

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ

Частина 2 - Електроосвітлення

Методичні вказівки щодо виконання практичних робіт

СУМИ – 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ

Частина 2 - Електроосвітлення

Методичні вказівки щодо виконання практичних робіт

для здобувачів 4 та 2 с.т. курсу

освітньої програми

«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

денної та заочної форм здобуття освіти

ступеню вищої освіти «Бакалавр»

СУМИ – 2025

УДК 621.311
С 42, Р 99, Т 115

Укладачі:

Савойський О. Ю., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем;

Рясна О.В., ст. викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем;

Тесленко О.В., - асистент кафедри енергетики та електротехнічних систем;

Н22 Електротехнології та електроосвітлення Частина 2-

Електроосвітлення: методичні вказівки щодо виконання практичних робіт / укл.: О. Ю. Савойський, О.В. Рясна, О.В. Тесленко - Суми, 2025.
– 28 с.

Методичні вказівки спрямовані на надання методичної допомоги здобувачам під час виконання практичних робіт. Містять загальні методичні рекомендації, практичні завдання, алгоритми для проведення розрахунків для забезпечення ефективного та безпечного функціонування в умовах реальних виробничих і побутових середовищ та питання для самоконтролю знань.

Методичні вказівки щодо виконання практичних робіт призначені для здобувачів ступеню вищої освіти «Бакалавр» освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Рецензенти:

Козін В.М., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ;

Лобода В. Б., к.ф.-м.н., професор кафедри охорони праці та фізики СНАУ.

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В., к.т.н., доцент, завідувач кафедрою енергетики та електротехнічних систем СНАУ.

Рекомендовано до видання Радою із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти інженерно-технологічного факультету СНАУ.
Протокол №4 від «28» січня 2025 року

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	5
1. Практична робота №1 Розрахунок енергетичного світіння (випромінюваності) і освітленості (опромінюваності).....	7
2. Практична робота №2 Розрахунок потоку випромінювання ламп.....	10
3. Практична робота №3 Розрахунок сили світла.....	15
4. Практична робота №4 Розрахунок освітленості.....	18
5. Практична робота №5 Розрахунок світіння і яскравості...	23
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	26

ВСТУП

З кожним роком сфера використання, застосування та розвиток електроустановок значно розширюється, що зумовлено активним впровадженням електротехнологій у різні галузі промисловості. Електротехнології поступово витісняють традиційні технологічні процеси, оскільки забезпечують високу ефективність, автоматизацію виробництва та підвищення продуктивності.

Розвиток електротехнологічних процесів нерозривно пов'язаний із загальним прогресом енергетики країни, будівництвом нових підприємств, модернізацією та реконструкцією існуючих заводів і фабрик. Також важливими факторами є розвиток електростанцій і впровадження сучасних високовольтних ліній електропередач. Оскільки більшість електротехнологічних процесів мають високий рівень енергоспоживання, електротехнологічні установки є одними з найвагоміших споживачів електричної енергії у промисловості.

Електротехнологія – це окрема галузь електротехніки, яка займається вивченням принципів безпосереднього використання електричної енергії, електричних та магнітних полів у різних технологічних процесах. Основна ідея полягає в тому, що електроенергія подається безпосередньо на об'єкт технологічної обробки, де відбувається її перетворення в інші види енергії – теплову, механічну, хімічну або фізичну. Саме завдяки цьому стає можливим здійснення різноманітних виробничих процесів, спрямованих на досягнення необхідних технологічних результатів.

Оскільки електротехнологічні процеси є досить енергоємними, підвищення ефективності використання електроенергії в них відіграє важливу роль у розвитку сучасної промисловості. Зниження енергоспоживання та оптимізація режимів роботи технологічного обладнання є важливими факторами економії ресурсів, підвищення продуктивності та зниження витрат виробничих ресурсів.

Методичне видання до виконання практичних завдань спрямоване на

розвиток здатності здобувачів здійснювати розрахунки та монтаж електричних систем, а також забезпечення їхнього ефективного та безпечного функціонування в умовах реальних виробничих і побутових середовищ.

