

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

Кафедра електричної інженерії



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

З КУРСУ

«СВІТЛОВІ ПРИЛАДИ»

для здобувачів вищої освіти
за ОПП Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка
першого рівня вищої освіти

ID 906

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Світлові прилади» для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Уклад.: Костик Л.М. - Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2024. – 80 с.

Укладач: к.т.н., доц. Костик Л.М.

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

Методичні вказівки розглянуто і затверджено на засіданні кафедри електричної інженерії
Протокол № 7 від 15.01.2024 р.

Схвалено методичною радою ФПТ Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.
Протокол № 5 від 08.02.2024 р.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВИМІРЮВАННЯ СВІТЛОВОГО ПОТОКУ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА РІЗНИХ ТИПІВ

Мета роботи: вивчити будову фотометричної кулі, методику вимірювання світлового потоку джерел світла та обчислення їх світлової віддачі.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Світловий потік – це потужність світлової енергії, ефективна величина, що визначається за формулою:

$$\Phi = \frac{dQ}{dt},$$

де Q – енергія світлового потоку, Вт·с;
 t – час випромінювання, с.

Одиниця вимірювання світлового потоку – люмен (лм). 1 лм відповідає світловому потоку, який випромінюється в одиничному тілесному куті точковим ізотронним джерелом світла з силою світла 1 кандела (кд).

Монохроматичний світловий потік визначається за формулою:

$$\Phi(\lambda, d\lambda) = K_{\max} \Phi_e(\lambda, d\lambda) V_\lambda = 683 \Phi_e(\lambda, d\lambda) V_\lambda,$$

де $K_{\max} = 683$ лм/Вт – максимальна спектральна чутливість людського ока для денного зору при $\lambda = 555$ нм;

V_λ – відносна спектральна світлова ефективність випромінювання для денного зору людини.

Світловий потік складного випромінювання з лінійчатим спектром визначають за формулою:

$$\Phi = 683 \sum_{i=1}^n \Phi_e(\lambda_i, d\lambda) V_{\lambda_i}.$$

Світловий потік складного випромінювання з суцільним спектром:

$$\Phi = 683 \int_{380}^{780} \Phi_{e\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda,$$

де $\Phi_e(\lambda, d\lambda)$ – потік монохроматичного випромінювання, Вт;

n - число ліній у спектрі;

$\Phi_{e\lambda}(\lambda)$ – функція спектральної густини потоку випромінювання.

Для вимірювання світлового потоку джерел світла чи світлових приладів служить інтегральний фотометр. Найширше використовується інтегральний фотометр, який складається з фотометричної кулі (кулі Ульбріхта) та фотометричного пристрою (рис.1, 2). Фотометрична куля – це частина інтегрального фотометра у вигляді порожнистої кулі з внутрішньою поверхнею, яка покрита дифузною і, по можливості, неселективною, найчастіше білою фарбою (звичайно на основі сірчаноокислого барію). Діаметри

лабораторних фотометричних куль залежать від розмірів відбивачів світлових приладів і становлять від 0,4 до 5 м.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд фотометричної кулі

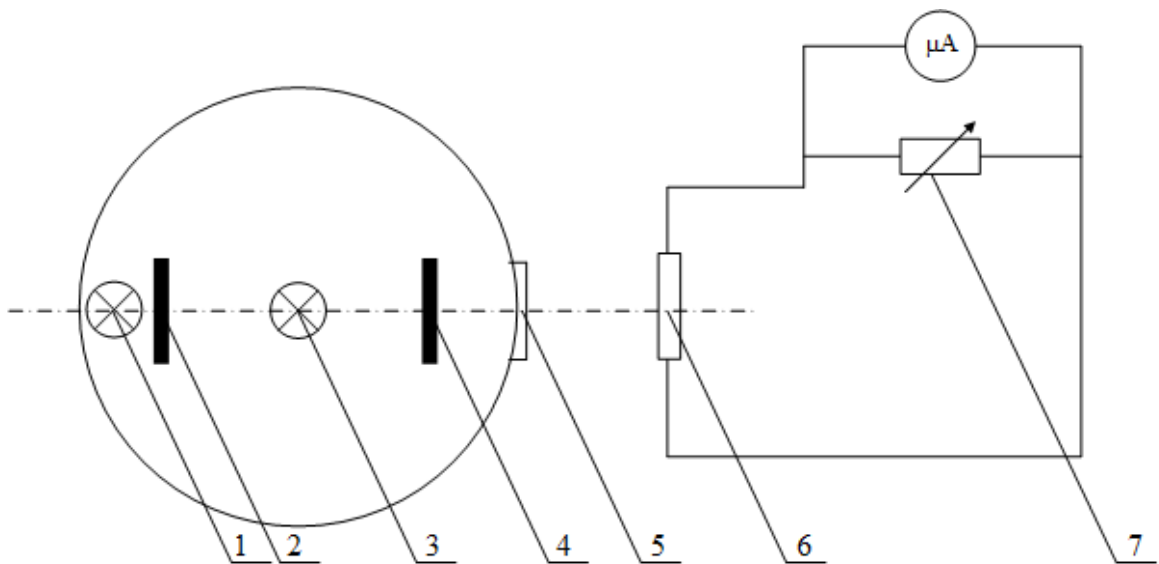


Рисунок 2 – Схема інтегрального фотометра: 1 – допоміжне джерело світла, 2, 4 – екрани, 3 – досліджуване джерело світла, 5 – отвір, захищений світлорозсіюючим склом, через який здійснюється фотометрування, 6 – фотоелемент, 7 – шунт для встановлення границі вимірювань.

У верхній частині кулі знаходяться отвори для фіксації тримачів джерел світла та екрану, а також штепсельні роз'єми для під'єднання ламп до мережі. Досліджуване джерело світла розміщується всередині кулі. Для вимірювання освітленості стінки кулі в ній передбачено отвір, перекритий світлорозсіюючим склом, через який здійснюється фотометрування невеликої внутрішньої ділянки сфери з допомогою візуального чи фізичного фотометра. Дана куля містить також екрани, розміщені всередині кулі, які захищають поле спостереження від попадання прямих променів джерела світла. Величина фотоструму вимірюється мікроамперметром. Шунтом встановлюється границя вимірювань.

Розмір кулі повинен відповідати розміру вимірювальної лампи і забезпечувати постійну температуру всередині кулі. Діаметр кулі повинен бути не менше шестикратного значення загальної довжини лампи (без цоколя), а для трубчастих – не менше 1,5-кратного значення довжини лампи.

Світлорозсіююче скло у фотометричному отворі встановлюється в площині, дотичній до поверхні кулі. Поверхня світлорозсіюючого скла, повернутого до внутрішньої стінки кулі, матова. Коефіцієнт пропускання скла має бути відомий. Скло є неселективним, розподіл пропущеного скла розсіяний. Скло не повинно флюорискувати.

Екрани за своїми розмірами і розташуванню відносно фотометричного отвору повинен забезпечити захист отвору від прямих променів лампи. Величина екрану має бути такою, щоб забезпечувати захист фотометричного отвору від прямих променів лампи і створювати найменше затемнення фотометричного отвору. Діаметр тіні від екрану не повинен перевищувати подвійного діаметру фотометричного отвору. Екран розміщують на відстані від світлового центру кулі, що складає 0,3-0,5 відстані між лампою і фотометричним отвором. При вимірюванні ламп різних габаритів розмір екранів розраховується за найбільшими розмірами лампи.

При необхідності проведення вимірювань підвищеної точності для усунення втрат світлового потоку через допоміжні пристосування, що знаходяться в кулі (пристосування для закріплення та живлення ламп, екрани, система їх кріплення), всередині кулі на протилежній стороні від фотометричного отвору встановлюється допоміжна лампа розжарення, перед якою встановлюють непрозорий екран, що захищає від попадання випромінювання від допоміжної на світловимірну чи еталонну лампу. Допоміжна лампа повинна мати стабільні електричні та світлові параметри.

Допоміжні пристосування, що знаходяться всередині кулі, повинні бути пофарбовані тією ж фарбою, що і вся поверхня кулі. Розташування цих пристосувань під час проведення вимірювань повинно бути незмінним.

Згідно з теорією фотометричної кулі, світловий потік, який розсіюється її внутрішньою стінкою, розподіляється по ній рівномірно. Нехай всередину кулі Ульбріхта, внутрішня стінка якої має у всіх точках однаковий коефіцієнт відбивання ρ , поміщене джерело світла, що випромінює світловий потік Φ . Освітленість, яка створена в кожній точці внутрішньої поверхні кулі, можна розділити на дві складові: пряму освітленість – освітленість, яку джерело створює в точці при безпосередньому падінні світла на поверхню кулі, та непряму освітленість – освітленість, що створена потоками багатократних

відбивань. Непряма освітленість в кожній точці стінки E є однакова і пропорційна до світлового потоку Φ джерела світла. Між величинами E та Φ витримується зв'язок

$$E = \frac{\Phi}{4\pi r^2} \frac{\rho}{1 - \rho}, \quad (1)$$

або

$$E = k\Phi, \quad (2)$$

де r і k – радіус і коефіцієнт кулі.

Рівняння (2) відносно легко виводиться. Якщо Φ – світловий потік, що випромінює джерело світла, то первинно відбитий від стінки кулі світловий потік буде $\rho\Phi$. Відбитий світловий потік знову попадає на стінку кулі, від якої вторинно відбивається частка потоку $\rho^2\Phi$. При третьому відбитті – $\rho^3\Phi$ і т.д. Отже, беручи до уваги повне відбивання, на внутрішню стінку кулі падає у сукупності світловий потік $\Phi + \rho\Phi + \rho^2\Phi + \dots = \Phi + \rho\Phi(1 + \rho + \rho^2 + \dots)$. Вираз, який взятий в дужки, є нескінченний ряд з сумою $\frac{\rho}{1 - \rho}$. Отже, після нескінченно багатьох відбивань, на стінку кулі попадає світловий потік $\Phi + \Phi \frac{\rho}{1 - \rho}$ і створює там освітленість

$$E = \frac{\Phi}{4\pi r^2} + \frac{\Phi}{4\pi r^2} \frac{\rho}{1 - \rho}. \quad (3)$$

Перша складова – пряма, а друга – непряма освітленості. Звідси випливає, що в точках стінки, на які попадають лише відбиті світлові потоки, завдяки, зокрема, екранам, створюється освітленість

$$E = \frac{\Phi}{4\pi r^2} \frac{\rho}{1 - \rho}. \quad (4)$$

Вона залежить лише від світлового потоку Φ , значення площі освітленої поверхні $4\pi r^2$ і коефіцієнта відбивання ρ . Проте освітленість не залежить від характеру розподілу сили світла лампи, а також від місця її закріплення в кулі.

Для вимірювань світлового потоку методом заміщення в одному і тому ж самому місці кулі закріплюють по чергово джерело світла (X -лампу) з невідомим світловим потоком Φ , і світловий еталон (N -лампу) з відомим світловим потоком Φ_n . Вони створюють в точці вимірювань освітленості

$$E_x = \frac{\Phi_x}{4\pi r^2} \frac{\rho}{(1 - \rho)}. \quad (5)$$

і

$$E_n = \frac{\Phi_n}{4\pi r^2} \frac{\rho}{1 - \rho}. \quad (6)$$

Звідси отримують вираз для шуканого світлового потоку

$$\Phi_x = \Phi_n \frac{E_x}{E_n}. \quad (7)$$

Освітленості E_x і E_n можна візуально чи фізично виміряти при розміщенні приладу за пластиною з молочного скла, яка вмонтована в отвір кулі. При цьому не обов'язково знати величини E_x і E_n в абсолютних одиницях, а лише у відношенні одна до другої. Отже, для фізичних вимірювань, що головним чином використовуються, цього достатньо, оскільки фотострум пропорційний до освітленості. Для вимірювань світлового потоку можна застосовувати, наприклад, такі схеми розміщення елементів.

Між джерелом світла, яке встановлене посередині кулі, і пластиною знаходиться екран для запобігання прямого освітлення фотометричної головки. Візуально вимірюють яскравість або силу світла пластини, які є пропорційні до освітленості на внутрішній стороні кулі. У більшості випадків освітленість вимірюють безпосередньо на відповідній поверхні приймача.

В іншому випадку крізь вхідний отвір вимірюють яскравість розміщеної навпроти поверхні стінки кулі. Екран повинен бути встановлений між лампою і молочним склом.

Часто застосовують так званий синхронний спосіб вимірювань світлового потоку. Згідно з ним лампа з невідомим світловим потоком і еталонна лампа знаходяться в кулі одночасно. Лампи випромінюють окремо. У цьому випадку потрібні три екрани, середній з яких перешкоджає безпосередньому попаданню світла від однієї лампи на іншу. Інакше різне співвідношення відбитого світла хибно позначається на результатах вимірювань світлового потоку обох ламп. Синхронний спосіб застосовується перш за все в тих випадках, коли досліджувана лампа чи світильник мають великі габарити.

Вимірюючи світловий потік в кулі Ульбріхта, слід звернути увагу на похибки, які впливають з наступних умов, що покладені в основу теорії фотометричної кулі:

1. Порожнистий простір має форму кулі.
2. В кулі не повинно знаходитись жодних сторонніх предметів, які впливають на поширення світла і поглинають його.
3. Внутрішня поверхня кулі відбиває світло повністю розсіяно і рівномірно в усіх точках.
4. Покриття внутрішньої стінки кулі є неселективне, тобто його відбиваюча здатність не залежить від довжини хвилі.

Нехай виконано перші три умови. Тоді непряма освітленість на внутрішній стінці кулі, яка згідно з (1) є пропорційна до світлового потоку джерела світла, скрізь однакова і не залежить від просторового розподілу сили світла та місця підвішування лампи в кулі. Однак вимоги, які ставляться до ідеальної кулі Ульбріхта, можна виконати лише умовно. Тому обчислення світлового потоку за величинами, які наявні в (1), є неточним. Проте похибки, які виникають під час вимірювань, зокрема методом заміщення та синхронним способом, і

калібруванні, мають приблизно однакові значення. Вони даються взнаки тим менше, чим більш схожі фактори впливу для двох вимірювань. Зокрема, коли габарити джерел світла, а також просторовий і спектральний розподіли ламп мало відрізняються одні від других.

Про фактори впливу можна сказати таке.

До умови 1. За дослідженнями багатьох вчених невиконання даної умови є цілком можливе, якщо використовувати для вимірювань світлового потоку пристрій, обмежений внутрішньою стінкою, порожнистий простір якого відрізняється від форми кулі. Це особливо стосується тих випадків, коли порівнюють одне з одним джерела світла з однаковим або подібним розподілом сили світла. Заради простоти створення пристрою, передусім великих габаритів, часто вибирають порожнистий простір у вигляді многогранника замість сферичного.

До умови 2. Умова, що світло у фотометричній кулі може поширюватись безперешкодно, не виконується перш за все усередині: тримачі джерела світла, власне джерело світла та екран можна віднести до сторонніх предметів, що перешкоджають поширенню світла. Вони впливають на результат вимірювання двояко: по-перше, частина світла поглинається, через що виникає похибка поглинання світла; по-друге, вони перешкоджають вільному поширенню світла, що викликає появу так званої похибки екранування сегментної ділянки стінки кулі. Вона проявляється при наявності екранів. Обидві похибки взаємозв'язані.

Похибку поглинання світла оцінити тим важче, чим більша зовнішня поверхня стороннього предмету по відношенню до внутрішньої поверхні кулі, чим менший коефіцієнт відбивання його поверхні і чим більший коефіцієнт відбивання стінки кулі. Вона особливо позначається на результатах вимірювань тоді, коли зовнішні поверхні обох порівнюваних джерел світла значно відрізняються. Це має місце, наприклад, у випадку вимірювання світлового потоку світильників.

Вплив екрану на поширення світла легко встановити з таких міркувань. Похибка екранування є тим більша, чим розтягнутіша поверхня затіненої частини поверхні кулі. Дана похибка залежить від розподілу сили світла джерела, а також від відбивальної здатності стінки кулі, а саме – зменшується зі збільшенням коефіцієнта відбивання. За німецькими рекомендаціями діаметр екрану повинен становити $\frac{d}{3}$ (d – діаметр кулі), відстань від нього до пластини

– $\frac{d}{6}$. Згідно з англійськими та американськими рекомендаціями, габарити екрану вибирають настільки великі, наскільки це потрібно залежно від розмірів світлового приладу, а відстань від екрану до центра кулі повинна становити приблизно $\frac{d}{6}$. Застосування світлопроникного екрана (коефіцієнт поглинання

~3 %) зменшує похибку екранування для визначеного розподілу сили світла.

Для зменшення похибки екранування джерело світла закріплюють в кулі так, щоб по можливості більша частина випромінюваного світлового потоку попадала на стінку кулі. Це забезпечується тоді, коли площина симетрії

фотометричної поверхні з більшою площею перерізу розташована перпендикулярно до з'єднувальної лінії отвір – центр кулі. Подовгасті джерела світла підвішують таким чином, щоб їх поздовжня вісь була паралельна до цієї з'єднувальної лінії чи співпадала з нею.

Похибка поглинання світла і похибка екранування є тим менші, чим більший діаметр кулі по відношенню до габаритів сторонніх предметів. З цієї причини доцільно використовувати кулю Ульбріхта з якомога більшим діаметром. За рекомендаціями найбільший габарит джерела світла повинен бути менший від половини діаметра кулі. За Хельвігом вплив сторонніх предметів, який викликаний наявністю в кулі джерела світла та його тримача, можна значно зменшити при вимірюваннях світлового потоку методом заміщення, застосовуючи допоміжну лампу. Якщо вплив сторонніх предметів під час вимірювань і калібрування носить однаковий характер, зокрема якщо вони поглинають світло в однаковому відсотковому відношенні, то витримуються співвідношення

$$\begin{aligned} E_x &= k\Phi_x, \\ E_n &= k\Phi_n. \end{aligned} \quad (8)$$

Це не стосується випадку, коли коефіцієнт k має різні значення. Отже, справджуються рівності

$$\begin{aligned} E_x &= k_x\Phi_x, \\ E_n &= k_n\Phi_n. \end{aligned} \quad (9)$$

звідки

$$\frac{E_x}{E_n} = \frac{k_x}{k_n} \frac{\Phi_x}{\Phi_n}. \quad (10)$$

Відношення $\frac{k_x}{k_n}$ знаходять за результатами двох вимірювань з тією самою допоміжною лампою. Остання екранована екраном від джерела світла та його тримача, а також від отвору кулі. При першому вимірюванні з допоміжною лампою в кулі знаходиться досліджувана лампа, а при другому – світловий еталон, в результаті чого отримують

$$\begin{aligned} E_{Hx} &= k_x\Phi_H, \\ E_{Hn} &= k_n\Phi_H. \end{aligned} \quad (11)$$

Тут E_{Hx} – освітленість із ввімкненою допоміжною лампою і вимкненою досліджуваною лампою, E_{Hn} – освітленість із ввімкненою допоміжною лампою і вимкненим світловим еталоном, Φ – випромінюваний допоміжною лампою світловий потік.

З (10) і (11) остаточно обчислюють

$$\Phi_x = \Phi_n \frac{E_x}{E_n} \frac{E_{Hn}}{E_{Hx}}. \quad (12)$$

До умови 3. Стінка кулі ніколи не відбиває світло рівномірно. Нерівномірність викликана перш за все необхідністю закріплення пластин з молочного скла в отворі, а також внаслідок забруднюваності внутрішньої стінки кулі з часом. Нерівномірність відбивання світла, яка виникає при нанесенні покриття, загалом піддається усуненню.

Якщо коефіцієнт відбивання неоднаковий у всіх точках стінки, то непряма освітленість до деякої міри залежить від розподілу сили світла джерела. Зрозуміло, що при цьому похибка зростає зі збільшенням зовнішньої поверхні сторонніх предметів. Внутрішнє покриття кулі повинне поновлюватись принаймні один раз на рік. Для фарбування існує безліч детальних рекомендацій.

До умови 4. При співпаданні спектрального розподілу сили світла досліджуваної лампи з розподілом світлового еталона селективність покриття стінки кулі не впливає на результат фотометрування. Якщо це не виконується, то появляється похибка внаслідок відмінності температури кольоровості порівнюваних ламп. Отже, необхідно вибирати таке покриття стінки кулі, селективність якого є якомога меншою. Через багатократність відбивання світлового потоку в кулі Ульбріхта визначальним для селективності є не спектральний коефіцієнт відбивання $\rho(\lambda)$, а $\frac{\rho(\lambda)}{1 - \rho(\lambda)}$. Останній тим більший, чим кращі відбиваючі властивості покриття.

Очевидно, що селективність встановленої в отвір пластини з молочного скла має подібний до покриття вплив на результат вимірювання світлового потоку.

Як вже згадувалось, при зростанні коефіцієнта відбивання похибка екранування зменшується, а похибка поглинання світла та похибка від впливу селективності зростають. Деякі автори рекомендують витримувати коефіцієнт відбивання $\rho \approx 0,8$.

ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Для проведення вимірювань світлового потоку джерел світла використовують метод заміщення, який базується на почерговому порівнянні освітленості фотометричного отвору світловимірної кулі з використанням досліджуваної та світловимірної ламп з відомим світловим потоком. Світловий потік досліджуваної лампи обчислюють за формулою:

$$\Phi_x = \Phi_n \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{m_1}{m_2}, \quad (13)$$

де Φ_x – світловий потік досліджуваної лампи;
 Φ_n – світловий потік еталонної лампи;
 n_1 – покази гальванометра при ввімкненій еталонній лампі;

n_2 – покази гальванометра при ввімкненій досліджуваній лампі;

m_1 – покази гальванометра при ввімкненій допоміжній лампі та наявності в кулі досліджуваної лампи;

m_2 – покази гальванометра при ввімкненій допоміжній лампі та наявності в кулі еталонної лампи.

При вимірюванні світлового потоку лампи розжарення у фотометричній кулі допоміжна лампа відсутня. Тоді світловий потік буде визначатися за формулою:

$$\Phi_x = \Phi_n \frac{n_2}{n_1}.$$

ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

На рис.3 показано схему живлення та вимірювальні прилади до фотометричної кулі.



Рисунок 3 - Вимірювальні прилади до фотометричної кулі

1. У фотометричну кулю встановіть еталонне джерело світла і запишіть покази n_1 та m_2 , які будуть однакові для всіх типів досліджуваних ламп.
2. У фотометричну кулю по черзі встановіть всі досліджувані лампи. Зверніть увагу, що розрядні лампи високого тиску підключаються через пускорегулювальний апарат (лампи ДРЛ, ДРИ, ДНаТ) та імпульсний запалюючий пристрій (лампи ДРИ, ДНаТ). Запишіть покази n_2 та m_1 для кожної досліджуваної лампи.
3. Обчисліть світловий потік джерел світла за формулою (13). Результати вимірювань і розрахунків запишіть у таблицю 1.

Таблиця 1

 $\Phi_n = 2250$ лм

Тип лампи	n_1	n_2	m_1	m_2	Φ_x
Б-220-100					
ДРЛ-80					
ДРИ-100					
ДНаТ-100					
КЛЛ-36					
СДЛ-11					

4. Обчисліть та порівняйте значення світловіддачі різних джерел світла. Дані обчислень занести в таблицю 2. Дайте пояснення отриманим значенням.

