

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

для проведення практичних занять і самостійної роботи  
з навчальної дисципліни

**«СВІЛОТЕХНІЧНІ УСТАНОВКИ ТА СИСТЕМИ»**

*(для студентів денної і заочної форм навчання першого (бакалаврського) рівня  
вищої освіти за спеціальністю  
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

**Харків  
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова  
2021**

Методичні рекомендації для проведення практичних занять і самостійної роботи з навчальної дисципліни «Світлотехнічні установки та системи» (для студентів денної і заочної форм навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Ю. О. Васильєва, О. М. Ляшенко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 19 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. Ю. О. Васильєва,  
ст. викл. О. М. Ляшенко

Рецензент

А. С. Литвиненко, кандидат технічних наук, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою світлотехніки і джерел світла,  
протокол № 4 від 27.12.2019.*

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Рекомендації для практичних занять.....	5
1.1 Послідовність операцій при розрахунку освітленості від симетричних елементів.....	5
1.2 Алгоритм розрахунку освітленості від лінії, що світить, у вертикальній площині.....	5
1.3 Алгоритм розрахунку освітленості з використанням кривих рівної відносної освітленості.....	6
1.4 Алгоритм розрахунку освітленості від поверхонь рівномірної яскравості, що світять.....	6
1.5 Методика розрахунку світлового потоку від точкового елемента, що світить, із симетричним розподілом сили світла на поверхню, перпендикулярну до його осі симетрії.....	6
1.6 Послідовність визначення світлового потоку, що падає на смугу нескінченної довжини.....	8
1.7 Послідовність розрахунку світлового потоку за методом тілесних кутів первинного використання.....	9
1.8 Розрахунок розподілу світлового потоку від світлової лінії.....	9
1.9 Метод зональних множників.....	10
2 Рекомендації для самостійної роботи.....	12
2.1 Приклад оцінки вартості технічного обслуговування.....	12
2.2 Приклад оцінювання інтервалів чищення світильника.....	13
Список рекомендованих джерел.....	15
Додатки.....	16

## ВСТУП

Методичні рекомендації містять настанови для практичних занять і самостійної роботи з навчальної дисципліни «Світлотехнічні установки та системи». Вони призначені для опанування наступними вміннями:

- користуватися нормативними документами при розробці світлотехнічних установок;
- розв'язувати задачі оптимізації параметрів ОУ;
- використовуючи знання технологій проектування та виробництва (застосування або експлуатації) світлотехнічних систем, розраховувати оптимальні параметри цих систем і обґрунтовувати їх проектні рішення;
- застосовувати комп'ютерні технології, сучасні програми для розробки проекту освітлення;
- застосовувати методи техніко – економічної і естетичної оцінки для вибору оптимального варіанту освітлення.

Виконання і захист звітів з лабораторних робіт разом з опрацюванням теоретичного матеріалу лекційного курсу забезпечує набуття наступних компетенцій:

- готовність виконувати розрахунок і проектування систем освітлення відповідно до технічного завдання з використанням засобів автоматизації проектування;
- здатність розробляти проектну і технічну документацію, оформляти закінчені проектно-конструкторські роботи;
- готовність здійснювати контроль відповідності проектів і технічної документації, що розробляються, стандартам, технічним умовам та іншим нормативним документам.

Знання, вміння і компетенції, набуті при вивченні дисципліни «Світлотехнічні установки та системи», є основою для вивчення дисципліни «Проектування, монтаж та експлуатація освітлювальних установок», а також при виконанні проектів світлотехнічних установок утилітарного освітлення.

# 1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

## 1.1 Послідовність операцій при розрахунку освітленості від симетричних елементів

1. Визначають тангенс кута падіння світлового променя в розрахункову точку:

$$\operatorname{tg} \alpha = d/h_p, \quad (1)$$

де  $d$  – відстань від розрахункової точки до проекції осі симетрії світильника на площину, яка перпендикулярна їй і проходить через розрахункову точку.

