

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

А. С. Литвиненко

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для виконання лабораторних робіт
із навчальної дисципліни
«СВІТЛОВІ ПРИЛАДИ»
(для студентів денної і заочної форм навчання
напряму підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології,
фахове спрямування «Світлотехніка і джерела світла»)

Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2017

Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Світлові прилади» (для студентів денної і заочної форм навчання напряму підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології, фахове спрямування «Світлотехніка і джерела світла») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. А. С. Литвиненко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 58 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. А. С. Литвиненко

Рецензент канд. фіз-мат. наук, доц. Г. О. Петченко

Розглянуто на засіданні кафедри Світлотехніка і джерела світла,
протокол № 7 від 23.03.2017 р.

ЗМІСТ

Стор.

Основні поняття і величини.	4
Світлова система величин	9
Основні характеристики світлових приладів	11
Лабораторна робота №1 Дослідження світильників місцевого освітлення	14
Лабораторна робота №2 Дослідження світлотехнічних характеристик світильників загального освітлення..	19
Лабораторна робота №3 Дослідження дифузійного світильника з ґратчастим затінювачем.	23
Лабораторна робота №4 Дослідження приладу прожекторного класу з параболоїдним відбивачем.	26
Лабораторна робота №5 Дослідження світлотехнічних матеріалів	33
Лабораторна робота №6 Дослідження світлових характеристик лампи-фари.	41
Лабораторна робота №7 Дослідження теплового режиму настільного світильника з відкритим розсіювачем.	47
Лабораторна робота №8 Дослідження характеристик світлодіодів.	51
Список рекомендованої літератури	57

ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВЕЛИЧИНИ

Випромінювання є однією з форм існування матерії у вигляді електромагнітного поля і має хвильові й корпускулярні властивості.

Енергію оптичного випромінювання прийнято називати променистою енергією. Джерелом променистої енергії є будь-яке тіло, температура якого вище абсолютного нуля.

Фотон - елементарна частка випромінювання, енергія якої квант (мінімальна порція енергії, випромінюваної атомом при поверненні з більш високого енергетичного рівня в первісний стан) дорівнює

$$\varepsilon = h\nu ,$$

де ε - квант енергії випромінювання, Дж; h - стала Планка, що дорівнює $6,626 \times 10^{-34}$ Дж·с; ν - частота випромінювання, Гц.

У вакуумі фотони рухаються з максимально можливою швидкістю $c_0 \approx 2,9979 \cdot 10^8$ м/с (швидкість світла). При проходженні фотона через речовину його швидкість зменшується і визначається властивостями речовини. Наприклад, при проходженні випромінювання через скло швидкість руху фотона стає рівною

$c = \frac{c_0}{n}$, де n - показник заломлення скла (для скла марки К8 $n = 1,51$). При цьому слід пам'ятати, що частота випромінювання не змінюється, колір променя, що проходить через скло, не змінюється.

Випромінювання характеризується *довжиною хвилі*, під якою розуміється відстань, яку проходить випромінювання за час повного періоду коливань. Довжина хвилі випромінювання і частоти фотона у вакуумі зв'язані співвідношенням

$$\lambda = \frac{c_0}{\nu} ,$$

де λ - довжина хвилі, нм; c_0 - швидкість світла, м/с; ν - частота, Гц.

Генераторами випромінювання є рухливі молекули й атоми речовини.

Під *монохроматичним випромінюванням* розуміється сукупність фотонів, які виділяються джерелом випромінювання, що мають *практично* однакову довжину хвилі. Ідеально монохроматичним називають випромінювання, ширина спектра якого дорівнює нулю. Реальні випромінювання не є ідеально монохроматичними. Складне випромінювання представляється як сукупність монохроматичних випромінювань. Світлотехніка має

справу з *оптичним випромінюванням*, тобто електромагнітним випромінюванням з довжинами хвиль від 1,0 нм до 1,0 мм, що лежать в області між рентгенівськими променями і радіовипромінюванням (рис. 1).

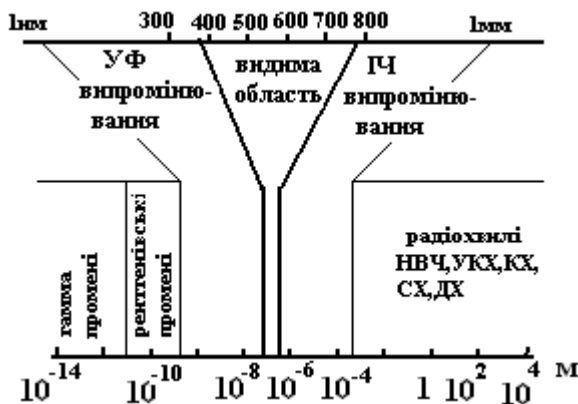


Рисунок 1— Спектр електромагнітного випромінювання

Оптична область спектра поділяється на ультрафіолетову, видиму й інфрачервону.

Ультрафіолетове випромінювання - оптичне випромінювання в межах довжин хвиль від 1,0 до 380 нм.

Видиме випромінювання - випромінювання, яке, потрапляючи на сітківку ока, викликає зорове відчуття і лежить у межах довжин хвиль від 380 до 780 нм.

Інфрачервоне випромінювання - оптичне випромінювання в межах довжин хвиль від 780 до 10^6 нм.

Спектр випромінювання - сукупність монохроматичних випромінювань, розташованих у ряд в порядку зміни довжини хвилі. Спектр може описуватися графічною, аналітичною або табличною залежністю.

Джерела випромінювання можуть мати суцільний, смуговий, лінійчатий спектр або змішаний спектр, що має суцільну і лінійчасту складові.

Спектри різних видів надано на рисунку 2.

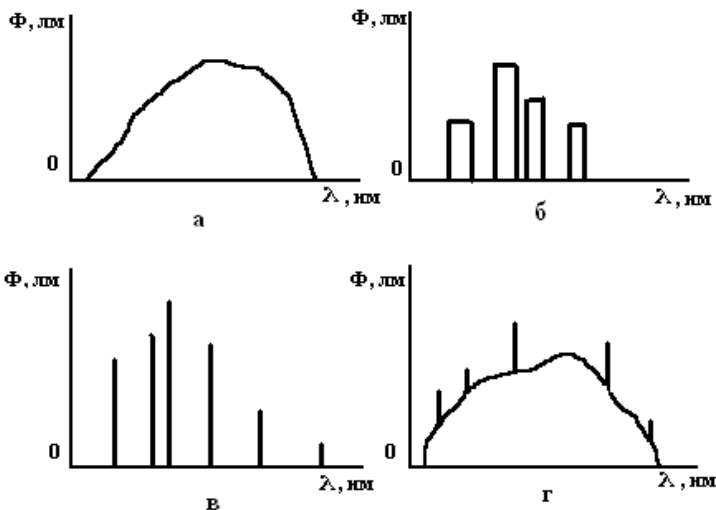


Рисунок 2 – Спектри випромінювань

Суцільний спектр - спектр, в якому монохроматичні складові заповнюють без розривів інтервал довжин хвиль, у межах якого відбувається випромінювання (рис. 2,а).

Смуговий спектр - спектр, монохроматичні складові якого утворюють дискретні групи (смуги), що складаються з багатьох тісно розташованих випромінювань (рис. 2,б).

Лінійчатий спектр - спектр, що складається з окремих, що не примикають один до одного монохроматичних випромінювань (рис. 2,в).

Змішаний спектр - спектр, що виходить у результаті додавання декількох різних спектрів (рис .2,г).

Видиме світло займає особливе місце - його можна характеризувати тим, наскільки "яскравим" воно здається *людському оку*.

Процес сприйняття світла оком дуже складний. У ньому беруть участь сітківка, зоровий нерв і головний мозок, істотну роль відіграють фізичні, фізіологічні, а також психологічні процеси. Однакове за потужністю випромінювання в різних спектральних областях око сприймає різним за яскравістю. Здатність ока по-різному оцінювати однакову променеву потужність різної довжини хвиль оптичного діапазону називається *спектральною чутливістю ока*. Для досягнення однакового сприйняття яскравості необхідно при різних довжинах хвиль використовувати різні потужності випромінювання.

Елементами оптичної системи ока є рогова оболонка, кришталік і сітківка, в якій розташовані світлочутливі рецептори двох видів - палички і колбочки. Зорові рецептори-колбочки працюють при яскравостях від 10 кд/м^2 і вище, що відповідає денним умовам освітлення. У сітківці ока міститься приблизно $7 \cdot 10^6$ колбочок, що зосереджені в центральній області. Зорові рецептори-палички працюють при малих яскравостях навколишнього простору - 10^{-2} кд/м^2 і менше, що відповідає нічному освітленню. Близько $130 \cdot 10^6$ паличок розташовано в основному на периферії сітчастої оболонки. При яскравостях від 0,01 до $10,00 \text{ кд/м}^2$ (сутінкове освітлення) колбочкові й паличкові рецептори працюють спільно. Вони з'єднуються з корою головного мозку за допомогою зорового нерва, що складається з 400000 - 800000 зорових волокон.

У процесі перетворення в зорове відчуття енергія випромінювання проходить три етапи: перший - трансформація у світлочутливих зорових рецепторах у хімічну енергію дисоціації молекул; другий - перетворення хімічної енергії в електричну енергію імпульсів струму в зорових волокнах; третій - трансформація енергії руху електронів у біологічну енергію, що викликає зорове відчуття.

Функції відносної спектральної чутливості ока називаються функціями відносної спектральної світлової ефективності випромінювання для денного і нічного зору.

Усереднена крива спектральної чутливості ока встановлена Міжнародною комісією з освітленості (МКО 1924 р.) і тепер використовується при всіх розрахунках світлової дії випромінювання (рис. 3, крива $v(\lambda)$).

Максимум цієї кривої, умовно прийнятий за одиницю, приходить на довжину хвилі $\lambda = 555 \text{ нм}$. Безперечно, що чутливість ока до випромінювання інших хвиль буде менше одиниці (при однаковій потужності). Крива $v(\lambda)$ має місце для денного зору, тобто коли працює колбочковий апарат зору при високих значеннях освітленості. В умовах нічного зору вступає в дію паличковий апарат органа зору, що реагує на дуже малі освітленості. У цьому випадку крива спектральної чутливості ока $v'(\lambda)$ буде змінена у бік більш коротких довжин хвиль стосовно кривої денного зору. Максимум цієї кривої, також прийнятий за одиницю, відповідає довжині хвилі $\lambda = 507 \text{ нм}$.

Зіставляючи криві $v(\lambda)$ і $v'(\lambda)$, потрібно мати на увазі, що максимумами їх однакові тільки умовно. У дійсності апарат палички набагато чутливіший, ніж колбочковий. Середні значення спектральної

чутливості ока для денного і нічного зору необхідні для використання в розрахунках світлотехніки.