Таблиця 2

Тип лампи	Потужність лампи, Вт	Світловий потік лампи, лм	Світлова віддача лампи, лм/Вт
Б-220-100			
ДРЛ-80			
ДРИ-100			
ДНаТ-100			
КЛЛ-36			
СДЛ-11			

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Дати визначення світловому потоку. В яких одиницях він вимірюється?
2. Нарисувати схему інтегрального фотометра, дати пояснення всім її елементам.
3. Пояснити призначення допоміжної лампи.
4. Пояснити призначення захисних екранів та світлорозсіюючого скла.
5. Дати пояснення теорії фотометричної кулі.
6. Від чого залежить освітленість стінок фотометричної кулі?
7. У чому полягає суть методу заміщення?
8. Чим зумовлені похибки вимірювань у фотометричній кулі?
9. Як можна зменшити похибку вимірювань у фотометричній кулі?
10. Що таке світлова віддача джерела світла? Одиниці її вимірювання.
11. Дати пояснення отриманим у роботі значенням світлової віддачі різних джерел світла.

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ СВІТИЛЬНИКІВ У ФОТОМЕТРИЧНІЙ КУЛІ

Мета роботи: вивчити будову фотометричної кулі, методику вимірювання ККД світлових приладів у фотометричній кулі.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Світловий прилад (СП) називається пристрій, який містить джерело випромінювання і світлотехнічну арматуру, призначений для освітлення або світлової сигналізації. Світлотехнічна арматура перерозподіляє світло лампи в просторі або перетворює його властивості (змінює спектральний склад випромінювання чи поляризує його). Крім того, СП виконує функції захисту лампи від впливу навколишнього середовища, механічних пошкоджень, забезпечує кріплення лампи і підключення до джерела живлення.

За характером світлорозподілу СП поділяються на світильники, прожектори та проектори.

Проектор – це СП, який перерозподіляє світло лампи з концентрацією світлового потоку на поверхні малого розміру чи в малому об'ємі.

Прожектор – це СП, який перерозподіляє світло лампи всередині малих тілесних кутів і забезпечує кутову концентрацію світлового потоку з коефіцієнтом підсилення більше 30 для осесиметричних та більше 15 для симетричних приладів.

Світильник – це СП, який перерозподіляє світло лампи (ламп) всередині великих тілесних кутів (до 4π) і забезпечує кутову концентрацію світлового потоку з коефіцієнтом підсилення не більше 30 для осесиметричних та не більше 15 для симетричних приладів.

Коефіцієнт підсилення СП з круглосиметричними джерелами світла (ЛР, ДРЛ, ДРИ) – це відношення максимальної сили світла приладу до середньосферичної сили світла:

$$K_n = \frac{I_{max}}{I_{сф}},$$

$$I_{сф} = \frac{\Phi_l}{4\pi}.$$

Коефіцієнт підсилення СП з лінійними джерелами світла (ЛЛ, трубчасті РЛ високого тиску) – відношення максимальної сили світла приладу до максимальної сили світла лампи:

$$K_n = \frac{I_{max}}{I_{л max}}$$

$$I_{л max} = \frac{\Phi_l}{m_l},$$

де m_{λ} – коефіцієнт, що залежить від типу лампи: $m_{\lambda}=9,25$ – для люмінесцентних ламп, $m_{\lambda}=\pi^2$ – для лампи типу ДНаТ, $m_{\lambda}=11,0$ – для ламп типу ДРИ, $m_{\lambda}=12,3$ – для ламп типу ДКсТ)

Світильники призначені для освітлення відносно близько розміщених об'єктів, які знаходяться на відстанях, як правило, менших ніж 20-кратні максимальні розміри світильників, або світлової сигналізації на невеликих відстанях. У світильниках можуть встановлюватися дві чи значно більше ламп.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) світлового приладу – це відношення його корисного потоку до світлового потоку джерела світла цього світлового приладу:

$$\eta = \frac{\Phi_{\kappa}}{\Phi_{\lambda}}.$$

Корисний потік світлового приладу залежить від форми кривої світлорозподілу СП, характеристик об'єктів освітлення.

Для світлових приладів, весь світловий потік яких може бути корисно використаний, ККД характеризується відношенням всього потоку СП до потоку лампи. До таких СП відносяться світильники, для яких ККД визначається як

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{св}}}{\Phi_{\lambda}}.$$

Перерозподіл світлового потоку джерела світла в СП пов'язаний з втратами на поглинання у відбивачі, розсіювачі і конструктивних частинах світильника.

ККД світильників можна визначити за допомогою інтегрального фотометра з використанням методу заміщення. Будову інтегрального фотометра та теорію фотометричної кулі детально розглянуто в теоретичній частині до лабораторної роботи №1.

ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Для визначення ККД світильника використовують метод заміщення, який базується на почерговому порівнянні освітленості фотометричного отвору світловимірної кулі з різними варіантами ввімкнення досліджуваного світильника, лампи з досліджуваного світильника та допоміжної лампи.

ККД світильника визначають за формулою:

$$\eta = \frac{n_1 \cdot n_4}{n_2 \cdot n_3} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де n_1 – покази гальванометра при ввімкненому світильнику і вимкненій допоміжній лампі;

n_2 – покази гальванометра при ввімкненій допоміжній лампі та наявності в кулі світильника;

n_3 – покази гальванометра при ввімкненій лампі з світильника та вимкненій допоміжній лампі;

n_4 – покази гальванометра при ввімкненій допоміжній лампі та наявності в кулі лампи з світильника.

ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. У фотометричну кулю встановіть лампу із світильника НСП (рис.1) і запишіть покази n_3 та n_4 , які будуть однакові для досліджуваного світильника з різними типами розсіювачів чи без нього.
2. Замість лампи із досліджуваного світильника підключіть у кулі світильник почергово: 1) без розсіювача, 2) з гладким розсіювачем, 3) з призматичним розсіювачем. Запишіть покази n_1 та n_2 .



Рисунок 1 – Світильник НСП

1. У фотометричну кулю встановіть світлодіодний світильник Vito без розсіювача (рис.2) і запишіть покази n_3 та n_4 .



Рисунок 2 – Світлодіодний світильник Vito

2. Встановіть на світильник розсіювач і запишіть покази n_1 та n_2 .

3. Обчисліть ККД світильників за формулою (1). Дані вимірювань та обчислень запишіть у таблицю 1.

Таблиця 1

Тип світильника	n_1	n_2	n_3	n_4	η
Світильник НСП без розсіювача					
Світильник НСП з гладким розсіювачем					
Світильник НСП з призматичним розсіювачем					
Світлодіодний світильник Vito					

4. Поясніть отримані значення ККД світильників з різними типами розсіювачів.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Дати визначення світлового приладу. Як поділяються СП за світловим розподілом?
2. Що таке коефіцієнт підсилення СП? Як він залежить від форми джерела світла?
3. Дати визначення ККД світлового приладу та світильника. Від чого залежить його величина?
4. Нарисувати схему інтегрального фотометра, дати пояснення всім її елементам.
5. Пояснити призначення допоміжної лампи.
6. Пояснити призначення захисних екранів та світлорозсіюючого скла.
7. Дати пояснення теорії фотометричної кулі.
8. Від чого залежить освітленість стінок фотометричної кулі?
9. У чому полягає суть методу заміщення?
10. Чим зумовлені похибки вимірювань у фотометричній кулі?
11. Дати пояснення отриманим у роботі значенням ККД світильників з різними типами джерел світла.

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАХИСНИХ КУТІВ СВІТИЛЬНИКІВ З РІЗНИМИ ТИПАМИ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

Мета роботи: вивчити методику визначення захисних кутів світильників з різними типами джерел світла.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Однією з найважливіших характеристик освітлення є засліплююча дія світлових приладів (СП). Оцінку засліплюючої дії СП проводять по дискомфорту, що характеризує неприємні зорові відчуття, незручності і напруженості при нерівномірному розподілі яскравості у полі зору.

Властивість світильника змінювати рівень видимості в результаті надмірної освітленості, створюваної на зіниці спостерігача, чи надмірної яскравості в порівнянні з яскравістю адаптації, називають **блиском**. Зниження чутливості зорового аналізатора в результаті дії блиску світлового приладу називається засліпленістю.

Якісним критерієм осліплюючої дії світлових приладів та установок прийнято показники засліпленості P та дискомфорту M .

Показник засліпленості – критерій оцінки сліпучої дії світлового приладу, що визначається виразом

$$P = (S - 1) \cdot 1000,$$

де S – коефіцієнт засліпленості, що дорівнює відношенню порогових різниць яскравості за наявності і відсутності сліпучих джерел в полі зору:

$$S = \frac{\Delta L_{nopS}}{\Delta L_{nop}},$$

де ΔL_{nopS} – порогова різниця яскравостей при наявності осліплюючої дії, кд/м²;
 ΔL_{nop} – порогова різниця яскравостей при відсутності осліплюючої дії, кд/м².

Показник дискомфорту для одного джерела світла

$$M = -\frac{L_c \omega^{0,5}}{p L_{ad}^{0,5}},$$

де L_c – яскравість джерела світла, кд/м²;
 ω – тілесний кут, в межах якого знаходиться джерело світла, ср;
 L_{ad} – яскравість адаптації, кд/м²;
 p – індекс позиції дискомфортової плями відносно лінії зору спостерігача за Лекішем-Гатом:

$$p = \exp \left[\left(35,2 - 0,31889\alpha - 1,22e^{\frac{2\alpha}{9}} \right) \cdot 10^{-3} \Theta + \left(21 + 0,26667\alpha - 0,002963\alpha^2 \right) \cdot 10^{-5} \Theta^2 \right],$$

де α – кут між вертикаллю та площиною, що проходить через лінію зору спостерігача та джерело світла, град.;

Θ – кут між лінією зору спостерігача і напрямком на джерело світла, град.

Для сукупності джерел світла показник дискомфорту

$$M_{\Sigma} = \left[\sum_{i=1}^n M_i^2 \right]^{0,5},$$

де n – число плям в полі зору спостерігача.

У Стандарті МКО оцінка засліплюючої дії освітлювальних установок здійснюється по величині узагальненого показника дискомфорту UGR (Unified Glare Rating):

$$UGR = 8 \lg \left(\frac{0,25}{L_{ad}} \sum \frac{L^2 \omega}{p} \right),$$

де L_{ad} – яскравість адаптації, кд/м²;

L – середня яскравість світної поверхні світильника у напрямку до точки спостереження, кд/м²;

ω – тілесний кут, в межах якого знаходиться джерело світла, ср;

p – індекс позиції дискомфортової плями відносно лінії зору спостерігача за Лекішем-Гатом:

Для захисту від засліплюючої дії світильника існує два способи.

Перший спосіб – зменшення яскравості до величини, яка не викликає почуття дискомфорту:

$$L_g \approx \frac{388}{\sqrt[4]{\omega}} \sqrt[3]{L_{ad}}$$

де L_g – максимально допустима яскравість світлового приладу, кд/м²;

L_{ad} – середня яскравість поля адаптації, кд/м²;

ω – тілесний кут, у який вписується світна частина СП, ср.

Недоліком цього способу є зниження сили світла і деформація кривої сили світла.

Другий спосіб – екранування яскравих частин джерел світла у межах певних кутових зон простору. Таке екранування здійснюється світлонепроникними або світлорозсіюючими елементами СП.

Кут, що характеризує зону, в границях якої око спостерігача захищене від прямої дії лампи, називається захисним кутом СП. Він визначається як кут між горизонталлю і лінією, дотичною до світного тіла лампи і краю відбивача (рис.1) або непрозорого екрану (рис.2).

Для обмеження блиску від джерела світла у Стандарті МКО дана таблиця мінімальних захисних кутів в залежності від яскравості. Так, наприклад, для джерела світла з яскравістю не більше 20 кд/м² захисний кут повинен складати 10°, при 500 кд/м² і більше – 30°.

ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Захисний кут γ для круглосиметричних СП (рис.1) визначається за формулою:

$$\gamma = \arctg \frac{h}{R+r}, \quad (1)$$

де h – віддаль від світного тіла лампи до площини вихідного отвору відбивача СП;

R – радіус вихідного отвору відбивача СП;

r – радіус світного тіла:

$r=r_n$ – радіус умовного кільця тіла розжарення,

$r=r_k$ – радіус нижньої частини колби лампи ДРЛ,

$r=r_r$ – радіус пальника в лампах ДРИ або ДНаТ.

У світильниках з двома площинами симетрії (з лінійними лампами, наприклад, з люмінесцентними) захисні кути γ – у профільній та γ' – у поздовжній площинах різні. Для створення достатніх захисних кутів застосовують екрануючі решітки або планки (рис.2, б).

Захисний кут γ_p , створюваний екрануючою решіткою, визначається за формулою:

$$\gamma_p = \arctg \frac{h_p}{a}, \quad (2)$$

де h_p – висота планок екрануючої решітки;

a – сторона елемента решітки у площині, в якій визначається захисний кут.

Створення значного кута γ' неможливо через досить великі розміри люмінесцентних ламп. Кут γ рекомендується брати рівним 15° і більше. При використанні в одному світильнику кількох люмінесцентних ламп $\gamma = \gamma_{cp}$. Збільшення кута γ приводить до значного зменшення ККД світильника.

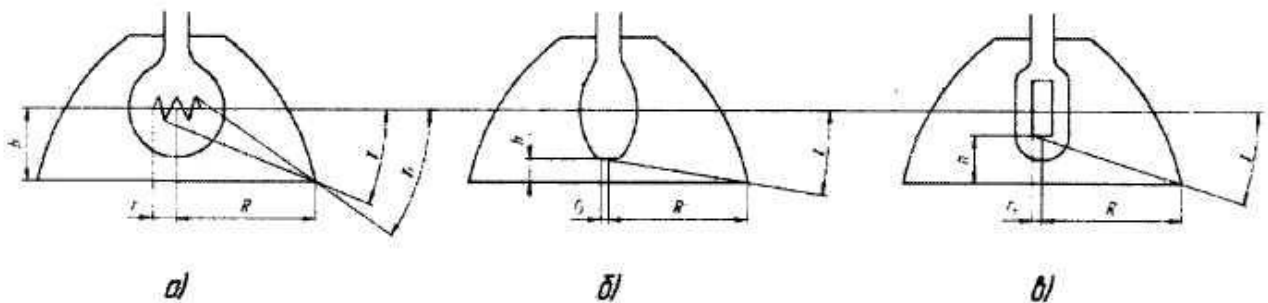


Рисунок 1 – Визначення захисного кута світильників з круглосиметричним світловим розподілом: а) – СП з лампою розжарення, б) – СП з лампою ДРЛ. в) – СП з лампою ДРИ або ДНаТ.

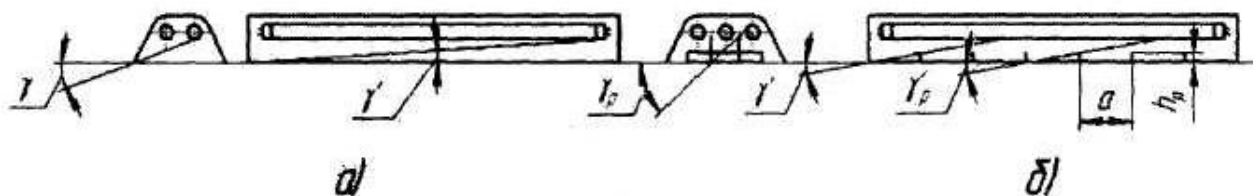


Рисунок 2 – Визначення захисних кутів світильника з люмінесцентними лампами: а) – СП без екрануючих решіток, б) – СП з екрануючими решітками.

ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Визначити захисні кути осесиметричного світильника (рис.1) з різними джерелами світла. За формулою (1) розрахувати значення захисного кута світильника. Результати вимірів та обчислень записати в табл.1.



Рисунок 1 – Світильник НСП

Таблиця 1

Тип світильника	Лампа	h	R	r	γ
Світильник осесиметричний	Світлодіодна				
	Компактна люмінесцентна				
	Розжарення				
	ДРЛ				
	ДРНаТ				

2. Визначити захисні кути світильника з екрануючими решітками та лінійними люмінесцентними джерелами світла (рис.2). За формулою (2) розрахувати значення захисного кута світильника. Результати вимірів та обчислень записати в табл.2.



Рисунок 2 – Світильник ЛПО

Тип світильника	тип джерел світла	h_p	a	a'	γ_p	γ_p'
Світильник з екрануючими решітками	Лінійні люмінесцентні лампи					

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. За якими показниками проводять оцінку засліплюючої дії світлового приладу?
2. Дати визначення яскравості, блиску, засліпленості.
3. Визначення показника засліпленості.
4. Визначення показника дискомфорту.
5. Способи захисту від засліплюючої дії світлового приладу.
6. Дати визначення захисному куту. Від чого залежить його значення?
7. Як визначити захисний кут для світлових приладів з різними типами джерел світла з круглосиметричним світловим розподілом?
8. Як визначити захисний кут для світильників з лінійними джерелами світла без екрануючих решіток?
9. Як визначити захисний кут для світильників з лінійними джерелами світла з екрануючими решітками?

ВИМІРЮВАННЯ ЯСКРАВОСТІ СВІТЛОВОГО ПРИЛАДУ

Мета роботи: Ознайомитися з методами вимірювання яскравості. Освоїти методику вимірювання габаритної та максимальної яскравості.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Відношення сили світла елемента випромінюючої поверхні у вибраному напрямку до площі проекції цього елемента на площину, перпендикулярну даному напрямку, називається *яскравістю поверхні в заданому напрямку*:

$$L_{\alpha} = \frac{dI_{\alpha}}{dA \cos \alpha}, \quad (1)$$

де L_{α} – яскравість ділянки поверхні в напрямку α ;

dL_{α} – сила світла в напрямку α ;

dA – площа вибраної ділянки;

α – кут між вибраним напрямком і нормаллю до вибраної ділянки.

За одиницю яскравості прийнято яскравість такої плоскої поверхні, яка в перпендикулярному напрямі випромінює силу світла в одну канделу (1кд) з 1 м^2 випромінюючої поверхні. Одиниця яскравості – кандела на квадратний метр.

Для визначення яскравості поверхні досить великих розмірів непрямим методом розглянемо елемент випромінюючої поверхні dA_1 , який освітлює елемент поверхні dA_2 , що знаходиться на відстані r від нього. Нехай нормаль n_1 першої площадки створює кут φ_1 , а нормаль n_2 другої площадки – кут φ_2 з напрямком пучка випромінювання (рис.1).

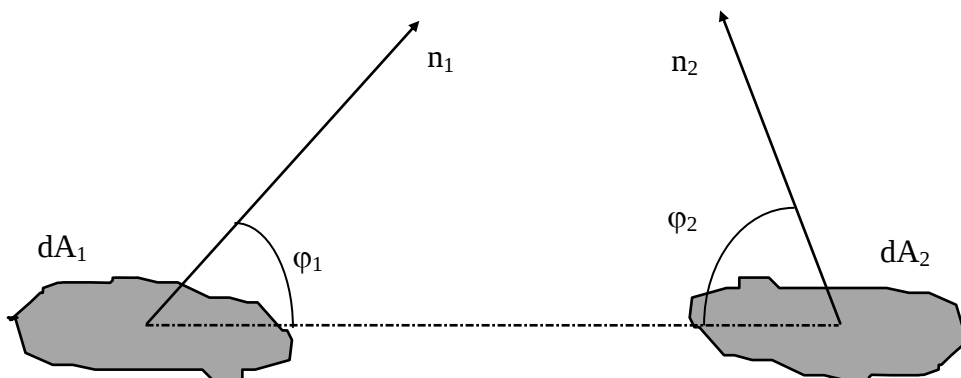


Рисунок 1 - Геометрія для визначення яскравості поверхні великих розмірів

Світловий потік, що падає з першої площадки на другу, можна представити у вигляді:

$$d\Phi_2 = L \frac{dA_1 \cos \varphi_1 dA_2 \cos \varphi_2}{r^2}. \quad (2)$$

Коефіцієнт пропорційності L – це яскравість випромінюючої площадки. З іншого боку світловий потік, що падає на площадку dA_2 , можна представити як добуток її освітленості dE_2 на величину площі dA_2 :

$$d\Phi_2 = dE_2 \cdot dA_2. \quad (3)$$

Виходячи з (2) і (3) можна знайти зв'язок між яскравістю випромінюючої поверхні dA_1 і освітленістю поверхні dA_2 :

$$L = \frac{dE_2 \cdot r^2}{dA_1 \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2}. \quad (4)$$

Якщо площадки dA_1 і dA_2 паралельні між собою і перпендикулярні до напрямку пучка випромінювання, тоді формула (4) прийме вигляд

$$L = \frac{dE_2 \cdot r^2}{dA_1}. \quad (5)$$

Схема вимірювальної установки, що використовує цю залежність зображена на рис.2.

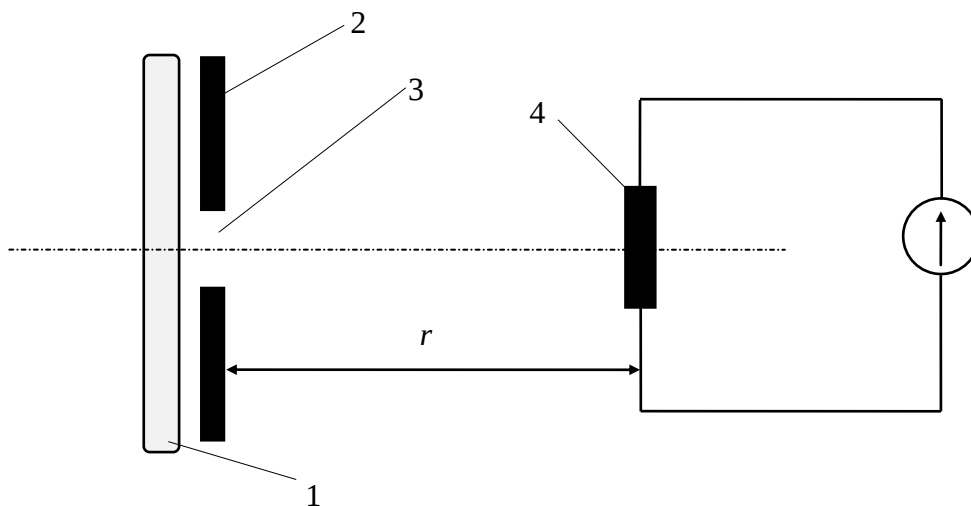


Рисунок 2 - Схема установки для вимірювання яскравості.

Впритул до випромінюючої поверхні 1 ставиться екран 2 з отвором 3. На деякій відстані r від екрану розміщується фотоелемент 4 люксметра. Знаючи освітленість фотоелемента, площу отвору екрана і відстань від екрана до фотоелемента, можна за формулою (5) визначити яскравість випромінюючої поверхні, до якої приставлено отвір екрана.

При спостереганні світильників, як правило, одночасно видно поверхні, що мають різну яскравість. Тому, перед усім, нормується значення середньої або так званої габаритної яскравості.

Габаритна яскравість $L_{габ}$ визначається відношенням сили світла світильника в даному напрямку до площі проекції випромінюючої поверхні світильника на площу, перпендикулярну цьому напрямку

$$L_{габ} = \frac{I_{\alpha}}{A_{\alpha}}, \quad (6)$$

де I_{α} – сила світла в напрямку вимірювання;

A_{α} – площа проекції випромінюючої поверхні на площину, перпендикулярну напрямку вимірювання.

ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Установка для вимірювання максимальної яскравості «яркомір» побудована по схемі, зображеній на рис.2. Принцип дії установки базується на вимірюванні освітленості, що створюється в площині фотоелемента, через діафрагму певної площі на заданій відстані від фотоелемента. Підібравши певним чином площу діафрагми і відстань до фотоелемента можна добитися того, щоб вимірювана яскравість була кратна величині освітлення площини фотоелемента. Так підставляючи в формулу (5) значення площі отвору, що дорівнює $6,25 \text{ см}^2$ і $r=25 \text{ см}$, одержимо:

$$L = dE_2 \cdot 10^2 \text{ кд/м}^2. \quad (7)$$

Габаритну яскравість світильника під різними кутами спостереження визначають з допомогою поворотної установки і люксметра. Поворотна установка дозволяє фіксувати напрямок спостереження у профільній площині світильника.