2. За знайденим тангенсом визначають кут  $\alpha$  і  $\cos^3 \alpha$ .

3. За кривою сили світла заданого світильника знаходять силу світла  $I_\alpha$  для знайденого кута  $\alpha$ .

4. Підраховують освітленість горизонтальної, вертикальної або похилої площини.

## 1.2 Алгоритм розрахунку освітленості від лінії, що світить, у вертикальній площині

1. З креслення, що визначає положення лінії, що світить, відносно розрахункової точки, знаходимо кут ( $\gamma = \operatorname{arctg}(a/h_p)$ );

2. За кривими сили світла світильника визначаємо силу світильника з одиниці довжини лінії:

$$I_\gamma = \frac{(I_\gamma)_{1000}}{L} \frac{nF_n}{1000}, \quad (2)$$

де  $(I_\gamma)_{1000}$  – сила світла світильника для  $F_n = 1\,000$  Лм.

3. З креслення, що визначає положення лінії, що світить, відносно розрахункової точки, знаходимо кут ( $\varphi = \operatorname{arctg}(L/l)$ );

4. Користуючись рівнянням (3) визначаємо освітленість у розрахунковій точці:

$$E_A = \frac{I_\gamma \cos^2 \gamma}{2h_p} \cos^2 \gamma \left( \varphi + \frac{\sin 2\varphi}{2} \right), \quad (3)$$

де  $I_\gamma$  – сила світла з одиниці довжини лінії, що світить, у поперечній площині;

$\varphi$  – кут, під яким видна лінія, що світить, з точки розрахунку;

$h_p$  – висота розташування лінії, що світить, над освітлюваною поверхнею.

### 1.3 Алгоритм розрахунку освітленості з використанням кривих рівної відносної освітленості

Розрахунок освітленості з використанням кривих рівної відносної освітленості виконують у такій послідовності:

1) із креслення, що визначає положення світлової лінії відносно точки розрахунку, знаходимо відносні координати:

$$p' = \frac{a}{h_p} \quad L' = \frac{n(L + \lambda)}{h_p};$$

2) за кривими відносної освітленості визначаємо  $\varepsilon$  для знайдених  $p'$  і  $L'$ ;

3) за  $E = \frac{F_{\lambda}}{h_p(L + \lambda)1000} \varepsilon$  знаходимо освітленість горизонтальної площини.

### 1.4 Алгоритм розрахунку освітленості від поверхонь рівномірної яскравості, що світять

1. З креслення, що визначає положення прямокутника, що світить, відносно розрахункової точки, знаходимо відносні координати  $P_2 = b/m$  і  $P_1 = a/m$ ;

2. За номограмою  $e=f(P_1, P_2)$  визначаємо коефіцієнт освітленості  $e$ ;

3. За  $E_A = \pi L_e = M_e$  заданої світності визначаємо освітленість; ( $e$ -коефіцієнт освітленості в розрахунковій точці, створюваній розрахунковою поверхнею).

### 1.5 Методика розрахунку світлового потоку від точкового елемента, що світить, із симетричним розподілом сили світла на поверхню, перпендикулярну до його осі симетрії

1. Світлорозподіл світильника характеризується залежністю  $I_0=f(\alpha)$ ;

2. Розіб'ємо весь простір, що оточує розглянутий світильник, на зональні тілесні кути, які мають загальну ось, що збігається з віссю симетрії точкового елемента, що світить, і рівні світлові потоки, що укладають у собі тілесні кути утворені обертанням плоских кутів (рис. 2.1);

3. За відомою залежністю  $I_0=f(\alpha)$  побудуємо рис. 2 – криву наростаючих зональних світлових потоків  $\Sigma F_a = f(\alpha)$ . Визначаємо  $\alpha$  і радіуси кільцевих зон на розрахунковій площині  $r_i = htg\alpha_i$ ;

4. Розбиваємо кожну з кільцевих зон сімейством радіальних прямих, що являють собою сліди площин, які проходять через ось симетрії світильника і зміщені одна відносно одної на постійний кут.

