



Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет енергетики, робототехніки
та комп'ютерних технологій

Кафедра інтегрованих електротехнологій та
енергетичного машинобудування

ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ ЧАСТИНА I (ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ)

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт
для здобувачів денної та заочної форм навчання
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
зі спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Харків
2023

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет енергетики, робототехніки
та комп'ютерних технологій

Кафедра інтегрованих електротехнологій та енергетичного
машинобудування

ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ ЧАСТИНА І (ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ)

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт
для здобувачів денної та заочної форм навчання
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
зі спеціальності:

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Затверджено рішенням
Науково-методичної ради
факультету енергетики,
робототехніки та комп'ютерних
технологій
Протокол №_3
від 22 лютого_2023 р.

Харків
2023

УДК
621.32:628.93](072)
Е 50

Схвалено на засіданні кафедри інтегрованих електротехнологій та енергетичного машинобудування
Протокол № 10 від 20 лютого 2023 р.

Рецензенти:

О.П. Лазуренко, кандидат техн. наук, проф. Національного технічного університету «Харківський політехнічний університет»;

М.Л. Лисиченко, доктор техн. наук, проф. Державного біотехнологічного університету.

Е 50 Електричне освітлення та опромінювання: методичні вказівки до виконання практичних робіт для здобувачів денної та заочної форм навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології; Держ. біотехнол. ун-т ; уклад.: В. І. Жила. – Харків : [б. в.], 2023.– 27 с.

Методичні вказівки включають 5 практичних робіт та список літератури до них. Матеріал розкриває сутність розрахунку освітлення, потоку випромінювання, сили світла та яскравості. Майбутні фахівці повинні володіти основами методології розрахунку систем електричного освітлення та опромінювання.

Видання призначене здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання спеціальності: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

УДК 621.32:628.93](072)

Відповідальний за випуск: О. В. Петренко, канд техн. наук

© Жила В. І., 2023
© ДБТУ, 2023

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	5
1. Розрахунок енергетичного світіння (випромінюваності) та освітленості (опромінюваності).....	6
2. Розрахунок потоку випромінення ламп.....	11
3. Розрахунок сили світла.....	17
4. Розрахунок освітленості.....	22
5. Розрахунок світіння і яскравості.....	27
Список рекомендованої літератури.....	33

ПЕРЕДМОВА

Методичні вказівки до виконання практичних робіт для здобувачів денної та заочної форм навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Методичні вказівки для виконання практичних робіт містять структурні елементи для проведення практичної роботи, а саме:

- тему заняття, яка має повністю відповідати робочій навчальній програмі;
- мету та завдання кожної лабораторної роботи, методику її виконання;
- короткий теоретичний коментар за кожною темою, що дозволяє здобувачеві зрозуміти суть розрахунків, які виконуються на практичному занятті;
- приклади розрахунку та варіанти завдань.

Розрахункові практичні завдання виконуються здобувачами вищої освіти з метою:

- закріплення, поглиблення та узагальнення знань, одержаних під час вивчення дисципліни «Електротехнології та електроосвітлення», при комплексному вирішенні конкретного фахового завдання;
- розвитку здатностей щодо застосування цих знань;
- формування вмінь та навичок розрахунків світлотехнічних параметрів джерел випромінювання, розрахунку сили світла, освітленості;
- вивчення методики розрахунку світіння і яскравості джерел випромінювання.

Перед виконанням розрахунково-графічної роботи студент має ознайомитися з теоретичними відомостями та підібрати необхідні дані з рекомендованої довідкової літератури.

Виконувати роботу необхідно у послідовності, яку викладено у методичних рекомендаціях. Розрахунки потрібно виконувати за допомогою комп'ютера або інженерного мікрокалькулятора.

1. РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНОГО СВІТІННЯ (ВИПРОМІНЮВАНOSTI) ТА ОСВІТЛЕНOSTI (ОПРОМІНЕНOSTI)

Мета заняття: освоєння теорії і практики розрахунку основних світлотехнічних параметрів освітлювальних установок.

Методичні вказівки

Реальні джерела випромінювання мають цілком визначені габаритами і характеризуються довжиною, шириною, площею поверхні, що світиться. При цьому виникає задача визначення рівномірності розподілення потоку випромінювання по поверхні джерела. Для оцінки рівномірності потоку випромінювання поверхні джерела введено поняття енергетичного світіння (випромінюваності) M_e .

Енергетичне світіння M_e визначається відношенням елементарного потоку випромінювання $d\Phi_e$ до площі елементарного випромінюючого елемента dA_u .

$$M_e = d\Phi_e / dA_u \quad (1.1)$$

Якщо у випромінювача рівномірне розподілення потоку випромінювання, то вираз (1.1) приймає вигляд:

$$M_e = \Phi_e / A_u \quad (1.2)$$

де A_u – площа випромінювача, m^2 .

Одиниця вимірювання освітлення ($Bm \cdot m^{-2}$) рівна поверхневій густині потоку випромінювання, при якій поверхня площею $1 m^2$ випускає потік випромінювання, рівний $1 Bm$.

Щільність потоку випромінювання на поверхні об'єкту, на яку він падає, називається енергетичною освітленістю (опроміненість) E_e , яка визначається відношенням елементарного потоку випромінювання, який падає на елементарний елемент поверхні об'єкту і рівномірно розподіленого на ній, до площі цього елемента:

$$E_e = d\Phi_e / dA_u$$

Якщо поверхня об'єкта має кінцеві значення, а потік рівномірно розподілений по всій площі, то енергетична освітленість:

$$E_e = \Phi_e / A_0 \quad (1.3)$$

Одиниця вимірювання енергетичної освітленості ($Bm \cdot m^{-2}$) дорівнює значенню енергетичної освітленості поверхні об'єкта площею m^2 , на яку падає потік випромінювання $1 Bm$.