Вимірювання яскравості повинні вимірюватися в затемненому приміщенні, стіни, підлога і стеля якого чорні і мають коефіцієнт відбивання не більше 0,09. Крива спектральної чутливості приймача випромінювання повинна бути приведена до функції видимості.

При вимірюванні максимальної яскравості отвір яркоміра повинен прилягати до випромінюючої поверхні. Значення освітленості в площині фотоелемента знаходиться шляхом домножування показів мікроамперметра М-95 на градувальні коефіцієнти відповідної границі вимірювання.

Знімання кривої світлорозподілу світильника проводиться на поворотній установці. Значення сили світла I_{α} світильника в напрямку α визначається формулою:

$$I_{\alpha} = \frac{n_{\alpha} \cdot c \cdot l^2}{\tau}, \quad (8)$$

де n_{α} – відлік по шкалі мікроамперметра М-95, відградуйованого на освітленість разом з фотоелементом;

c – градувальний коефіцієнт;

l – відстань від світлового центру світильника до робочої поверхні фотоелемента;

τ – коефіцієнт пропускання нейтрального світлофільтра.

За даними вимірювання будується крива світлорозподілу світильника.

Габаритну яскравість L_{α} світильника під заданими кутами знаходять за формулою:

$$L_{\alpha} = \frac{I_{\alpha}}{A_{\alpha}}, \quad (9)$$

де I_{α} – сила світла світильника в заданому напрямку;

A_{α} – площа проекції випромінюючої поверхні на площину, перпендикулярну напрямку вимірювання габаритної яскравості.

ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. На фотометричній лаві встановити світильник ЛПО 2×18 з дифузним розсіювачем(рис.3).

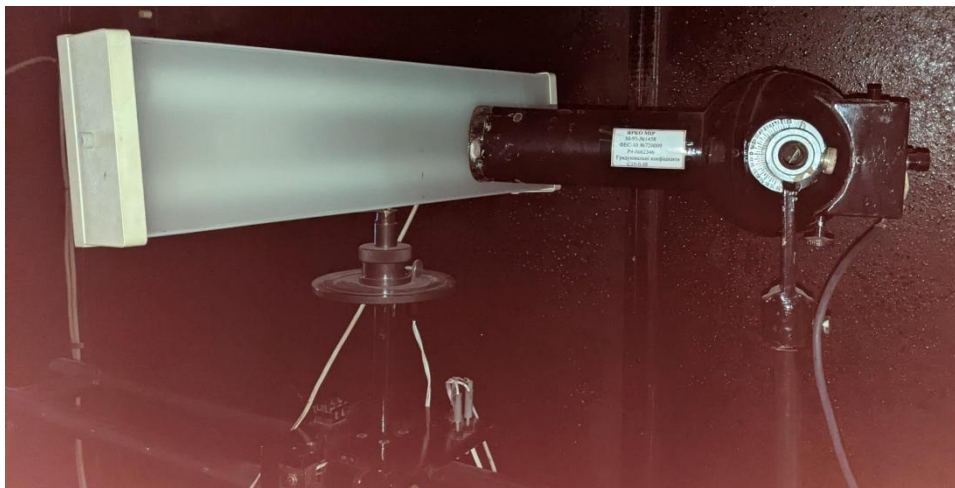


Рисунок 3

1. За допомогою яркоміра виміряти максимальну яскравість світильника. Результати вимірювань занести в табл.1.

Таблиця 1

n , под		C_1	
$r=25$ см		C_{10}	
$A=6,25$ см ²		C_{100}	
L_{max} , кД/м ²			

2. На поворотній установці зняти криву світлорозподілу світильника, розрахувати габаритну яскравість світильника. Результати вимірювань занести в табл.2 і побудувати графік $L=f(\alpha)$.

Таблиця 2

$c=$ _____; $l=$ _____; $\tau=$ _____;

α , град.	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
n , под										
I_α , кД										
A_α , м ²										
L_α , кД/м ²										

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Дати визначення, яскравості записати формули для її обчислення.
2. В яких одиницях вимірюється яскравість?
3. Що таке еквівалент яскравості?
4. Пояснити принцип дії яскравоміра.
5. Що таке габаритна яскравість і як вона вимірюється?

ВИМІРЮВАННЯ ОСВІТЛЕНOSTІ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ ВІД СВІТИЛЬНИКА МІСЦЕВОГО ОСВІТЛЕННЯ

Мета роботи: Вивчити методику вимірювання горизонтальної освітленості, навчитися будувати криві рівної освітленості (ізолюкси).

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Відношення світлового потоку, який падає на елемент поверхні, що містить дану точку, до площі цього елемента називається освітленістю в точці поверхні:

$$E = \frac{d\Phi}{dA}.$$

Якщо світловий потік розподілений рівномірно по всій поверхні, на яку падає, то існує спрощена форма запису попереднього виразу

$$E = \frac{\Phi}{A}.$$

За одиницю СІ освітленості прийнятий люкс (лк), значно рідше застосовується люмен поділений на квадратний метр (лм/м²). Люкс відповідає освітленості, яка створюється світловим потоком один люмен, що рівномірно розподілений по поверхні, площа якої дорівнює одному квадратному метру.

Освітленість під прямими сонячними променями опівдні для середніх широт становить приблизно 10⁵ лк, освітленість від повного місяця – 0,2 лк.

У даний час для оцінки світлового поля використовують такі його характеристики:

- 1) освітленість ділянки площини E_C ;
- 2) просторова освітленість – сума нормальних освітленостей у даній точці поля E_0 ;
- 3) середня сферична освітленість $E_{4\pi}$ – середня освітленість поверхні сфери зникаюче малого радіуса;
- 4) середня напівсферична освітленість $E_{2\pi}$ – середня освітленість сферичної поверхні півсфери зникаюче малого радіуса;
- 5) середня циліндрична освітленість E_ϕ – середня освітленість бокової поверхні циліндра із зникаюче малими розмірами його висоти та діаметра основи.

Обчислення освітленості поверхні можна здійснювати точковим методом, методом коефіцієнта використання, за рівнянням візуалізації, методом випромінюваності, методом трасування променів. Точковий метод як основний застосовується при розрахунку освітлення довільно орієнтованої поверхні від точкового світлового приладу. При цьому точковим джерелом світла для практичних розрахунків можна вважати таке, максимальний розмір світної площі якого відноситься до відстані до розрахункової точки як 5:1.

У загальному випадку розрахунок освітлення від світлового приладу із симетричним світловим розподілом точковим методом здійснюється згідно закону квадратів відстаней:

$$E_C = \frac{I(\beta)}{(AC)^2} \cdot \cos \zeta, \quad (1)$$

де $I(\beta)$ – сила світла в напрямку площини освітлення, кд;

β – кут між оптичною віссю світлового приладу і напрямком до освітлювальної площини;

AC – відстань від світлового приладу до площини освітлення.

ζ – кут між напрямком сили випромінювання в точці C і нормаллю до dS .

Геометрична схема для розрахунку освітленості поверхні dS в довільно вибраній точці світлового поля C від точкового джерела A подана рис.1.

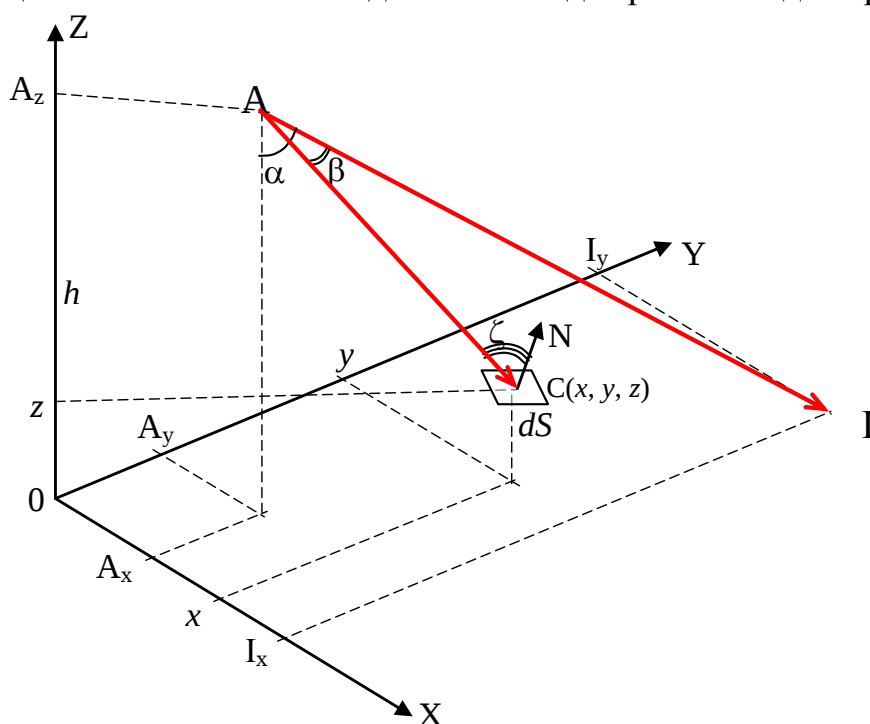


Рисунок 1 – Геометрична схема для розрахунку освітлення поверхні dS в довільно вибраній точці світлового поля C : AI – оптична вісь світлового приладу; α – кут між оптичною віссю світлового приладу і вертикаллю; β – кут між оптичною віссю світлового приладу і напрямком до вибраної точки поля; N – одиничний вектор нормалі до поверхні dS ; ζ – кут між напрямком до вибраної точки поля і нормаллю.

Використовуючи поняття скалярного добутку між двома векторами

$$\cos \zeta = \frac{(\overrightarrow{AC} \cdot (-\vec{N}))}{|\overrightarrow{AC}|},$$

рівняння (1) можна записати у вигляді:

$$E_c = \frac{I(\beta) \cdot (\overrightarrow{AC} \cdot (-\vec{N}))}{|\overrightarrow{AC}|^3}. \quad (2)$$

Для вимірювання освітленості поверхні використовують люксметри. Перші люксметри мали аналогову шкалу і стрілку за принципом гальванометра. Для вимірювання освітленості використовували люксметр Ю116 (рис.2).



Рисунок 2 – Люксметр Ю116.

Технічні дані приладу:

Діапазон вимірювань люксметра – від 0,1 до 100000 лк.

Клас точності – 10.

Шкали приладу нерівномірні, градуйовані в люксах. Одна шкала має 100 поділок, друга – 30 поділок.

Границі допустимої похибки в основному діапазоні вимірювань 5-30 і 20-100 лк (без насадок) не повинні перевищувати $\pm 10\%$ від значення вимірюваної освітленості.

На даний час є розроблено велику номенклатуру люксметрів, приймач випромінювання яких може бути розміщений у корпусі приладу чи бути винесений за допомогою проводу для вимірювання освітленості у важкодоступних місцях. Крім основної функції – вимірювання освітленості, сучасні люксметри вимірюють значення пульсації світлового потоку, можуть мати вбудовані світлофільтри для усунення хвиль заданого спектрального діапазону. На рис.3 показано люксметр LX-1330В, який використовується у даній лабораторній роботі.



Рисунок 3 – Люксметр LX-1330B

Технічні дані приладу:

Діапазон вимірювання: 0-200000 лк

Відтворення вимірювань: 2%

Час відгуку: 0,2 с

Робоча температура: від 0 до +40°C

Довжина шнура фотоелемента: 1 м

Похибка:

від 0 до 200 лк: $\pm 3 \%$

від 201 до 2 000 лк: $\pm 3 \%$

від 2 001 до 20 000 лк: $\pm 4\%$

від 20 001 до 200 000 лк: $\pm 4\%$

ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Уявлення про розподіл освітленості можуть дати тіла, поверхні яких є геометричним місцем точок однакових її значень. Вони є тілами рівних значень освітленості елементарних площадок, поміщених в різні точки простору і однаково орієнтованих у ньому (рис.4). Перетин тіл рівних значень освітленості екваторіальною площиною дає сліди у вигляді просторових кривих рівних освітленостей (ізолюкси) точок, які відповідають змінним значенням висоти підвісу світлового приладу над площиною перетину і відстані від проекції точкового джерела світла на площину та постійному кутові нахилу оптичної осі світлового приладу до площини освітлення (рис.5). Побудові таких кривих передують вимірювання або розрахунки однотипної (наприклад, горизонтальної) освітленості точок, які лежать в меридіональній площині. Круглосиметричні прилади характеризуються ізолюксами, побудованими в одній площині.

Ізолюкси можна будувати як в прямокутній, так і в полярній системі координат. При побудові ізолюкс світильника їх зручно представляти у полярних координатах, де на радіус-векторах відкладаються однакові значення освітленості, зняті у різних точках відносно проекції точкового джерела світла на площину при різній висоті підвісу світлового приладу над площиною перетину і відстані від проекції точкового джерела світла на площину та

постійному кутіві нахилу оптичної осі світлового приладу до площини освітлення.

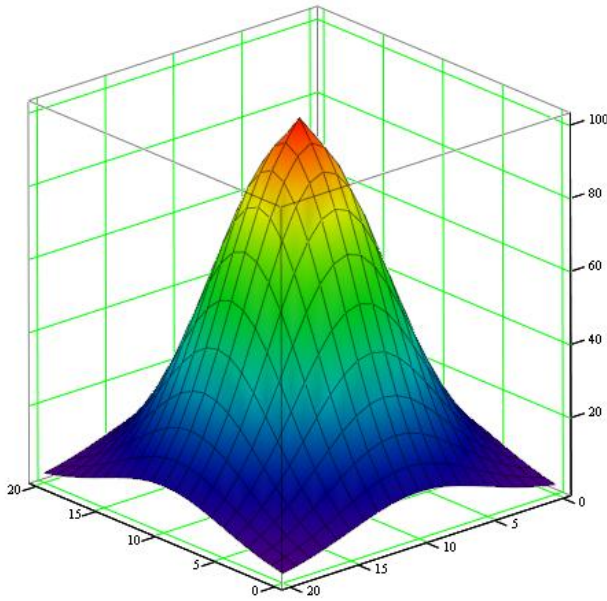


Рисунок 4 – Тіло рівних значень освітленості елементарних площадок від одного точкового джерела світла.

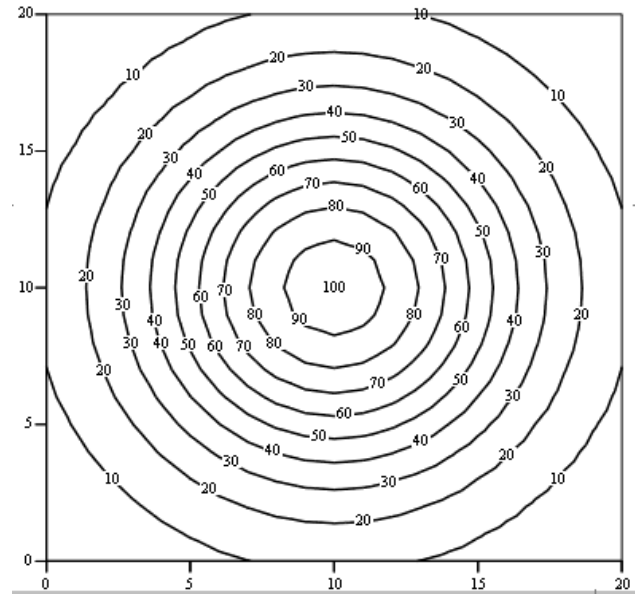


Рисунок 5 – Криві рівного освітлення поверхні від одного точкового джерела світла.

ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Закріпити світильник над площиною з нанесеною на ній сіткою полярних координат, освітлення якої слід виміряти, на висоті 400 мм над центром координат (рис.6).



Рисунок 6 - Установка для вимірювання розподілу освітленості на горизонтальній площині

2. Виміряти освітленість у центрі координат.
3. За допомогою люксметра знайти на радіус-векторі 0° площини точку, на якій освітленість дорівнює 500 лк. Виміряти відстань від центра координат до визначеної точки.
4. Такі ж вимірювання провести на кожному з радіус векторів з кроком 15° .
5. За допомогою люксметра знайти на радіус-векторі 0° площини точку, на якій освітленість дорівнює 300 лк. Виміряти відстань від центра координат до визначеної точки.
6. Такі ж вимірювання провести на кожному з радіус векторів з кроком 15° .
7. Закріпити світильник над площиною на висоті 600 мм над центром координат.
8. Виміряти освітленість у центрі координат.
9. За допомогою люксметра знайти на радіус-векторі 0° площини точку, на якій освітленість дорівнює 300 лк. Виміряти відстань від центра координат до визначеної точки.
10. Такі ж вимірювання провести на кожному з радіус векторів з кроком 15° .
11. За допомогою люксметра знайти на радіус-векторі 0° площини точку, на якій освітленість дорівнює 250 лк. Виміряти відстань від центра координат до визначеної точки.
12. Такі ж вимірювання провести на кожному з радіус векторів з кроком 15° .
13. Закріпити світильник над площиною на висоті 800 мм над центром координат.
14. Виміряти освітленість у центрі координат.
15. За допомогою люксметра знайти на радіус-векторі 0° площини точку, на якій освітленість дорівнює 200 лк. Виміряти відстань від центра координат до визначеної точки.
16. Такі ж вимірювання провести на кожному з радіус векторів з кроком 15° .
17. За допомогою люксметра знайти на радіус-векторі 0° площини точку, на якій освітленість дорівнює 150 лк. Виміряти відстань від центра координат до визначеної точки.
18. Такі ж вимірювання провести на кожному з радіус векторів з кроком 15° .
19. Дані вимірювань занести у таблиці 1 та 2.

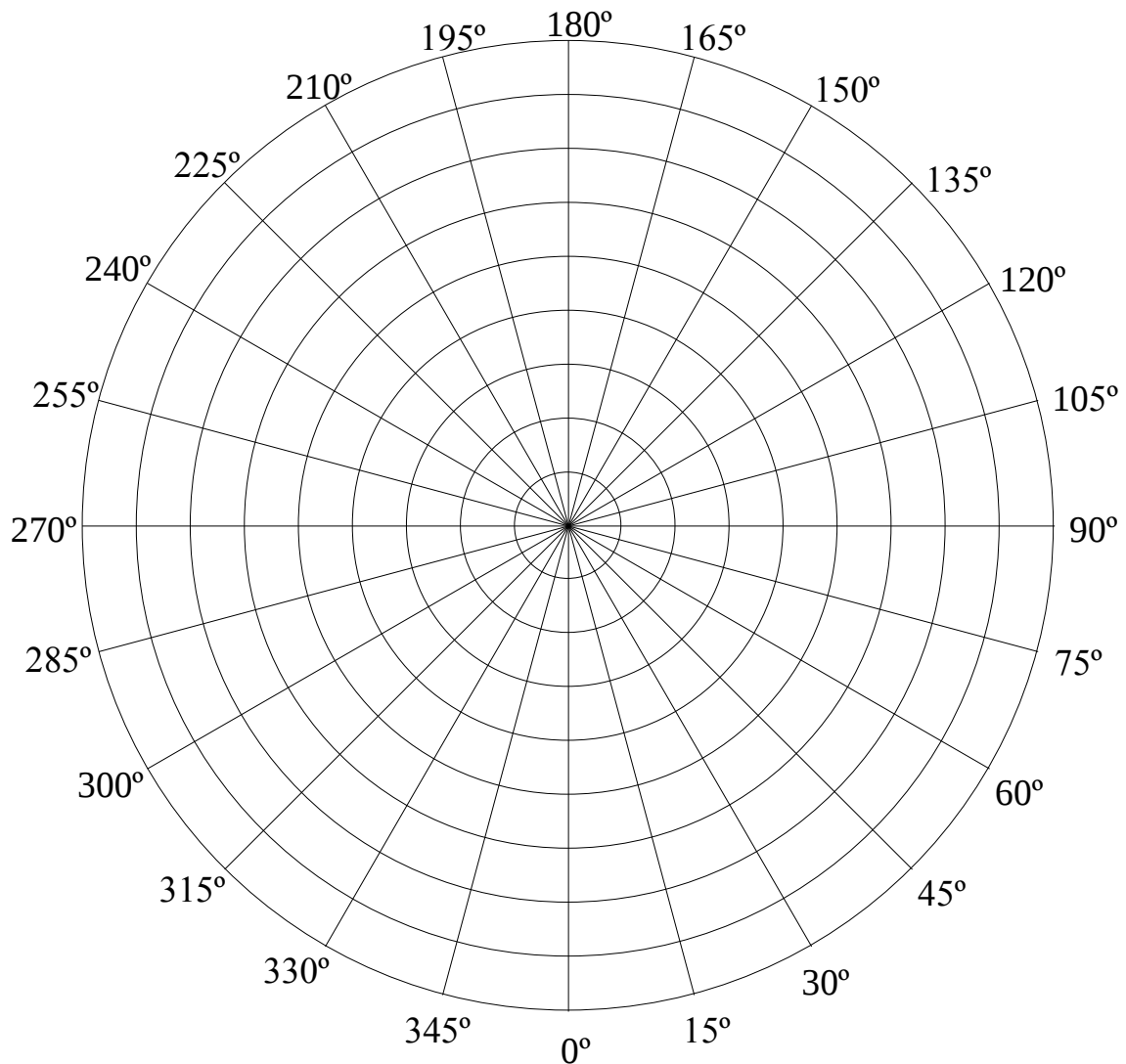
Таблиця 1

Висота підвісу світильника h , мм	Освітленість в центрі координат E_C , лк
400	292
600	113

Таблиця 2

Кут, град.	$h=400$ мм		$h=600$ мм			
	$E=200$ лк	$E=100$ лк	$E=100$ лк	$E=50$ лк		
	Відстань від центру координат до точки С, мм					
0	150	350	180	490		
15	110	330	155	480		
30	180	350	140	520		
45	175	335	130	540		
60	170	345	105	560		
75	170	340	195	580		
90	130	330	200	540		
105	135	320	190	520		
120	135	300	190	525		
135	130	295	140	530		
150	130	290	150	540		
165	120	290	150	550		
180	120	299	160	550		
195	110	300	170	555		
210	110	297	160	540		
225	100	300	150	540		
240	130	300	130	545		
255	130	298	100	530		
270	140	298	110	530		
285	145	300	110	535		
300	150	300	130	540		
315	155	310	125	520		
330	170	320	130	510		
345	185	340	140	500		

20. В полярній системі координат побудувати ізолюкси для різних значень висоти підвісу світильника над освітлювальною площиною (окремо для кожного значення висоти h).



КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що називається освітленістю? Які одиниці її вимірювання?
2. Які види освітленості можна визначити?
3. За допомогою яких методів можна обчислити освітленість?
4. У чому полягає точковий метод обчислення освітленості? Коли його можна використовувати?
5. Якими приладами вимірюють освітленість? Назвіть їх технічні дані.
6. Що таке тіло рівних значень освітленості елементарних площадок? Як воно будується?
7. Що таке криві рівної освітленості? Як їх отримують?
8. Від чого залежать значення освітленості площини?
9. Чим зумовлені відхилення форми отриманих ізольокс від правильного кола?

ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ СВІТЛА СВІТИЛЬНИКА З МАТОВАНИМ ВІДБИВАЧЕМ

Мета роботи: Вивчити методику вимірювання сили світла світлового приладу, побудови кривих сили світла, визначення класу світлорозподілу СП, вивчити різні типи КСС.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Світлорозподіл світлового приладу – найважливіша світлотехнічна характеристика СП, яка визначає розподіл його світлового потоку в просторі, що оточує СП. Світлорозподіл прожекторів та світильників загального освітлення зумовлюється формою фотометричного тіла СП і описується кривими сили світла.