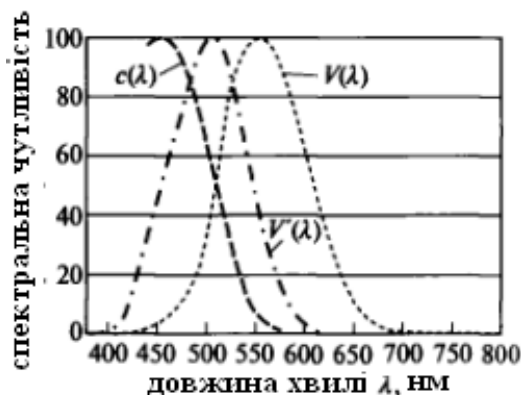


Рисунок 3 – Функція спектральної світлової ефективності для денного $V(\lambda)$, нічного $V'(\lambda)$ зору і пригнічення мелатоніну $c(\lambda)$ (циркадна дія)

Недавно встановлено, що світло сприймається не тільки паличками, але й іншими елементами сітківки, що не беруть участь у формуванні зорового сприйняття. В основному ці елементи передають енергію світла в незорові відділи головного мозку, що регулюють нейроендокринну систему організму, визначають циркадні біоритми життєдіяльності, збій яких призводить до серйозних порушень здоров'я, і впливають на загальне відчуття бадьорості, працездатності й життєстійкості, що визначає психологічне благополуччя людини - одне з основних складових поняття *здоров'я*.

Основним реєстрованим ефектом впливу світла на незорові фоторецептори сітківки є придушення активності мелатоніну - "гормону сну", опосередовано регулюючого циркадну і нейроендокринну системи організму.

Установлено, що незорові рецептори максимально чутливі до відносно короткохвильових випромінювань видимого світла і розташовані в основному в нижніх зонах сітківки ока, що визначає найбільшу ефективність біологічного впливу світла, яке містить короткохвильові випромінювання і надходить в око зверху.

Спектр найбільшого впливу на появу мелатоніну в організмі людини лежить в області від 380 до 580 нм з максимумом при 430-460 нм. У подальших дослідженнях ці величини будуть уточнюватися.

СВІТЛОВА СИСТЕМА ВЕЛИЧИН

Світловий потік - це променевий потік, що оцінюється його дією на око, відносна спектральна чутливість якого визначається усередненою кривою спектральної ефективності, затвердженої МКО.

За одиницю світлового потоку прийнятий люмен (лм), що чисельно дорівнює світловому потоку, випромінюваному в одиничному тілесному куті (стерадіан) рівноінтенсивним (рівномірним) точковим джерелом із силою світла в одну канделу (кд).

Просторову щільність світлового потоку в заданому напрямку прийнято називати *силою світла*.

Сила світла I визначається відношенням світлового потоку $d\Phi$ до тілесного кута $d\omega$, у межах якого укладений і рівномірно розподілений цей потік:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}$$

За одиницю сили світла прийнята кандела. Щільність світлового потоку по освітлюваній поверхні прийнято називати *освітленістю* і вимірювати в люксах (лк). Освітленість E чисельно дорівнює відношенню світлового потоку $d\Phi$ до площі освітлюваної поверхні dA_0 , на яку потік $d\Phi$ падає перпендикулярно і рівномірно по ній розподіляється:

$$E = \frac{d\Phi}{dA_0}.$$

Щільність випромінюваного (відбиваного) світлового потоку M по площі поверхні випромінюючого (відбиваючого) тіла A_u прийнято називати *світністю*.

$$M = \frac{d\Phi}{dA_u}, \text{ лм/м}^2.$$

Яскравість будь-якої елементарної ділянки поверхні, що світить $L_{\alpha\beta}$, визначається відношенням сили світла $dI_{\alpha\beta}$ випромінюючого елемента dA до площі його проекції $\cos\alpha dA$ на площину, перпендикулярну до заданого напрямку α, β (рис.4):

$$L_{\alpha\beta} = \frac{dI_{\alpha\beta}}{\cos\alpha dA} \quad \text{або} \quad L_{\alpha\beta} = \frac{d^2\Phi_{\alpha\beta}}{\cos\alpha dA d\omega_{\alpha\beta}}.$$

Яскравість вимірюється в канделах на квадратний метр (кд/м²).

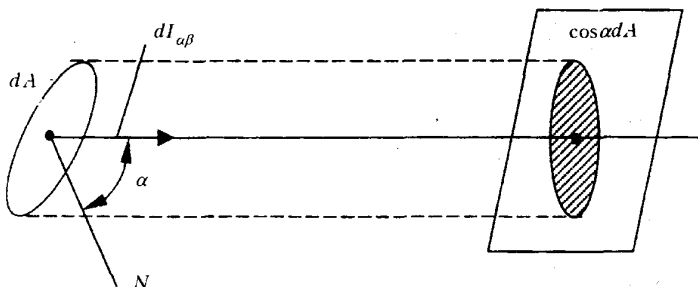


Рисунок 4 – До розрахунку яскравості поверхні, що світить.

Світлову енергію, що впала на одиницю площі поверхні освітлюваного тіла, прийнято називати *експозицією*. Експозиція визначає поверхневу щільність світлової енергії падаючого випромінювання:

$$H = \int_{t_1}^{t_2} E(t) dt,$$

де $E(t)$ - миттєве значення освітленості. При $E(t) = \text{const}$ $H = Et$. Прийнята одиниця експозиції - люкс-секунда (лк·с).

Багаторазовими вимірюваннями встановлено, що 1 Вт потоку монохроматичного випромінювання з $\lambda = 555$ нм дорівнює 683 лм світлового потоку. Отже максимальне значення спектральної чутливості ока $K_{\lambda \text{max}} = 683$ лм/Вт. Тому світловий потік складного випромінювання визначають як

$$\Phi = 683 \int_{380}^{760} \varphi_{e\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda.$$

Кожний із зазначених світлових параметрів зв'язаний зі своїм енергетичним аналогом. Наприклад:

$$L = 683 \int_{380}^{760} I_{e\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda,$$

$$- M = 683 \int_{380}^{760} m_{e\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda.$$

ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВІТЛОВИХ ПРИЛАДІВ

Якість освітлення визначається наступними характеристиками світлових приладів (СП):

- світлорозподілом;
- яскравісними характеристиками;
- структурою світлового потоку;
- світловою ефективністю;
- техніко-економічними показниками;
- безпекою;
- надійністю;
- дизайном.

Світлорозподіл у всій повноті характеризується фотометричним тілом СП. Фотометричним тілом СП називається частина його простору, обмежена поверхнею, що є геометричним місцем точок кінців радіусів-векторів сили світла в різних напрямках простору. Перетин фотометричного тіла визначеною площиною називається кривою сили світла (далі – КСС). Характеристичними площинами СП є: поздовжня (меридіональна) і поперечна (екваторіальна). Меридіональна площина - площина, що проходить через оптичну вісь СП, поперечна - площина, перпендикулярна до оптичної осі. У поздовжній площині напрямок визначається кутами α від нижнього напрямку оптичної осі. У поперечній площині напрямок визначається кутами β від сліду деякої нульової поздовжньої площини проти годинникової стрілки.

Світлорозподіл і фотометричне тіло СП характеризуються:

1) ступенем симетрії щодо оптичної осі (круглосиметричне, некруглосиметричне, що має площини симетрії);

2) напрямком максимальної сили світла (в напрямках, що прилягають до оптичної осі до $\alpha \leq 30^{\text{про}}$, - глибиновипромінювач; по інших напрямках - широковипромінювач);

3) розподілом світлового потоку між верхньою і нижньою півсферами:

$$\text{прямого випромінювання} - \frac{\Phi_{\text{ниж.п-сф}}}{\Phi_{\text{общ}}} \geq 80\%;$$

$$\text{переважно прямого випромінювання} - \frac{\Phi_{\text{ниж.п-сф}}}{\Phi_{\text{общ}}} = 60 - 80\%;$$

$$\text{розсіяного випромінювання} - \frac{\Phi_{\text{ниж.п-сф}}}{\Phi_{\text{общ}}} = 40 - 60\%;$$

переважно відбитого випромінювання - $\frac{\Phi_{\text{верх.п-сф}}}{\Phi_{\text{обиц}}} = 60 - 80\%$;

відбитого випромінювання - $\frac{\Phi_{\text{верх.п-сф}}}{\Phi_{\text{обиц}}} \geq 80\%$,

де $\Phi_{\text{ниж. п-сф}}$, $\Phi_{\text{верх. п-сф}}$, $\Phi_{\text{обиц}}$ - світлові потоки відповідно в нижню, верхню півсфери і загальний;

4) стандартними кривими сили світла:

- концентрованої;
- глибокої;
- косинусної;
- рівномірної;
- напівширокої;
- широкої;
- синусної.

Світлорозподіл СП характеризують:

1) коефіцієнт підсилення СП K_n - відношення максимальної сили світла СП I_{max} до середньосферичної сили світла джерела $I_{\text{л.сф}}$:

$$K_n = \frac{I_{\text{max}}}{I_{\text{л.сф}}} = \frac{4\pi I_{\text{max}}}{\Phi_{\text{л}}};$$

2) корисний кут розсіювання СП - плоский або тілесний кут, у межах якого сила світла СП має нормоване значення.

До яскравісних характеристик СП відносяться:

1) габаритна яскравість СП - відношення сили світла СП до площі його світлорозподіляючого пристрою;

2) захисний кут СП - кут між горизонталлю і крайовим променем відбивача (що йде від світлового центра через край відбивача).

Зайва яскравість викликає засліпленість, стомлення зорового апарата, тому максимальна габаритна яскравість СП нормується для освітлюваних приміщень різної категорії.

Відповідно до принципу Манжена сила світла I_a , створювана поверхнею, що світить, *площею* S в *напрямку* α ,

$$I_a = L_a S_a$$

де L_a - габаритна яскравість поверхні, що світить, у *напрямку* α ;

S_a - проекція площі поверхні, що світить, на площину, перпендикулярну до *напрямку* α .

За просторовим світлорозподілом СП поділяються на три класи: прожектори, проектори і світильники. СП прожекторного класу

призначені для далекого освітлення або світлової сигналізації, максимально концентрують світловий потік джерела в малих тілесних кутах. СП проєкторного класу називаються СП, що концентрують світловий потік у малому обсязі або на малій площадці. Світильники призначені для освітлення приміщень або відкритих просторів на невеликих відстанях, порівнянних з габаритами СП.

Сила світла СП залежить від відстані до нього. Вона збільшується, досягаючи максимального постійного значення на відстані повного світіння. Світлорозподіл СП вимірюється на відстанях, що перевищують відстань повного світіння.

Прилад (установка) для вимірювання світлорозподілу СП називається гоніофотометром. Він буває різної конструкції (дзеркальним, растровим та ін.). Вимірюваною величиною при дослідженні світлорозподілу СП є освітленість E_a , створювана СП на визначеній відстані R_a , звідки силу світла можна визначити за законом зворотних квадратів:

$$E_a = \frac{I_a}{R_a^2}, \quad \text{тобто} \quad I_a = E_a R_a^2.$$

Частина світлового потоку джерела втрачається усередині СП, тому світловий потік СП $\Phi_{СП}$ менше світлового потоку джерела, звідки ККД СП дорівнює відношенню світлового потоку СП до світлового потоку джерела Φ_d :

$$\eta = \frac{\Phi_{СП}}{\Phi_d}.$$

Лабораторна робота № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ СВІТИЛЬНИКІВ МІСЦЕВОГО ОСВІТЛЕННЯ

Мета роботи - провести вимірювання світлового потоку світильників місцевого освітлення.