З вищесказаного видно, що обидва параметри є відношенням потоку випромінювання до площі. Різниця полягає в тому, що енергетичне освітлення є параметром джерела випромінювання, а енергетична освітленість визначає густину потоку, який падає на об'єкт.

При розгляді цих параметрів потрібно мати на увазі, що частина потоку випромінювання, яка досягла об'єкта, відбивається від поверхні. Якщо прийняти припущення про відсутність ослаблення потоку випромінювання у середовищі між джерелом випромінювання і об'єктом опромінення, то обидва параметри зв'язані між собою:

$$E_e = \rho_e \cdot M_e \quad (1.4)$$

де ρ_e – інтегральний коефіцієнт відбивання.

Розглянемо приклад розрахунку.

Приклад 1. Визначити випромінювальність поверхні листа металу, який має коефіцієнт відбивання $\rho_e = 0,5$, якщо енергетичне світіння випромінювача $M_e = 100 Bm \cdot m^{-2}$

За виразом (1.4) визначаємо:

$$E_e = M_e \cdot \rho_e = 100 \cdot 0,5 = 50 Bm \cdot m^{-2}$$

Приклад 2. Точкове джерело має потік випромінювання $12,56 \text{ Вт}$ і розташований в центрі сфери радіусом 1 м . Джерело випромінює потік рівномірно по всім напрямкам. Визначити силу випромінювання і опромінення поверхні.

Розв'язок.

Сила випромінювання

$$I_e = \Phi_e / \omega$$

де ω – тілесний кут, ср.

Найбільший тілесний кут $\omega_{\text{макс}} = A_c / r^2$,

де A_c – площа опори максимального тілесного кута ,

де r – радіус сфери; відповідно $\omega_{\text{макс}} = 4 \cdot \pi \cdot r^2 / r = 4 \pi \cdot r$, ср.

Підставляючи значення ω , одержуємо значення сили випромінювання:

$$I_e = 12,56 / 4 \cdot \pi \approx 1 \text{ Вт} \cdot \text{ср}^{-1}$$

З урахуванням (1.3) визначаємо опромінювання:

$$E_e = \Phi_e / A_o = 12,56 / 4 \pi = 1 \text{ Вт} \cdot \text{ср}^{-2};$$

де $A_o = 4 \pi$ – площа поверхні сфери, м^2 .

Приклад 3. Визначити енергетичне світіння випромінюючої поверхні $A_u = 1 \text{ м}^2$, якщо вона випромінює рівномірно по всій світловій поверхні потік випромінювання 10 Вт .

За виразом (1.2) визначаємо:

$$M_e = \Phi_e / A_u = 10 / 1 = 10 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$$

Завдання для самостійної роботи

Завдання 1. Визначити енергетичне опромінення поверхні зерна, яке має коефіцієнт відбивання ρ_e , якщо енергетичне світіння

випромінювача M_e . Дані приведені в табл. 1.1 (номер варіанта відповідає номеру студента по списку групи).

Таблиця 1.1 Коефіцієнт відбивання та енергетичне світіння

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ρ_e	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
$M_e, \text{Вт/м}^2$	8	13	26	35	7	12	25	31	6	11
Варіант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ρ_e	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
$M_e, \text{Вт/м}^2$	24	33	5	10	23	31	40	4	9	22
Варіант	21	22	23	24	25	26	27	28		
ρ_e	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,9		
$M_e, \text{Вт/м}^2$	30	39	3	21	8	29	38	42		

Завдання 2. Визначити енергетичне світіння випромінюючої поверхні лампи площею A_u , якщо вона випромінює рівномірно по всій поверхні потік випромінювання Φ_e . Дані приведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Площа поверхні та потік випромінювання.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$A_u, \text{м}^2$	13	15	18	24	46	15	18	24	36	42	17	29	30	31
$\Phi_e, \text{Вт/м}^2$	3	8	12	24	16	17	40	43	45	48	51	54	39	100

Вариант	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
$A_u, \text{м}^2$	34	38	5	8	13	36	42	58	57	56	63	68	64	65
$\Phi_e, \text{Вт/м}^2$	41	18	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25

Завдання 3. Визначити енергетичне опромінення поверхні A_o при опроміненні потоком Φ_e . Дані приведеш в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3. Площа поверхні та потік опромінення

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$A_o, \text{м}^2$	26	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	24	25	28
$\Phi_e, \text{Вт/м}^2$	75	50	43	42	41	36	34	33	32	31	30	29	39	100
Вариант	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	28	23
$A_o, \text{м}^2$	30	31	36	39	40	42	43	45	43	50	52	56	57	58
$\Phi_e, \text{Вт/м}^2$	24	28	19	18	17	16	15	14	12	3	4	5	6	7

Контрольні запитання

1. Дайте визначення енергетичному світінню і енергетичному опроміненню. їх різниця та одиниці вимірювання.

2. Чому дорівнює опроміненість поверхні, яка повністю відбиває потік випромінювання?
3. Назвіть одиниці виміру енергетичного світіння та енергетичного випромінювання.

2. РОЗРАХУНОК ПОТОКУ ВИПРОМІНЮВАННЯ ЛАМП

Мета заняття: визначення світлового потоку ламп з лінійчатим спектром по відомому розподіленню потоку випромінювання.

Методичні вказівки

Світловий потік – це ефективний потік в системі світлових величин і одиниць. Світловим потоком називають потужність (кількість енергії за одиницю часу) світлового випромінювання в діапазоні від 380 до 780 нм. Для вимірювання потоку випромінювання використовується одиниця потужності – Ват ($1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж} \cdot \text{с}^{-1} = 6,25 \cdot 10 \text{ eВ} \cdot \text{с}^{-1}$).