Фотометричне тіло – геометричне місце кінців радіус-векторів, які виходять із світлового центру приладу, довжина яких пропорційна силі світла приладу у відповідному напрямку.

Крива сили світла (КСС) – крива залежності сили світла СП від меридіональних та екваторіальних кутів, отримана перетином фотометричного тіла СП меридіональною чи екваторіальною площинами.

Залежно від форми фотометричного тіла СП поділяють на симетричні, фотометричне тіло яких має вісь чи площину симетрії, і несиметричні, які не мають елементів симетрії фотометричного тіла. До першої групи СП відносяться широко розповсюджені осесиметричні прожектори і світильники, фотометричне тіло яких має вісь симетрії, які концентрують потік у конусі, а також різні світильники, що направляють світловий потік досить рівномірно у межах всієї нижньої півсфери. До симетричних приладів відносяться, наприклад світильники з лінійними лампами, які мають дві площини симетрії, прожектори з лінійними лампами, що концентрують потік у віялі, а також світильники типу «кососвітло», що мають лише одну площину симетрії.

Для характеристики світлорозподілу СП, особливо світильників, які мають КСС з чітким максимумом, часто застосовують поняття коефіцієнт підсилення – величина, що характеризує підсилення СП світла лампи у даному напрямку.

Коефіцієнт підсилення СП з круглосиметричними джерелами світла (ЛР, ДРЛ, ДРИ) – це відношення максимальної сили світла приладу до середньосферичної сили світла:

$$K_n = \frac{I_{max}}{I_{сф}}, \quad I_{сф} = \frac{\Phi_l}{4\pi}.$$

Коефіцієнт підсилення СП з лінійними джерелами світла (ЛЛ, трубчасті РЛ високого тиску) – відношення максимальної сили світла приладу до максимальної сили світла лампи:

$$K_y = \frac{I_{\max}}{I_{\text{св}}}, \quad I_{\max} = \frac{\Phi_{\text{л}}}{m_{\text{л}}},$$

де $m_{\text{л}}$ – коефіцієнт, що залежить від типу лампи: $m_{\text{л}}=9,25$ – для люмінесцентних ламп, $m_{\text{л}}=\pi^2$ – для лампи типу ДНаТ, $m_{\text{л}}=11,0$ – для ламп типу ДРИ, $m_{\text{л}}=12,3$ – для ламп типу ДКсТ)

Різноманітність КСС симетричних СП охоплено світлотехнічною класифікацією, в основу якої покладено дві незалежних ознаки світлорозподілу СП: співвідношення світлових потоків, які направлені в різні півсфери простору, та форма КСС. За світлорозподілом в залежності від співвідношення світлового потоку $\Phi_{\text{н}}$, направлено в нижню півсферу, і повного світлового потоку світильника $\Phi_{\text{св}}$ поділяються на 5 класів (табл.1).

Таблиця 1 – Класи світильників за світлорозподілом

Позначення класу світильника	Найменування класу світильника за світлорозподілом	Частка світлового потоку, що направляється в нижню півсферу, $\frac{\Phi_{\text{н}}}{\Phi_{\text{св}}}$, %
П	Прямого світла	Більше 80
Н	Переважно прямого світла	60-80
Р	Розсіяного світла	40-60
В	Переважно відбитого світла	20-40
О	Відбитого світла	20 і менше

Криві сили світла світильників вказаних класів залежно від форми КСС поділяють на 7 типів (табл.2).

Таблиця 2 – Типи КСС світильників

Позначення типу КСС	Назва типу КСС у верхній і нижній півсферах	Зона можливих напрямків максимальної сили світла, град.	Значення коефіцієнтів форми КСС
К	Концентрована	0-15	$K_{\phi} \geq 3$
Г	Глибока	0-30; 180-150	$2 \leq K_{\phi} < 3$
Д	Косинусна	0-35; 180-145	$1,3 \leq K_{\phi} < 2$
Л	Півширока	35-55; 145-125	$1,3 \leq K_{\phi}$
Ш	Широка	55-85; 125-95	$1,3 \leq K_{\phi}$
М	Рівномірна	0-90; 180-90	$K_{\phi} \leq 1,3$ при $I_{\min} > 0,7I_{\max}$
С	Синусна	70-90; 110-90	$K_{\phi} < 1,3$ при $I_0 < 0,7I_{\max}$

Коефіцієнт форми K_ϕ . – відношення максимальної сили світла $I_{\max}$ в меридіональній площині до умовного середньоарифметичного значення сили світла для тієї ж площини I_{cp} :

$$K_\phi = \frac{I_{\max}}{I_{cp}},$$

$$I_{cp} = \frac{1}{9} \sum_5^{85} I_\gamma = \frac{1}{9} \sum_{175}^{95} I_\gamma,$$

де I_γ – значення сили світла для кутів 5, 15, 25, ..., 85° для нижньої півсфери і 175, 165, 155, ..., 95° для верхньої;

I_0 – осьове значення сили світла;

$I_{\min}$ – мінімальне значення сили світла.

На рис.1 показано типи КСС, приведені до світлового потоку 1000 лм.

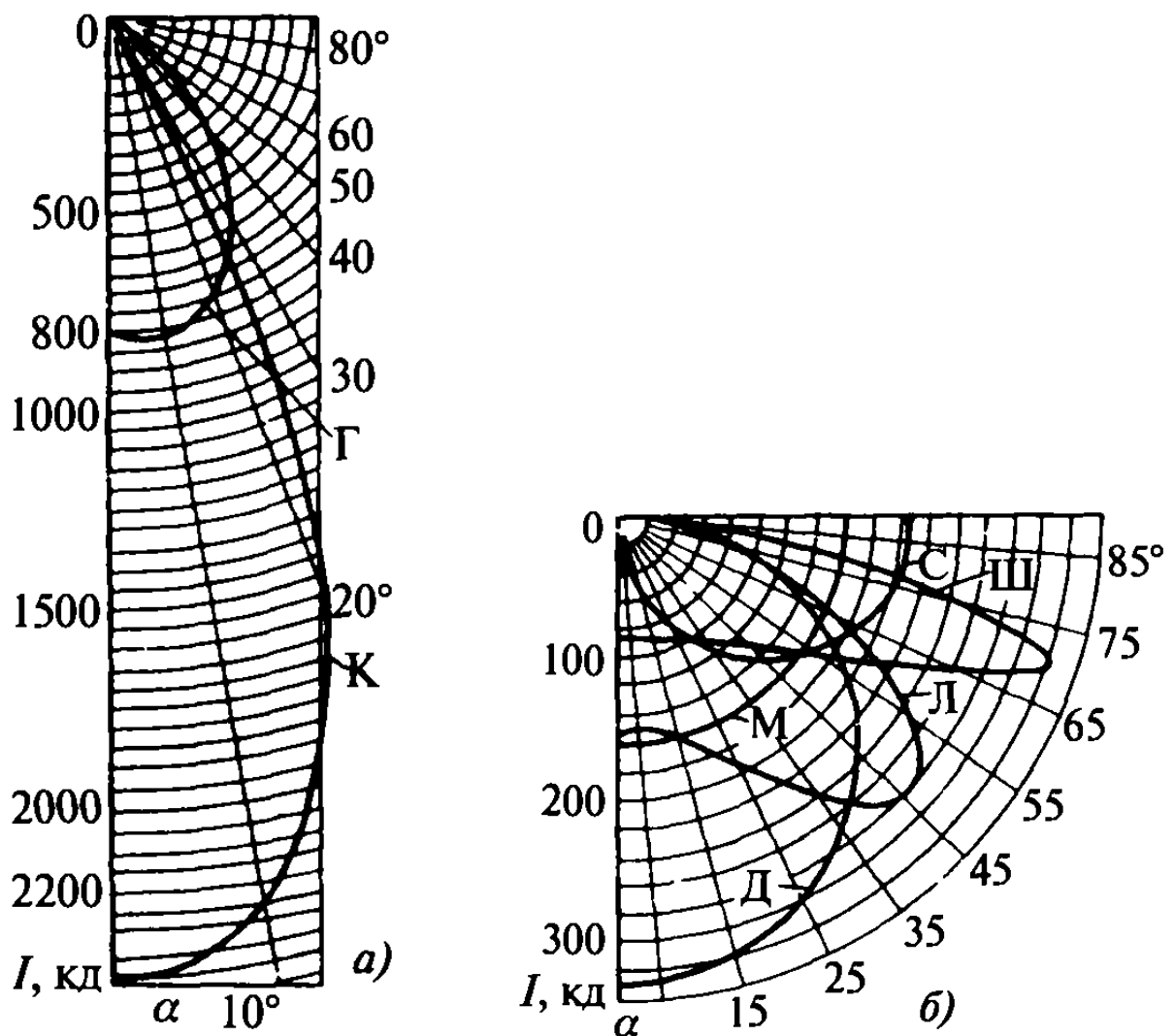


Рисунок 1 – Типи КСС, приведені до світлового потоку 1000 лм:

а) – Г, К; б) – Д, Л, М, С, Ш.

ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Вимірювання сили світла проводиться на розподільчому фотометрі, схема якого подана на рис.2. Розподільчий фотометр – це установка, яка призначена для вимірювання світлорозподілу у площинах, що проходять через світловий центр світильника. Суть методу полягає у покроковій фіксації значень сили світла СП при його повороті на заданий кут.

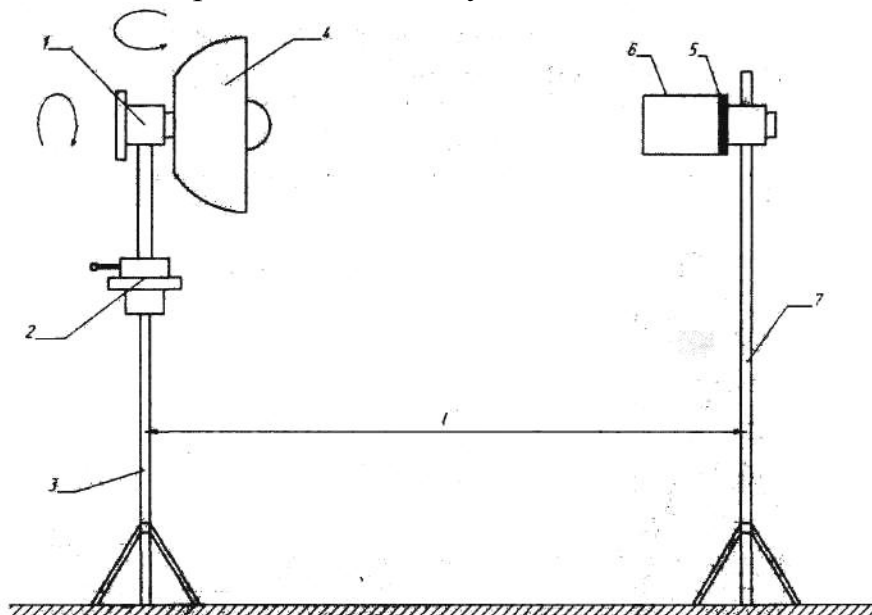


Рисунок 2 – Схема розподільчого фотометра:

1 – вузол кріплення приладу, 2 – поворотний пристрій, 3 – стійка, 4 – досліджуваний прилад, 5 – приймач (фоторезистор), 6 – діафрагма, 7 – стійка приймача.

Електрична схема установки показана на рис.3.

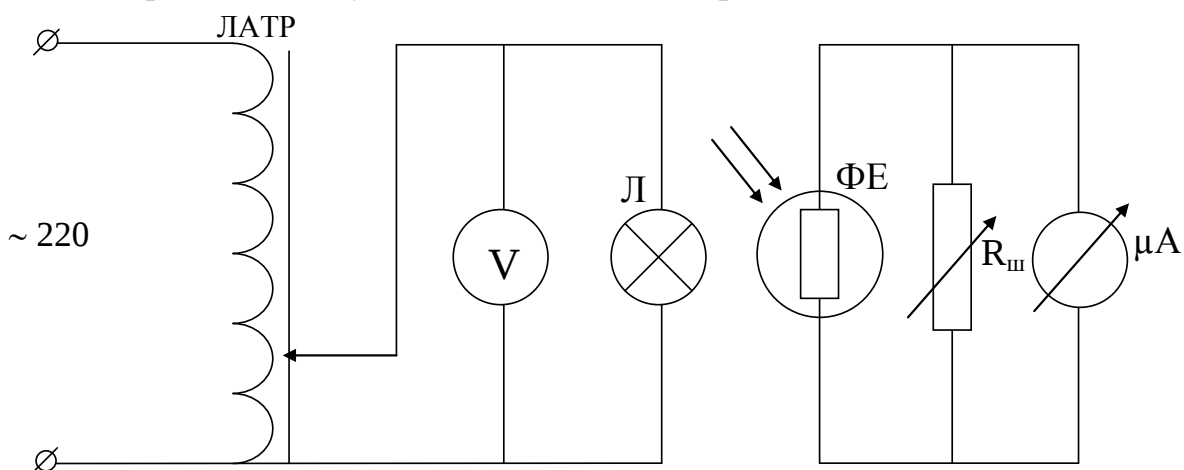


Рисунок 3 – Електрична схема вимірювальної установки:

ЛАТР – автотрансформатор, V – вольтметр, Л – лампа розжарення (в СП), ФЕ – фоторезистор ФЕС-10, $R_{ш}$ – шунт, μA – мікроампер метр М-95.

Силу світла обчислюють за формулою:

$$I = l^2 N_{\text{срі}} C,$$

де l – відстань від світлового приладу до фотоприймача. l повинна бути не менше семикратного діаметру вихідного отвору світильника;

$N_{\text{срі}}$ – усереднені покази мікроамперметра: $N_{\text{срі}} = \frac{N_1 + N_2}{2}$,

N_1, N_2 – покази мікроамперметра при повороті світильника на однаковий кут вправо і вліво, відповідно;

C – градувальник коефіцієнт.

ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Подати напругу мережі на клема ЛАТРа, виставити необхідну напругу на лампі СП, контролюючи її вольтметром.
2. Виставити світловий прилад (рис.4) так, щоб мікроамперметр фіксував максимальне значення фотоструму в колі.



Рисунок 4 – Світильник НСП з матованим відбивачем

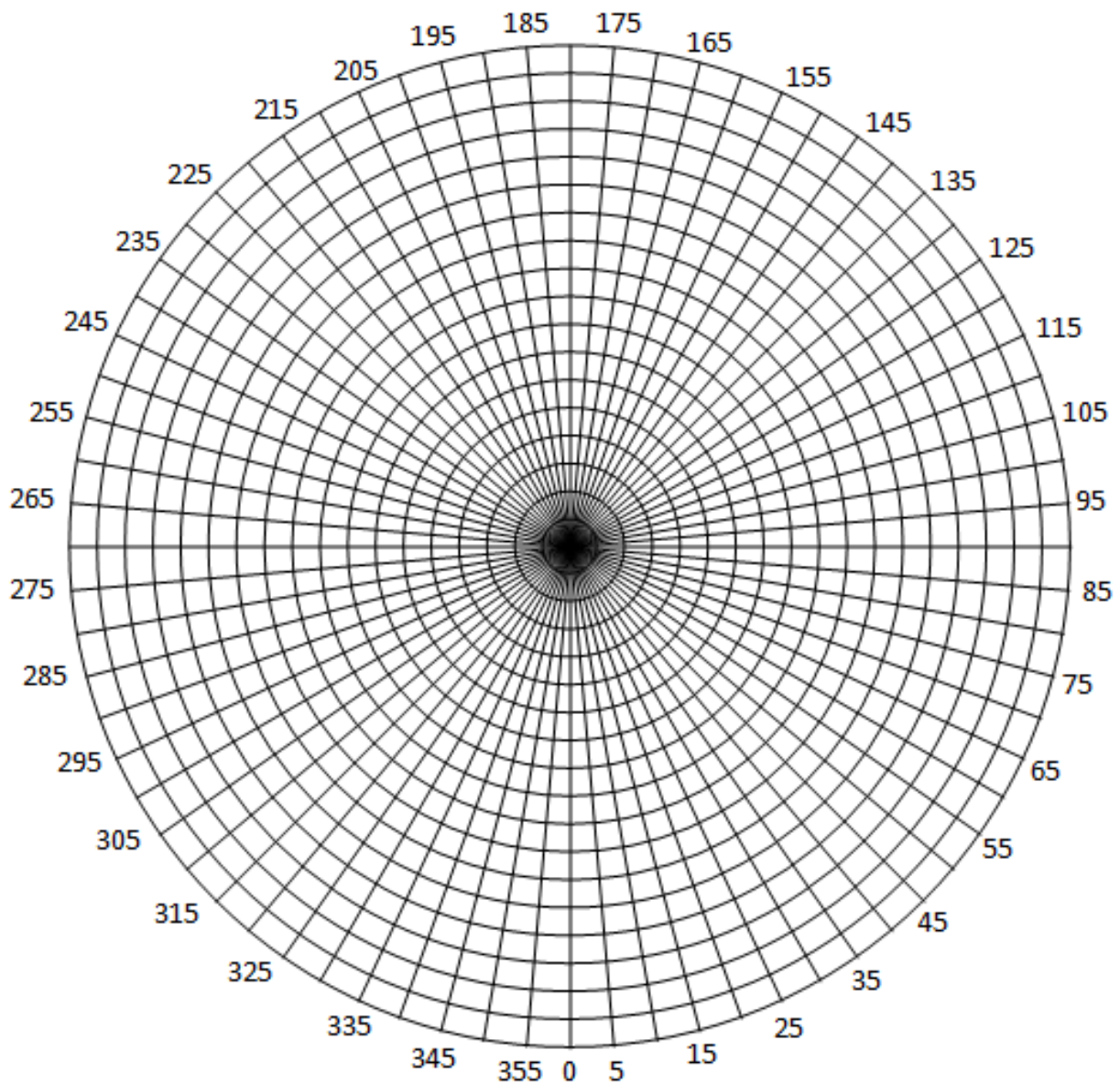
3. Повернути СП вправо на 5° і записати покази мікроамперметра.
4. Повторити вимірювання при повороті світильника на 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85° .
5. Повернути СП у вихідне положення (п.2).
6. Повторити вимірювання при повороті СП на 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85° вліво.
7. Результати вимірювань та обчислень занести в табл.3.

Таблиця 3

$$l = \text{___ м, } C = \text{___ лк/под., } \Phi_{\text{л}} = \text{___ лм}$$

Кут повороту, град.	Покази мікроамперметра			Сила світла I , кд
	N_1	N_2	$N_{\text{срі}}$	
0				
5				
15				
25				
35				
45				
55				
65				
75				
85				
90				

8. Побудувати КСС світильника в полярній системі координат.
9. Визначити клас світлорозподілу СП.
10. Обчислити коефіцієнт форми КСС.
11. Визначити тип КСС світильника.
12. Обчислити коефіцієнт підсилення СП.



КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке фотометричне тіло? Як воно будується?
2. Що таке КСС? Як отримують КСС?
3. Як поділяють СП залежно від їх фотометричного тіла?
4. Що таке коефіцієнт підсилення? Як його визначають для СП з різним типом джерел світла?
5. Які є класи світильників за світлорозподілом? За якою ознакою утворюються ці класи?
6. Що таке коефіцієнт форми?
7. Які є типи КСС світильників? На основі чого розділяють ці типи?
8. З яких елементів складається вимірювальна установка?
9. Що таке розподільчий фотометр?
10. Нарисуйте електричну схему вимірювальної установки. Поясніть призначення кожного приладу.
11. Яким способом визначається сила світла СП?

ДОСЛІДЖЕННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЮМІНЕСЦЕНТНОГО СВІТИЛЬНИКА

Мета роботи: вивчити методику вимірювання сили світла та обчислення світлового потоку за допомогою розподільчого фотометра; визначення світлотехнічних параметрів СП за допомогою КСС.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Світлорозподіл СП — важлива світлотехнічна характеристика СП, яка визначається розподілом його світлового потоку в просторі, що оточує СП. Найбільш повну уяву про розподіл сили світла в просторі дає фотометричне тіло.

Фотометричне тіло — це геометричне місце кінців радіусів-векторів, які виходять з світлового центру приладу, довжина яких пропорційна силі світла приладу в певному напрямку. По вигляду фотометричних тіл СП поділяються на: круглосиметричні — їх фотометричні тіла є тілами обертання; симетричні — їх фотометричні тіла мають одну, дві і більше площин симетрії; несиметричні — їх фотометричні тіла зовсім не мають елементів симетрії (рис.1).

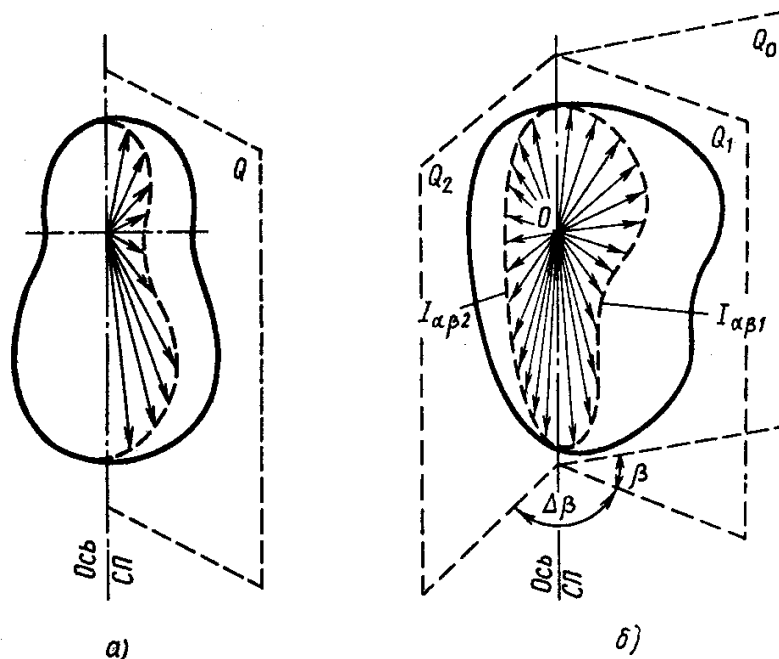


Рисунок 1 – Переріз фотометричного тіла меридіональними площинами: а) круглосиметричного; б) несиметричного.

До першої групи СП відносяться круглосиметричні прожектори і світильники, фотометричне тіло яких має вісь симетрії. Вони концентрують світловий потік в конусі або направляють світловий потік достатньо рівномірно в межах всього оточуючого простору. До симетричних приладів відносяться,

наприклад, світильники з лінійними лампами (ЛЛ, ксеноновими, ГЛР), що мають дві площини симетрії, і прожектори з лінійними лампами, що концентрують світловий потік у віялі.

Розподіл сили світла світильника зображається на площині. Переріз фотометричного тіла СП меридіональною напівплощиною (рис.1) утворює слід у вигляді кривої сили світла (КСС). Для того, щоб мати можливість порівнювати КСС світлових приладів, що мають різну кількість, потужність і колірність ламп, ці криві будують переважно для умовної лампи зі світловим потоком, рівним 1000 лм. Значення сили світла СП з відомими лампами, які працюють в умовах даного приладу, отримують множенням значень сили світла, знайдених з КСС, на фактичний світловий потік встановлених в СП ламп.

Для опису світлорозподілу будь-якого круглосиметричного СП достатньо одної меридіональної КСС, а для симетричних СП необхідно ряд меридіональних КСС для різних площин, число яких вибирається, виходячи з форми фотометричного тіла. Для СП з двома площинами симетрії (перш за все для світильників і прожекторів з лінійними лампами) переважно обмежуються КСС лише в двох головних площинах — поздовжньої і поперечної. Переважно при застосуванні СП необхідно знати їх КСС як у нижній, так і у верхній півсфері простору.