1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

У світлотехніці, де основним приймачем випромінювання є око людини, для оцінки ефективної дії потоку випромінювання вводиться поняття світлового потоку. *Світловий потік* - це потік випромінювання, що оцінюється його дією на око, відносна спектральна чутливість якого визначається усередненою кривою спектральної ефективності, затверджені МКО.

Розподіл випромінювання реального джерела в навколишньому просторі не рівномірний. Тому світловий потік не буде вичерпною характеристикою джерела, якщо одночасно не визначається розподіл випромінювання в різних напрямках навколишнього простору. Для характеристики розподілу світлового потоку користуються поняттям просторової щільності світлового потоку, що визначається відношенням світлового потоку до тілесного кута з вершиною в точці розміщення джерела, в межах якого рівномірно розподілений цей потік, *називають силою світла*:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega},$$

де Φ - світловий потік;

ω - тілесний кут.

Одиницею сили світла є кандела. $1 \text{ кд} = 1 \text{ лм} \cdot \text{ср}^{-1}$.

Освітленість - це кількість світла або світлового потоку, що падає на одиницю площі поверхні. Вона позначається буквою E і вимірюється в люксах (лк).

Один люкс дорівнює одному люмену на метр квадратний ($\text{лм}/\text{м}^2$).

Освітленість можна визначити як щільність світлового потоку на освітлюваній поверхні:

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

де A - площа освітлюваної поверхні.

Освітленість у визначеній точці на поверхні, перпендикулярній до напрямку поширення світла, визначається як відношення сили світла до квадрата відстані від цієї точки до джерела світла. Якщо цю відстань ми прийнемо за d , то це відношення можна виразити наступною формулою:

$$E_p = \frac{I}{d^2}.$$

Це відношення називається "*закон зворотних квадратів*".

Освітленість у визначеній точці на поверхні, не перпендикулярній до напрямку поширення світла, дорівнює силі світла в напрямку точки вимірювання, розділеній на квадрат відстані між джерелом світла і точкою на площині, помноженій на косинус кута γ (γ - кут, утворений напрямком падіння світла і перпендикуляром до цієї площини).

Отже

$$E_p = \frac{I}{d^2} \cdot \cos \gamma.$$

Це закон косинуса. На рис. 1 наведена схема для розрахунку освітленості.

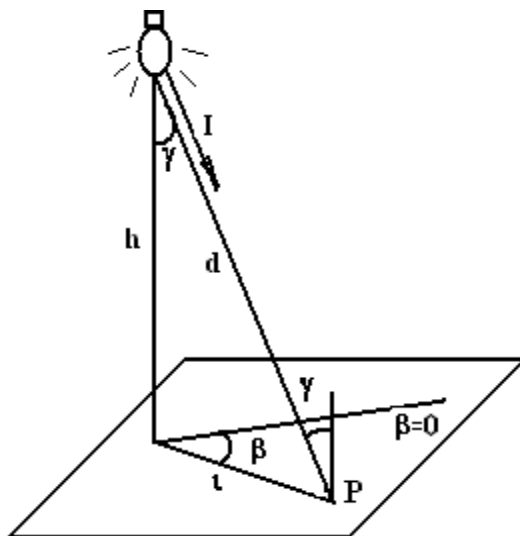


Рисунок 1 – До розрахунку освітленості

Для розрахунку *горизонтальної освітленості* доцільно змінити останню формулу, замінивши відстань d між джерелом світла і точкою вимірювання на висоту h від джерела світла до поверхні.

На рис. 1 $d = h/\cos\gamma$.

Тоді

$$E_p = \frac{I \cos^3 \gamma}{h^2}.$$

За цією формулою розраховують горизонтальну освітленість у точці вимірювання.

Освітлення тієї ж точки P у вертикальній площині, орієнтованій до джерела світла, можна представити як функцію висоти (h) джерела світла і кута падіння (γ) сили світла (I):

$$E_{\text{верт}} = \frac{I}{d^2} \sin \gamma \quad \text{і} \quad d = \frac{h}{\cos \gamma}$$

$$E_{\text{верт}} = \frac{I}{d^2} \cdot \cos(90^\circ - \gamma) \quad \cos(90^\circ - \gamma) = 2 \sin \gamma.$$

Одержуємо вираз для вертикальної освітленості:

$$E_{\text{верт}} = \frac{I}{h^2} \cos^2 \gamma \sin \gamma.$$

Для світлових приладів, застосовуваних на малих відстанях (проектори, світильники для місцевого освітлення робочих поверхонь), освітленість є єдиною характеристикою світлорозподілу. Це пояснюється тим, що для цих СП поняття тілесного кута не має сенсу, тому що його вершиною не може бути світлоперерозподільчий пристрій, що має велику кутову величину.

Часто розподіл освітленості на площині характеризується кривими $E(l)$ для $h = \text{const}$ і $\beta = \text{const}$, що будуються у прямокутній системі координат E і l і називаються елементарними кривими освітленості.

2 ОПИС УСТАНОВКИ

Установка складається з планшета з полярною системою координат (β , d) для вимірювання освітленості в різних точках планшета за допомогою люксметра від світильника місцевого освітлення. Світильник місцевого освітлення має три знімні відбивачі (дзеркальний, дифузійний, матований) і пристрій для зміни висоти h з її фіксацією.

3 ЗАВДАННЯ І ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Перед проведенням вимірювань освітленості на планшеті виставити світловий центр світильника відносно початку координат планшета. Напругу на лампі в процесі вимірювання підтримувати постійною (напругу вказує керівник).

Положення фотоелемента люксметра відносно початку координат планшета в процесі вимірювань не повинне мінятися, не допускається також затемнення фотоелемента; по можливості, для однієї висоти $h = const$ установки світильника необхідно працювати в одному діапазоні вимірювання люксметра.

Зазначені вимірювання проводять для всіх трьох змінних відбивачів:

а) виміряти й побудувати в прямокутній системі координат елементарні криві освітленості $E = f(\alpha)$ для $\beta = 0^0$ при різних висотах установки світильника над планшетом h , рівній 300, 400, 500, 600 і 700 мм (висота встановлюється щодо площини світлового отвору);

б) виміряти й побудувати дві криві рівних значень освітленості в горизонтальній площині (горизонтальні ізолюкси) при висоті установки світильника $h = 400$ мм (освітленість вказує керівник).

Вимірювання проводять в такий спосіб: фотоелемент люксметра рухається уздовж усіх радіальних ліній доти, поки стрілка приладу не покаже задане значення освітленості; при цьому фіксуються відповідні значення l_i і β_i .

Горизонтальну ізолюксу будують у полярній системі координат (являє собою копію планшета в деякому масштабі);

в) побудувати не менше трьох кривих рівної освітленості у вертикальній площині (вертикальні ізолюкси), використовуючи графіки елементарних кривих освітленості п. а). Для цього на графіку елементарних кривих освітленості для різних висот світильника над планшетом вибирають три значення освітленості так, щоб після проведення прямої $E = const$ була б більша кількість точок перетину цієї прямої з графіками елементарних кривих освітленості, при цьому для одного значення $E = const$ фіксують координати точок перетину $h_1, l_1, h_2, l_2 \dots$

Вертикальні ізолюкси будують у прямокутній системі координат h, l при $E = const$ і $\beta = 0^0$.

4 МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗВІТУ

1. Графіки елементарних кривих освітленості для зазначених висот від трьох відбивачів.
2. Графіки горизонтальних ізолюкс для кожного з трьох відбивачів для двох значень освітленості.
3. Графіки вертикальних ізолюкс для кожного з трьох відбивачів для трьох значень освітленості.
4. Таблиці експериментальних даних.

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Мета роботи.
2. Дати визначення поняттям *"світловий потік"*, *"сила світла"*, *"освітленість"*.
3. Чому для світильників місцевого освітлення освітленість є єдиною характеристикою світлорозподілу?
4. Зв'язок між силою світла та освітленістю. Закон зворотних квадратів, закон косинуса.
5. Що таке елементарні криві освітленості? Методи їхньої експериментальної побудови.
6. Що таке горизонтальні ізолюкси? Методи їхньої експериментальної побудови.
7. Методика побудови вертикальних ізолюкс за результатами вимірювання елементарних кривих освітленостей.

Лабораторна робота № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ СВІТОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТИЛЬНИКІВ ЗАГАЛЬНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Мета роботи - виміряти криві сили світла світильників загального освітлення, визначити їхні світлові потоки.

1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Основними світлотехнічними характеристиками світильника є:

- крива сили світла (КСС);
- світловий потік;
- коефіцієнт корисної дії (ККД);
- клас за світлорозподілом;
- коефіцієнт підсилення;
- захисний кут.

Крива сили світла виражається залежністю $I_a = f(\alpha)$, де I_a - сила світла світильника в напрямку α . У круглосиметричних світильників для будь-якої меридіональної площини $I_a = f(\alpha)$ буде однаковою.

Криву сили світла визначають за допомогою розподільного фотометра шляхом вимірювання сили світла під різними кутами α обраної поздовжньої площини. Приймачем у фотометрі служить фотоелемент. Вимірювання сили світла здійснюється на відстанях, приблизно рівних десятиєм максимальним розмірам частини світильника, що світить. При менших відстанях похибка вимірювання зростає, тому що на близьких відстанях світловий пучок ще не оформлений і сила світла для того самого напрямку α на різних відстанях різна. Криву світлорозподілу звичайно зображують у полярній системі координат, відкладаючи під різними кутами α обмірювану силу світла і з'єднуючи плавною кривою кінці відрізків сил світла. Якщо світильник несиметричний, то КСС знімають для різних меридіональних площин.

Світловий потік світильника виміряють у світломірній кулі, діаметр якої має бути не менше шести максимальних розмірів світильника. Він визначається за відомою КСС. Для цього простір, в

який світильник посилає світловий потік, розбивають на зони (тілесні кути). Робиться допущення, що сила світла світильника постійна в межах кожної зони і дорівнює силі світла в середині зони. Потім підраховують світлові потоки, що посилаються світильником у кожную зону простору:

$$\Delta\Phi_i = I_{ai}\Delta\omega_i = 2\pi I_{ai}(\cos\alpha_i - \cos\alpha_{i-1}), \quad (1)$$

де $\Delta\Phi_i$, — світловий потік, що посилається світильником в i -у зону;

I_{ai} — сила світла в середині i -ї зони;

$\Delta\omega_i$ — тілесний кут i -ї зони;

α_i, α_{i-1} — кути, що визначають границі i -ї зони.