Потік випромінювання за кінцевий інтервал часу t :

$$\Phi_e = W_e / t$$

де W_e – енергія випромінювання джерела за інтервал часу t .

При використанні світлової системи величин одиниць індекс e як правило, не ставиться. За одиницю світлового потоку прийнято люмен (лм).

Люмен – світловий потік, що випромінюється чорним тілом з площі вихідного вікна отвору, рівної $0,5305 \text{ м}^2$, при нормальному атмосферному тиску і при температурі затвердіння платини 2046 К .

Потік випромінювання джерела може бути приведений до світлового потоку за допомогою функціональної залежності $Y = f(\lambda)$ – відносної спектральної світлової ефективності, яка визначається по

відношенню двох потоків з довжиною хвиль λ та $\lambda_{\text{макс}}$, які викликають у чітко визначених фотометричних умовах однакове зорове відчуття. Інколи функцію $Y = f(\lambda)$ називають відносною спектральною світловою ефективністю ока. При цьому значення $\lambda_{\text{макс}}$ вибирають так, щоб максимальне значення $Y = f(\lambda)$ дорівнювало одиниці.

Спектральна чутливість приймача $S(\lambda) = \Phi(\lambda) / \Phi_e(\lambda)$ (відношення ефективного потоку випромінювання $Y(\lambda)$ до потоку випромінювання $\Phi_e(\lambda)$) необхідна для визначення максимального значення $S(\lambda)_{\text{макс}}$. Для практики необхідно знати $S(\lambda)_{\text{макс}}$ при $\lambda = 555 \text{ нм}$. Встановлено, що відношення між одиницями потоку випромінювання і світловими одиницями ватом і люменом таке: 1 *Bm* однорідного потоку випромінювання з $\lambda = 555 \text{ нм}$ дорівнює 683 *лм* світлового потоку. Отже $S(\lambda)_{\text{макс}} = 683 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$.

Фізично це означає, що 1 *Bm* однорідного потоку випромінювання з $\lambda = 555 \text{ нм}$ викликає таку ж дію, як і світловий потік, рівний 683 *лм*.

Таким чином, $\Phi(\lambda)$ – однорідний світловий потік з довжиною хвилі λ – можна виразити як:

$$\Phi(\lambda) = S(\lambda)_{\text{макс}} \cdot Y(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) = 683 Y(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) \quad (2.1)$$

Світловий потік джерела з лінійчатим спектром:

$$\Phi = 683 \sum_{i=1}^n \Phi_e(\lambda_i) Y(\lambda_i)$$

де $\Phi_e(\lambda_i)$ – потік випромінювання i – ї лінії;

n – число ліній;

$Y(\lambda_i)$ – значення відносної спектральної світлової ефективності для довжини хвилі λ_i .

Для джерела із суцільним спектром:

$$\Phi = 683 \int_0^{\infty} \Phi_e \lambda(\lambda) \nu(\lambda) d\lambda \quad (2.2)$$

Оскільки функція $\nu(\lambda)$ прямує до нуля при $\lambda < 380$ нм та $\lambda > 780$ нм, світловий потік:

$$\Phi = 683 \int_{\lambda=380 \text{ нм}}^{\lambda=780 \text{ нм}} \Phi_e' \lambda(\lambda) \nu(\lambda) d\lambda \quad (2.3)$$

Інтегрування виразу (2.3) можна здійснити за формулою:

$$\Phi = \Delta\lambda \cdot 683 \sum_{i=1}^n \Phi_{\Delta\lambda}(\lambda_i) \nu(\lambda)_i$$

де $\Delta\lambda$ – ширина спектрального інтервалу;

n – число ділянок, на які розбивається видима область спектра;

$\Phi_{\Delta\lambda}$ – значення спектральної щільності потоку

випромінювання для середини i -го спектрального інтервалу;

$\nu(\lambda)_i$ – значення відносної спектральної світлової ефективності ока для середини i -го спектрального інтервалу.

Значення $\nu(\lambda)_i$ приведені в таблиці 2.1.

Розглянемо приклади розрахунку.

Приклад 1. Визначити потоки випромінювання однорідних випромінювань з $\lambda_1 = 400$ нм; $\lambda_2 = 555$ нм; $\lambda_3 = 700$ нм, якщо світловий потік кожного із цих випромінювань дорівнює 683 лм.

Розв'язок.

За табл. 2.1. знаходимо значення $(\lambda)_i = 0,0004$; $\nu(\lambda_2) = 1,0$; $\nu(\lambda_3) = 0,041$.

За виразом – (2.1) визначаємо:

$$\Phi_e(\lambda_i) = \frac{\Phi_e' \cdot (\lambda_i)}{683 \nu(\lambda_i)} = \frac{683}{683 \cdot 0,0004} = 2500 \text{ Bm}$$

$$\Phi_e(\lambda_2) = 1 \text{ Вт}$$

$$\Phi_e(\lambda_3) = 683/683 \cdot 0,0041 = 244 \text{ Вт}$$

Приклад 2. Знайти світловий потік ртутної лампи високого тиску, яка має лінійчатий спектр і такий розподіл потоку випромінювання:

Довжина хвилі λ , нм	405	436	546	577-579
Потік випромінювання $\Phi_e(\lambda)$, Вт	5,2	9,1	10,5	10,2-13,5
Значення $v(\lambda)$	0,007	0,0175	0,984	0,889

Таблиця 2.1 - Довжина хвилі та значення відносної спектральної світлової ефективності