У цих вказівках надано детальні інструкції щодо виконання робіт, необхідні теоретичні відомості для розуміння основних принципів та технологій у сфері електротехнологій, а також хід роботи для проведення розрахунків. Окрім того, методичні вказівки включають рекомендації щодо використання необхідного обладнання, інструментів та програмних засобів, що допоможуть здобувачам вищої освіти отримати коректні й точні результати при виконанні практичних завдань.

1. РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНОГО СВІТІННЯ (ВИПРОМІНЕНOSTІ) І ОСВІТЛЕНOSTІ (ОПРОМІНЕНOSTІ)

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 $1m^2$ випускає потік випромінювання, рівний $1Bm$.

Густина 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:

$$E_e = \rho_e M_e$$

де ρ_e – інтегральний коефіцієнт відбивання.

Розглянемо приклад розрахунку.

Приклад 1. Визначити опроміненість поверхні листа металу, який має коефіцієнт відбивання $\rho_e = 0,5$, якщо енергетичне світіння випромінювача

$$M_e = 100 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$$

$$E_e = M_e \rho_e = 100 \cdot 0,5 = 50 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$$

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.

Сила випромінювання

$$I_e = \Phi_e / \omega$$

де ω – тілесний кут, ср.

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

де A_o – площа опори максимального тілесного кута ,

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

Підставляючи значення ω , одержуємо значення сили випромінювання:

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

З урахуванням /1.3/ визначаємо опромінення:

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

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

Приклад 3. Визначити енергетичне світіння випромінюючої поверхні $A_4 = 1 \text{ м}^2$, якщо вона випромінює рівномірно по всій світловій поверхні потік випромінювання 10 Вт .

По виразу /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	11	12	13	14
ρ_e	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
M_e , Вт/м ²	8	13	26	35	7	12	25	31	6	11	24	33	5	10

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	15
A_u , м ²	13	15	18	24	46	15	18	24	36	42	17	29	30	31	34
Φ_e , Вт	3	8	12	24	16	17	40	43	45	48	51	54	39	100	41

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

Таблиця 1.3. Плотта поверхні та потік опромінення

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A_o , м ²	26	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	24	25	28	30
Φ_e , Вт	75	50	43	42	41	36	34	33	32	31	30	29	28	23	24

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 і енергетичного випромінювання.

2. РОЗРАХУНОК ПОТОКУ ВИПРОМІНЕННЯ ЛАМП

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

Методичні вказівки

Світловий потік – це ефективний потік в системі світлових величин і одиниць.

Світловим потоком називають потужність (кількість енергії за одиницю часу) світлового випромінення в діапазоні від 380 до 780 нм.

Для вимірювання потоку випромінення 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 випромінення за кінцевий інтервал часу t :

$$\Phi_e = W_e / t$$

де Φ_e – енергія випромінення 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 випромінення 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 і $\lambda_{\text{макс}}$.

Які викликають в чітко визначених отометричних умовах однакове зірве 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 випромінення $Y(\lambda)$ до потоку випромінення $\Phi_e(\lambda)$) 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 випромінення і світловими одиницями ваттом і люменом слідує: 1 Вт однорідного потоку випромінення з $\lambda = 555 \text{ нм}$ рівний 683 лм світлового потоку. Отже $S(\lambda)_{\text{макс}} = 683 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$.

Фізично це означає, що 1 Вт однорідного потоку випромінення 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:

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

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:

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

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

$$\Phi = 683 \int_{\lambda=380}^{\lambda=780} \Phi_e(\lambda) v(\lambda) d\lambda \quad (2.3)$$

Інтегрування виразу (2.3) можна здійснити по формулі:

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

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;

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

Значення $v(\lambda)_i$ 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 рівний 683 лм.

Розв'язок.

По табл. 2.1. знаходимо значення

$v(\lambda_1) = 0,0004$; $v(\lambda_2) = 1,0$; $v(\lambda_3) = 0,041$.