В основі класифікації СП за КСС покладено дві незалежні ознаки світлорозподілу світильника: співвідношення світлових потоків, напрямлених в різні півсфери, і форма КСС.

За світлорозподілом світлові прилади в залежності від співвідношення світлового потоку $\Phi_{НПС}$, напрямленого в нижню півсферу, і повного світлового потоку світильника $\Phi_{СВ}$ ділять на п'ять класів (табл.1). КСС в залежності від їх форми, поділяються на сім типів: концентрована (К), глибока (Г), косинусна або дифузна (Д), напівширока (Л), широка (Ш), рівномірна (М) і синусна (С) (рис. 2).

Таблиця 1 – Класи світильників по світлорозподілу

Позначення класу світильника за світлорозподілом	Найменування класу світильника за світлорозподілом	Частка світлового потоку, напрямленого в нижню півсферу від потоку світильника $\Phi_{НПС}/\Phi_{СВ}$, %
П	Прямого світла	Більше 80
Н	Переважно прямого світла	60...80
Р	Розсіяного світла	40...60
В	Переважно відбитого світла	20...40
О	Відбитого світла	Менше 20

Розроблена розширена класифікація КСС містить 14 типових кривих з полями допусків (+20...–10)% на значення сили світла і дозволяє характеризувати типові КСС не одною кривою, а полем, яке є геометричним

місцем точок для граничних коливань значення сили світла СП з сумарним світловим потоком 1000 лм. Деталізовані значення типових КСС дано на рис.1.3 (без синусної кривої), класифікація КСС наведена в табл.2 і табл. 3.

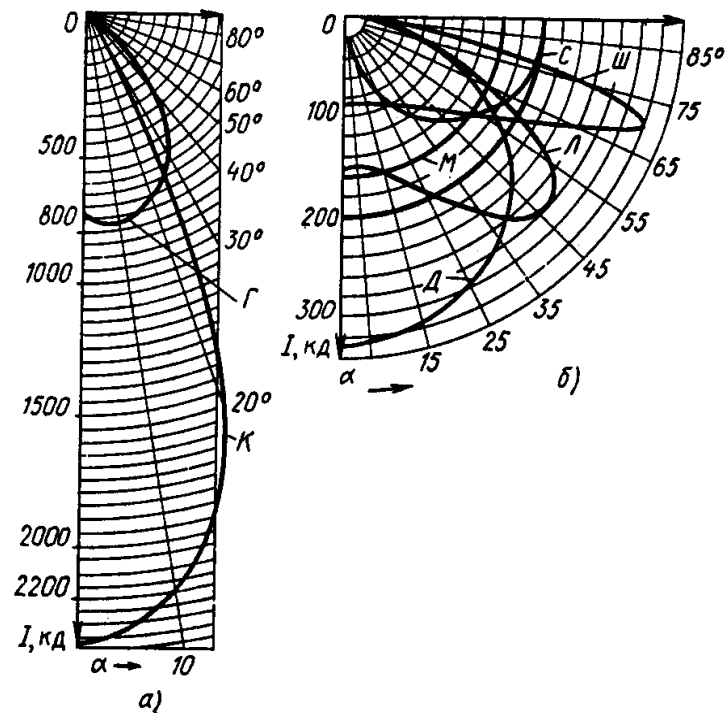


Рисунок 2 – Типи КСС при світловому потоці світильників в нижню півсферу ($\Phi_{CB}=1000$ лм): а) К і Г; б) Д, Л, М, С і Ш.

В таблиці 2 приведено коефіцієнт форми K_ϕ , під яким розуміють відношення максимальної сили світла I_{max} в меридіальній площині до умовного середньоарифметичного значення сили світла I_{cp} .

Коефіцієнт форми K_ϕ – відношення максимальної сили світла I_{max} в меридіональній площині до умовного середньоарифметичного значення сили світла для тієї ж площини I_{cp} :

$$K_\phi = \frac{I_{max}}{I_{cp}},$$

$$I_{cp} = \frac{1}{9} \sum_5^{85} I_\gamma = \frac{1}{9} \sum_{175}^{95} I_\gamma,$$

де I_γ – значення сили світла для кутів 5, 15, 25, ..., 85° для нижньої півсфери і 175, 165, 155, ..., 95° для верхньої;

I_0 – осьове значення сили світла;

I_{min} – мінімальне значення сили світла.

Таблиця 2 – Класифікація типових КСС світлових приладів

Номер типової КСС	Наймену- вання групи КСС	Група КСС	Позна- чення КСС	Значення сили світла I_{max} , кд	Зона можливих напрямків I_{max} , град.		Значення коефіцієнта форм K_ϕ	Математичний вираз КСС
					в нижній півсфері	в верхній півсфері		
1	Рівномір на	М	М	159	0...90	180...90	$K_\phi \leq 1,3$ при $I_{min} > 0,7$ I_{max}	$I_\alpha = I_0$
2	Коси- нусна	Д	Д1	212	0...35	180...145	$1,3 \leq K_\phi < 2$	$I_\alpha = I_0 \cos \alpha$
3			Д2	283				
4			Д3	377				
5	Глибока	Г	Г1	503	0...30	180...150	$2 \leq K_\phi < 3$	$I_\alpha = I_0 \cos(n\alpha)$
6			Г2	671				
7			Г3	894				
8	Концен- трована	К	К1	1192	0...15	180..165	$3 \leq K_\phi < 5$	
9			К2	1583				
10			К3	2120				
11	Широка	Ш	Ш1	282	30...50	150...130	$1,5 \leq K_\phi < 2$	$I_\alpha = I_0$ $\left[\frac{\cos \alpha}{\cos(\theta \sin^m C \alpha)} \right]$
12			Ш2	275	50...65	130...115		
13			Ш3	252	65...85	115...95		
14	Синусна	С	С	204	70...90	110...90	$K_\phi < 1,3$ при $I_0 < 0,7$ I_{max}	$I_\alpha = I_0 \sin \alpha$

Таблиця 3 – Значення параметрів в табл. 2

Параметр	Тип КСС			
	К	Г	Л	Ш
I_0 , кд	2400	800	155	90
N	2,91	1,65	—	—
θ , град	—	—	70	85
m	—	—	1,2	1,5
C	—	—	1,7	1,2

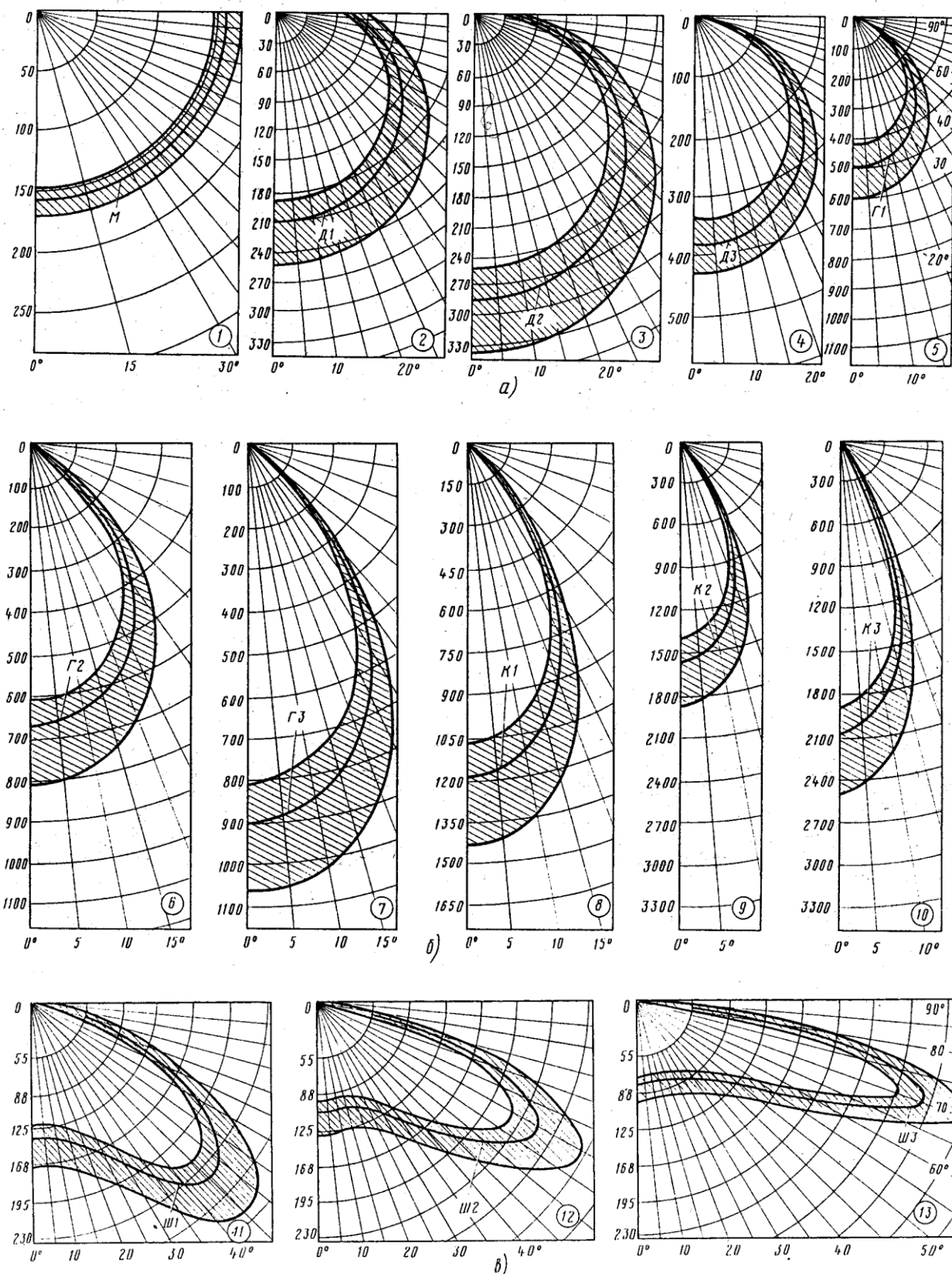


Рисунок 3 – Деталізовані типові КСС і поля допусків на значення сили світла ($\Phi_{CB}=1000$ лм): а) рівномірна і косинусні КСС; б) глибокі і концентровані КСС; в) широкі КСС.

Класифікація охоплює три тріади випуклих кривих (косинусні, глибокі, концентровані), тріаду сідловидних широких кривих, а також рівномірну і синусну КСС.

ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вимірювання сили світла проводиться на розподільчому фотометрі, схема якого подана на рис.4. Розподільчий фотометр – це установка, яка призначена для вимірювання світлорозподілу у площинах, що проходять через світловий центр світильника. Суть методу полягає у покроковій фіксації значень сили світла СП при його повороті на заданий кут.

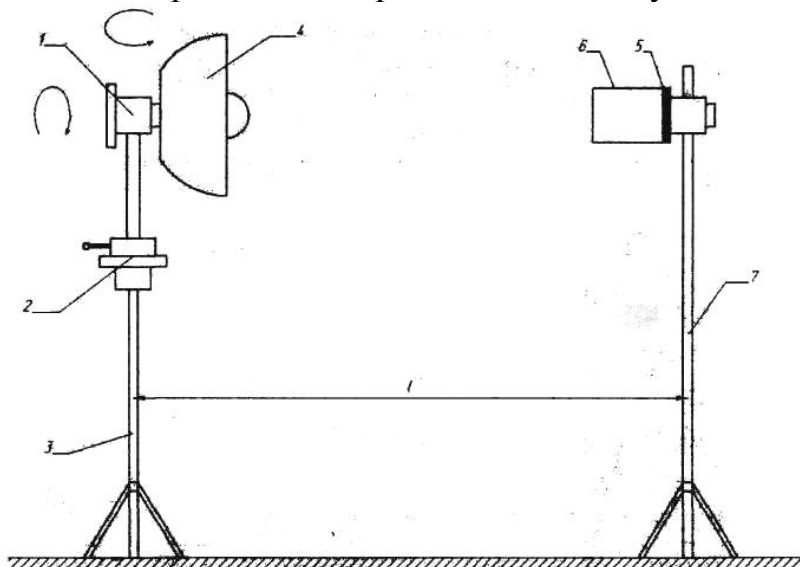


Рисунок 4 – Схема розподільчого фотометра:

1 – вузол кріплення приладу, 2 – поворотний пристрій, 3 – стійка, 4 – досліджуваний прилад, 5 – приймач (фоторезистор), 6 – діафрагма, 7 – стійка приймача.

Електрична схема установки показана на рис.5.

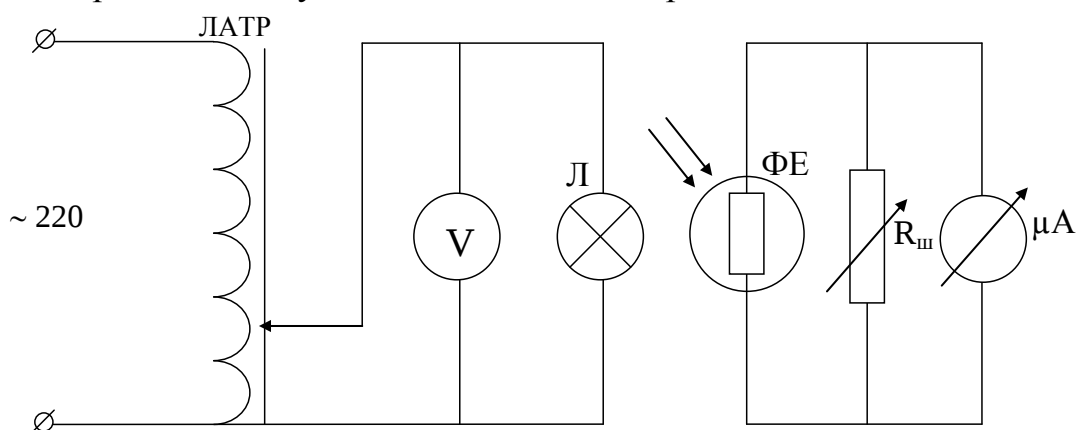


Рисунок 5 – Електрична схема вимірювальної установки:

ЛАТР – автотрансформатор, V – вольтметр, Л – лампа розжарення (в СП), ФЕ – фоторезистор ФЕС-10, $R_{ш}$ – шунт, μA – мікроампер метр М-95.

Силу світла обчислюють за формулою:

$$I = l^2 n_{\text{cri}} C,$$

де l – відстань від світлового приладу до фотоприймача. l повинна бути не менше семикратного діаметру вихідного отвору світильника;

n_{cri} – усереднені покази мікроамперметра:

$$n_{\text{cri}} = \frac{n_1 + n_2}{2},$$

n_1, n_2 – покази мікроамперметра при повороті світильника на однаковий кут вправо і вліво, відповідно;

C – градувальник коефіцієнт.

2. Світловий потік люмінесцентних ламп визначається з формули $\Phi_l = 9,25 I_0$. Осьова (максимальна) сила світла визначається за допомогою фотометра.

Світловий потік люмінесцентного світильника визначається за формулами:

- для нижньої півсфери $\Phi_{\text{свн}} = 2k_{\text{fn}} \sum_{\alpha=5^\circ}^{85^\circ} I_{\alpha_i};$

- для верхньої півсфери $\Phi_{\text{свв}} = 2k_{\text{fv}} \sum_{\alpha=95^\circ}^{175^\circ} I_{\alpha_i}.$

Коефіцієнт k_f визначається із відношення елементарного світлового потоку світильника, який виділяється в просторі двома поздовжніми площинами, що визначаються кутами φ_1 і φ_2 (рис.6).

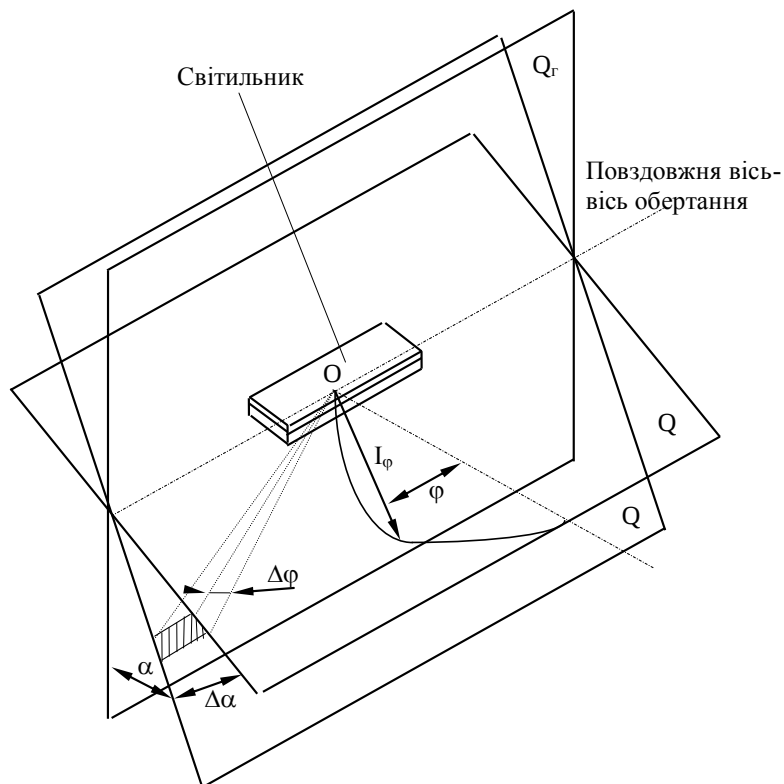
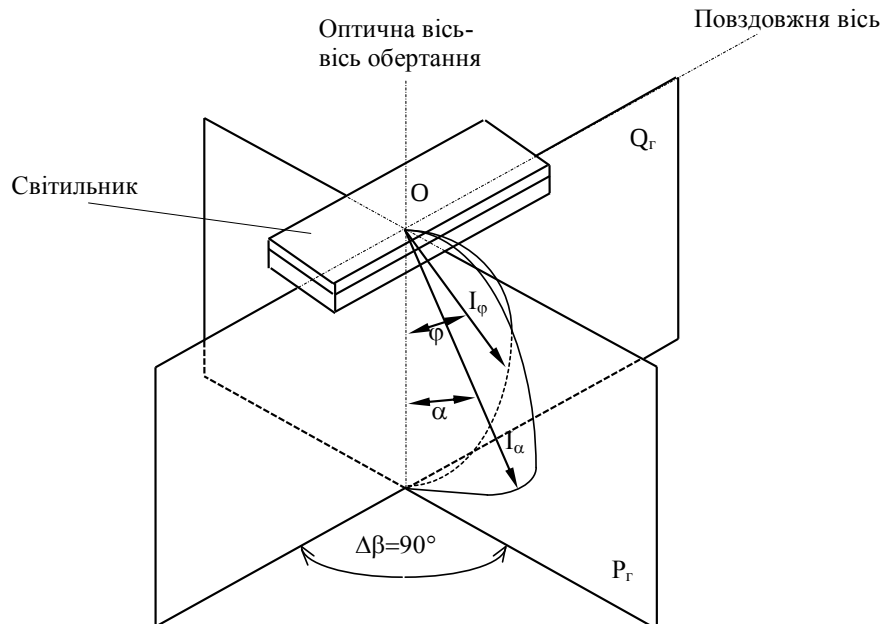


Рисунок 6 – Схема для визначення кутів фотометрування.

Коефіцієнт k_f обчислюється за формулою

$$k_f = \frac{2 \sum_{\varphi=0^{\circ}}^{90^{\circ}} I_{\frac{\varphi_1+\varphi_2}{2}} \Omega_{(\varphi_2-\varphi_1)}}{I_{\max}},$$

де φ – кут у поздовжній площині;

$\Omega_{(\varphi_2-\varphi_1)}$ – тілесний кут, який виділяється в просторі поздовжніми площинами Q і площинами, що визначаються кутами φ_1 і φ_2 . Значення чотиригранних кутів $\Omega_{(\varphi_i-\varphi_{i-1})}$ подані в табл.4.

Таблиця 4 – Значення зональних тілесних кутів для інтервалів $\Omega_{(\varphi_i-\varphi_{i-1})}=10^\circ$

Зони кутів $\Delta\varphi$, град.	Напрямок, що відповідає середині зони, град.	Ω , ср	Напрямок, що відповідає середині зони, град.	Зони кутів $\Delta\varphi$, град.
0-10	5	0,0303	175	170-180
10-20	15	0,0294	165	160-170
20-30	25	0,0276	155	150-160
30-40	35	0,0249	145	140-150
40-50	45	0,0215	135	130-140
50-60	55	0,0174	125	120-130
60-70	65	0,0129	115	110-120
70-80	75	0,0079	105	100-110
80-90	85	0,0027	95	90-100

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Встановити світильник (рис.1) на поворотний пристрій так, щоб світловий центр світильника співпадав з центром обертання поворотного пристрою.



Рисунок 1 – Світильник з двома компактними люмінесцентними лампами

2. Зібрати схему живлення, виставити номінальну напругу і включити світильник.

3 Виставити центр робочої поверхні фотоелемента на оптичну вісь світильника на відстані фотометрування.

4. Після встановлення теплового режиму світильника почати вимірювання.

5. Встановити показники кута повороту в головній поздовжній і поперечній площинах на нульове значення.

6. Встановити необхідну границю вимірювання мікроамперметра.

7. Зняти криві сили світла світильника у головній поздовжній і поперечній площинах. Результати вимірювань та обчислень занести в табл.2.

Таблиця 2

$l = \text{_____ м, } C = \text{_____ лк/под. } I_0 = \text{_____ кд}$

α , град.	n_1 , под.	n_2 , под.	n_{cp} , под.	$I_{позд}$, кд	n_1 , под.	n_2 , под.	n_{cp} , под.	$I_{попер}$, кд
0								
5								
10								
15								
20								
25								
30								
35								
40								
45								
50								
55								
60								
65								
70								
75								
80								
85								
90								

8. Заступити відбивач досліджуваного світильника і одну лампу чорним матеріалом та виміряти I_0 в напрямку, перпендикулярному до світлового отвору СП.

9. Визначити світловий потік ламп з формули $\Phi_{\lambda} = 9,25I_0$.