Повний світловий потік світильника Φ_{cv} дорівнює сумі світлових потоків $\Delta\Phi_i$ всіх зон:

$$\Phi_{cv} = \sum_i \Delta\Phi_i. \quad (2)$$

Коефіцієнт корисної дії світильника η є відношення світлового потоку світильника Φ_{cv} до світлового потоку джерела світла Φ_{λ} у процентному вираженні:

$$\eta = \frac{\Phi_{cv}}{\Phi_{\lambda}} 100\%, \quad (3)$$

де Φ_{cv} — світловий потік світильника;

Φ_{λ} — світловий потік джерела.

2 ОПИС УСТАНОВКИ

Установка являє собою дзеркальний розподільний фотометр, що складається із системи двох дзеркал, розташованих так, щоб зображення світильника від першого дзеркала попадало на друге, а потім від другого дзеркала на фотоприймаючий пристрій (фотоелемент). Така система забезпечує її компактність і задовольняє умові відстані фотометрирування (відстань фотометрирування повинна бути не менше 8...10 діаметрів самого світильника.)

Перше дзеркало із системою обертається у вертикальній площині навколо світлового центру досліджуваного світильника з фіксацією кута повороту α від 0^0 до 110^0 через кожні 10^0 .

Фотоприймаючий пристрій, що являє собою селеновий фотоелемент з гальванометром, повинен бути відградуваний на вимірювання сили світла за еталоном.

Досліджуваний світильник має три знімних відбивачі (несиметричний, матований, емальований) і може обертатися в горизонтальній площині β дискретно через 90° .

3 ЗАВДАННЯ І ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Виміряти силу світла круглосиметричних відбивачів (матований, емальований) у трьох меридіональних площинах ($\beta = 0^\circ$, $\beta = 90^\circ$, $\beta = 180^\circ$) як функції кута α . Джерело світла установити по центру щодо відбивача; світильник установити так, щоб його зображення від двох дзеркал попадало на фотоелемент.

2. Побудувати усереднені криві сил світла круглосиметричних світильників (дані п. 1 для трьох меридіональних

площин усереднюються)
$$I_\alpha = \frac{I_{\alpha(\beta=0^\circ)} + I_{\alpha(\beta=90^\circ)} + I_{\alpha(\beta=180^\circ)}}{3}$$
 в полярній системі координат.

3. Розрахувати методом зональних коефіцієнтів за усередненими кривими сил світла для матованого та емальованого відбивачів світлові потоки світильників:

$$\Phi_{ca} = \sum \Delta\Phi, \quad \text{де } \Delta\Phi = \Delta\omega I_\alpha - \text{зональний потік.}$$

Значення тілесних кутів $\Delta\omega$ слід брати з таблиці.

Таблиця 1 – Зональні тілесні кути при $\Delta\alpha = 10^\circ$.

Зони кутів α	Напрямок, що відповідає середині зони, α_{cp}	$\Delta\omega$, Тілесний	Напрямок, що відповідає середині зони, α_{cp}	Зони кутів α
0 – 10 ⁰	5 ⁰	0,095	175 ⁰	170 – 180 ⁰
10 – 20	15	0,283	165	160 – 170
20 – 30	25	0,463	155	150 – 160
30 – 40	35	0,628	145	140 – 150
40 – 50	45	0,774	135	130 – 140
50 – 60	55	0,879	125	120 – 130
60 – 70	65	0,993	115	110 – 120
70 – 80	75	1,058	105	100 – 110
80 – 90	85	1,091	95	90 – 100

4. Розрахувати ККД зазначених світильників:

$$\eta = \frac{\Phi_{св}}{\Phi_{л}}, \quad \text{де } \Phi_{л} - \text{світловий потік лампи.}$$

Світловий потік лампи розжарювання визначається за її світловою віддачею $H = 18 \text{ лм/Вт}$ і потужності $P = 40 \text{ Вт}$.

5. Аналогічно п. 1 виміряти значення сил світла для несиметричного відбивача в чотирьох меридіональних площинах і побудувати їх у полярній системі координат.

6. Зробити висновки про похибки вимірювань і їхні причини.

При проведенні вимірювань напругу на лампі світильника підтримувати постійною.

4 МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗВІТУ

1. Таблиці експериментальних даних I_{α} .
2. Графік усереднених кривих сил світла для круглосиметричних систем.
3. Розрахункові значення, їх ККД.
4. Графіки кривих сил світла несиметричної системи в чотирьох позовжніх площинах.
5. Висновки про похибки вимірювань.

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Мета роботи.
2. Перелічити основні світлотехнічні характеристики світильників.
3. Методика зняття КСС.
4. Який порядок розрахунку світлового потоку круглосиметричного світильника по його КСС?
5. Що таке ККД світильника? Методи його експериментального визначення.
6. Як працює дзеркальний розподільний фотометр?
7. Яка відстань фотометрування? Чим вона обумовлена?
8. Чим викликані похибки вимірювань?

Лабораторна робота №3

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИФУЗІЙНОГО СВІТИЛЬНИКА З ГРАТЧАСТИМ ЗАТІНЮВАЧЕМ

Мета роботи - вивчити вплив ґратчастого затінювача на світлові характеристики світильника з дифузійним відбивачем.

1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Для забезпечення однакої величини захисного кута в поздовжній і поперечній площинах світильника застосовують ґратчастий затінювач, що складається з поздовжніх і поперечних планок, що проходять під лампами. Висоти поздовжніх h_1 і поперечних h_2 планок робляться з таким розрахунком, щоб утворені ними комірки мали захисні кути, однакові в обох площинах (рис. 1). Цю вимогу виконують при визначених довжині й ширині комірки, інакше кажучи, при визначеному числі комірок.

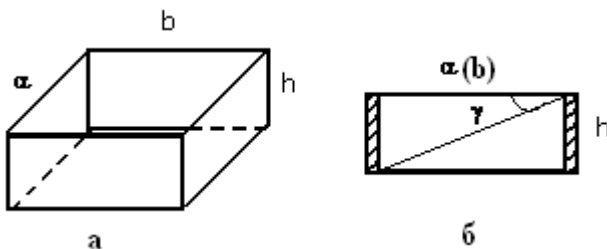


Рисунок 1 – Розрахунок умовного захисного кута γ ґратчастого затінювача:

а - комірка ґратчастого затінювача; б - комірка ґратчастого затінювача в розрізі, умовний захисний кут γ .

Застосування ґратчастого затінювача у світильнику істотно змінює його КСС (як у поздовжній, так і в поперечній площинах) і ККД, що дозволяє розглядати його як деяке скло, що розсіює, і володіє визначеним значенням коефіцієнтів *відбиття* ρ , *поглинання* α і *пропускання* τ . Зміну сили світла можна пояснити екрануванням ламп планками ґратчастого затінювача, що робить КСС в обох площинах набагато вужче, ніж у світильника з відкритим світловим отвором.

2 ОПИС УСТАНОВКИ

Лабораторна установка складається з дифузійного світильника, укріпленого на поворотному столі, і світловимірювальної частини, що складається з люксметра. У світильник поміщені чотири лампи накаливання.

Відстань між осями ламп $x = 3d$, де d - діаметр лампи. Світильник має комплект ґратчастих затінювачів із захисними кутами 15° , 30° , 45° . Відбивач постачений пристроєм для зміни ґрат на світильнику, що дозволяє одержати світильник або з ґратчастим затінювачем, або з відкритим світловим отвором. Світильник може обертатися навколо горизонтальної (зміна кута β поперечної площини) і вертикальної (зміна кута β у поздовжній площині) осей. Відлік кутів в обох площинах виконують за відповідними лімбами.

Яскравість світлового отвору можна вимірювати за допомогою приймача (того ж люксметра), маючи на увазі, що світловий потік, випромінюваний площадкою світильника, рівний за розміром приймачу люксметра, має величину

$$\Phi = \pi L S = E S, \quad (1)$$

де L - яскравість світлового отвору або ґрати затінювача;

S - площа приймача люксметра;

E - освітленість приймача люксметра.

З формули (1) випливає, що

$$L = \frac{E}{\pi}.$$

Для розширення меж вимірювання люксметра застосовуються насадки з комплекту приладу.

3 ЗАВДАННЯ ДО РОБОТИ

1. Визначити КСС у поздовжніх і поперечних площинах світильника з різними ґратчастими затінювачами і без них.

2. Виміряти яскравість світлового отвору світильника з затінювачами і без них у декількох точках з наступним її усередненням.

3. Розрахувати коефіцієнти пропускання затінювачів.

4. Параметри ґратчастих затінювачів занести в табл. 3.

Таблиця 3

№ ґратчастого затінювача	Кількість комірок, шт.	Захисний кут γ , %	Розмір комірки, мм				Кількість планок		Коефіцієнт пропускання, τ
			a	b	h_1	h_2	поперечних, шт.	поздовжніх, шт.	
1									
2									
3									

5. Зробити висновки:

- а) про вплив на КСС і ККД світильника ґратчастого затінювача при збільшенні захисного кута останнього;
- б) про зміну яскравості світлового отвору ґратчастим затінювачем;
- в) про взаємозалежність захисного кута γ і коефіцієнта пропускання τ ґратчастих затінювачів.

4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Вимірювати у сталому режимі ламп (через 15 хвилин після включення).
2. Установку кутів проводити з кроком у 10° .
3. Не допускати зашкалення люксметра.

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Мета лабораторної роботи.
2. Що таке ґратчастий затінювач, які його конструктивні особливості і параметри?
3. Який порядок розрахунку умовного захисного кута ґратчастого затінювача?
4. Вплив ґратчастого затінювача на світлорозподіл світильника.
5. Вплив ґратчастого затінювача на ККД світильника.

Лабораторна робота № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЛАДУ ПРОЖЕКТОРНОГО КЛАСУ З ПАРАБОЛОЇДНИМ ВІДБИВАЧЕМ

Мета - досліджувати вплив основних параметрів оптичної системи прожекторного класу на характеристики світлового пучка.

1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Крива сили світла прожектора являє собою криволінійну трапецію. Елементами, що її характеризують, є "поличка" і "одстава". Висота "полички" I_{0n} визначається манженівською силою світла. Її ширина $\Delta\alpha$ дорівнює мінімальному кутовому розміру ЕВ, характерному для крайової зони відбивача. Ширина остави визначається максимальним кутовим розміром ЕВ, характерним для центральної зони відбивача.

Сам відбивач характеризується такими параметрами:

- фокусною відстанню f ;
- кутом охопту φ_{max} ;
- діаметром світлового отвору D .

На криву сили світла прожектора впливають наступні параметри джерела світла:

- геометричні параметри тіла, що світить (форма, розміри та орієнтація);
- крива сили світла джерела;
- яскравість тіла, що світить.

У спрощеному варіанті при кульовому рівнояскравому тілі, що світить, силу світла можна записати відповідно до закону Манжена у вигляді

$$I_0 = \rho L_{св.т.} S_{св.о.},$$

де ρ - коефіцієнт відбиття відбивача;

$L_{св.т.}$ - яскравість тіла, що світить;

$S_{св.о.}$ - площа світлового отвору.

Ширина "полички" $\Delta\alpha_n$ дорівнює

$$\Delta\alpha_n = \xi_{\min} = \arctg \frac{d}{2r_k}, \quad (1)$$

де ξ_{\min} - кутовий розмір ЕВ крайової зони;
 d - діаметр тіла, що світить;
 r_k - радіус-вектор крайньої точки відбивача.