Варіант	λ нм	Денний зір	Нічний зір	Варіант	λ нм	Денний зір	Нічний зір
1.	380	0,0000	0,0005	22.	590	0,757	0,0685
2.	390	0,0001	0,0022	23.	600	0,631	0,0332
3.	400	0,0004	0,0093	24.	610	0,503	0,0159
4.	410	0,0012	0,0349	25.	620	0,381	0,0074
5.	420	0,0040	0,0966	26.	630	0,265	0,003
6.	430	0,0116	0,1998	27.	640	0,175	0,0014
7.	440	0,023	0,3281	28.	650	0,107	0,0007

8.	450	0,038	0,455	29.	660	0,061	0.0003
9.	460	670	0,567	30.	670	0,032	0.0001
10.	470	680	0,676	31	680	0,017	0
11.	480	0,139	0,793	32.	690	0,008	
12.	490	0,208	0,904	33.	700	0,004	
13.	500	0,323	0,982	34.	710	0,002	
14.	510	0,503	0,997	35.	720	0,001	
15.	520	0,710	0,935	36.	730	0,0005	
16.	530	0,862	0,811	37.	740	0	
17.	540	0,954	0,650	38.	750		
18.	550	0,995	0,481	39.	760		
19.	560	0,995	0,329				
20.	570	0,952	0,208				
21.	580	0,870	0,121				

Використовуючи вираз (2.2) одержимо:

$$\Phi = 683 \sum_{i=1}^n \Phi_e(\lambda_i) \nu(\lambda_i) = (5,2 \cdot 0,007 + 9,1 \cdot 0,175 + 10,5 \cdot 0,984 + \\ + 10,2 \cdot 0,889) = 13300 \text{ лм}$$

Завдання для самостійної роботи

Завдання 1. Визначити потоки випромінювання однофазних випромінювачів $n + 6 = \lambda i$, де n номер студента по списку групи, для шести значень.

Наприклад: номер 5. Перше значення $\lambda_1 = 420$ нм, а друге значення $\lambda_2 = 480$ нм, третє значення $\lambda_3 = 540$ нм і т.д.

В табл. 2.1 надані спектральні світлові ефективності випромінювання випромінювачів.

Завдання 2. Знайти світловий потік лампи, яка має лінійчатий спектр і такий розподіл світлового потоку:

довжина хвилі $\lambda, \text{нм}$ (по задачі 1); потік випромінювання $\Phi_e(\lambda_2)$, Вт - (перше значення відповідає порядку номеру по списку групи, і далі $n + 4$)

$\Phi_e(\lambda_1) =$ варіант 1

Наприклад: по списку № 1 $\Phi_e(\lambda_2) =$ варіант 5

$\Phi_e(\lambda_3) =$ варіант 9 і

т.д. із таблиці 2.1

Контрольні запитання

1. Дайте визначення потоку випромінювання світлового потоку.
2. Дайте визначення одиниці світлового потоку.
3. Яким чином здійснюється приведення потоку випромінювання до світлового потоку?
4. Запишіть вираз для світлового потоку однорідного випромінювання джерела, який має суцільний і лінійчатий спектри випромінювання.

3. РОЗРАХУНОК СИЛИ СВІТЛА.

Мета заняття: вивчення методики розрахунку сили світла.

Методичні вказівки

Силою світла I називають просторову щільність світлового потоку в заданому напрямку. Вона визначається відношенням елементарного світлового потоку $d\Phi$ до елементарного тілесного кута $d\omega$, у межах якого знаходиться та рівномірно розподілений цей світловий потік:

$$I = d\Phi / d\omega$$

Для рівномірно розподіленого світлового потоку в межах тілесного кута α справедливий такий вираз:

$$I = \Phi / \omega \quad (3.1)$$

Для джерела з симетричним світлорозподіленням фотометричне тіло є також симетричним і сила світла I в будь-якому напрямку кута α до осі симетрії джерела однакова: для джерела з не симетричним світлорозподіленням I визначається двома кутами – α і φ .

Графік розподілення I аналогічний графіку розподілу сили випромінювання, а саме: для джерел симетричного світлорозподілення будується повздовжня крива (рис. 3.1), для не симетричного – сімейство повздовжніх кривих I для різних кутів φ (Рис. 3.2).

Зональні світлові потоки джерела світла розраховують так:

$$\Phi = 2\pi \int_{\varphi_1}^{\varphi_1=180} I_{cp}(\varphi_1) (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_{1-1}) \quad (3.2)$$

$$\Delta\Phi_i = 2\pi I_{cp,i}(\varphi_{cp,i}) (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_{1-1}) \quad (3.3)$$

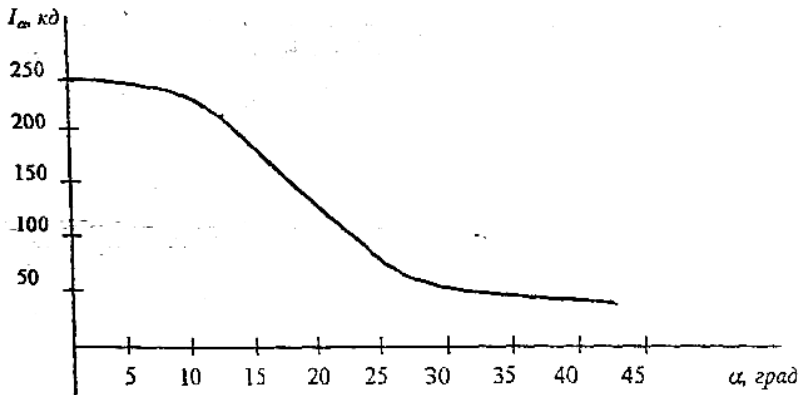


Рисунок 3.1 - Повздовжня крива сили світла (випромінювання) у прямокутній системі координат.