Кожен елемент розрахункової сітки буде вмещувати в собі світловий потік, рівний

$$\Delta F = \frac{(F_{cb})_{0-90}}{mn}, \quad (4)$$

де  $(F_{cb})_{0-90}$  – світловий потік світильника в зоні 0–90°;

$n$  – число кутових зон, на яке розбитий простір, що оточує світильник;

$m$  – число площин перерізів.

Наклавши розрахункову сітку на план приміщення так, щоб її полюс був сполучений з проекцією світильника на плані (рис. 3), і підрахувавши число елементів сітки  $N$ , що знаходяться всередині контура, обмеженого стінами приміщення, визначаємо величину світлового потоку, що падає на розрахункову площину:

$$F'_p = N \frac{(F_{cb})_{0-90}}{mn}, \quad (5)$$

$$F'_\Sigma = \sum_{i=1}^K F'_i. \quad (6)$$

Аналогічно може бути підрахований світловий потік, що падає від світильника на стелю. Розрахункова сітка для цього випадку повинна бути побудована за кривою сили світла світильника для верхньої півсфери навколишнього простору й у масштабі відстані  $h_0$  від світильника до стелі приміщення:

$$F'_{\text{потолка}} = N_1 \frac{(F_{cb})_{90-180}}{mn}, \quad (7)$$

де  $N_1$  – число елементів розрахункової сітки, що укладаються в межах контуру стелі;

$(F_{cb})_{90-180}$  – світловий потік світильника в зоні 90–180°.

Знайдені  $F'_p$  і  $F'_n$  дозволяють визначити світловий потік, що падає на стіни приміщення:

$$F'_c = F_{\text{повний світловий потік}} - (F'_n + F'_p). \quad (8)$$

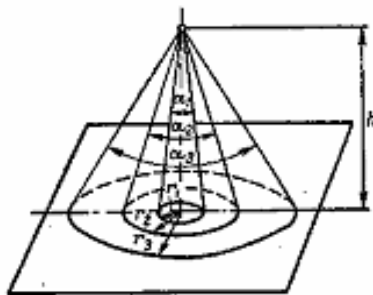


Рисунок 1 – До розрахунку світлового потоку функції  $a$

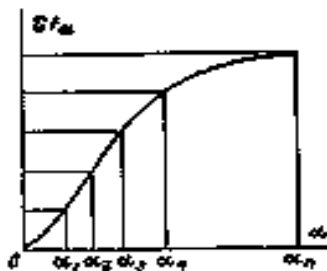


Рисунок 2 – Графік зростаючих від точкового елемента, що світить, із симетричним світлорозподілом

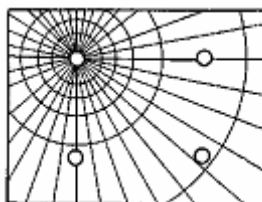


Рисунок 3 – Визначення світлового потоку накладенням розрахункової сітки

### 1.6 Послідовність визначення світлового потоку, що падає на смугу нескінченної довжини

1. Розбиваємо розрахункову площину на ділянки так, щоб проекція осі світильника збігалася з одним з кутів кожної з таких ділянок (рис. 4);

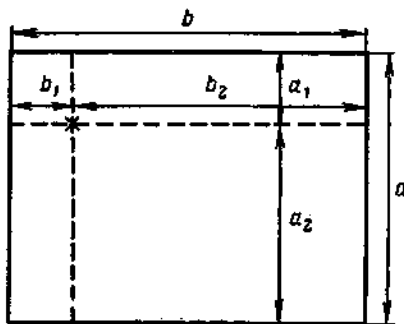


Рисунок 4 – Розбиття приміщення на ділянки



2. З креслення, що визначає розташування світильника відносно розрахункової площини, знаходимо координати  $a/h$  і  $b/h$ ;

3. За знайденими координатами  $a/h$  і  $b/h$ , користуючись графіком на  $k_e = f(\frac{a}{h})$ , знаходимо коефіцієнти  $(K_\alpha)_a$  і  $(K_\alpha)_b$ ;