Визначимо r_k (рис. 1).

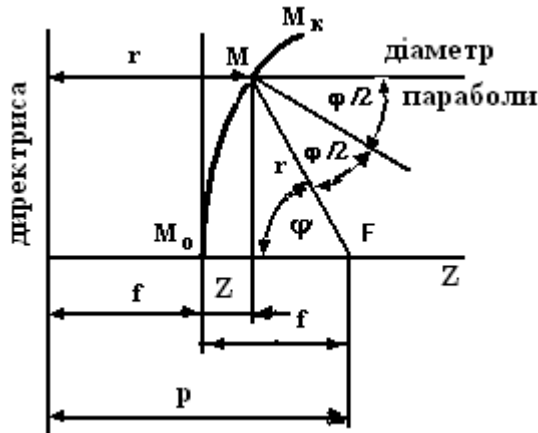


Рисунок 1 – До розрахунку профілю параболоїдного відбивача.

Відповідно до визначення параболі

$$r = f + Z,$$

де r - радіус-вектор точки параболі;

Z - глибина відбивача; і $x^2 = 4fZ$,

де x^2 - відстань розглянутої точки від осі параболі;
 для крайової зони:

$$r_k = f + Z_k;$$

$$\frac{D^2}{4} = 4fZ_k; \quad D^2 = 16fZ_k$$

де r_k, Z_k - координати крайньої точки.

Тоді вирази для обчислення Z_k і r_k мають вигляд:

$$Z_k = \frac{D^2}{16f};$$

$$r_k = f + \frac{D^2}{16f}. \quad (2)$$

Підставивши (2) у (1), одержуємо:

$$\Delta\alpha_n = \xi_{\min} = \arctg \frac{d}{2 \left(f + \frac{D^2}{16f} \right)} = \arctg \frac{16fd}{2(16f^2 + D^2)} = \arctg \frac{8fd}{16f^2 + D^2}.$$

За обмірюваними значеннями d і D і відомому значенні f розрахувати $\Delta\alpha_n$, тобто ширину "полички".

Ширина остави КСС дорівнює

$$\Delta\alpha_{осн} = \arctg \frac{d}{2f}. \quad (3)$$

Висота "полички" визначається формулою

$$I_0 = \rho L_{св.м} \pi \frac{D^2}{4}. \quad (4)$$

При відомому світловому потоці джерела світла Φ_n і діаметрі тіла, що *світить*, d

$$I_{св.м} = \frac{\Phi_n}{4\pi} = I_{св.м} \frac{\pi d^2}{4}.$$

Звідки

$$L_{св.м} = \frac{\Phi_n}{\pi^2 d^2}.$$

Підставивши значення $L_{св.м}$ у (4), одержимо

$$I_0 = \rho \frac{\Phi_n}{\pi^2 d^2} \pi \frac{D^2}{4} = \frac{\rho \Phi_n D^2}{4\pi d^2}. \quad (5)$$

Визначимо кут охопту, корисний світловий потік і ККД прожектора.

Рівняння параболи в полярній системі координат має вигляд:

$$r = \frac{2f}{1 + \cos \varphi}. \quad (6)$$

Для краю відбивача, з урахуванням (2),

$$r_k = \frac{2f}{1 + \cos \varphi_{\max}} = f + \frac{D^2}{16f}. \quad (7)$$

З (7) виходить, що

$$\cos \varphi_{\max} = \frac{32f^2}{16f^2 + D^2} - 1 = \frac{32}{16 + \frac{D^2}{f^2}} - 1 = \frac{2}{1 + \frac{D^2}{16f^2}} - 1.$$

Кут охоату відбивача визначимо за формулою

$$\varphi_{\max} = \arccos \left(\frac{2}{1 + \frac{D^2}{16f^2}} - 1 \right).$$

Корисний світловий потік прожектора $\Phi_{\text{кор}}$ - це частина світлового потоку джерела, що впала на відбивач і відбилася від нього:

$$\Phi_{\text{кор}} = \rho \frac{\Phi_n \Omega_{\varphi \max}}{4\pi},$$

де $\Omega_{\varphi \max}$ - тілесний кут охоату відбивача.

Звідси визначимо ККД прожектора:

$$\eta = \frac{\rho \Omega_{\varphi \max}}{4\pi}.$$

Дослідження дійсної ширини світлового пучка прожектора

На досить великій відстані від прожектора ширина його світлового пучка визначається ЕВ від центра відбивача, тобто $ЕВ_{\max}$. При цьому

$$W = D + H \operatorname{tg} \xi_{\max} = D + H \operatorname{tg} \frac{d}{2f},$$

де W - ширина світлового пучка;

H - відстань вимірювання його ширини;

ξ_{\max} - кутовий розмір елементарного відображення центральної точки відбивача.

Ширина світлового пучка може бути визначена за розміром (діаметром) світлової плями. Причиною невідповідності ширини світлової плями розрахунковій ширині світлового потоку є розфокусування прожектора.

Розрахунок відстані повного світіння

Відстанню повного світіння $l_{n.cv}$ називається така відстань від світлового отвору, на якій досягається манженівська сила світла параболоїдного відбивача. Вона визначається місцем перетинання оптичної осі приладу з елементарним відбиттям крайової зони відбивача:

$$l_{n.cv} = \frac{D}{2} \operatorname{ctg} \xi_{\min} = \frac{D}{2} \operatorname{ctg} \frac{8fd}{16f^2 + D^2}.$$

Коефіцієнт підсилення прожектора - є відношення манженівської сили світла до середньосферичної сили світла $I_{n.cp}$ джерела:

$$K_{n\partial} = \frac{I_0}{I_{n.cp}} = \frac{\rho \Phi D^2 4\pi}{4\pi d^2 \Phi} = \frac{\rho D^2}{d^2}.$$

2 ОПИС УСТАНОВКИ

Установка складається з наступних елементів:
фотометричної лави;

поворотного пристрою з досліджуваним світловим приладом;
переносного об'єктивного фотометра.

Фотометрична лава має на одному кінці поворотний пристрій з патроном для досліджуваної лампи, що дозволяє повертати лампу під різними кутами α до осі лави в горизонтальній площині, і поворотний пристрій з досліджуваним прожектором. Поворотний пристрій дає можливість обертати досліджуваний прилад у вертикальній і горизонтальній площинах; кути повороту відраховують за відповідними лімбами. На відстані фотометризування міститься об'єктивний фотометр, що являє собою селеновий фотоелемент із гальванометром.

3 ЗАВДАННЯ І ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Виміряти лінійні параметри приладу прожекторного класу: діаметр кульового джерела, діаметр і глибину відбивача.

2. Розрахувати фокусну відстань і кут охопту відбивача. Скласти ескіз оптичної системи з вказівкою основних розмірів.
3. Розрахувати відстань $l_{n,св}$ повного світіння прожектора.
4. Обчислити основні параметри КСС прожектора:
 - а) осьову силу світла I_0 ;
 - б) ширину "полички" КСС $\Delta\alpha_n$;
 - в) ширину підстави КСС $\Delta\alpha_{підст.}$
5. За отриманим значенням накреслити КСС прожектора.
6. Обчислити коефіцієнт підсилення прожектора.
7. Розрахувати корисний світловий потік і ККД прожектора.

Коефіцієнт відображення ρ дзеркала прийняти рівним 0,8.

8. Проградувати фотометр на еталоні сили світла (електричний режим еталона вказує керівник). Градувати за показниками гальванометра в залежності від відстані до еталона сили світла $n = f(l)$ з наступним перерахуванням за законом зворотних квадратів і одержанням градуйовочної кривої освітленості як функції показань n гальванометра $E = f(n)$. Під час градуювання необхідно, щоб еталон сили світла і фотоеlement знаходилися строго на одній горизонтальній осі.

9. Виміряти осьову силу світла приладу (I_0) як функцію відстані (l) і побудувати криву наростання сили світла $I_0 = f(l)$. При цьому джерело світла установити у фокусі параболоїда і строго витримувати збіг осі приладу з віссю фотоеlementa. Визначити мінімально необхідну відстань фотометрирування для даного приладу за максимальним значенням I_0 залежності $I_0 = f(l)$.

10. Виміряти силу світла прожектора з досліджуваною лампою в горизонтальній і вертикальній площинах на відстані більшій, ніж відстань фотометрирування, зобразити їх графічно. Силу світла вимірюють при зміні кута $\Delta\alpha = 2^\circ$.

4 МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗВІТУ

1. Ескіз оптичної системи.
2. Градуйовочний графік.
3. Таблиця значень і графік $I_0 = f(l)$, розрахункове значення відстані повного світіння $l_{n,св}$.
4. Таблиця значень і графік експериментальної і розрахунковий КСС, $I = f(\alpha)$.
5. Скласти таблицю параметрів прожектора.

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які типи світлових приладів (СП) відносяться до прожекторного класу?
2. Мета роботи.
3. Основні параметри оптичної системи СП.
4. Принципова схема установки.
5. Розрахункові формули.
6. Як градується об'єктивний фотометр?
7. Як впливає відстань фотометрирування на криву сили світла?
8. Що таке відстань повного світіння?
9. Як розраховується крива сили світла прожектора?
10. Проаналізувати отримані розрахункові й експериментальні результати.

Лабораторна робота № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи - дослідити характеристику розсіювання пропускаячих і не пропускаячих світло матеріалів.

1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Зі *світлотехнічних* матеріалів виконують світлоперетворюючі пристрої, що перерозподіляють потік у просторі, знижують яскравість джерел, змінюють спектральну сполуку випромінювання і його поляризацію.

Світлотехнічні матеріали характеризуються значеннями оптичних коефіцієнтів: відбиття ρ , поглинання α , пропускання τ , нормальним показником заломлення n для випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 589,3$ нм і спектральним n_λ , поздовжньої кривої розсіювання $i_e(e)$ світлового потоку, пропущеного або відбитого матеріалом.

Матеріали зі спрямованим відбиттям або пропусканням світла. Світлотехнічні матеріали, що відбивають світловий потік таким чином, що тілесний кут у падаючому і відбитому світлі зберігається за величиною, називають матеріалами спрямованого відбиття (рис. 1). Основною світлотехнічною характеристикою таких матеріалів є їхній коефіцієнт відбиття ρ .

Матеріалами зі спрямованим пропусканням світла, що також характеризуються сталістю тілесного кута в падаючому і пропущеному світлі, є різного роду плоскі силікатні та органічні стекла, прозорі пластмаси.

Матеріали з наведено-розсіюючим відбиттям або пропусканням світла. Світлотехнічні матеріали, що відбивають або пропускають світловий потік таким чином, що тілесний кут у відбитому чи пропущеному світлі більше, ніж у падаючому, називаються такими, що *розсіюють*.

До матеріалів, що наведено-розсіюють світло, відносяться травлені (матовані) метали, різного роду металізовані (за допомогою шоопирування) поверхні й спеціально оброблений гальванічним способом окисований алюміній, що має великий коефіцієнт ρ , а також силікатне та органічне скло, поверхні яких або протравлені фтористо-водневими і іншими кислотами (хімічне матирування), або оброблена струменем піску (механічне матирування).