По виразу – (2.1) визначаємо:

$$\Phi_e(\lambda_i) \frac{\tilde{O}(\lambda_i)}{683\nu(\lambda_i)} = \frac{683}{683 \cdot 0,0004} = 2500 \text{ Вт};$$

$$\Phi_e(\lambda_1) = 1 \text{ Вт}$$

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

Приклад 2. Знайти світловий потік ртутної лампи високого тиску, яка має лінійчатий спектр і слідує розподілення 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 $\nu(\lambda)$	0,007	0,0175	0,984	0,889

Таблиця 2.1. Довжина хвилі та значення відносної спектральної світлової ефективності

Варіант	нм	Денний зір	Нічний зір	Варіант	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	0,060	0,567	30	670	0,032	0,0001
10.	470	0,091	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	40	770		
20.	570	0,952	0,208	i 41	780		
21.	580	0,870	0,121				

Використовуючи вираз (2.2) одержимо:

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

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 $\lambda_1 = 420 \text{ нм}$, а друге значення $\lambda_2 = 48 \text{ нм}$, третє значення $\lambda_3 = 540 \text{ нм}$ і т.д.

В табл. 2.1. дані спектральні світлові ефективності випромінювання випромінювачів.

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

Довжина хвилі λ , нм (по задачі 1); потік випромінювання $\Phi_e(\lambda_2)$, Вт (перше значення відповідає порядковому номеру по списку групи, слідує $n + 4$)

$$\hat{O}_a(\lambda_1) = 1$$

Наприклад: по списку № 1 $\hat{O}_a(\lambda_2) = 5$ і т.д.

$$\hat{O}_a(\lambda_3) = 9$$

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 густину світлового потоку у заданому напрямку. Вона визначається відношенням елементарного світлового потоку $d\Phi$ до елементарного тілесного кута $d\omega$, у межах якого знаходиться і рівномірно розподілений цей світловий потік:

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

Для рівномірно розподіленого світлового потоку у межах тілесного кута α справедливий слідуючий вираз:

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

Для джерела симетричного світлорозподілення фотометричне тіло є також симетричним і сила світла I в будь-якому напрямку кута α до вісі симетрії джерела однакова: для джерела несиметричного світлорозподілення I визначається двома кутами – α і φ .

Графік розподілення I аналогічний графіку розподілу сили випромінювання, а саме: для джерел симетричного світлорозподілення будується продольна крива (рис. 3.1), для несиметричного- сімейство повздовжніх кривих I для різних кутів φ (див. рис. 3.2).

Зональні світлові потоки джерела світла розраховують так:

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

$$\Delta \Phi_i = 2\pi I(\varphi_{cpi}) (\cos \varphi_i - \cos \varphi_{i-1}) \quad (3.3)$$

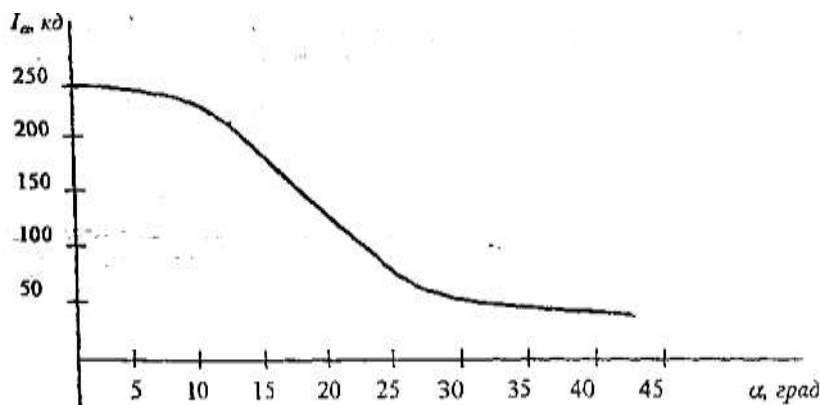


Рис.3.1. Повздовжня крива сили світла (випромінювання) у прямокутній системі координат.