4. За кривою сили світла світильника розраховуємо зональні світлові потоки для 10-градусних зон оточуючого світильник простору;

5. За  $(\Delta F_\alpha)_a = 0.5 \Delta F_\alpha (K_\alpha)_a$  визначаємо зональні й повний світловий потоки, що падають від світильника на розглянуту ділянку;

6. Знайшовши аналогічно світловий потік, що падає на інші три ділянки розрахункової площини, і додаючи їх, визначаємо потік, що падає на розрахункову площину.

### 1.7 Послідовність розрахунку світлового потоку за методом тілесних кутів первинного використання

1) визначаємо відносну сторону квадрата, еквівалентного заданій прямокутній розрахунковій площині  $a_e = \frac{2ab}{a+b}$ ;

2) знаходимо значення тілесних кутів первинного використання для кожної 10-градусної зони;

3) за знайденим значенням тілесних кутів первинного використання  $\omega_a$  і значенням сили світла світильника для середини кожної зони  $I_a$  знаходимо зональні світлові потоки, що падають на розрахункову площину або стелю;

4) підсумовуючи добуток  $I_a \omega_a$  в необхідних межах, визначаємо світлові потоки, що падають на розрахункову площину ( $F_p'$ ) і потік ( $F_n'$ ).

### 1.8 Розрахунок розподілу світлового потоку від світлової лінії

Для визначення світлового потоку, що падає від світлової лінії на горизонтальну площину, паралельну її осі:

1) розіб'ємо простір, що оточує лінію, яка світить, на рівні двогранні кути  $\gamma$ . Світловий потік світлої лінії, що лежить у межах кута  $\gamma$ , позначимо через  $F_\gamma$ ;

2) нехай потік, що падає на одну зі стін, перпендикулярну до осі лінії, що світить –  $F_\gamma$ ;

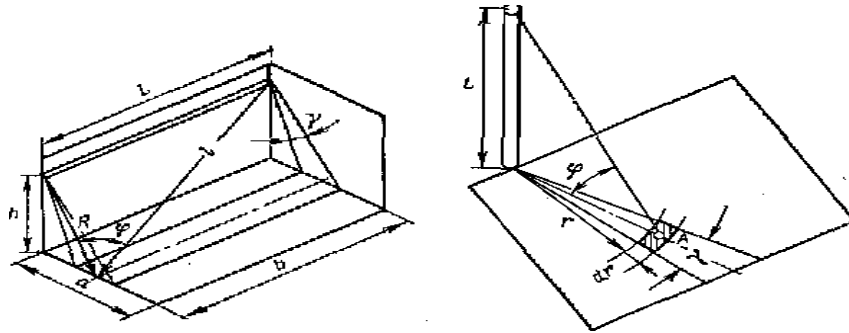
3) частка потоку лінії, що світить, падаючого на розрахункову площину

$$K_i = \frac{(F_\gamma)_i - 2(F_\gamma')_i}{(F_\gamma)_i} = 1 - \frac{2(F_\gamma')_i}{(F_\gamma)_i}; \quad (9)$$

4) світловий потік, що падає на всю розрахункову площину

$$F_{ab} = \sum_{i=1}^n (F_{\gamma}) K_i \quad (10)$$

де  $n$  – число двограних кутів  $\gamma$ , обмежених шириною  $a$  розрахункової площини.