При дослідженні властивостей скла, що розсіюють, з матируванням, було знайдено, що фотометричне тіло розсіювання матованих стекол близько за формою до еліпсоїда (див. рис. 1).

Матеріали з дифузійним і змішаним відбиттям або пропусканням світла. Світлотехнічні матеріали, що відбивають або пропускають світловий потік у межах тілесного кута, рівного 2π , називаються *дифузійними*. При рівномірному розподілі потоку усередині зазначеного кута матеріал має ідеально-дифузійне розсіювання світла. Дифузійне розсіювання матеріалами, що відбивають, досягається шорсткістю і пористістю їхньої поверхні, а пропускаючими - об'ємним розсіюванням світла на частках, укладених в їхній товщі.

Фотометричне тіло розсіювання дифузійних матеріалів являє собою тіло обертання, що наближається за формою до кулі (рис. 1).

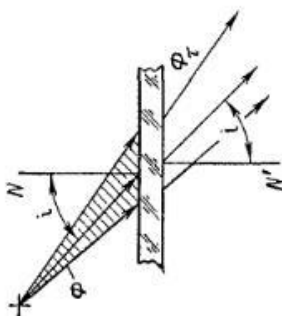
Дифузно відбиваючи світло матеріали отримують нанесенням на металеві, дерев'яні та інші поверхні покриття, що розсіюють.

Відбиття світла, що характеризується дифузійним розсіюванням і спрямованим відбиттям, називається *змішаним* (див. рис. 1). Таким відбиттям володіють матеріали, покриті керамічною емаллю (емальовані), що характеризуються коефіцієнтом відбиття, що складається з двох доданків $\rho = \rho_d + \rho_s$, де ρ_d , ρ_s - коефіцієнти дифузійного і спрямованого (френелівського) відбиття.

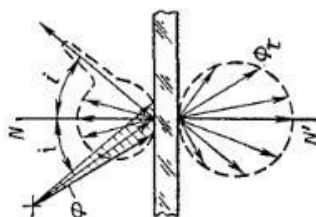
Матеріали, що дифузно пропускають світло, отримують додаванням у скло речовин, які глушать, що мають інший показник заломлення. Світло, проходячи через таке середовище, зазнає багаторазові заломлення і відбиття, у результаті чого при виході із скла він розсіюється в усіх напрямках простору.

Класифікація світлотехнічних матеріалів наведена на рисунку 1.

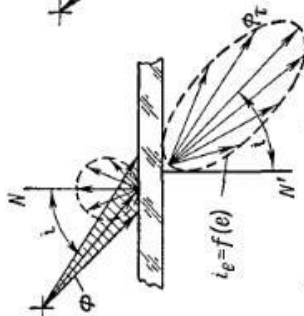
Пропускаючі світло



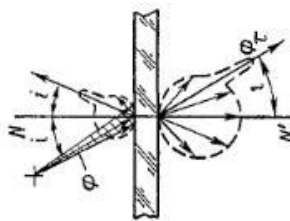
Стрімкове пропущання



Дифузне пропущання

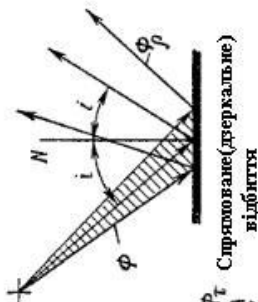


Стрімкове-розсіяне пропущання

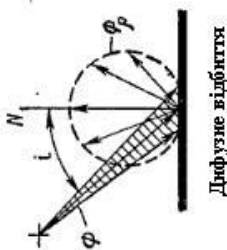


Змішане пропущання

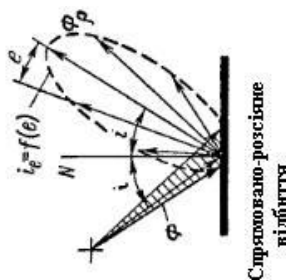
Непропускаючі світло



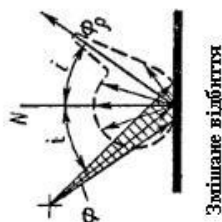
Стрімкове(дзеркальне) відбиття



Дифузне відбиття



Стрімково-розсіяне відбиття



Змішане відбиття

Рисунок 1 Класифікація світлотехнічних матеріалів

2 ОПИС УСТАНОВКИ

Установка складається з наступних елементів (рис.2):

освітлювача 7, що дає потужний спрямований пучок світла, який повністю перекриває досліджувану ділянку поверхні матеріалу. Для підтримки постійного режиму живлення лампи освітлювача застосовують автотрансформатор; напругу живлення лампи освітлювача вказує керівник;

тримача 4 з напрямними. У них уставляються досліджувані плоскі зразки. Екран тримача має діафрагму, що виділяє досліджувану ділянку поверхні матеріалу. Екран може обертатися навколо вертикальної осі, що дозволяє змінювати кут падіння α променя чи освітлювача на випробуваний зразок; кут повороту α зразка щодо світлового пучка освітлювача відраховується за лімбом 5;

дуги 1, що несе на собі фотоелемент 3 з тубусом. Фотоелемент - світлоприймальний елемент установки, дуга 1 може обертатися навколо вертикальної вісі, що збігається з віссю обертання тримача зразків 4. Кут повороту дуги β фіксується лімбом 6. Кріплення фотоелемента дозволяє йому переміщуватися по дузі, на якій знаходиться шкала кутових значень γ переміщення фотоелемента щодо осі світлового пучка освітлювача. Отже, фотоелемент може бути розташований щодо досліджуваного зразка по будь-якому напрямку γ і β у просторі, що дозволяє одержати фотометричне тіло від досліджуваного зразка як у відбитому, так і в пропущеному світлі;

допоміжного фотоелемента, що може встановлюватися у тримачі 4 перпендикулярно до осі пучка освітлювача. Допоміжний фотоелемент служить для визначення коефіцієнтів пропускання зразків, що розсіюють.

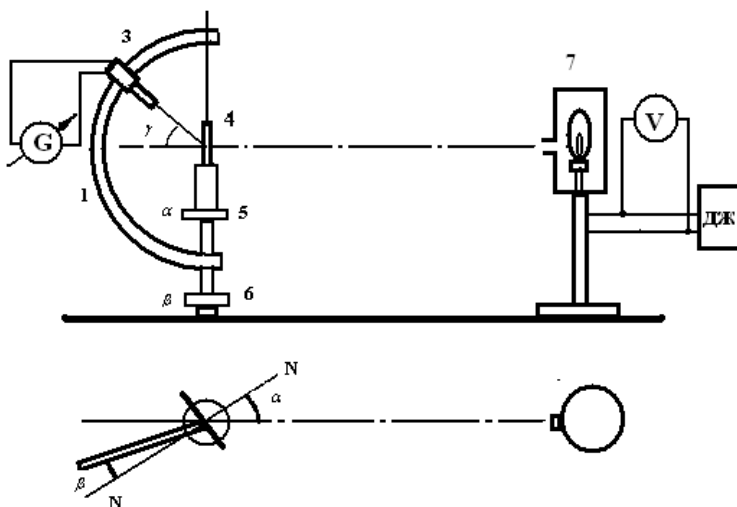


Рисунок 2 – Схема вимірювальної установки

3 ЗАВДАННЯ І ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Визначити коефіцієнт відбиття дзеркального зразка $\rho_{\partial з}$

Світло від освітлювача 7 направляється через діафрагму (без зразка) тримача 4 на фотоелемент 3, що встановлюється перпендикулярно до осі пучка освітлювача ($\gamma = 0^0$, $\beta = 0^0$); відлік за гальванометром n_0 .

Дзеркальний зразок міститься у тримачі 4 і встановлюється кут падіння ($\alpha = 15^0$, фотоелемент при цьому встановлюється за напрямком $\gamma = 0$, $\beta = 2\alpha = 30^0$ (при обертанні фотоелемента за кутом β повинно бути максимальне зміщення стрілки гальванометра); відлік за гальванометром n_x .

Коефіцієнт дзеркального відбиття

$$\rho_{\partial з} = \frac{n_x}{n_0} \cdot 100\%.$$

2. Визначити коефіцієнт пропускання спрямовано-пропускаючого зразка τ_c (рис. 3).

Установка набу доується так само, як у п.1, при цьому фіксуються n_0 - показання гальванометра без зразка і n_x - показання гальванометра при проходженні світла через зразок, встановлений у тримачі 4.

Коефіцієнт

$$\tau_c = \frac{n_x}{n_0} \cdot 100 \% .$$

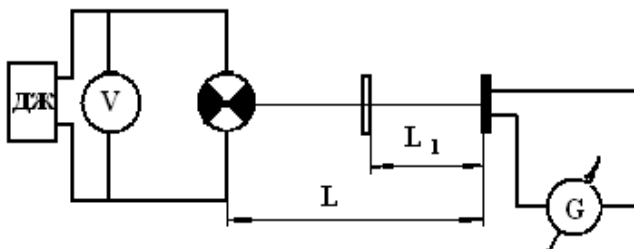


Рисунок 3 – Схема розміщення приладів при визначенні τ_c прозорих фільтрів

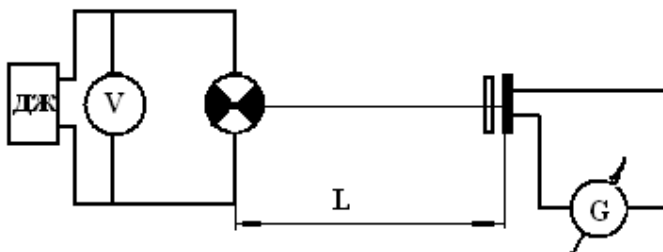


Рисунок 4 – Схема розміщення приладів при визначенні τ_p фільтрів, що розсіюють.

3. Визначити коефіцієнт пропускання зразка, що *розсіює* (рис. 4).

Він визначається за допомогою допоміжного фотоелемента, що навішується на тримач 4 перпендикулярно до осі пучка, при цьому фіксуються n_0 - показання гальванометра без зразка і n_x - показання гальванометра зі зразком (фотоелемент установлений впритул до зразка):

$$\tau_p = \frac{n_x}{n_0} \cdot 100\%$$

4. Визначити криві розсіювання сили світла у відносних одиницях різних зразків (за вказівкою керівника).

Для матеріалів, що пропускають світло, залежно від кута падіння $\alpha = 0^0$, $\alpha = 20^0$, $\alpha = 40^0$ екран зі зразком послідовно встановлюється щодо осі пучка освітлювача на зазначені кути.

При $\alpha = const$ для різних значень γ устанавлюється фотоелемент, при цьому фіксуються показання гальванометра як функції напрямку β , тобто $n = f(\beta)$ при $\gamma = var$.

Дані експерименту зводять у таблицю 1.