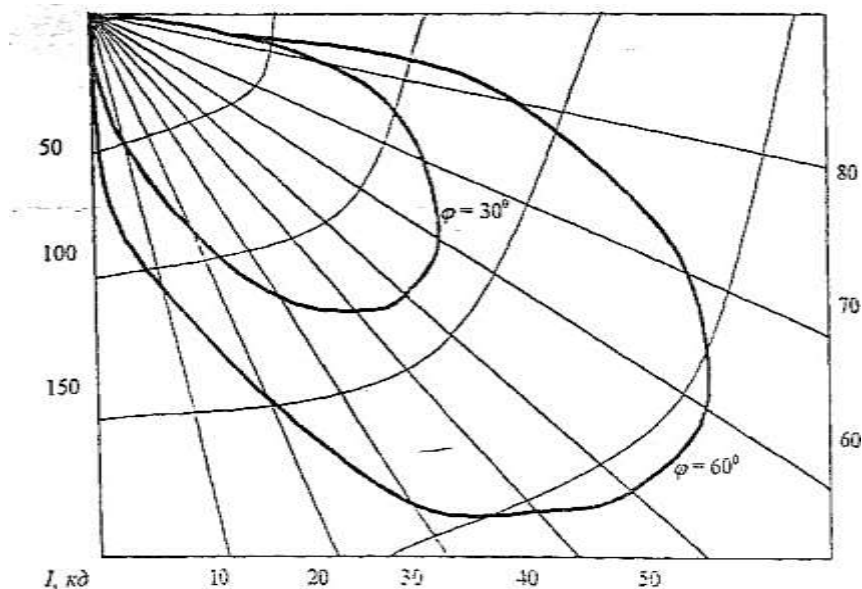


Рис. 3.2. Сімейство повздовжніх кривих сили світла несиметричного джерела випромінювання.

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, яка за допомогою світлового еталону, кандели. Це визначається сила світла, яка випромінюється у перпендикулярному напрямку поверхні чорного тіла площею $0,5305 \text{ м}^2$ при температурі затвердіння платини, при нормальному атмосферному тиску і температурі 2045 К .

Зв'язок люмена з канделою виражається слідуючим чином: один люмін рівний світловому потоку, який випромінюється точковим джерелом світла з силою світла в одну канделу у середні тілесного кута, який дорівнює один стерadian, тобто:

Розглянемо приклад розрахунку.

Приклад 1. Яке значення сили світла рівномірно світлящої точки, яка випромінює світловий потік $\Phi = 125,6 \text{ лм}$ з однаковою густиною 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/

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

Завдання для самостійної роботи

Завдання 1. Визначити силу світла, джерела яке рівномірно світиться з потоком Φ однакової густини 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	8	9	10	11	12	13	14	15
$\Phi, \text{лм}$	10	16	17	28	32	40	45	56	60	63	69	72	74	85	$\frac{8}{7}$

Продовження таблиці 3.1.

Варіант	16	17	18	19	20	21	22
$\Phi, \text{лм}$	90	93	95	97	102	116	125

Продовження таблиці 3.1.

Варіант	23	24	25	26	27	28	29	30
$\Phi, \text{лм}$	153	183	190	200	213	215	227	314

4. РОЗРАХУНОК ОСВІТЛЕНOSTІ

Мета заняття: вивчення методу розрахунку освітленості

Методичні вказівки

Освітленість – це густина 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 освітлюючій (опромінювальній) її поверхні кінцевого розміру площею A :

$$E = \Phi/A_0$$

Для нерівномірного розподілення світлового потоку:

$$E = d\Phi/dA_0$$

де dA – елементарна ділянка освітлюючої 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 $1lm^2 \cdot 1m^{-2} = 1lm \cdot m^{-2}$

При необхідності освітленість можна виразити через інші світлові величини, наприклад, силу світла, яскравість і т.д. 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 .

$$\text{Тоді } E_1 = \Phi/A_1 \quad E_2 = \Phi/A_2$$

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

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

Внаслідок, 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 $\omega = A_2/l^2$

$$\text{Тоді } E'_2 = (I\omega/A_2) \cos \alpha = (I/l^2) \cos \alpha \quad (4.1)$$

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 $I = 400 \text{ кд}$, на горизонтальній поверхні стола в його центрі і на відстанях $R_1 = 1 \text{ м}$ і $R_2 = 2 \text{ м}$ від нього, якщо джерело розміщено на висоті $h = 2 \text{ м}$ від поверхні столу.