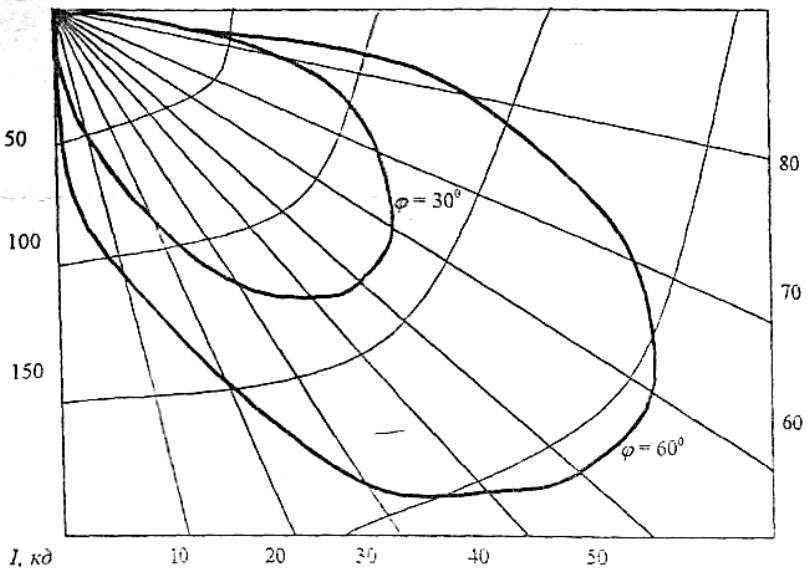


Рисунок 3.2 - Сімейство повздовжніх кривих сили світла несиметричного джерела випромінювання.

У виразах (3.2) і (3.3) використано залежність між кутом α і відповідним йому тілесним кутом. У результаті для кута φ_i маємо:

$$\omega_i = 2\pi(1 - \cos \varphi_i)$$

За одиницю сили світла умовно прийнято величину світлового еталону - кандели. За визначенням, це сила світла, яка випромінюється у напрямку перпендикулярному поверхні чорного тіла площею $0,5305 \text{ м}^2$ при температурі затвердіння платини, при нормальному атмосферному тиску та температурі 2045 К .

Зв'язок люмена з канделою виражається таким чином: один люмен дорівнює світловому потоку, який випромінюється точковим джерелом світла з силою світла в одну канделу в середні тілесного кута, що дорівнює одному стерadianу.

Розглянемо приклад розрахунку.

Приклад 1. Яке значення сили світла рівномірно світимої точки, що випромінює світловий потік $\Phi = 125,6 \text{ лм}$ з однаковою щільністю у всіх напрямках простору?

Розв'язок:

$$I = \Phi / 4\pi = 10 \text{ кд}$$

Приклад 2. Чому дорівнює значення світлового потоку, який випромінюється джерелом у середині зонального тілесного кута $\Delta\omega_{20-30}$, якщо значення сили світла у цьому напрямку $I_{\alpha=25} = 100 \text{ кд}$?

Розв'язок:

Відповідно /3.1/, /3.2/

$$\Phi_{\Delta\omega_{20-30}} = I_{\alpha=25} \cdot \Delta i_{20-30} = 2\pi \cdot I_{\alpha=25} \cdot (\cos 20^\circ - \cos 30^\circ) \approx 46,3 \text{ лм.}$$

Завдання для самостійної роботи

Завдання 1. Визначити силу світла джерела, яке рівномірно світиться з потоком Φ однакової щільності у всіх напрямках (значення потоку взяти з табл. 3.1) варіант завдання відповідає номеру студента в списку групи.

Таблиця 3.1. Потік випромінювання

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	
Φ , лм	10	16	17	28	32	40	45	
Варіант	8	9	10	11	12	13	14	15
Φ , лм	56	60	63	69	72	74	85	87

Продовження таблиці 3.1

Варіант	16	17	18	19	20	21	22
Φ , лм	90	93	95	97	102	116	125

Продовження таблиці 3.1

Варіант	23	24	25	26	27	28	29	30
Φ , лм	153	183	190	200	213	215	227	314

Завдання 2. Визначити величину світлового потоку, який випромінюється джерелом у середині зонального тілесного кута $\Delta\omega_{A-B}$, сила світла джерела I .

Початкові дані – в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Зональний кут та сила світла джерела

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8
A	5	10	15	20	25	30	35	40
B	10	15	20	25	30	35	40	45
I , кд	10	20	30	31	32	33	34	35

Варіант	9	10	11	12	13	14	15	
A	45	50	55	60	65	70	75	
B	50	55	60	65	70	75	80	
I, кд	36	37	38	39	40	41	42	
Варіант	16	17	18	19	20	21	22	23
A	80	85	90	10	20	30	40	50
B	85	90	80	20	30	40	50	60
I, кд	43	44	45	46	47	48	49	50
Варіант	24	25	26	27	28	29	30	
A	60	70	80	90	80	70	60	
B	70	80	90	80	70	60	50	
I, кд	51	52	53	54	55	56	57	

Контрольні запитання

1. Дайте визначення сили світла і розкажіть про її графічне зображення для джерел, які мають симетричне і несиметричне фотометричне тіло.
2. Яка одиниця виміру сили світла?
3. Як можна визначити одиницю потоку за допомогою одиниці сили світла.

4. РОЗРАХУНОК ОСВІТЛЕНОСТІ

Мета заняття: вивчення методу розрахунку освітленості.

Методичні вказівки

Освітленість – це щільність світлового потоку на поверхні, яка освітлюється.

Освітленість – це відношення світлового потоку Φ , до площі поверхні A на яку він падає.