Таблиця 1

α	γ	β									
		0	10^0	20^0	30^0	40^0	50^0	60^0	70^0	80^0	90^0
0^0	0										
	10										
	...										
	80										
20^0	0										
	10										
	...										
	80										
40^0	0										
	10										
	...										
	80										

Для матеріалів, що відбивають світло, визначити поздовжні криві розсіювання при кутах падіння $\alpha = 10^0$, $\alpha = 15^0$, $\alpha = 30^0$. Фотоелемент устанавлюється відповідно під кутами $\beta = 2\alpha = 20^0$, $\beta = 2\alpha = 30^0$, $\beta = 2\alpha = 60^0$ і при цих кутах фіксуються показання гальванометра як функції кутів, тобто $n = f(\gamma)$.

Дані експерименту зводять у таблицю 2.

Таблиця 2

β	γ								
	0	10^0	20^0	30^0	40^0	50^0	60^0	70^0	80^0
20^0									
30^0									
60^0									

4 МАТЕРІАЛ ДЛЯ ЗВІТУ

1. Розрахункові дані ρ_{03} , τ_c , τ_p зразків.
2. Графіки кривих розсіювання в полярній системі координат.
3. Висновки щодо впливу кута падіння на фотометричне тіло розсіювання.

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які матеріали називають світлотехнічними, їхнє призначення?
2. Як розподіляється світловий потік після проходження, відбиття від матеріалів: дзеркальних, що направлено-розсіюють, дифузійних і змішаних?
3. Мета роботи.
4. Принципова схема установки.
5. Коефіцієнт відбиття і пропускання.

Лабораторна робота № 6

ДОСЛІДЖЕННЯ СВІТЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАМПИ-ФАРИ

Мета роботи – визначити світлотехнічні параметри лампи-фари експериментально-розрахунковим методом.

1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Лампа-фара – прилад прожекторного класу, основними світлотехнічними характеристиками якого є:

- осьова сила світла;
- відстань повного світіння;
- крива сили світла;
- корисний кут розсіювання;
- корисний світловий потік.

Осьова сила світла (сила світла в напрямку оптичної осі) - одна з найважливіших характеристик світлового пучка прожектора. Якщо вимірювати осьову силу світла на невеликих відстанях від прожектора, то її значення не буде постійним і ростиме в міру видалення від прожектора. З рис. 1 видно, що для деяких точок в напрямку оптичної осі відбивача сила від окремих елементів його поверхні (крайові зони) буде дорівнювати нулю, тобто ці елементи виявляться «темними» для деяких точок на оптичній осі відбивача (тому що світловий потік від кожного елемента укладений у межах порівняно вузького конуса елементарних відображень). Якщо нижній крайній промінь елементарного відображення не перетне оптичну вісь до розглянутої точки (наприклад, P), то в напрямку цієї точки елемент поверхні відбивача, що створює дане елементарне відображення, буде «темним». Якщо для точки P елемент поверхні відбивача M був «темним», то для більш віддаленої точки P цей елемент буде «світлим». У міру віддалення від відбивача в напрямку оптичної осі число «світлих» елементів його поверхні буде збільшуватися і, відповідно до закону Манжена (сила світла прямо пропорційна площі поверхні відбивача, видимої «світлої» з даної точки оптичної осі), осьова сила світла теж буде збільшуватися.

світла прожекторного пучка зберігається не тільки для осового напрямку, але і для деякої області в обидва боки від осі. Ця область називається зоною зворотних квадратів. Освітленість у будь-якій точці цієї зони може бути обчислена за законом квадратів відстаней:

$$E = \frac{I}{Z^2}, \quad (3)$$

де I - постійна сила світла;

Z - відстань від відбивача до деякої точки зони зворотних квадратів.

Крива сили світла прожектора є залежність $I_a = f(\alpha)$, де I_a - сила світла в напрямку кута α від оптичної осі відбивача. Крива сили світла лампи-фари знімається за допомогою фотоелемента на відстані повного світіння.

Криву світлорозподілу приладів прожекторного типу зображують у прямокутній системі координат унаслідок малості кутового розміру прожекторного пучка, відкладаючи по осі абсцис кути α від оптичної осі, а по осі ординат - відповідні значення сил світла.

Кутом випромінювання прожектора є кут, в межах якого поширюється повний світловий потік прожектора. Сила світла різко спадає до країв світлового пучка, тому світловий потік у цій зоні можна вважати загубленим для цілей освітлення на великих відстанях.

Максимальний кут, в межах якого сила світла пучка не нижче деякого значення, що вважається мінімально необхідним для цілей освітлення, називається корисним кутом розсіювання, що визначається з умови

$$I_{2\pi} = 0,3I_{\max}. \quad (4)$$

Корисним світловим потоком вважається світловий потік у межах корисного кута розсіювання. Він визначається по кривій світлорозподілу прожектора в межах корисного кута розсіювання.

Простір, обумовлений кутом розсіювання прожектора, розбивається на кілька зон ($\Delta\alpha = 2^\circ$). Світловий потік, що посиляється прожектором в i -у зону простору, визначається за формулою

$$\Delta\Phi_i = I_{i\alpha} \Delta\omega = 2\pi I_\alpha (\cos \alpha_{i-1} - \cos \alpha_i), \quad (5)$$

де I_a - сила світла в середині i -ї зони;

$\Delta\omega$ - тілесний кут i -ї зони.

Корисний світловий потік дорівнює сумі зональних світлових потоків:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \Delta\Phi_i. \quad (6)$$

Ступінь сформованості світлового пучка характеризується його шириною.

Лінійною шириною $2W_L$ світлового пучка є відстань між крайніми променями в меридіональній площині (рис. 2).

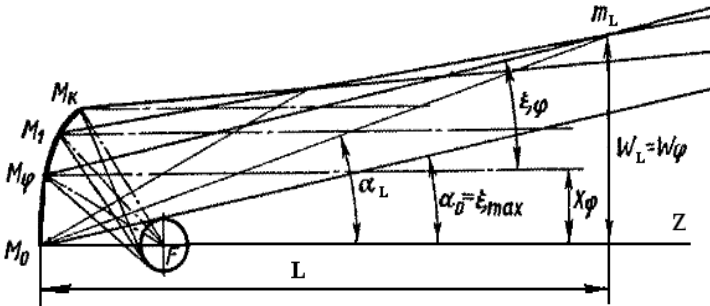


Рисунок 2 – Формування світлового пучка прожектора.

Кутовою напівшириною світлового пучка α_L називається кутова відстань між його віссю і краєм на деякій відстані L від вершини відбивача. Кутову ширину можна визначити за формулою

$$\operatorname{tg} \alpha_L = \frac{X}{L} + \operatorname{tg} \xi,$$

де X - координата точки відбивача, крайовий промінь ЕВ якої на відстані L знаходиться на границі пучка;

ξ - розмір ЕВ цієї точки.

2 ОПИС УСТАНОВКИ

Лампа-фара укріплена на пристрої, що дозволяє повертати її під різними кутами в горизонтальній площині. Відлік кутів здійснюється за лімбом. Для вимірювання сили світла використовується селеновий фотоелемент із гальванометром. Фотоелемент закритий світлофільтром, що послабляє світловий потік. Від засвітлення фотоелемент екранований тубусом. Фотоелемент із гальванометром установлений на каретці, що переміщається по напрямних. У процесі всіх переміщень каретки положення осі, що

з'єднує світловий центр лампи-фари і центр фотоелемента, не змінюється.

При вимірюваннях освітленості показання гальванометра слід вимірювати у відносних одиницях.

3 ЗАВДАННЯ ДО РОБОТИ

1. Виміряти за допомогою фотоелемента осьову силу світла на різних відстанях від лампи-фари і визначити мінімально необхідне для фотометрування відстань повного світіння. Результати занести в таблицю.

2. Визначити розрахунковим шляхом відстань повного світіння і порівняти його з обмірюваним.

3. На відстані повного світіння, знайденому експериментально, побудувати КСС лампи-фари шляхом вимірювання сили світла під різними кутами до оптичної осі (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13°).

4. Побудувати в прямокутній системі координат КСС лампи-фари.

5. Визначити корисний кут розсіювання.

6. Визначити корисний світловий потік.

7. Визначити лінійну і кутову ширину світлового пучка.

8. Визначити коефіцієнт підсилення.

4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Параметри лампи-фари для розрахунків, а саме:

- діаметр світлового отвору D ;
- кут охопту відбивача ($2\varphi_{max}$);
- фокусна відстань f ;
- довжина спіралі $2l$;
- діаметр спіралі $2r$

задаються викладачем.

2. Освітленість (п. 1) вимірювати через кожні 5 см від лампи-фари до кінця фотометричної лави. Силу світла обчислюють за обмірюваною освітленістю:

$$I = EZ^2.$$

Експериментальне визначення відстані повного світіння відбувається при вимірюванні мінімальної відстані від лампи-фари, на якому сила світла досягає максимального значення. Для точності перебування фотометричної відстані побудувати криву залежності

сили світла від відстані; відстань, на якому крива досягає максимуму, вважати відстанню фотометрування.

3. Відстань повного світіння лампи-фари (п. 2) обчислюють за формулами (1) або (2).

4. Кут розсіювання (п. 5) визначають на базі КСС по формулі (4).

5. Корисний світловий потік лампи-фари (п. 6) обчислюють за формулами (5), (6). Кожну зону характеризувати лінійним кутом не більше 2° . Розбивку на зони по КСС зробити таким чином, щоб була достатня кількість зон, у яких силу світла для середнього зонального кута можна було б прийняти за середню силу світла в зоні.

6. Вимірювання лінійної ширини (п. 7) робити для декількох відстаней (більшої, рівної і меншої відстаней повного світіння) без урахування розмірів ЕВ.

7. Коефіцієнтом підсилення K_n прожекторного приладу (п. 8) називається відношення осьової сили світла I_0 до сили світла джерела $I_{дж}$, тобто

$$K_n = \frac{I_0}{I_{дж}}$$

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Визначення прожектора. Класифікація прожекторів.
2. Основні світлотехнічні характеристики лампи-фари.
3. Закон Манжена для осьової сили світла прожектора.
4. Крива сили світла параболоїдного відбивача і її елементи.
5. Кут випромінювання прожектора.
6. Корисний кут розсіювання.
7. Корисний світловий потік.
8. Відстань повного світіння, її визначення.
9. Зона зворотних квадратів і її кутові розміри.
10. Визначення коефіцієнта підсилення світлового приладу.

Лабораторна робота № 7

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ НАСТІННОГО СВІТИЛЬНИКА З ВІДКРИТИМ РОЗСПОВАЧЕМ

Мета роботи - експериментально вивчити тепловий режим настінного світильника при різній орієнтації його світлового отвору і вплив напруги живлення на режим.

1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Тепловим режимом світлового приладу називається режим розсіювання тепла, яке виділяється джерелом.

Стаціонарним тепловим режимом називається режим, при якому температура окремих частин світлового приладу змінюється протягом 1 год. не більше ніж на 1°C .

Кількісною характеристикою теплового режиму світлового приладу або його окремих елементів є перевищення температури характерних точок світлового приладу над температурою навколишнього повітря, і розподіл цього перевищення по поверхні світлового приладу.