Рисунок– Розташування світлової лінії відносно розрахункової поверхні

### 1.9 Метод зональних множників

Порядок розрахунку світлового потоку, що падає на розрахункову площину, за методом Ейнхарта зводиться до наступного:

1) розраховуємо відносні розміри приміщення  $a/h$  і  $b/h$  і, користуючись табличними значеннями ( $K_{\gamma} = f(a/h)\gamma = const; K_{\varphi} = f(b/h)\gamma = const$ ), визначають  $K_{\gamma}$  і  $K_{\varphi}$ ;

2) за 
$$dF_{\gamma}'' = \frac{I_{\gamma}}{2} \gamma \frac{L^2 dr}{L^2 + r^2}, \quad (11)$$

або

$$F_{\gamma} = \frac{I_{\gamma} L \pi \gamma}{2}, \quad (12)$$

або

$$2) F_{\gamma} = \frac{4}{3} \gamma I_{\gamma} L, \quad (13)$$

розраховуємо зональний світловий потік  $F_{\gamma}$ ;

3) визначаємо світловий потік лінії, що світить, який падає на розрахункову площину

$$F_{ab} = 2n \sum_{\gamma=0}^{\gamma=\gamma_a} \Delta F_{\gamma} K_{\gamma} K_{\varphi}, \quad (14)$$

де  $n$  – число ліній, що світять, у приміщенні;

$\Delta F_\gamma$  – світловий потік світильників у межах 10-градусного двогранного кута;

$K_\gamma, K_\phi$  – зональні множники.

Точність тут у межах 10–15 % за умови, що відстань між рядами світильників  $L/h$  у приміщенні складає 1,0–1,5 і відповідно відстань від крайнього ряду світильників до стін має половину відстані між рядами.

## 2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ З ДИСЦИПЛІНИ

### 2.1 Приклад оцінки вартості технічного обслуговування

Об'єкт – фабрика складання телевізійних приймачів на околиці великого міста

Розмір – велика відкрита площа, що має нормальне середовище.

Оздоблення – 70/30/20 % відбиття стель/стін/підлоги відповідно.

Система освітлення – рефлектор з верхніми щілястими білими відбивачами з використанням люмінесцентних ламп з три смуговим люмінофором.

Умови функціонування:

Тривалість горіння – 4 000 год на рік із замінами окремих ламп, які вийшли з ладу.

План обслуговування – чищення світильників та оновлення ламп кожні два роки.

Таблиці 3.2 –  $LLMF=0,90$  для 8000 год проміжку часу між замінами ламп –  $LSF=1,0$  (якщо застосовуються окремі заміни).

Таблиці 3.4 –  $LLMF=0,80$  для одного чищення світильників категорії В за 2 роки.

Таблиці 3.6 –  $RSMF=0,93$  для одного чищення поверхонь за 6 років –  $MF=0,90 \cdot 1,00 \cdot 0,80 \cdot 0,96 = 0,669 = 0,67$ .

Якщо чищення світильників проводиться щорічно, то  $LMF=0,90 \cdot 1,00 \cdot 0,80 \cdot 0,93 = 0,72$ .

Це робить установку на 7 % ефективнішою. Це дасть більш 7 % економії для освітлювальної установки.

*Примітка 1.* Для досягнення встановленої освітленості можуть розглядатися різні графіки обслуговування та відповідні коефіцієнти, а за даними. Значення всіх коефіцієнтів є початково пов'язаними з умовами обслуговування.

*Примітка 2.* Є загальною практикою проводити заміну ламп і чищення одночасно, але чищення ламп і світильників між повними замінами може бути корисним в забруднених оточеннях часу між замінами ламп.

*Примітка 3.* Коефіцієнт збереження світла світильника (КЗСС) та коефіцієнт збереження відбиваності поверхонь приміщення (КЗВП) є не пов'язаними з тривалістю (кількістю годин) горіння ламп.

## 2.2 Приклад оцінювання інтервалів чищення світильника

У складі системи освітлення – заглиблений світильник з низькоякісним відбивачем, розмірами 1200 мм × 300 мм, з використанням 2-х люмінесцентних ламп Т8 довжиною 1200 мм, з номінальним значенням потужності 36 Вт, з функціонуванням з високочастотним баластом (Повна потужність світильника 72 Вт).

Установлений світильник:

Вартість – 100.

Строк служби світильника – 10 років.

Вартість лампи – 10 на світильник.

Вартість чищення – 3 на світильник.

Заміна ламп – 0,5 на світильник.