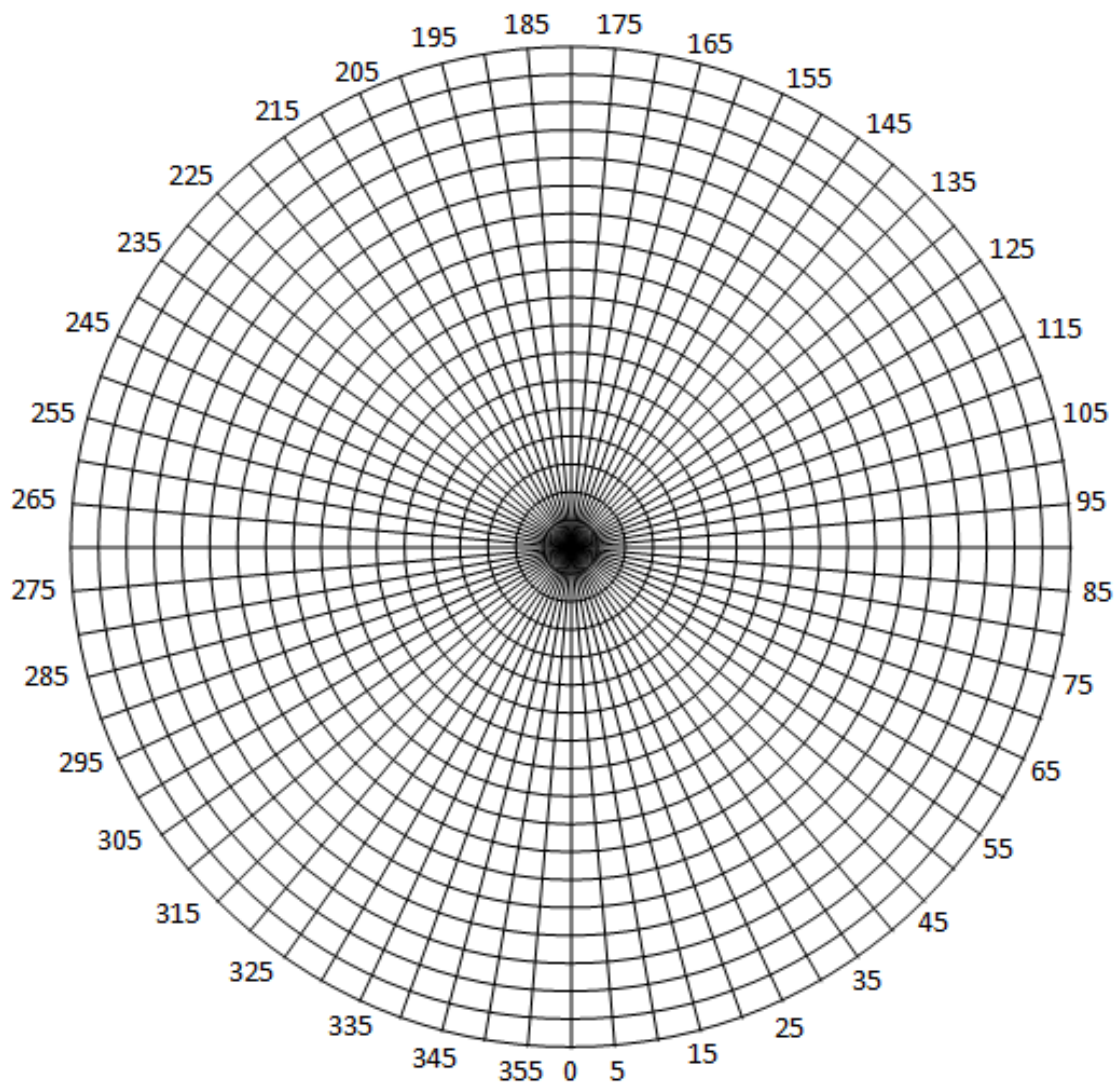
10. Побудувати КСС світильника в полярній системі координат.

11. Визначити тип КСС і клас світлорозподілу СП.

12. За даними світлорозподілу світильника у поздовжній площині визначити коефіцієнт k_f . Значення чотиригранного кута взяти з табл.2.1.

12. Обчислити світловий потік люмінесцентного світильника.

13. Визначити ККД світильника (врахувати, що у світильник поміщено дві люмінесцентних лампи).



КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Дати визначення світловому потоку. В яких одиницях він вимірюється?
2. Що таке фотометричне тіло?
3. Що таке КСС? Як отримуються КСС?
4. Як поділяють СП залежно від їх фотометричного тіла?
5. Що таке коефіцієнт підсилення? Як його визначають для СП з різним типом джерел світла?
6. Які є класи світильників за світлорозподілом? За якою ознакою утворюються ці класи?
7. Що таке коефіцієнт форми?
8. З яких елементів складається вимірювальна установка?
9. Що таке розподільчий фотометр?
10. Нарисуйте електричну схему вимірювальної установки. Поясніть призначення кожного приладу.
11. Яким способом визначається сила світла СП?
12. Що таке тілесний кут? Поясніть метод визначення світлового потоку методом зональних кутів.

ДОСЛІДЖЕННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТИЛЬНИКА ДЛЯ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Мета роботи: вивчити методику вимірювання сили світла за допомогою розподільчого фотометра.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Світлорозподіл СП — важлива світлотехнічна характеристика СП, яка визначається розподілом його світлового потоку в просторі, що оточує СП. Найбільш повну уяву про розподіл сили світла в просторі дає фотометричне тіло.

Фотометричне тіло — це геометричне місце кінців радіусів-векторів, які виходять з світлового центру приладу, довжина яких пропорційна силі світла приладу в певному напрямку. По вигляду фотометричних тіл СП поділяються на: круглосиметричні — їх фотометричні тіла є тілами обертання; симетричні — їх фотометричні тіла мають одну, дві і більше площин симетрії; несиметричні — їх фотометричні тіла зовсім не мають елементів симетрії (рис.1).

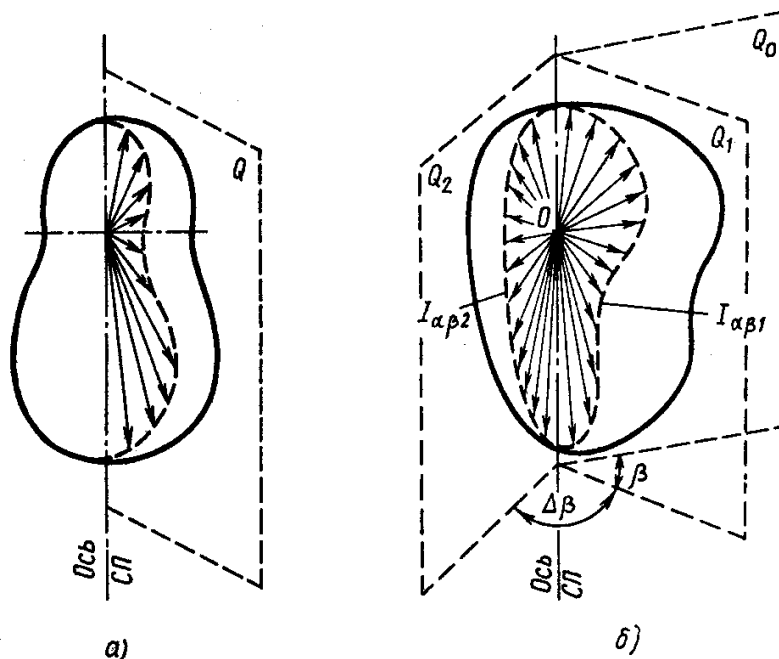


Рисунок 1 – Переріз фотометричного тіла меридіональними площинами:
а) круглосиметричного; б) несиметричного.

До першої групи СП відносяться круглосиметричні прожектори і світильники, фотометричне тіло яких має вісь симетрії. Вони концентрують світловий потік в конусі або направляють світловий потік достатньо рівномірно в межах всього оточуючого простору. До симетричних приладів відносяться, наприклад, світильники з лінійними лампами (ЛЛ, ксеноновими, ГЛР), що

мають дві площини симетрії, і прожектори з лінійними лампами, що концентрують світловий потік у віалі.

Розподіл сили світла світильника зображається на площині. Переріз фотометричного тіла СП меридіональною напівплощиною (рис.1) утворює слід у вигляді кривої сили світла (КСС). Для того, щоб мати можливість порівнювати КСС світлових приладів, що мають різну кількість, потужність і колірність ламп, ці криві будують переважно для умовної лампи зі світловим потоком, рівним 1000 лм. Значення сили світла СП з відомими лампами, які працюють в умовах даного приладу, отримують множенням значень сили світла, знайдених з КСС, на фактичний світловий потік встановлених в СП ламп.

Для опису світлорозподілу будь-якого круглосиметричного СП достатньо одної меридіональної КСС, а для симетричних СП необхідно ряд меридіональних КСС для різних площин, число яких вибирається, виходячи з форми фотометричного тіла. Для СП з двома площинами симетрії (перш за все для світильників і прожекторів з лінійними лампами) переважно обмежуються КСС лише в двох головних площинах — поздовжньої і поперечної. Переважно при застосуванні СП необхідно знати їх КСС як у нижній, так і у верхній півсфері простору.

В основі класифікації СП за КСС покладено дві незалежні ознаки світлорозподілу світильника: співвідношення світлових потоків, напрямлених в різні півсфери, і форма КСС.

За світлорозподілом світлові прилади в залежності від співвідношення світлового потоку $\Phi_{НПС}$, напрямленого в нижню півсферу, і повного світлового потоку світильника $\Phi_{СВ}$ ділять на п'ять класів (табл.1). КСС в залежності від їх форми, поділяються на сім типів: концентрована (К), глибока (Г), косинусна або дифузна (Д), напівширока (Л), широка (Ш), рівномірна (М) і синусна (С) (рис. 2).

Таблиця 1 – Класи світильників по світлорозподілу

Позначення класу світильника за світлорозподілом	Найменування класу світильника за світлорозподілом	Частка світлового потоку, напрямленого в нижню півсферу від потоку світильника $\Phi_{НПС}/\Phi_{СВ}$, %
П	Прямого світла	Більше 80
Н	Переважно прямого світла	60...80
Р	Розсіяного світла	40...60
В	Переважно відбитого світла	20...40
О	Відбитого світла	Менше 20

Розроблена розширена класифікація КСС містить 14 типових кривих з полями допусків (+20...–10)% на значення сили світла і дозволяє характеризувати типові КСС не одною кривою, а полем, яке є геометричним місцем точок для граничних коливань значення сили світла СП з сумарним

світловим потоком 1000 лм. Деталізовані значення типових КСС дано на рис.1.3 (без синусної кривої), класифікація КСС наведена в табл.2 і табл. 3.

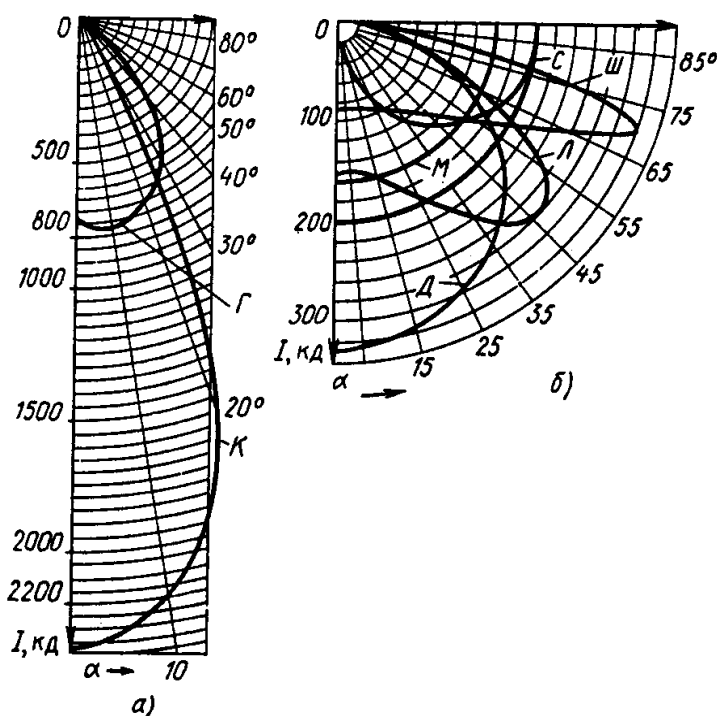


Рисунок 2 – Типи КСС при світловому потоці світильників в нижню півсферу ($\Phi_{CB}=1000$ лм): а) К і Г; б) Д, Л, М, С і Ш.

В таблиці 2 приведено коефіцієнт форми K_ϕ , під яким розуміють відношення максимальної сили світла I_{max} в меридіальній площині до умовного середньоарифметичного значення сили світла I_{cp} .

Коефіцієнт форми K_ϕ – відношення максимальної сили світла I_{max} в меридіональній площині до умовного середньоарифметичного значення сили світла для тієї ж площини I_{cp} :

$$K_\phi = \frac{I_{max}}{I_{cp}},$$

$$I_{cp} = \frac{1}{9} \sum_5^{85} I_\gamma = \frac{1}{9} \sum_{175}^{95} I_\gamma,$$

де I_γ – значення сили світла для кутів 5, 15, 25, ..., 85° для нижньої півсфери і 175, 165, 155, ..., 95° для верхньої;

I_0 – осьове значення сили світла;

I_{min} – мінімальне значення сили світла.

Таблиця 2 – Класифікація типових КСС світлових приладів

Номер типової КСС	Наймену- вання групи КСС	Група КСС	Позна- чення КСС	Значення сили світла I_{max} , кд	Зона можливих напрямків I_{max} , град.		Значення коефіцієнта форм K_ϕ	Математичний вираз КСС
					в нижній півсфері	в верхній півсфері		
1	Рівномір на	М	М	159	0...90	180...90	$K_\phi \leq 1,3$ при $I_{min} > 0,7$ I_{max}	$I_\alpha = I_0$
2	Коси- нусна	Д	Д1	212	0...35	180...145	$1,3 \leq K_\phi < 2$	$I_\alpha = I_0 \cos \alpha$
3			Д2	283				
4			Д3	377				
5	Глибока	Г	Г1	503	0...30	180...150	$2 \leq K_\phi < 3$	$I_\alpha = I_0 \cos(n\alpha)$
6			Г2	671				
7			Г3	894				
8	Концен- трована	К	К1	1192	0...15	180..165	$3 \leq K_\phi < 5$	
9			К2	1583				
10			К3	2120				
11	Широка	Ш	Ш1	282	30...50	150...130	$1,5 \leq K_\phi < 2$	$I_\alpha = I_0$ $\left[\frac{\cos \alpha}{\cos(\theta \sin^m C \alpha)} \right]$
12			Ш2	275	50...65	130...115		
13			Ш3	252	65...85	115...95		
14	Синусна	С	С	204	70...90	110...90	$K_\phi < 1,3$ при $I_0 < 0,7$ I_{max}	$I_\alpha = I_0 \sin \alpha$

Таблиця 3 – Значення параметрів в табл. 2

Параметр	Тип КСС			
	К	Г	Л	Ш
I_0 , кд	2400	800	155	90
N	2,91	1,65	—	—
θ , град	—	—	70	85
m	—	—	1,2	1,5
C	—	—	1,7	1,2

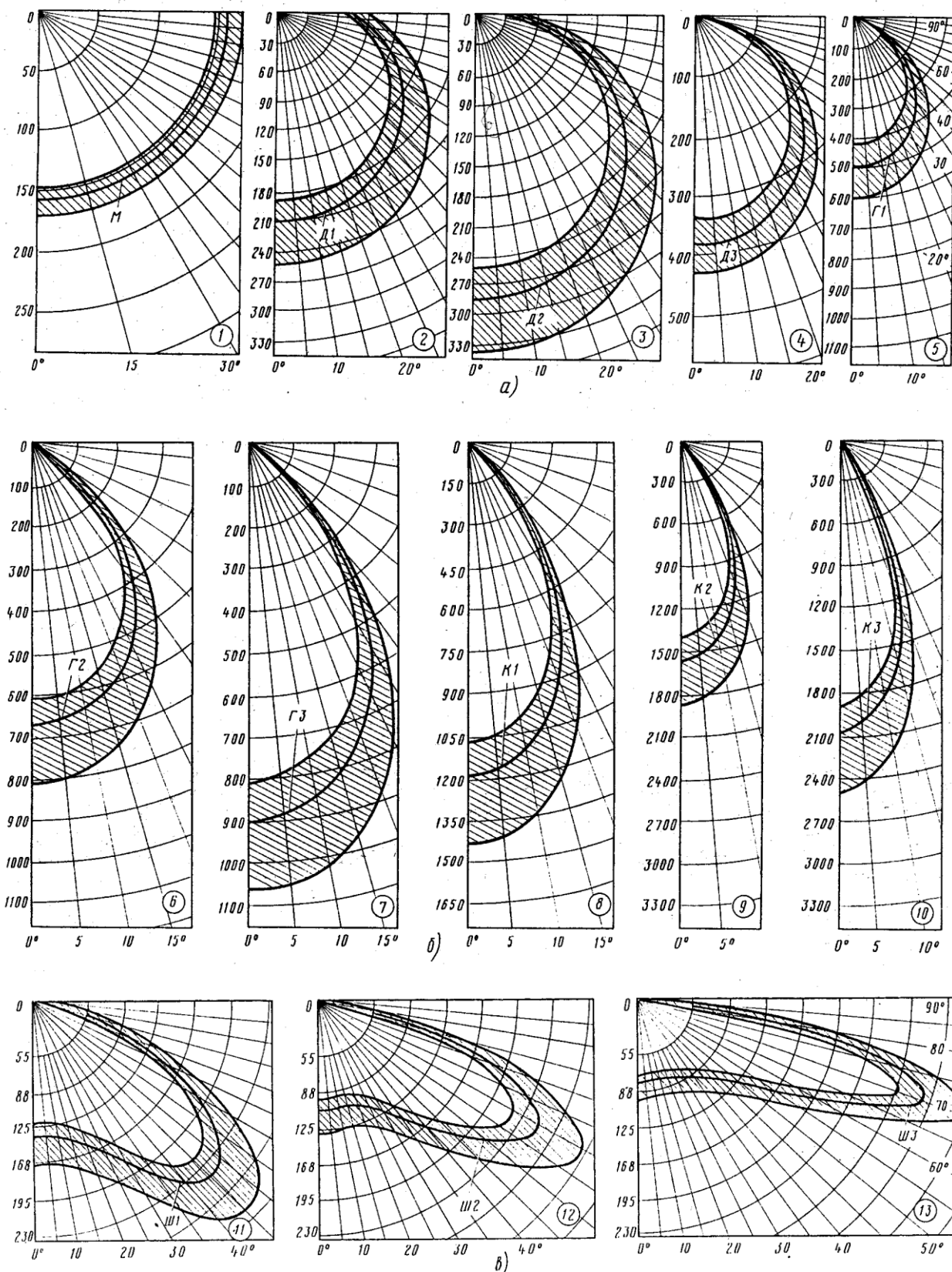


Рисунок 3 – Деталізовані типові КСС і поля допусків на значення сили світла ($\Phi_{CB}=1000$ лм): а) рівномірна і косинусні КСС; б) глибокі і концентровані КСС; в) широкі КСС.

Класифікація охоплює три тріади випуклих кривих (косинусні, глибокі, концентровані), тріаду сідловидних широких кривих, а також рівномірну і синусну КСС.

ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Вимірювання сили світла проводиться на розподільчому фотометрі, схема якого подана на рис.4. Розподільчий фотометр – це установка, яка призначена для вимірювання світлорозподілу у площинах, що проходять через світловий центр світильника. Суть методу полягає у покроковій фіксації значень сили світла СП при його повороті на заданий кут.

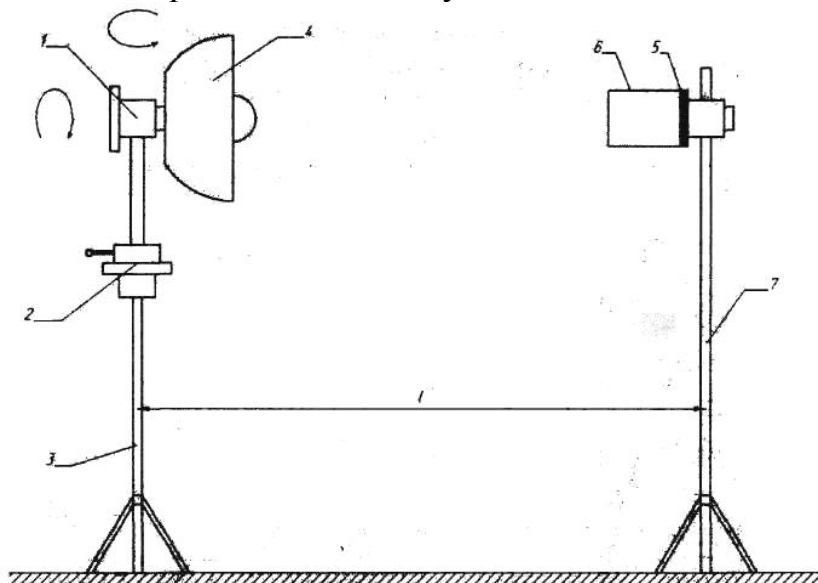


Рисунок 4 – Схема розподільчого фотометра:

1 – вузол кріплення приладу, 2 – поворотний пристрій, 3 – стійка, 4 – досліджуваний прилад, 5 – приймач (фоторезистор), 6 – діафрагма, 7 – стійка приймача.

Електрична схема установки показана на рис.5.

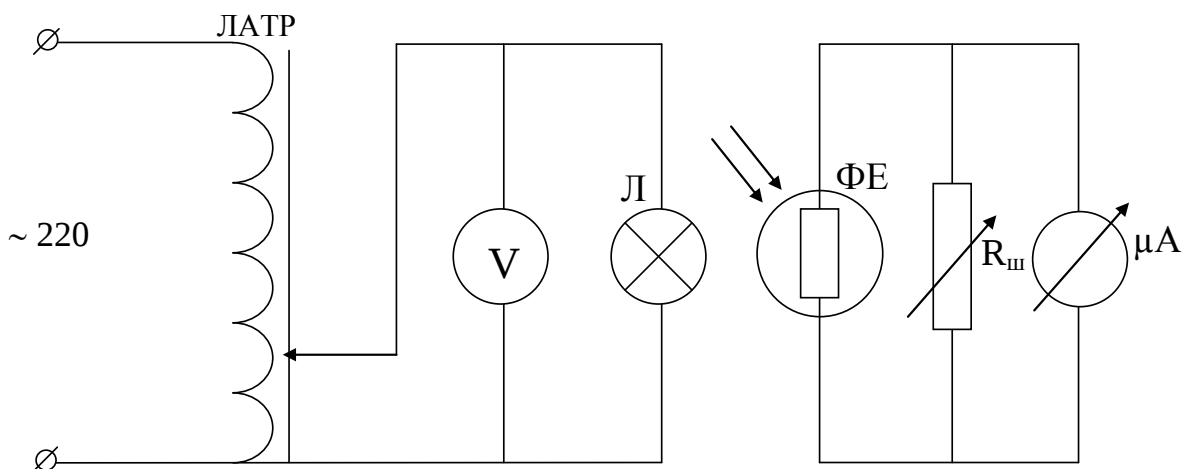


Рисунок 5 – Електрична схема вимірювальної установки:

ЛАТР – автотрансформатор, V – вольтметр, Л – лампа розжарення (в СП), ФЕ – фоторезистор ФЕС-10, $R_{ш}$ – шунт, μA – мікроампер метр М-95.

Силу світла обчислюють за формулою:

$$I = l^2 n_{\text{срі}} C,$$

де l – відстань від світлового приладу до фотоприймача. l повинна бути не менше семикратного діаметру вихідного отвору світильника;

$n_{\text{срі}}$ – усереднені покази мікроамперметра:

$$n_{\text{срі}} = \frac{n_1 + n_2}{2},$$

n_1, n_2 – покази мікроамперметра при повороті світильника на однаковий кут вправо і вліво, відповідно;

C – градувальник коефіцієнт.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Встановити у світильник (рис.5) лампу ДРЛ-80 з відомим світловим потоком $\Phi_{\text{л}} = 6300$ лм.



Рисунок 5 – Світильник для вуличного освітлення типу РКУ

2. Встановити світильник на поворотний пристрій так, щоб центр лампи співпадав з центром обертання поворотного пристрою.

3. Зібрати схему живлення, виставити номінальну напругу і включити прожектор.

4 Виставити центр робочої поверхні фотоелемента на оптичну вісь світильника на відстані фотометрування.

5. Після встановлення теплового режиму світильника почати вимірювання.

6. Встановити показники кута повороту у вертикальній і горизонтальних площинах на нульове значення.

7. Встановити необхідну границю вимірювання люксметра.

8. Зняти криві сили світла світильника у вертикальній і горизонтальній площинах. Результати вимірювань та обчислень занести в табл.1.