Розв'язок.

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

$$\alpha = 0; \cos \alpha = 1; l = h = 2 \text{ м}; E = 400; (2)^2 \cdot I = 100 \text{ лк}$$

на відстані $R_1 = 1 \text{ м}$ від центра стола:

$$l = \sqrt{R_1^2 + h^2} = \sqrt{1 + 2^2} = \sqrt{5}$$

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

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

на відстані $R_2 = 2 \text{ м}$ від центра стола:

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

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

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

Приклад 2. Точкове джерело випромінення розташоване на висоті h від освітлювальної горизонтальної поверхні і забезпечує на ній рівномірну освітленість. Визначити вираз, який описує необхідну продольну криву сили світла цього джерела.

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

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 $R_2 \text{ м}$ від центра спини тварини. Дані для розрахунку приведені в табл. 4.2. (варіант відповідає номеру студента у списку групи).

Таблиця 4.2. Сила світла та відстані

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I , кд	30	40	50	60	70	80	90	100	120	130
l_1 , м	2	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
R_1 , м	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
R_2 , м	0,9	0,95	0,8	0,85	0,7	0,75	0,6	0,65	0,5	0,05

Варіа нт	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$I, \kappa\partial$	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230
$I_1, \mathcal{M}$	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,35	0,45
$R_1, \mathcal{M}$	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,1
$R_2, \mathcal{M}$	0,1	0,2	0,9	1,1	0,4	0,35	0,3	0,4	0,5	0,55

Продовження табл. 4.2.

Варіант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$I, \text{кд}$	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330
$I_1, \text{м}$	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

Завдання 2. Розрахувати продольну криву сили світла точкового джерела в інтервалах, $\alpha = 0,5; 10; 15; 85$, 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	0,7

Продовження табл. 4.3.

Варіант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$E, \text{лк}$	69	65	70	75	80	85	90	95	100	105
$h, \text{м}$	0,3	0,9	0,55	0,65	0,70	0,95	1,00	1,05	1,1	1,2

Продовження табл. 4.3.

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

Густина розподілення світлового потоку по поверхні випромінювача у системі світлових величин і одиниць називається світінням, тобто густиною світлового потоку по 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 неравномірного розподілення по поверхні випромінювача світлового потоку

$$M = d\Phi / dA_u$$

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

dA_u – площа елементарної ділянки поверхні випромінювача, м ;

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

Світіння може бути виражене через спектральну густина і густина енергетичного світіння тіла, що випромінює $M_e \lambda(\lambda)$;

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

Просторова густина у системі світлових величин і одиниць характеризується яскравістю L , тобто силою світла $dI(\alpha)$ з площі проекції dA елемента поверхні

випромінюючого тіла dA на площу P , яка перпендикулярна напрямку випромінювання.

Визначення і вираз для яскравості аналогічні відповідним визначення і виразом для енергетичної яскравості (променистості), тільки замість потоку випромінювання в них розглядається ефективний світловий потік Φ і сила світла I . Одиниця яскравості – $\text{кд} \cdot \text{м}^{-2}$.

Зорове відчуття залежить від яскравості поверхні джерела світла, яка світиться. Значення яскравості деяких поверхонь: сонце в zenіті $10^9 \text{кд} \cdot \text{м}^{-2}$; 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 рівнояскравого круга площею $A = 10 \text{см}^2$, який випромінює в рпендикулярному колі напрямку силу світла, 10кд

Розв'язок.

Використовуючи вираз $L_{ea} = I_{ea} / (A_u \cdot \cos \alpha)$

знайдемо яскравість круга:

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

Для рівнояскравих джерел:

Тоді світимість

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

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 освітлюючої точки b дорівнює 4 м (рис. 5.1).