Потужність світильника – 72 Вт (коло).

Кількість годин горіння ламп на рік – 3 000.

Інтервал заміни ламп – 3 роки.

Тариф на електроенергію – 0,05 (Це, в разі застосування, може враховуватися як максимально потрібна вартість).

Коефіцієнт зносу світильника категорії В у звичайному середовищі за [5] – 0,14.

*Примітка.* Всі вартості надаються у відносних одиницях. Важливо використовувати реальні вартості, що ґрунтуються на місцевих умовах.

Вартість одноразового чищення світильника становить  $C_c=3$ .

Вартість придбання та експлуатації за рік позначається як  $C_a$ .

Цим враховуються вартість енергії, амортизаційні кошти щодо монтування в розрахунку на рік (з урахуванням відсотку капітальних внесків) і вартість повної заміни ламп в розрахунках на рік.

Вартості в розрахунку на рік становлять:

– електроенергії  $\frac{72 \cdot 300 \cdot 0,5}{1000} = 10,8$ ;

– монтування  $\frac{100}{10} = 10$ ;

– заміни ламп  $\frac{10+0,5}{3} = 3,5$ .

Отже,  $C_a = 10,8 + 10 + 3,5 = 24,3$  грн.

Оптимізований інтервал чищення  $T$  знаходиться за формулою:

$$T = \frac{-C_e}{C_a} + \sqrt{\frac{2 \cdot C_e}{\Delta C_a}}$$

$$T = \frac{-3}{24,3} + \sqrt{\frac{2 \cdot 3}{24,3 \cdot 0,14}} = -0,123 + 1,328 = 1,2 \text{ років}$$

Ці світильники треба чистити не рідкіше ніж з 14-місячними інтервалами. На практиці річне чищення має здійснюватися із заміною ламп після трьох років.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мешков В. В. Осветительные установки : учеб. пособие для ВУЗов / В. В. Мешков, М. М. Епанешников. – М. : Энергия, 1972. – 360 с.
2. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. – [3-е изд. перераб. и доп.]. – М. : Знак, 2006 – 972 с.
3. Кнорринг Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г. М. Кнорринг, Н. М. Фадин, В. Н. Сидоров. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
4. ДБН В.2.5–28–2018. Природне і штучне освітлення. Чинний від 01.03.2019. – Київ : Мінбуд України, 2018.
5. ДСТУ СІЕ 97:2017. (СІЕ 97:2005, IDТ). Настанова щодо технічного обслуговування систем внутрішнього електричного освітлення. Чинний від 03.01.2018. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 60 с.

## ДОДАТКИ

### ДОДАТОК А

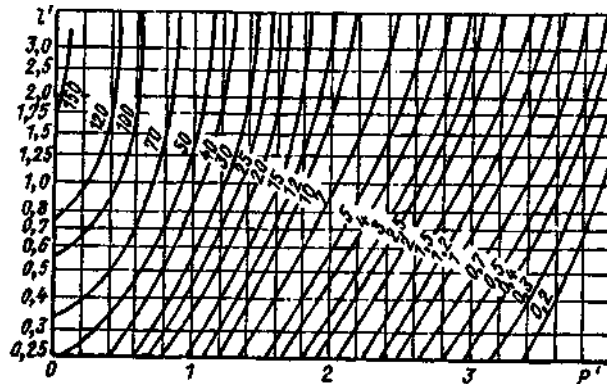
Таблиця А.1 – Значення тілесних кутів первинного використання для розрахунку розподілу світлових потоків ОУ при застосуванні методу Дубінкіна