Таблиця 1

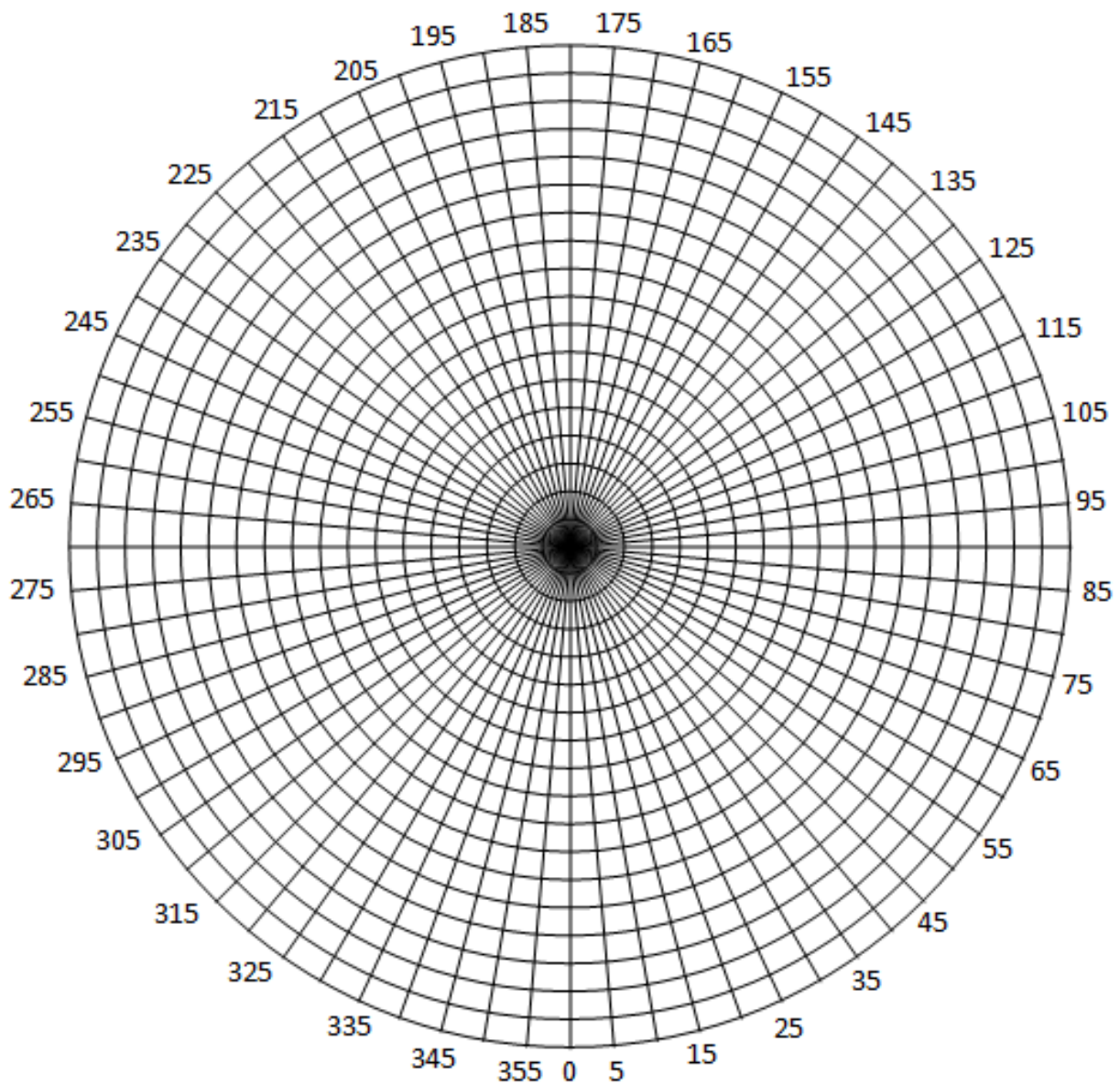
$l = \underline{\hspace{1cm}}$ м, $C = \underline{\hspace{1cm}}$ лк/под.

α , град.	n_1 , под.	n_2 , под.	n_{cp} , под.	I_e , кд	n_1 , под.	n_2 , под.	n_{cp} , под.	I_e , кд
0								
5								
10								
15								
20								
25								
30								
35								
40								
45								
50								
55								
60								
65								
70								
75								
80								
85								
90								

9. Побудувати КСС (в двох площинах) вуличного світильника в полярній системі координат.

10. За графіком визначити тип КСС світильника.

11. Обчислити коефіцієнт підсилення світильника.



КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Дати визначення світловому потоку. В яких одиницях він вимірюється?
2. Що таке фотометричне тіло?
3. Що таке КСС? Як отримуються КСС?
4. Як поділяють СП залежно від їх фотометричного тіла?
5. Що таке коефіцієнт підсилення? Як його визначають для СП з різним типом джерел світла?
6. Що таке коефіцієнт форми?
7. З яких елементів складається вимірювальна установка?
8. Що таке розподільчий фотометр?
9. Нарисуйте електричну схему вимірювальної установки. Поясніть призначення кожного приладу.
10. Яким способом визначається сила світла СП?

ДОСЛІДЖЕННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТИЛЬНИКА ЗАГАЛЬНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Мета роботи: вивчити методику вимірювання сили світла та обчислення світлового потоку за допомогою розподільчого фотометра; розрахунку світлового потоку за допомогою КСС, розрахунку ККД світильника.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Поняття про світловий розподіл світлового приладу детально описано в теоретичних відомостях лабораторних робіт 7 і 8.

У даній роботі детально розглянуто порядок розрахунку світлового потоку за кривими світлового розподілу та ККД світильника.

Поняття тілесного кута. Плоский кут може бути виражений в градусах або радіанах. В радіанній системі, яка застосовується в математиці, кут визначається через відношення довжини дуги b кола до його радіуса r :

$$\alpha = \frac{b}{r}, \text{ рад.}$$

Одиниця кута при цьому позначається радіан (рад) і отримується, коли відношення довжини дуги кола до його радіуса дорівнює числовому значенню 1. Отже, $1 \text{ рад} = 57^{\circ}17'44.8''$.

По аналогії з плоским кутом в радіанній системі можна визначити тілесний кут, а саме через відношення частини площі поверхні A , яка вирізана з кулі (рис.1).

Одиниця тілесного кута позначається стерadian (ср). Для тілесного кута в стерadianній системі має місце співвідношення

$$\Omega = \frac{A}{r^2}, \text{ ср.}$$

Якщо взяти кулю радіусом 1, то розмір тілесного кута дорівнює частині площі поверхні кулі, яка обмежує тілесний кут. Внаслідок цього максимально можливий, охоплений всією поверхнею кулі тілесний кут дорівнює 4π ср.

Позначивши одиничний тілесний кут через Ω_0 (в стерadianовій системі $\Omega_0 = 1$ ср), отримуємо

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \cdot \Omega_0.$$

$$\alpha = \frac{b_1}{r_1} = \frac{b_2}{r_2} = \dots = \frac{b}{r} \text{ рад}$$

$$\Omega = \frac{A_1}{r_1^2} = \frac{A_2}{r_2^2} = \dots = \frac{A}{r^2} \text{ ср}$$

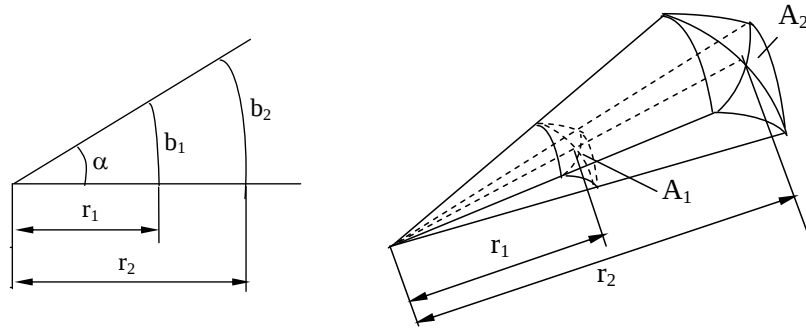


Рисунок 1 – Схема до визначення тілесного кута.

Тілесний кут може приймати різні форми, деякі приклади яких зображені на рис.2.

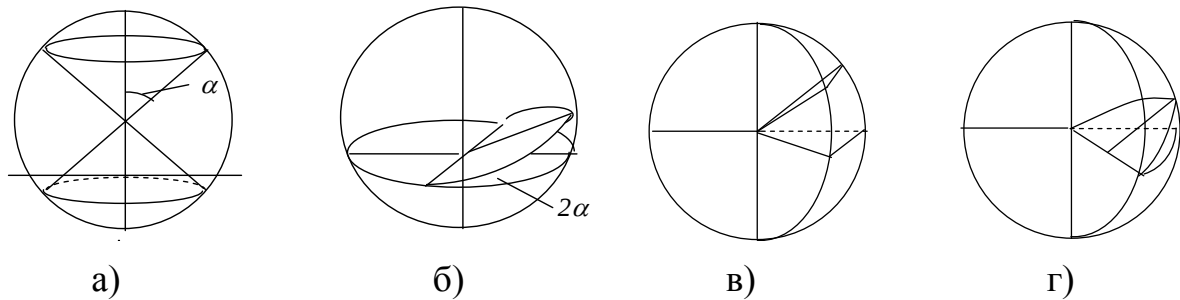


Рисунок 2 – Форми тілесного кута.

В особливих випадках, які часто трапляються на практиці, вирази для визначення тілесного кута можуть бути конкретизовані. Так, для багатьох світлотехнічних обчислень вводиться поняття елемента тілесного кута (рис.3).

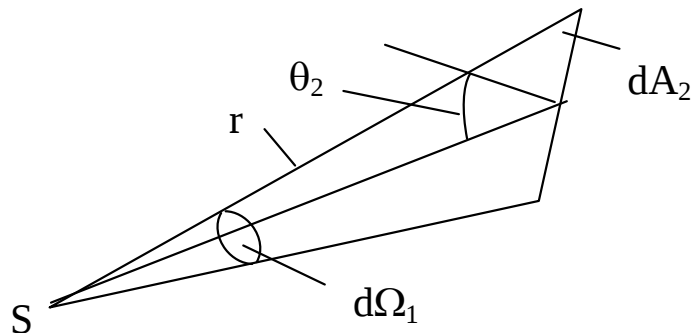


Рисунок 3 – Елемент тілесного кута

Елемент тілесного кута $d\Omega_1$ можна уявити обмеженим плоским елементом поверхні dA_2 , нормаль до якого утворює з віссю тілесного кута кут θ_2 . В цьому випадку можна замінити величину A на величину $dA_2 \cos \theta_2$. Тоді вираз для елемента тілесного кута $d\Omega_1$ прийме вигляд

$$d\Omega_1 = \frac{dA_2 \cdot \cos \theta_2}{r^2} \cdot \Omega_0$$

В оптиці часто зустрічається тілесний кут у вигляді прямого кругового конуса. Можна зробити висновок, що для тілесного кута цього виду існує зв'язок

$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot \Omega_0.$$

Тут $A = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h = 2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot (1 - \cos \alpha)$ – площа склепіння кулі;

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \cdot \Omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot \Omega_0 \text{ – тілесний кут.}$$

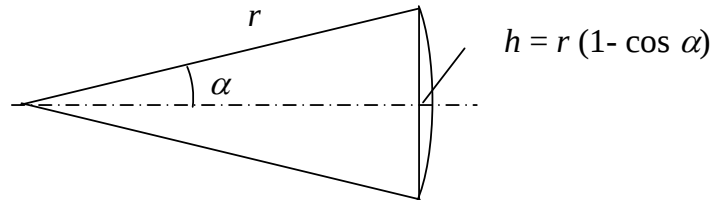


Рисунок 24 – Осьовий переріз тілесного кута форми прямого кругового конуса.

Після нескладних перетворень попередній вираз приймає вигляд

$$\Omega = 4 \cdot \pi \cdot \left(\sin^2 \frac{\alpha}{2} \right) \cdot \Omega_0.$$

Останній вираз є зручний для розрахунків в логарифмічній формі.

Зрозумілим є співвідношення для тілесного кута $\Delta\Omega$, який розміщена між бічними поверхнями двох прямих кругових конусів зі спільною вершиною (рис.5).

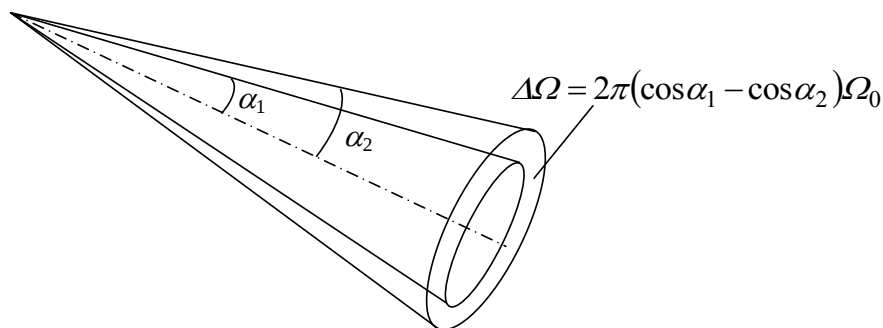


Рисунок 5 – Зона тілесного кута.

Позначивши внутрішній вертикальний кут через α_1 , а зовнішній – через α_2 , отримаємо рівність

$$\Delta\Omega = 2\pi(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \Omega_0.$$

Часто використовується поняття проекції тілесного кута $\Omega_p = \int \cos \theta \cdot d\Omega$.

З рис.6 зрозуміло, що це паралельна проекція поверхні одиничної кулі, яка обмежує тілесний кут Ω , в площині елемента площі dA .

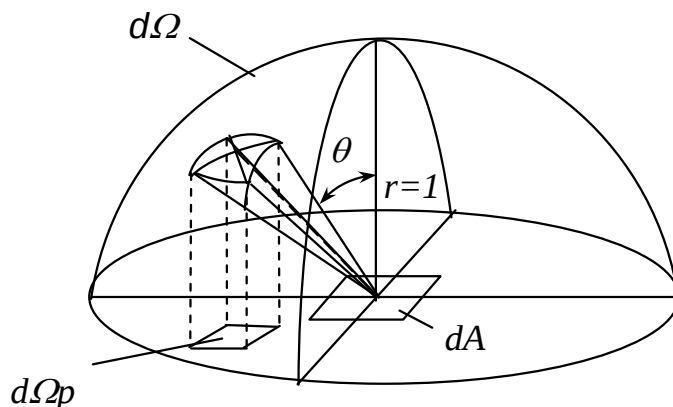


Рисунок 6 – Схема до визначення проекції тілесного кута.

Якщо тілесний кут має форму прямого кругового конуса з половинним кутом розкриття α , то справджується рівність

$$\Omega_p = \int \cos \theta \cdot d\Omega = \pi \cdot \Omega_0 \cdot \sin^2 \alpha.$$

Визначення світлового потоку за кривими сил світла. Сумарний світловий потік можна визначити на основі результатів вимірювання просторового розподілу сили світла. Цей метод не вимагає еталонних джерел світла і є найбільш точним в порівнянні з методом вимірювання в інтегральному фотометрі.

Повний світловий потік джерела для рівномірно розподіленого в просторі потоку світла

$$\Phi = I\Omega.$$

Нерівномірно розподілений в просторі світловий потік визначають знаходженням елементарних потоків випромінювання $d\Phi$ і їх сумуванням по всіх напрямку простору, що характеризується кутами α і β :

$$\Phi = \int_{\Omega} I(\alpha, \beta) d\Omega.$$

Елементарний тілесний кут $d\Omega$, в межах якого світловий потік можна вважати рівномірно розподіленим, може бути виражений у сферичній системі координат через елементарно малі плоскі кути $d\alpha$ і $d\beta$:

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} = \sin \beta d\alpha d\beta.$$

Повний світловий потік:

$$\Phi = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} I(\alpha, \beta) \sin \beta d\alpha d\beta,$$

де $I(\alpha, \beta)$ – функція, що описує силу світла джерела з довільним розподілом випромінювання.

Для СП з круглосиметричним світловим розподілом, заданим аналітично $I(\alpha)$, легко підрахувати потік випромінювання такого джерела:

$$\Phi = 2\pi \int_{\alpha_1}^{\alpha_{\max}} I_{\alpha} \sin \alpha d\alpha,$$

де Φ – потік випромінювання джерела;

α_1, α_n – кути, що визначають ту частину простору, у межах якої джерело випромінює потік.

Якщо розподіл сили світла в просторі задано поздовжньою кривою і математичного виразу цієї кривої немає, то визначення світлового потоку проводиться шляхом сумування потоків випромінювання, укладених в окремих зональних тілесних кутах. Область кутів α від 0° до 180° розбивають на 10-градусні чи 5-градусні зони. В межах кожної зони визначають світловий потік, приймаючи за силу світла зони середнє значення сил світла, що відповідають її краям.

Таким чином, світловий потік джерела, для якого відома поздовжня крива сили випромінювання, легко визначається по наступній формулі:

$$\Phi = 2\pi \sum_{\alpha=0^\circ}^{\alpha_{\max}} (\cos \alpha_i - \cos \alpha_{i-1}) I_{\alpha_{icp}} = \sum_{\alpha=0^\circ}^{\alpha_{\max}} I_{\alpha_{icp}} \Omega_{\alpha},$$

де I_{α} – сила світла в напрямку кута α ;

Ω_{α} – зональний тілесний кут, що відповідає напрямку α_i ;

$\alpha_{\max}$ – максимальне значення α_i . Для прожекторів α_i відповідає значенню при $I_{\alpha} = 0,1I_0$.

Цей метод розрахунку світлового потоку називається методом зональних тілесних кутів

Для СП, фотометричне тіло яких має площину симетрії, і аналітичний вираз його світлорозподілу $I(\alpha, \beta)$ невідомий, світловий потік визначається за формулою:

$$\Phi = 4 \sum_{\alpha=0}^{\alpha_{\max}} \cdot \sum_{\beta=0}^{\beta_{\max}} I_{\alpha\beta} \Omega_{\alpha\beta},$$

де $I_{\alpha\beta}$ – сила світла СП в напрямку, заданому кутами α і β ;

$\Omega_{\alpha\beta}$ – тілесний кут, що виділяється в просторі з зонального кута Ω_{α} двома повздовжніми площинами, що задаються кутами β ;

$\beta_{\max}$ – максимальне значення кута β , при якому СП випромінює. Для прожекторів $\beta_{\max}$ – значення кута, при якому $I_{\alpha\beta} = 0,1I_0$.

ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Вимірювання сили світла проводиться на розподільчому фотометрі, схема якого подана у методичних вказівках до лабораторних робіт 6-8. Розподільчий фотометр – це установка, яка призначена для вимірювання світлорозподілу у площинах, що проходять через світловий центр світильника. Суть методу

полягає у покроковій фіксації значень сили світла СП при його повороті на заданий кут.

Силу світла обчислюють за формулою:

$$I = l^2 n_{cpi} C,$$

де l – відстань від світлового приладу до фотоприймача. l повинна бути не менше семикратного діаметру вихідного отвору світильника;

n_{cpi} – усереднені покази мікроамперметра:

$$n_{cpi} = \frac{n_1 + n_2}{2},$$

n_1, n_2 – покази мікроамперметра при повороті світильника на однаковий кут вправо і вліво, відповідно;

C – градувальник коефіцієнт.

ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Встановити у світильник загального освітлення (рис. 7) лампу ДРЛ-80 з світловим потоком $\Phi_{\lambda} = 6300$ лм.



Рисунок 7 – Світильник загального освітлення

2. Встановити світильник на поворотний пристрій так, щоб центр лампи співпадав з центром обертання поворотного пристрою.

3. Зібрати схему живлення, виставити номінальну напругу і включити світильник.

4 Виставити центр робочої поверхні фотоелемента на оптичну вісь світильника на відстані фотометрування.

5. Після встановлення теплового режиму світильника почати вимірювання.

6. Встановити показник кута повороту на нульове значення.

7. Встановити необхідну границю вимірювання люксметра, використовуючи при необхідності нейтральні світлофільтри.

8. Зняти криві сили світла світильника у горизонтальній площині. Результати вимірювань та обчислень занести в табл.1.

Таблиця 1

$l = \underline{\hspace{2cm}}$ м, $C = \underline{\hspace{2cm}}$ лк/под.

α , град.	n_1 , под.	n_2 , под.	n_{cp} , под.	I , кд
0	16	16		
5	16	15		
10	15	15		
15	13	14		
20	12	13		
25	11	12		
30	9	11		
35	9	11		
40	8	10		
45	8	9		
50	7	9		
55	6	8		
60	6	8		
65	5	7		
70	5	5		
75	5	4		
80	4	4		
85	2	3		
90	0	1		

9. Побудувати КСС світильника в полярній системі координат.

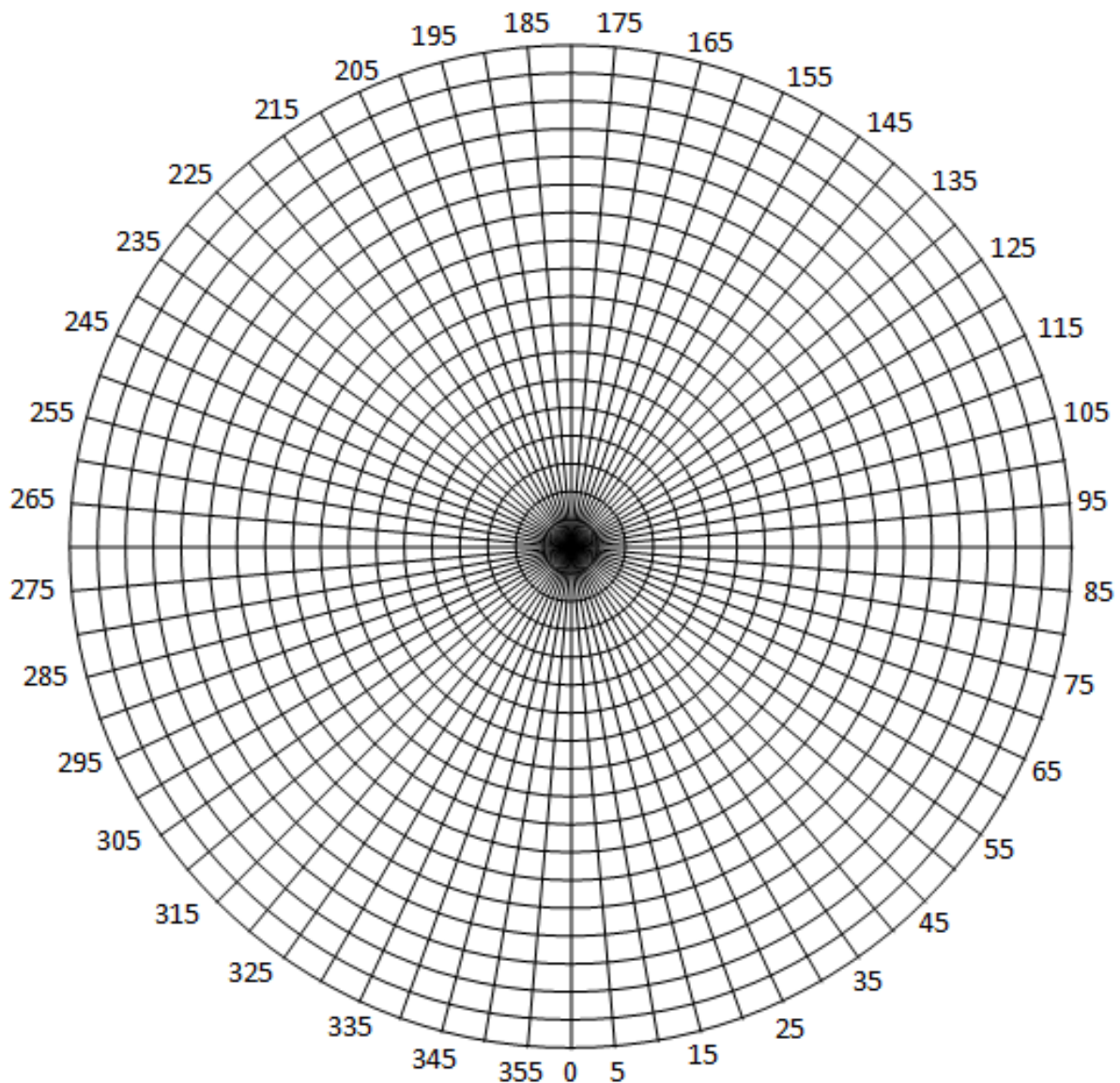
10. Встановити тип КСС, клас світильника за світлорозподілом.

