлення;
- відключене все освітлення.

Крім того, ВП формує і передає сигнал про аварійний стан керованих установок.

Пульт керування допускає одночасну передачу сигналів на всі ВП або на кожний з них окремо.

Використання принципів й апаратури телекерування для керування дією установками зовнішнього освітлення дозволяє досягати високої точності виконання програм і графіків чергування режимів роботи установок, що важливо для забезпечення безпеки міського руху, й раціоналізує витрату електроенергії.



Розвиток телемеханічних систем цього призначення відбувається в напрямку вдосконалення апаратури, застосування раціональних методів і засобів кодування, передачі й селекції сигналів.

### **Автоматичне керування освітленням**

Автоматичним називають керування освітленням, здійснюване без участі оператора. Засобами автоматичного керування може проводитися вмикання і вимикання освітлення відповідно до зміни природної освітленості, а також здійснюватися заздалегідь розроблена програма зміни режимів роботи освітлювальної установки. Об'єктами автоматичного керування можуть бути як великі освітлювальні установки, так й окремі світильники.

Деякі завдання керування освітленням, такі як керування дією декоративного або видовищного освітлення, ілюмінації за скільки-небудь складною програмою, можуть бути вирішені тільки за допомогою автоматичних засобів.

Застосування автоматичних засобів для керування зовнішнім освітленням дозволяє у ряді випадків спростити вирішення завдань живлення освітлювальних установок електроенергією, спростити схеми й зменшити довжину електричних мереж, а також уникнути необхідності спорудження ліній зв'язку дистанційного керування.

Автоматичні пристрої, або автомати для керування освітленням за принципом дії можуть бути розділені на дві групи:

- автомати, дія яких заснована на вимірі часу (програмні реле часу);

- автомати, дія яких заснована на фіксації змін природної освітленості (фотореле й фотоавтомати).

В установках зовнішнього освітлення програмне керування практично не застосовується через складність створення "гнучких" програм, які враховували б зміну природної освітленості від одного дня до іншого.

Реалізація "природної" програми керування освітленням вулиць — використання добових змін природної освітленості, виявляється можливою в результаті застосування автоматичних пристроїв з фотоелементами.

Функціонально й за принципом дії ці пристрої є фотоелектричними реле.

Структурними функціональними елементами фотореле є:

- фотоелектричний приймач променистої енергії;
- підсилювач фотоструму;
- перетворювач сигналу;
- виконавчий елемент (звичайно — електромагнітне реле).

Як приймачі променистої енергії у фотореле, призначених для керування освітленням, у наш час майже винятково використовують фотоелементи типу фоторезисторів. Величина опору неосвітленого фоторезистора досягає декількох МОм і ланцюг, в який він включений, можна вважати практично розімкнутим. При освітленні фоторезистора його опір значно зменшується і в ланцюзі починає протікати струм, величина якого певним чином пов'язана з рівнем освітленості його поверхні. Фотострум, що виникає при невисоких освітленостях (фотореле повинні спрацьовувати в сутінках, коли освітленість становить декілька люкс), дуже малий і для приведення в дію електромагнітного реле повинен бути посилений. У су-

часних фотореле посилення і випрямлення струму, що направляється в обмотку реле, здійснюють за допомогою напівпровідникових приладів.

### **Контрольні питання до глави 9**

1. Загальні питання керування зовнішнім освітленням.
2. Визначення часу вмикання і вимикання зовнішнього освітлення.
3. Місцеве керування зовнішнім освітленням.
4. Дистанційне централізоване керування зовнішнім освітленням.
5. Система керування зовнішнім освітленням з каскадним включенням контакторів пунктів живлення.
6. Схеми керування і сигналізації в установках зовнішнього освітлення.
7. Системи телекерування зовнішнім освітленням.
8. Автоматичне керування зовнішнім освітленням.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