Тілесні кути первинного використання												
$\alpha_{\text{ср}}$	$a_{\text{екв}}$											Зональний коефіцієнт світлового потоку
	0,5	0,75	1,00	1,25	2,50	3,75	5,00	6,25	7,50	8,75	10,0	
5												0,095
15	0,140											0,283
25	–	0,114	0,382									0,463
35	–	–	0,04	0,293	0,460	0,516	0,544	0,561	0,572	0,580	0,586	0,628
45	–	–	–	0,002	0,360	0,492	0,560	0,602	0,630	0,650	0,666	0,774
55	–	–	–	–	0,354	0,514	0,602	0,647	0,695	0,723	0,744	0,897
65	–	–	–	–	0,122	0,303	0,501	0,591	0,653	0,698	0,733	0,993
75	–	–	–	–	–	0,081	0,224	0,359	0,458	0,533	0,597	1,058
85	–	–	–	–	–	–	–	0,001	0,018	0,066	0,116	1,091
95	–	–	–	–	0,139	0,256	0,325	0,416	0,506	0,576	0,635	1,091
105	–	–	–	0,091	0,536	0,703	0,789	0,832	0,876	0,902	0,921	1,058
115	–	0,067	0,565	0,926								0,993
125	0,049	0,747										0,897
135	0,575											0,774
145												0,628
155												0,463
165												0,283
175												0,095

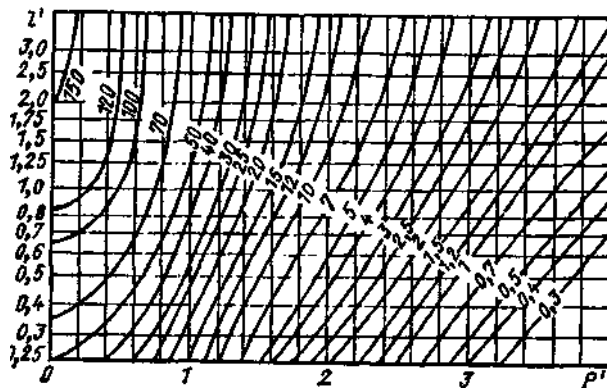
Примітка:  $a_{\text{екв}}$  – сторона еквівалентного квадрату, яка визначається як  $a_{\text{екв}} = \frac{2ab}{h_p(a+b)}$ .



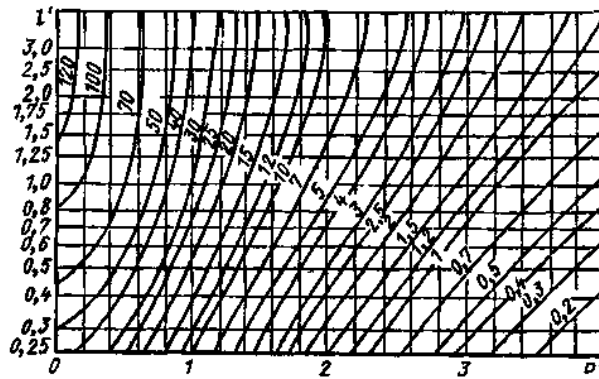
## ДОДАТОК Б



а



б



в

Рисунок Б.1 – Криві рівної освітленості для світильників з різними типами кривих сил світла (КСС): а – для світильників з КСС типу М; б – для світильників з КСС типу Д-1; в – для світильників з КСС типу Г