Для рівномірного розподілення світлового потоку по освітлювальній (опромінювальній) їх поверхні кінцевого розміру площею A :

$$E = \Phi / A_0$$

Для нерівномірного розподілення світлового потоку:

$$E = d\Phi / dA_0$$

де dA_0 – елементарна ділянка освітлювальної поверхні, m^2 ;

$d\Phi$ – елементарний світловий потік (рівномірно розподілений на dA поверхні), лм.

Одиниця освітленості – люкс (лк). Один люкс – освітленість, яка здійснюється рівномірно розподіленим світловим потоком на освітлювальній поверхні

$$1 \text{ лм}^2 \cdot 1 \text{ м}^{-2} = 1 \text{ лм} \cdot \text{м}^{-2}$$

При необхідності освітленість можна виразити через інші світлові величини, наприклад, силу світла, яскравість тощо. У цьому випадку можна представити освітленість функцією відстані від джерела до об'єкта.

Припустимо, що світловий потік Φ рівномірно розподілений усередині тілесного кута створює освітленість E_1 і E_2 на площах A_1 і A_2 , розташованих у площинах, які перпендикулярні осі кута ω . Тоді

$$E_1 = \Phi / A_1 \qquad E_2 = \Phi / A_2$$

Із геометрії відомо, що площі паралельних поверхонь, які виражені тілесним кутом, прямо пропорційні квадратам відстаней від вершин цього кута до кожної з цих поверхонь, тобто:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{l_2^1}{l_1^2}$$

Як наслідок, при постійному потоці Φ

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{l_2^2}{l_1^2}$$

тобто освітленість змінюється обернено пропорційно квадрату відстані від джерела до площі яка освітлюється.

Якщо площадка має нахил до осі тілесного кута, на кут α , то

$$E'_2 = E_2 \cos \alpha$$

де $E = \Phi/A$ – освітленість, яка утворюється на площі A , перпендикулярної осі.

Світловий потік визначається силою світла джерела у даному напрямку:

$$\Phi = I \omega$$

Причому $\omega = A_2 / l_2^2$

Тоді

$$E'_2 = (I_\omega / A_2) \cos \alpha = (I / l_2^2) \cos \alpha \quad (4.1)$$

Аналіз виразу (4.1) свідчить:

- освітленість пропорційна силі джерела в даному напрямку і обернено пропорційна квадрату відстані від джерела до елемента, який освітлює, поверхні об'єкта (закон квадратів відстаней);
- освітленість пропорційна косинусу кута падіння потоку випромінювання на поверхню, яка освітлюється (закон Ламберта);
- вираз (4.1) справедливий для точкового випромінювача.

Якщо джерело випромінювання має кінцеві розміри, то його розбивають на частини, які по своїм розмірам можна рахувати точковими. При цьому визначають силу випромінювача світла і

освітленості, яка здійснюється кожною ділянкою. Загальну освітленість приймають як суму освітленостей, які утворюються. Розглянемо приклади розрахунку.

Приклад 1. Визначити освітленість E , яка утворюється лампою розжарення із силою світла $I = 400$ кд, на горизонтальній поверхні стола в його центрі і на відстанях $R_1 = 1$ м і $R_2 = 2$ м від нього, якщо джерело розміщено на висоті $h = 2$ м від поверхні столу.

Розв'язок.

Вважаємо лампу точковим джерелом, так як її розміри значно менші h . Використовуючи вираз (4.1), одержимо:

у центрі столу:

$\alpha = 0$; $\cos \alpha = 1$; $l = h = 2$ м; $E = 400$ лк; $(2)^{-2} \cdot I = 100$ лк на відстані $R_1 = 1$ м від центра столу:

$$l = \sqrt{R^2 + h^2} = \sqrt{1^2 + 2^2} = \sqrt{5}$$

$$\cos \alpha_1 = h/l_1 = 2/\sqrt{5}$$

$$E_1 = (I/l_1^2) \cos \alpha_1 = \frac{400}{(\sqrt{5})^2} \cdot \frac{2}{\sqrt{5}} \approx 72 \text{ лк}$$

на відстані $R_2 = 2$ м від центра столу:

$$l_2 = \sqrt{R_2^2 + h^2} = \sqrt{2^2 + 2^2} = 2\sqrt{2} \text{ м}$$

$$\cos \alpha_2 = h/l_2 = 2/2\sqrt{2} = 0{,}707$$

$$E_2 = (I/l_2^2) \cos \alpha_2 = \frac{400}{(2\sqrt{2})^2} = 35{,}35 \text{ лк}$$

Приклад 2. Точкове джерело випромінювання розташоване на висоті h від освітлювальної горизонтальної поверхні та забезпечує на

ній рівномірну освітленість. Визначити вираз, який описує необхідну повздовжню криву сили світла цього джерела.

Розрахувати криву сили світла для $E_A = 100$ лк; $h = 1$ м; $\alpha = 0, 10, 20, 30, 40, \dots 80$.

Розв'язок:

Вважаємо, що точка A знаходиться на відстані l від джерела світла.

$$\text{Тоді } \cos \alpha = h / l$$

Внаслідок, освітленість у точці A :

$$E_A = [I(\alpha) / (h^2 / \cos^2 \alpha)] \cos \alpha ,$$

Звідки

$$I(\alpha) = E_A \cdot h^2 / \cos^3(\alpha)$$

Підставивши значення α , h і E , одержимо значення $I(\alpha)$, приведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Кут падіння сили світла та сила світла

α , град	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$I(\alpha)$, кд	100	106	120	152	219	382	800	2544	20354

Завдання до самостійної роботи.

Завдання 1. Визначити освітленість на поверхні спини поросят, якщо точкове джерело розташоване на відстані l і має силу світла I . Визначити освітленість на відстані R_1 і R_2 м від центра спини тварини. Дані для розрахунку приведені в табл. 4.2. (Варіант відповідає номеру студента в списку групи).