### Основна

1. Природне і штучне освітлення. ДБН В.2.5-28-2006.- К.: Мінбуд України, 2006.
2. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б.Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. М.: Знак.- 972 с: ил. 2006.
3. Правила улаштування електроустановок. Розділ 6. Електричне освітлення.- К: 2006.
4. Мешков В.В. Основы светотехники. Ч.1.- М.: Энергия,1979.378 с.
5. Мешков В.В. Основы светотехники. Ч.2. -М.: Госэнергоиздат, 1961.- 416 с.
6. Мешков В.В., Матвеев А.Б. Основы светотехники. Учеб. пособие для вузов в 2-х частях. Ч.2. Физиологическая оптика и колориметрия, 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат,1989.
7. Мешков В.В., Епанешников М.М. Осветительные установки.- М.: Энергия, 1972. -360 с.
8. Кнорринг Г.М., Фадин Н.М., Сидоров В.Н. Справочная книга для проектирования электрического освещения.- С– Пб.: Энергоатомиздат, 1992.
9. Кнорринг Г.М. Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения. -Л.: Энергия, 1973.- 200 с.
10. Трембач В.В. Световые приборы. -М.: Высшая школа, 1972.- 496с.
11. Рябов М.С., Циперман Л.А. Электрическая часть осветительных установок. -М.: Энергия, 1966.- 360 с.
12. Райцельский Л.А. Справочник по осветительным сетям. - 3-е изд., перераб. и доп.- М.: Энергия, 1977.
13. Соколов В.Ф., Харченко В.Ф., Овчинников А.Г. Сети наружного освещения.- М.: Энергоатомиздат, 1997. -160 с.
14. Дадиев М.С. Управление осветительными сетями. -М.: Энергия, 1973.- 88 с.

### Додаткова

1. Инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов. СН 541-82.- М.: Стройиздат, 1982.
2. СНиП 1.02.01-85. Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений.

3. Островский М.А. Исследование отражающих свойств асфальтовых покрытий. // Светотехника, -1956.- № 1.
4. Островский М.А. Расчет яркости дорожных покрытий. // Светотехника, -1961.- № 5.
5. Житова Н.П., Островский М.А., Пономаренко Л.А. Расчет эффективных кривых силы света светильников для освещения улиц и дорог // Светотехника, -1975. -№ 3-С. 2-5.
6. ГОСТ 8045-82. Светильники для наружного освещения. Общие технические условия.
7. Эбербах К. Новые критерии оценки освещения улиц и туннелей // Светотехника, -1991.- № 4. с. 17 – 20.
8. Поинтер К. Уличное освещение и уменьшение преступности: выгоды и убытки.// Светотехника, -1999.- № 6.
9. Боммель В. ван. Исследования дорожного освещения за последние 80 лет. Результаты и уроки на будущее // Светотехника, - 1999. - № 6.
10. Рекомендации по проектированию электротехнической части наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов.- М.: Стройиздат, -1987.
11. Saunderson D.J. The History and Development of Lighting Columns // Public Lighting, -1974. - No. 39. s. 75 – 78.
12. Minor Ray C. Damp destructive pole vibration // Elec. Light and Power. -1973.- No. 51. s. 54 – 55.
13. Опоры наружного освещения и контактных сетей городского транспорта. Серия 3.320 – 1.  
Выпуск 1. Материалы для проектирования.  
Выпуск 2. Железобетонные стойки и фундаменты.  
Выпуск 3. Металлические кронштейны.- М.: Госстрой СССР.- 1975.
14. Шредер Й. Освещение туннелей // Светотехника, -1993, -№ 5/6. С.21-25
15. Шрейдер Д.А. Освещение автотранспортных туннелей // Светотехника, -1994, -№ 3, -С.8-11.
16. Шрейдер Д.А. Эффективность освещения автотранспортных туннелей светильниками, излучающими навстречу движению // Светотехника, -1995. -№ 4/5..
17. Стокмар А., Фишер У., Хуберт Х., Чеунг Н.Ч. Проектирование светопропускающих и шумопоглощающих тоннельных ограждений // Светотехника, -2003.- № 1.
18. Publication: CIE 88. Guide for the lighting of road tunnels and underpasses. -Vienna.- 1990.

# НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

**Віктор Олександрович Салтиков**

## ОСВІТЛЕННЯ МІСТ

*Навчальний посібник для студентів  
спеціальності «Світлотехніка і джерела світла»*

Редактор: М.З. Аляб'єв

Комп'ютерний набір і верстка: В.О.Салтиков

План 2008, поз. 4Н

---

Підп. до друку 18.09.08 р.	Формат 60х84/16	Папір офісний.
Друк на ризографі	Умовн.–друк. арк. 10,0	Обл.- вид. арк. 10,5
Замовл. №	Тираж 300 прим.	

---

61002, Харків, ХНАМГ, вул. Революції, 12

---

Сектор оперативної поліграфії ЦНІТ ХНАМГ

---

61002, Харків, вул. Революції, 12