11. Обчислити світловий потік світильника за формулою

$$\Phi = 2\pi \sum_{\alpha_i=0^\circ}^{\alpha_{\max}} (\cos \alpha_i - \cos \alpha_{i+1}) I_{\alpha_{icp}} = \sum_{\alpha_i=0^\circ}^{\alpha_{\max}} I_{\alpha_{icp}} \Omega_\alpha$$

12. Визначити ККД світильника.

13. Обчислити коефіцієнт підсилення світильника.



КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Дати визначення світловому потоку. В яких одиницях він вимірюється?
2. Що таке фотометричне тіло?
3. Що таке КСС? Як отримуються КСС?
4. Як поділяють СП залежно від їх фотометричного тіла?
5. Що таке коефіцієнт підсилення? Як його визначають для СП з різним типом джерел світла?
6. Які є класи світильників за світлорозподілом? За якою ознакою утворюються ці класи?
7. Що таке коефіцієнт форми?
8. З яких елементів складається вимірювальна установка?
9. Яким способом визначається сила світла СП?
10. Що таке тілесний кут? Поясніть метод визначення світлового потоку методом зональних кутів.

ДОСЛІДЖЕННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТЛОВОГО ПРИЛАДУ ПРОЖЕКТОРНОГО КЛАСУ ПАРАБОЛОЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ

Мета роботи: вивчити методику вимірювання сили світла за допомогою розподільчого фотометра; визначення параметрів СП за допомогою КСС.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Світловий розподіл прожектора. КСС прожектора, як і світильника, може бути зображена в полярній системі координат (рис.1).

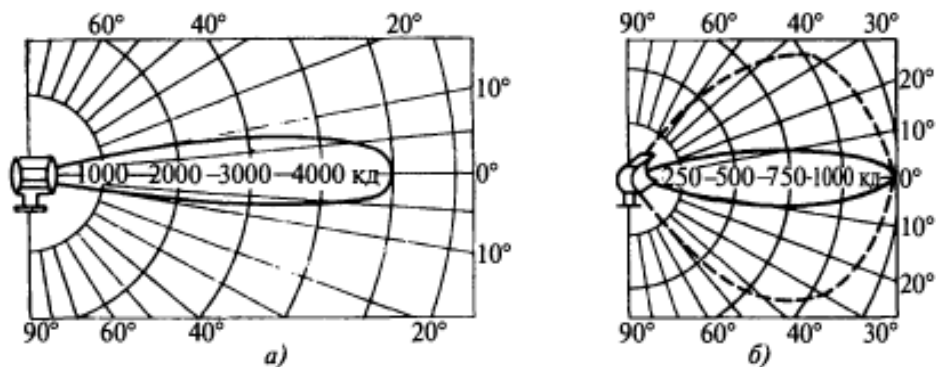


Рисунок 1 – КСС осесиметричних прожекторів: а) з однією віссю симетрії; б) з двома осями симетрії.

Проте при значній концентрації світлового потоку в СП прожекторного типу користуватися кривими в полярній системі координат приводить до суттєвих похибок. Тому світлорозподіл прожекторів прийнято характеризувати КСС в прямокутній системі координат, в якій за вісь ординат приймається напрям оптичної осі прожектора (максимальної сили світла), а по осі абсцис відкладаються значення кутів розсіювання в горизонтальній площині, що проходить через вісь прожектора. На рис.2 показано КСС СП прожекторного класу

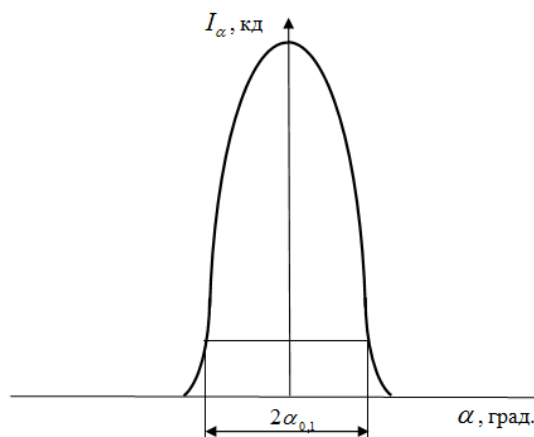


Рисунок 2 – КСС осесиметричного прожектора.

Говорячи про кути розсіювання світлового потоку прожектора, користуються поняттям **номінального (корисного) кута розсіювання** – кутова ширина пучка випромінювання прожектора $2\alpha_{0,1}$, в межах якого значення сили світла зменшується до $0,1 I_{\max}$.

Визначення світлового потоку за кривими сил світла. Сумарний світловий потік можна визначити на основі результатів вимірювання просторового розподілу сили світла. Цей метод не вимагає еталонних джерел світла і є найбільш точним в порівнянні з методом вимірювання в інтегральному фотометрі.

Повний світловий потік джерела для рівномірно розподіленого в просторі потоку світла

$$\Phi = I\Omega.$$

Нерівномірно розподілений в просторі світловий потік визначають знаходженням елементарних потоків випромінювання $d\Phi$ і їх сумуванням по всіх напрямку простору, що характеризується кутами α і β :

$$\Phi = \int_{\Omega} I(\alpha, \beta) d\Omega.$$

Елементарний тілесний кут $d\Omega$, в межах якого світловий потік можна вважати рівномірно розподіленим, може бути виражений у сферичній системі координат через елементарно малі плоскі кути $d\alpha$ і $d\beta$:

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} = \sin \beta d\alpha d\beta.$$

Повний світловий потік:

$$\Phi = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} I(\alpha, \beta) \sin \beta d\alpha d\beta,$$

де $I(\alpha, \beta)$ – функція, що описує силу світла джерела з довільним розподілом випромінювання.

Для СП з круглосиметричним світловим розподілом, заданим аналітично $I(\alpha)$, легко підрахувати потік випромінювання такого джерела:

$$\Phi = 2\pi \int_{\alpha_1}^{\alpha_{\max}} I_{\alpha} \sin \alpha d\alpha,$$

де Φ – потік випромінювання джерела;

α_1, α_n – кути, що визначають ту частину простору, у межах якої джерело випромінює потік.

Якщо розподіл сили світла в просторі задано поздовжньою кривою і математичного виразу цієї кривої немає, то визначення світлового потоку проводиться шляхом сумування потоків випромінювання, укладених в окремих зональних тілесних кутах. Область кутів α від 0° до 180° розбивають на 10-градусні чи 5-градусні зони. В межах кожної зони визначають світловий потік, приймаючи за силу світла зони середнє значення сил світла, що відповідають її краям.

Таким чином, світловий потік джерела, для якого відома поздовжня крива сили випромінювання, легко визначається по наступній формулі:

$$\Phi = 2\pi \sum_{\alpha=0}^{\alpha_{\max}} (\cos \alpha_i - \cos \alpha_{i-1}) I_{\alpha_{icp}} = \sum_{\alpha=0}^{\alpha_{\max}} I_{\alpha_{icp}} \Omega_{\alpha},$$

де I_{α} – сила світла в напрямку кута α ;

Ω_{α} – зональний тілесний кут, що відповідає напрямку α_i ;

$\alpha_{\max}$ – максимальне значення α_i . Для прожекторів α_i відповідає значенню при $I_{\alpha} = 0,1I_0$.

Цей метод розрахунку світлового потоку називається методом зональних тілесних кутів

Для СП, фотометричне тіло яких має площину симетрії, і аналітичний вираз його світлорозподілу $I(\alpha, \beta)$ невідомий, світловий потік визначається за формулою:

$$\Phi = 4 \sum_{\alpha=0}^{\alpha_{\max}} \sum_{\beta=0}^{\beta_{\max}} I_{\alpha\beta} \Omega_{\alpha\beta},$$

де $I_{\alpha\beta}$ – сила світла СП в напрямку, заданому кутами α і β ;

$\Omega_{\alpha\beta}$ – тілесний кут, що виділяється в просторі з зонального кута Ω_{α} двома повздовжніми площинами, що задаються кутами β ;

$\beta_{\max}$ – максимальне значення кута β , при якому СП випромінює. Для прожекторів $\beta_{\max}$ – значення кута, при якому $I_{\alpha\beta} = 0,1I_0$.

ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Вимірювання сили світла проводиться на розподільчому фотометрі, схема якого подана у методичних вказівках до лабораторних робіт 6-8. Розподільчий фотометр – це установка, яка призначена для вимірювання світлорозподілу у площинах, що проходять через світловий центр світильника. Суть методу полягає у покроковій фіксації значень сили світла СП при його повороті на заданий кут.

Силу світла обчислюють за формулою:

$$I = l^2 n_{cpi} C,$$

де l – відстань від світлового приладу до фотоприймача. l повинна бути не менше семикратного діаметру вихідного отвору світильника;

n_{cpi} – усереднені покази мікроамперметра:

$$n_{cpi} = \frac{n_1 + n_2}{2},$$

n_1, n_2 – покази мікроамперметра при повороті світильника на однаковий кут вправо і вліво, відповідно;

C – градуювальник коефіцієнт.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Встановити прожектор (рис.1) на поворотний пристрій так, щоб центр лампи співпадав з центром обертання поворотного пристрою.



Рисунок 3 – Параболоциліндричний прожектор

2. Зібрати схему живлення, виставити номінальну напругу і включити прожектор.

3 Виставити центр робочої поверхні фотоелемента на оптичну вісь прожектора на відстані фотометрування.

4. Після встановлення теплового режиму прожектора почати вимірювання.

5. Встановити показники кута повороту у вертикальній і горизонтальних площинах на нульове значення.

6. Встановити необхідну границю вимірювання мікроамперметра.

7. Зняти криві сили світла прожектора у вертикальній і горизонтальній площинах. Результати вимірювань та обчислень занести в табл.1.

Таблиця 1

 $l =$ _____ $m, C =$ _____

α , град.	n_1 , под.	n_2 , под.	n_{cp} , под.	I_e , кД	n_1 , под.	n_2 , под.	n_{cp} , под.	I_e , кД
0								
5								
10								
15								
20								
25								
30								
35								
40								
45								
50								
55								
60								
65								
70								
75								
80								
85								
90								

8. Побудувати КСС прожектора в декартовій системі координат. За графіком визначити кути розсіювання $2\alpha_e$ і $2\alpha_g$, при яких сила світла прожектора дорівнює $0,1 I_{\max}$, та максимальну силу світла $I_{\max}$.

9. Обчислити коефіцієнт підсилення прожектора.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке фотометричне тіло?
2. Що таке КСС? Як отримуються КСС?
3. Як поділяють СП залежно від їх фотометричного тіла?
4. Що таке коефіцієнт підсилення? Як його визначають для СП з різним типом джерел світла?
5. З яких елементів складається вимірювальна установка?
6. Що таке розподільчий фотометр?
7. Нарисуйте електричну схему вимірювальної установки. Поясніть призначення кожного приладу.
8. Яким способом визначається сила світла СП?
9. Що таке кут розсіювання? Чому від дорівнює?
10. Що таке тілесний кут? Поясніть метод визначення світлового потоку методом зональних кутів.

ДОСЛІДЖЕННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТЛОВОГО ПРИЛАДУ ПРОЖЕКТОРНОГО КЛАСУ ПАРАБОЛОКРУГОВОЇ ФОРМИ

Мета роботи: вивчити методику вимірювання сили світла та обчислення світлового потоку за допомогою розподільного фотометра; розрахунку світлового потоку за допомогою КСС.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Світловий розподіл прожектора. КСС прожектора, як і світильника, може бути зображена в полярній системі координат (рис.1).

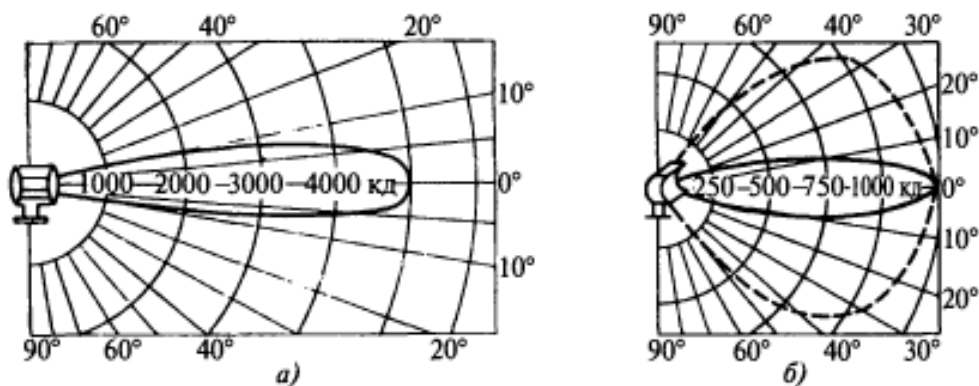


Рисунок 1 – КСС осесиметричних прожекторів: а) з однією віссю симетрії; б) з двома осями симетрії.

Проте при значній концентрації світлового потоку в СП прожекторного типу користуватися кривими в полярній системі координат приводить до суттєвих похибок. Тому світлорозподіл прожекторів прийнято характеризувати КСС в прямокутній системі координат, в якій за вісь ординат приймається напрям оптичної осі прожектора (максимальної сили світла), а по осі абсцис відкладаються значення кутів розсіювання в горизонтальній площині, що проходить через вісь прожектора. На рис.2 показано КСС СП прожекторного класу

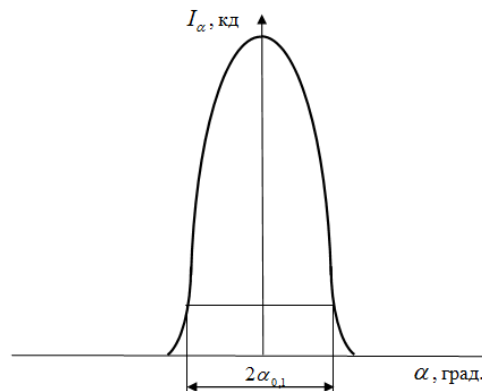


Рисунок 2 – КСС осесиметричного прожектора.

Говорячи про кути розсіювання світлового потоку прожектора, користуються поняттям **номінального (корисного) кута розсіювання** – кутова ширина пучка випромінювання прожектора $2\alpha_{0,1}$, в межах якого значення сили світла зменшується до $0,1 I_{\max}$.

Визначення світлового потоку за кривими сил світла. Сумарний світловий потік можна визначити на основі результатів вимірювання просторового розподілу сили світла. Цей метод не вимагає еталонних джерел світла і є найбільш точним в порівнянні з методом вимірювання в інтегральному фотометрі.

Повний світловий потік джерела для рівномірно розподіленого в просторі потоку світла

$$\Phi = I\Omega.$$

Нерівномірно розподілений в просторі світловий потік визначають знаходженням елементарних потоків випромінювання $d\Phi$ і їх сумуванням по всіх напрямку простору, що характеризується кутами α і β :

$$\Phi = \int_{\Omega} I(\alpha, \beta) d\Omega.$$

Елементарний тілесний кут $d\Omega$, в межах якого світловий потік можна вважати рівномірно розподіленим, може бути виражений у сферичній системі координат через елементарно малі плоскі кути $d\alpha$ і $d\beta$:

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} = \sin \beta d\alpha d\beta.$$

Повний світловий потік:

$$\Phi = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} I(\alpha, \beta) \sin \beta d\alpha d\beta,$$

де $I(\alpha, \beta)$ – функція, що описує силу світла джерела з довільним розподілом випромінювання.

Для СП з круглосиметричним світловим розподілом (рис.1), заданим аналітично $I(\alpha)$, легко підрахувати потік випромінювання такого джерела:

$$\Phi = 2\pi \int_{\alpha_1}^{\alpha_{\max}} I_{\alpha} \sin \alpha d\alpha,$$

де Φ – потік випромінювання джерела;

α_1, α_n – кути, що визначають ту частину простору, у межах якої джерело випромінює потік.



Рисунок 3 – Світлодіодний прожектор LP 10 Вт

Якщо розподіл сили світла в просторі задано поздовжньою кривою і математичного виразу цієї кривої немає, то визначення світлового потоку проводиться шляхом сумування потоків випромінювання, укладених в окремих зональних тілесних кутах. Область кутів α від 0° до 180° розбивають на 10-градусні чи 5-градусні зони. В межах кожної зони визначають світловий потік, приймаючи за силу світла зони середнє значення сил світла, що відповідають її краям.

Таким чином, світловий потік джерела, для якого відома поздовжня крива сили випромінювання, легко визначається по наступній формулі:

$$\Phi = 2\pi \sum_{\alpha=0^\circ}^{\alpha_{\max}} (\cos \alpha_i - \cos \alpha_{i-1}) I_{\alpha_{\text{ср}}} = \sum_{\alpha=0^\circ}^{\alpha_{\max}} I_{\alpha_{\text{ср}}} \Omega_{\alpha},$$

де I_{α} – сила світла в напрямку кута α ;

Ω_{α} – зональний тілесний кут, що відповідає напрямку α_i ;

$\alpha_{\max}$ – максимальне значення α_i . Для прожекторів α_i відповідає значенню при $I_{\alpha} = 0,1I_0$.

Цей метод розрахунку світлового потоку називається методом зональних тілесних кутів

Для СП, фотометричне тіло яких має площину симетрії, і аналітичний вираз його світлорозподілу $I(\alpha, \beta)$ невідомий, світловий потік визначається за формулою:

$$\Phi = 4 \sum_{\alpha=0}^{\alpha_{\max}} \sum_{\beta=0}^{\beta_{\max}} I_{\alpha\beta} \Omega_{\alpha\beta},$$

де $I_{\alpha\beta}$ – сила світла СП в напрямку, заданому кутами α і β ;

$\Omega_{\alpha\beta}$ – тілесний кут, що виділяється в просторі з зонального кута Ω_{α} двома повздовжніми площинами, що задаються кутами β ;

$\beta_{\max}$ – максимальне значення кута β , при якому СП випромінює. Для прожекторів $\beta_{\max}$ – значення кута, при якому $I_{\alpha\beta} = 0,1I_0$.

ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Вимірювання сили світла проводиться на розподільчому фотометрі, схема якого подана у методичних вказівках до лабораторних робіт 6-8. Розподільчий фотометр – це установка, яка призначена для вимірювання світлорозподілу у площинах, що проходять через світловий центр світильника. Суть методу полягає у покроковій фіксації значень сили світла СП при його повороті на заданий кут.

Силу світла обчислюють за формулою:

$$I = l^2 n_{\text{срі}} C,$$

де l – відстань від світлового приладу до фотоприймача. l повинна бути не менше семикратного діаметру вихідного отвору світильника;

$n_{\text{срі}}$ – усереднені покази мікроамперметра:

$$n_{\text{срі}} = \frac{n_1 + n_2}{2},$$

n_1, n_2 – покази мікроамперметра при повороті світильника на однаковий кут вправо і вліво, відповідно;

C – градувальник коефіцієнт.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Встановити прожектор на поворотний пристрій так, щоб центр джерела світла співпадав з центром обертання поворотного пристрою.

2. Зібрати схему живлення, виставити номінальну напругу і включити прожектор.

3 Виставити центр робочої поверхні фотоелемента на оптичну вісь прожектора на відстані фотометрування.

4. Після встановлення теплового режиму прожектора почати вимірювання.

5. Встановити показник кута повороту на нульове значення.

6. Встановити необхідну границю вимірювання мікроамперметра.

7. Зняти криві сили світла прожектора у горизонтальній площині. Результати вимірювань та обчислень занести в табл.1.

Таблиця 1

 $l =$ _____ $m, C =$ _____

α , град.	n_1 , под.	n_2 , под.	n_{cp} , под.	I , кд
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

9. Побудувати КСС прожектора в декартовій системі координат. За графіком визначити кути розсіювання $2\alpha_2$ і $2\alpha_6$, при яких сила світла прожектора дорівнює $0,1 I_{\max}$, та максимальну силу світла $I_{\max}$.

10. Обчислити світловий потік прожектора за формулою

$$\Phi = 2\pi \sum_{\alpha=0^\circ}^{\alpha_{\max}} (\cos \alpha_i - \cos \alpha_{i-1}) I_{\alpha_{icp}} = \sum_{\alpha=0^\circ}^{\alpha_{\max}} I_{\alpha_{icp}} \Omega_\alpha$$

11. Визначити ККД прожектора.

12. Обчислити коефіцієнт підсилення прожектора.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке фотометричне тіло?
2. Що таке КСС? Як отримуються КСС?
3. Як поділяють СП залежно від їх фотометричного тіла?
4. Що таке коефіцієнт підсилення? Як його визначають для СП з різним типом джерел світла?
5. З яких елементів складається вимірювальна установка?
6. Що таке розподільчий фотометр?
7. Нарисуйте електричну схему вимірювальної установки. Поясніть призначення кожного приладу.
8. Яким способом визначається сила світла СП?
9. Що таке кут розсіювання? Чому він дорівнює?
10. Що таке тілесний кут? Поясніть метод визначення світлового потоку методом зональних кутів.

ЗМІСТ

Лабораторна робота №1 ВИМІРЮВАННЯ СВІТЛОВОГО ПОТОКУ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА РІЗНИХ ТИПІВ.....	3
Лабораторна робота №2 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ СВІТИЛЬНИКІВ У ФОТОМЕТРИЧНІЙ КУЛІ	13
Лабораторна робота №3 ВИЗНАЧЕННЯ ЗАХИСНИХ КУТІВ СВІТИЛЬНИКІВ З РІЗНИМИ ТИПАМИ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА.....	17
Лабораторна робота №4 ВИМІРЮВАННЯ ЯСКРАВОСТІ СВІТЛОВОГО ПРИЛАДУ	22
Лабораторна робота №5 ВИМІРЮВАННЯ ОСВІТЛЕНОСТІ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ ВІД СВІТИЛЬНИКА МІСЦЕВОГО ОСВІТЛЕННЯ	27
Лабораторна робота №6 ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ СВІТЛА СВІТИЛЬНИКА З МАТОВАНИМ ВІДБИВАЧЕМ.....	35
Лабораторна робота №7 ДОСЛІДЖЕННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЮМІНЕСЦЕНТНОГО СВІТИЛЬНИКА.....	42
Лабораторна робота №8 ДОСЛІДЖЕННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТИЛЬНИКА ДЛЯ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ.....	53
Лабораторна робота №9 ДОСЛІДЖЕННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТИЛЬНИКА ЗАГАЛЬНОГО ОСВІТЛЕННЯ	62
Лабораторна робота №10 ДОСЛІДЖЕННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТЛОВОГО ПРИЛАДУ ПРОЖЕКТОРНОГО КЛАСУ ПАРАБОЛОЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ	70
Лабораторна робота №11 ДОСЛІДЖЕННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТЛОВОГО ПРИЛАДУ ПРОЖЕКТОРНОГО КЛАСУ ПАРАБОЛОКРУГОВОЇ ФОРМИ.....	75