Таблиця 4.2. Сила світла та відстані

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I, \text{кд}$	30	40	50	60	70	80	90	100	120	130
$l_1, \text{м}$	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
$R_1, \text{м}$	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
$R_2, \text{м}$	0,9	0,95	0,8	0,85	0,7	0,75	0,6	0,65	0,5	0,55
Варіант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$I, \text{кд}$	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230
$l_1, \text{м}$	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,35	0,45
$R_1, \text{м}$	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,1
$R_2, \text{м}$	0,1	0,2	0,9	1,1	0,4	0,35	0,3	0,4	0,5	0,55
Варіант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$I, \text{кд}$	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330
$l_1, \text{м}$	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,15	1,25	1,35	1,45
$R_1, \text{м}$	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,4	0,3
$R_2, \text{м}$	0,65	0,75	0,85	0,95	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Завдання 2. Розрахувати повздовжню криву сили світла точкового джерела в інтервалах, $\alpha = 0,5; 10; 15 \dots 85$, якщо рівень освітленості E , а висота установки джерела h . Дані для розрахунку приведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3. Рівень освітленості та висоти джерела

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$E, \text{лк}$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
$h, \text{м}$	0,1	0,15	0,2	0,3	0,25	0,35	0,5	0,6	0,7	0,8
Варіант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$E, \text{лк}$	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
$h, \text{м}$	0,3	0,9	0,55	0,65	0,7	0,95	1,0	1,05	1,1	1,2
Варіант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$E, \text{лк}$	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155
$h, \text{м}$	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2

Контрольні запитання

1. Дайте визначення освітленості.
2. Як називається одиниця освітленості.
3. Як знаходиться освітленість через силу світла джерела і відстані до нього?
4. Розкажіть про "закон квадратів відстаней".
5. Розкажіть про закон Ламберта стосовно освітленості.

5. РОЗРАХУНОК СВІТІННЯ І ЯСКРАВОСТІ

Мета заняття: вивчення методики розрахунку світіння і яскравості джерел випромінювання.

Методичні вказівки

Щільність розподілення світлового потоку по поверхні випромінювача в системі світлових величин і одиниць називається світінням, тобто щільністю світлового потоку на поверхні або вторинного джерела.

Світіння M поверхні випромінювача кінцевих розмірів площею A_u на якій даний потік Φ рівномірно розподілений:

$$M = \Phi / A_u$$

Для нерівномірного розподілення на поверхні випромінювача світлового потоку

$$M = d\Phi / dA_u$$

де M – світіння елементарної ділянки поверхні випромінювача, $лм \cdot м^{-2}$;

dA_u – площа елементарної ділянки поверхні випромінювача, $м$;

$d\Phi$ – елементарний світловий потік, $лм$.

Світіння може бути виражене через спектральну щільність та щільність енергетичного світіння тіла, що випромінює $M_e \cdot \lambda(\lambda)$;

$$M = 683 \int M_e \lambda(\lambda) v(\lambda) d\lambda$$

Просторова щільність у системі світлових величин і одиниць характеризується яскравістю L , тобто силою світла $dI(\alpha)$ з площі проєкції dA елемента поверхні випромінюючого тіла dA на площу P , яка перпендикулярна напрямку випромінювання.

Визначення і вираз для яскравості аналогічні відповідним визначенню і виразом для енергетичної яскравості (променистості), тільки замість потоку випромінювання в них розглядається ефективний світловий потік Φ і сила світла I .

Одиниця яскравості – $кд \cdot м^{-2}$.

Зорове відчуття залежить від яскравості поверхні джерела світла, яка світиться. Значення яскравості деяких поверхонь:

- сонце в зеніті $10^9 кд \cdot м^{-2}$;
- поверхня вольфрамової нитки лампи розжарення –

$5,5 \cdot 10^6 \text{ кд} \cdot \text{м}^2$;

- люмінесцентна лампа – $7 \cdot 10^3 \text{ кд} \cdot \text{м}^2$.
Розглянемо приклади розрахунку.

Приклад 1. Визначити світимість рівномірно яскравого круга площею $A = 10 \text{ см}^2$, який випромінює в перпендикулярному колі напрямку силу світла, $I_{(\alpha=0)} = 10 \text{ кд}$.

Розв'язок.

Використовуючи вираз

$$L_{ea} = I_{ea} / (A_{\text{ц}} \cdot \cos \alpha)$$

знайдемо яскравість круга:

$$L = I / A = 100 / 10 = 10 \text{ кд} \cdot \text{см}^{-2} = 10^5 \text{ кд} \cdot \text{м}^{-2}$$

Для рівномірно яскравих джерел світимість:

$$M = \pi L = 3,14 \cdot 10^5 = 3,15 \cdot 10^5 \text{ лм} \cdot \text{м}^{-2}$$

Приклад 2. Визначити яскравість різнояскравого циліндра, якщо його розміри $D = 15 \text{ мм}$, $l = 50 \text{ мм}$.

Циліндр утворює в точці A горизонтальної площини $E = 5 \cdot 10 \text{ лк}$, причому висота установки випромінювача $h = 3 \text{ м}$, а відстань від проекції центра циліндра до точки, що освітлюється b дорівнює 4 м (рис. 5.1).

Розв'язок.