## ДОДАТОК В

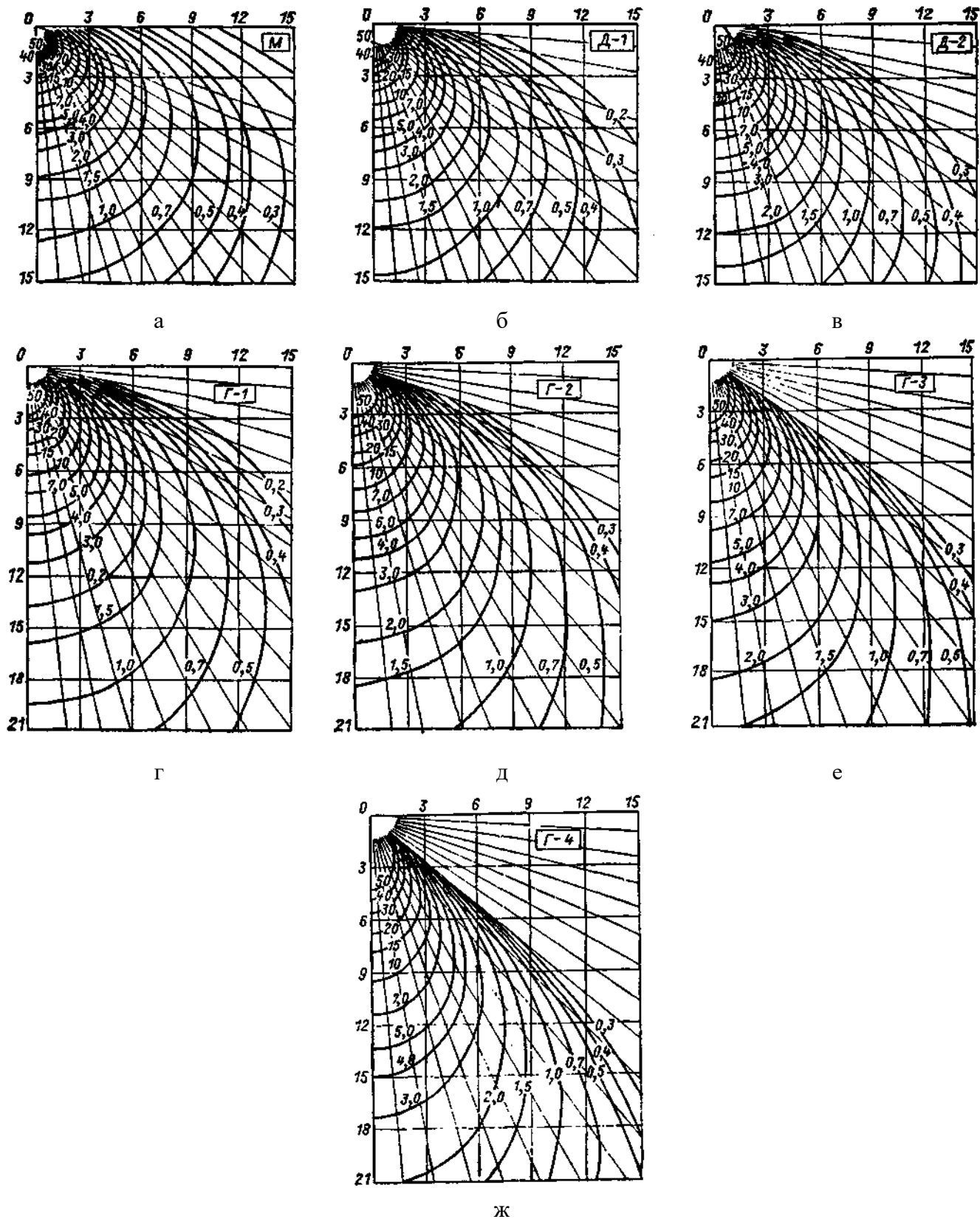


Рисунок В.1 – Просторові криві умовної горизонтальної освітленості для світильників з типами КСС:

а – М; б – Д1; в – Д2; г – Г1; д – Г2; е – Г3; ж – Г4

*Виробничо-практичне видання*

Методичні рекомендації  
для проведення практичних занять і самостійної роботи  
з навчальної дисципліни

## **«СВІЛОТЕХНІЧНІ УСТАНОВКИ ТА СИСТЕМИ»**

*(для студентів денної і заочної форм навчання першого (бакалаврського) рівня  
вищої освіти за спеціальністю  
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Укладачі : **ВАСИЛЬЄВА** Юлія Олегівна,  
**ЛЯШЕНКО** Олена Миколаївна

Відповідальний за випуск *Ю. О. Васильєва*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *О. Г. Ткаченко*

План 2018, поз. 267 М

---

Підп. до друку 21.02.2020. Формат 60 x 84/16.  
Електронне видання. Ум. друк. арк. 1,1.

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.  
Електронна адреса: office@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 5328 від 11.04.2017.