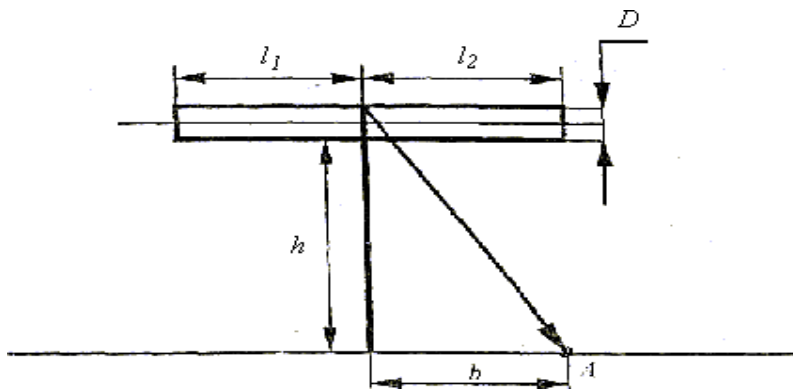


Рис. 5.1. Розрахунок освітленості в точці A від лінійчатого випромінювача.

Розв'язок.

Освітленість в точці A , яка утворюється боковою поверхнею циліндра.

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

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

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

Завдання до самостійної роботи Завдання 1. Визначити світимість рівнояскравого 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	10

$I_a, \text{кД}$	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Продовження табл. 5.1.

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
$I_a, \text{кД}$	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190

Продовження табл. 5.1.

Варіант	21	22	23	23	24	25	26	27	28	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
$I_a, \text{кД}$	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290

Завдання 2. Визначити яскравість рівнояскравого квадрата з розмірами a ; b . Квадрат утворює в точці A освітленість E .

Висота установки, відстань від центра проекції до точки $A - B$.

Дані приведені в табл.5.2г.

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	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	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
$a, \text{м}$	1	4	2	3	1	2	3	2	1	3
$b, \text{м}$	8	7	6	5	4	3	2	1	4	3
$E, \text{лк}$	130	140	150	160	30	40	50	60	70	80
$h, \text{м}$	8	0,5	1	0,5	1	2	1	2	1	2
$B, \text{м}$	2	8	7	6	2	5	7	2	5	7

Продовження табл. 5.2.

Варіант	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$a, \text{м}$	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$b, \text{м}$	2	1	4	3	2	1	4	3	2

$E, \text{лк}$	90	100	90	80	70	60	50	40	30
$h, \text{м}$	1	2	1	2	1	2	1	2	1
$B, \text{м}$	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 РЕКОМЕДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. В.Ф. Яковлєв, Р.В. Кушлик, С.О. Квітка, Ю.М. Куценко. Проектування систем електрифікації технологічних процесів на підприємствах АПК. Системи електричного освітлення: Навчальний посібник / За заг. ред. проф. Яковлєва В.Ф. – Мелітополь, 2010. – 106 с.
2. ДБН В.2.5-28-2006.
3. Довідник сільського електрика. За ред. Олійника В.С. - Київ: Урожай, 1983
4. Підручник сільського електрика. Л. Г. Прищеп – К: Вища школа. Головне в-тво. 1986. – 463 с.
5. Кащенко П.С. Електричне освітлення і опромінення. Навчально – методичний посібник. НМЦ, 2003/ - 134 с.
6. О. С. Садовий. Електричне освітлення та електротехнології. Методичні рекомендації до виконання курсової роботи. Миколаївський національний аграрний університет, 2015. 71 с.

Савойський Олександр Юрійович
Рясна Ольга Василівна
Тесленко Олена Володимирівна

ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ

Частина 2 - Електроосвітлення

Методичні вказівки щодо виконання практичних робіт

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул. Г. Кондратьєва, 160

Підписано до друку: січень 2025 р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman

Тираж: ____ примірників Замовлення _____ Ум. друк. арк. 1,2