Освітленість в точці A , яка утворюється боковою поверхнею циліндра:

$$E_A = \frac{I}{h^2 + b^2} \cos \alpha$$

Виразимо силу світла у напрямку a через яскравість бокової поверхні циліндра:

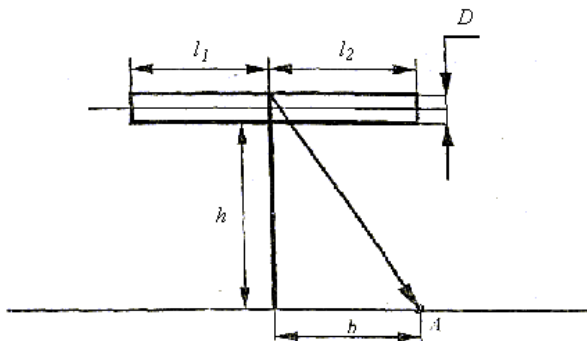


Рисунок 5.1 - Розрахунок освітленості в точці A від лінійчатого випромінювача.

$$I = L_A = L_D \cdot l \cdot \cos \alpha = L \cdot 0,015 \cdot 0,05 \cdot 3 / \sqrt{9+16} = L \cdot 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ кд}$$

де $A = D \cdot l \cdot \cos \alpha$ – площа проекції циліндра на площу перпендикулярну α

$$\cos \alpha = h / \sqrt{h^2 + b^2} = 3 / \sqrt{9+16} = 0,6$$

Тоді $E = L \cdot 4,5 \cdot 10^{-4} \cos \alpha : (h^2 + b^2)$;

Звідси

$$L = \frac{E_A (h^2 + b^2)}{4,5 \cdot 10^{-4} \cos \alpha} = \frac{5 \cdot 10^5 (9 + 16)}{4,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,6} = 46,3 \cdot 10^8 \text{ кд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1}$$

Завдання до самостійної роботи

Завдання 1. Визначити світимість рівно яскравого квадрата площею A , який випромінює у перпендикулярному напрямку силу світла I_a . Дані для розрахунку приведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Площа квадрата та сила світла

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$A, \text{см}^2$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$Ia, \text{кд}$	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
Варіант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$A, \text{см}^2$	11	12	13	12	13	11	10	0,9	0,8	0,7
$Ia, \text{кд}$	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
Варіант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$A, \text{см}^2$	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$Ia, \text{кд}$	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290

Завдання 2. Визначити яскравість рівно яскравого квадрата з розмірами a ; b . Квадрат утворює в точці A освітленість E . Висота установки , відстань від центра проєкції до точки $A - B$. Дані приведені в табл.5.2.

Таблиця 5.2. Розміри квадрата та освітленість

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$a, \text{м}$	3	2	1	1	2	3	4	1	4	3	2
$b, \text{м}$	2	3	5	6	7	8	9	10	11	10	9
$E, \text{лк}$	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$h, \text{м}$	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5
$B, \text{м}$	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7

Продовження табл. 5.2.

Варіант	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
$a, м$	1	4	2	3	1	2	3	2	1	3
$b, м$	8	7	6	5	4	3	2	1	4	3
$E, лк$	130	140	150	160	30	40	50	60	70	80
$h, м$	8	0,5	1,0	0,5	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0
$B, м$	2	8	7	6	2	5	7	2	5	7

Продовження табл. 5.2.

Варіант	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$a, м$	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$b, м$	2	1	4	3	2	1	4	3	2
$E, лк$	90	100	90	80	70	60	50	40	30
$h, м$	1	2	1	2	1	2	1	2	1
$B, м$	2	5	7	2	5	3	2	1	0,5

Контрольні запитання

1. Які величини в системі світлових величин і одиниць характеризують густину розподілення світлового потоку на поверхні випромінювача?
2. Які величини дають просторову характеристику розподілення густини світлового потоку?
3. Які одиниці світіння і яскравості?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пилипчук Р. В. Промышленное освещение: методико-справочное пособие / Р. В. Пилипчук, В. В. Щиренко, Р. Ю. Яремчук. – Тернополь, 2006. – 432 с.
2. Кунденко М.П. Електротехнології та електроосвітлення. Частина І. Електричне освітлення та опромінення: навчальний посібник для студентів вищ. навч. закл. /М.П. Кунденко, Л.С. Червінський, І.М. Ковальчук, В.І. Жила, О.О. Румянцев. – Х.: ХНТУСГ, Сім, 2015. – 264 с.
3. Електричне освітлення та опромінення: навчальний посібник для студентів вищ. навч. закл. /Р.В. Кушлик, В.Ф. Яковлев, Ю.М. Куценко, М.Л. Лисиченко, М.П. Кунденко, Ю.М. Федюшко. – Х.: ТОВ: «Планета-принт», 2016. – 332 с.
4. Суворова К. І. Джерела світла : навч. посібник / К. І. Суворова, Л. Д. Гуракова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 110 с.
5. Живописцев Е. Н. Электротехнология и электрическое освещение / Е. Н. Живописцев, О. А. Косицын. – М.: Агропромиздат, 1990. – 303 с.
6. Олійник В. С. Довідник сільського електрика / В. С. Олійник, В. М. Гайдук, В. Ф. Гончар [та ін.] // За ред. В. С. Олійника. – 3-е вид., перероб. і доп. – К.: Урожай, 1989. – 264 с.
7. Жилинский Ю.М., Кумин В.Д. Электрическое освещение и облучение. – М.: Колос, 1982.-272с.
8. Справочная книга по светотехнике. Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1983.-472с.
9. Мешков В.В. Основы светотехники.- М.: Энергия, 1979.- 368с.
10. Лямцов А.К., Тищенко Г.А. Электроосветительные и облучательные устройства. – М.: Колос, – 1983. -224с.

Навчальне видання

**ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЯ
ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ
ЧАСТИНА І (ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ)**

Методичні вказівки

до виконання практичних робіт
для здобувачів денної та заочної форм навчання
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
зі спеціальності:

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Укладач:

ЖИЛА Віктор Іванович

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк..

Наклад ___ пр.

Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44