В основі теплового режиму світлового приладу лежать явища теплоперенесення: теплове випромінювання, конвекція і теплопровідність.

Теплове випромінювання описується законом Стефана-Больцмана, тепла конвекція - законом Ньютона, теплопровідність - законом теплової дифузії.

Тепловий режим світлового приладу визначається конструкцією світлового приладу (наявність і відсутність відбивача (розсіювача), його замкнутості і габаритів), орієнтацією світлового отвору або приладу в цілому, а також напругою живлення.

2 ОПИС УСТАНОВКИ

Експериментальна установка складається з досліджуваного світильника, включеного через ЛАТР, вимірювального приладу і термоперетворювача (термостата, рис.1,а). Установка дозволяє вимірювати температуру на поверхні світильників у точках, що рекомендуються (рис. 1,б).

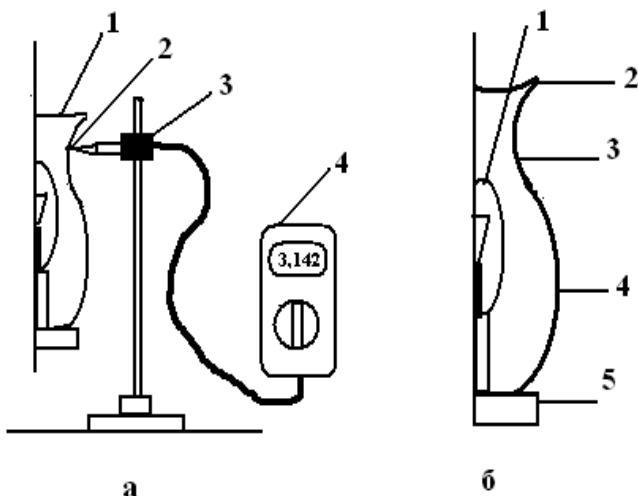


Рисунок 1 – Схема експериментальної установки вимірювання теплового режиму:

а) установка для вимірювання теплового режиму: 1 - досліджуваний світильник; 2 - фізичний термоперетворювач; 3 - штатив; 4 - вимірювальний прилад;

б) точки вимірювання, що рекомендуються: 1 - купол лампи; 2 - край світлового отвору розсіювача; 3 - шийки розсіювача; 4 - найбільший діаметр розсіювача; 5 - корпус (вузол кріплення світильника)

3 ЗАВДАННЯ ДО РОБОТИ

1. Визначити за допомогою термоперетворювача 2 і вимірювального прилада 4 розподіл перевищення температури Δt_i у точках світильника, що рекомендуються, для різних стандартних положень світильника і різних напруг живлення.

2. Побудувати графіки розподілу перевищення температури світильника в координатах:

а) по вертикалі - розташування характерних точок на поверхні світильника;

б) по горизонталі - перевищення температури характерної точки.

4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Установити світильник в одне з двох стандартних положень:
 - світловим отвором униз;
 - світловим отвором нагору.
2. Укључити світильник (через ЛАТР) у мережу, попередньо установивши напругу живлення 220 В.
3. Підвести термоперетворювач (термопара) до шийки розсіювача до зіткнення.
4. Вимірювати температуру в цій точці через кожні 3 хв.
5. Зафіксувати час роботи світильника, при якому за останній 3-хвилинний інтервал температура на шийці розсіювача зміниться не більше ніж на $0,2^{\circ}\text{C}$. Цей інтервал є часом входження світильника в стаціонарний тепловий режим, після закінчення якого розподіл температури по світильнику можна вважати постійним.
6. Вимірити температуру послідовно в інших зазначених точках на світловому приладі після 1-2-хвилинної витримки.
7. Виключити світильник і остудити його протягом 10 хвилин.
8. Установити світильник в інше стандартне положення.
9. Зробити роботу відповідно до п. 2-8.
10. Виключити світильник і остудити його протягом 10 хвилин.
11. Установити світильник в одне з двох стандартних положень і укључити світильник, попередньо установивши напругу живлення 230 В.
12. Зробити роботу відповідно до п. 3-7.
13. Виключити світильник і вимірювальні прилади.
14. Вимірити температуру навколишнього середовища.

5 МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗВІТУ

1. Ескіз світильника з указівкою точок вимірювання температур.
2. Графіки залежності перевищення температури різних точок світильника: у робочому положенні при напрузі 220 В і 230 В; у горизонтальному положенні в нижній і верхній частинах світильника.
3. Висновки про вплив напруги живлення на температурний режим світильника, розташуванні точки

максимальної температури; припустимих температурах з погляду фізичних властивостей матеріалів частин світильників, безпеки роботи світильника і його експлуатації; припустимих перепадах температур.

6 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Яке із зазначених стандартних положень світильника сприяє більш швидкому переходу до стаціонарного теплового режиму?
2. Яке положення світильника відповідає більш легкому тепловому режиму?
3. Які основні розходження в розподілі температури, характерні для двох положень світильника?
4. Де в світильнику знаходяться найбільш гарячі точки при його різних положеннях?
5. Як впливає підвищена напруга живлення на тепловий режим світильника?

Лабораторна робота № 8

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТЛОДІОДІВ

Мета роботи - визначити світлотехнічні й електричні характеристики окремих світлодіодів експериментальним методом.

1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Світлодіоди (СД, в іноземній літературі - LED, Lighting Emitting Diodes) — найбільш «молоді» джерела світла, що принципово відрізняються від теплових або розрядних випромінювачів.

Генерація світла в СД відбувається за рахунок енергії, що виділяється при рекомбінації носіїв струму - електронів і дірок - на границі напівпровідникових матеріалів з різним характером провідності. Характер провідності визначається не тільки самим матеріалом, але і домішками (легуючими речовинами), що вводяться в основний матеріал у строго дозованих кількостях. Матеріал, у якого в результаті легування провідність визначається, в основному, надлишком електронів, називається «напівпровідником типу *n*». Матеріал з недоліком електронів, тобто з надлишком позитивно заряджених іонів (так званих «дірок»), здатних поглинути електрон і стати нейтральним атомом, називається «напівпровідником типу *p*». На границі таких матеріалів утвориться *p-n*-перехід. При подачі напруги прямої полярності (мінус - до матеріалу з електронною провідністю *n*, плюс - з дірковою провідністю *p*) через перехід піде струм, а при рекомбінації електронів і дірок буде виділятися енергія. Величина енергії квантів, що виділяються при рекомбінації, залежить від різниці енергетичних рівнів електронів у збудженому і нейтральному атомах, тобто від ширини забороненої зони. При ширині забороненої зони від 1,7 еВ до 3.4 еВ енергія випромінюваних квантів відповідає видимому діапазону спектра з довжинами хвиль від 700 нм до 400 нм.

Параметри СД, як і будь-якого ДС, можна розділити на вхідні і вихідні. До вхідних параметрів відносяться:

- прямий струм через СД I_{np} ;
- пряме спадання напруги при номінальному струмі U_{np} ;
- максимально припустима зворотна напруга $U_{зв.макс}$;
- вольт-амперна характеристика (залежність прямого спадання напруги від струму).

Номинальний прямий струм $I_{пр}$ через кристал розміром $0,1 \times 0,1$ мм дорівнює 20-40 мА. Максимально припустимий прямий струм $I_{пр.макс}$ залежить від умов охолодження конструкції СД, а при імпульсному режимі - від шпаруватості імпульсів.

Пряме спадання напруги $U_{пр}$ на СД при номінальному струмі залежить від енергії випромінюваних квантів і складає від 1,5 В для діодів, що випромінюють у ІЧ-області, до 4,2 В для СД, що випромінюють синє і фіолетове світло.

Максимально припустима зворотна напруга $U_{зв.макс}$ для більшості СД дорівнює 10 В.

Приклади вольт-амперних характеристик СД різних кольорів показано на рисунку 1.

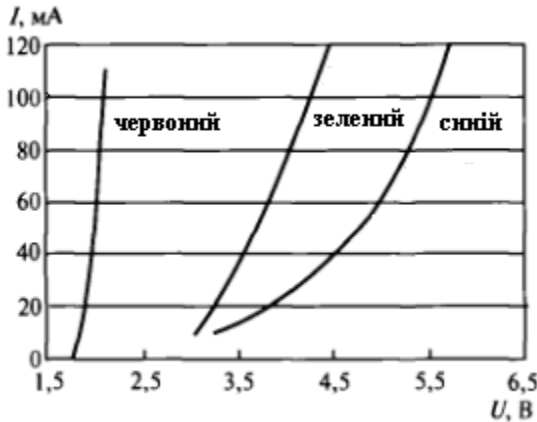


Рисунок 1 – Вольт-амперні характеристики СД.

Усі СД допускають роботу в імпульсному режимі з перевищенням амплітудного значення прямого струму над номінальним у 5-10 разів.

До вихідних параметрів СД відносяться:

- світловий потік;
- кут випромінювання $2\alpha_{0,5}$;
- осьова сила світла I_0 ;
- кольоровість або випромінювання довжина хвилі в області

максимуму випромінювання $\lambda_{макс}$;

- світлова віддача η_v (для ІЧ-діодів - ККД);
- яскравість L (указується для світних пластин);
- інерційність τ ;

- люмен-амперна характеристика (залежність світлового або променистого потоку СД від прямого струму).

Світловий потік Φ - найбільш важливий для світлотехніків параметр СД, однак він указується далеко не завжди і усіма фірмами-виготовлювачами. Частіше в каталогах приводяться *осьова сила світла I* і *кут випромінювання $2\alpha_{0,5}$* , тобто повний кут, на границях якого сила світла складає 0,5 від осьової. Для СД з двома площинами симетрії, що виготовляються рядом фірм, у каталогах указуються кути в цих площинах $2\alpha_{0,5}$ і $2\beta_{0,5}$. Серед промислових СД розкид кутів випромінювання складає від 3^0 до 180^0 , тобто КСС СД можуть бути від дуже вузьких до дифузійних. Величина осьової сили світла визначається кутом випромінювання і світловим потоком. Для однокристальних СД червоного і зеленого кольорів вона складає від 0,5 до 150 кд, для синіх - від 0,1 до 30 кд.

Кольоровість випромінювання визначається шириною заборонної зони і, у меншому ступені, товщиною активного шару СД. Випромінювання СД не є строго монохроматичним: ширина спектральної смуги випромінювання складає від 10 нм до 20 нм (за рівнем 0,5). Положення максимуму випромінювання слабо залежить від прямого струму СД і від температури *p-n-переходу* (близько 0,05 нм/К). У даний час виробляють СД практично з будь-яким кольором випромінювання.

Біле світло СД одержують або за допомогою люмінофорів, що перетворюють короткохвильове випромінювання в більш довгохвильове, або адитивним змішуванням випромінювання трьох кристалів. Найбільш простий і дешевий спосіб - уведення люмінофора, що випромінює жовте світло, до складу полімерного корпусу синіх СД. Однак передача кольору таких СД невисока (R_a не більше 70). Кращу передачу кольору при більш високій світловій віддачі можна одержати, використовуючи три кольорових люмінофори, що випромінюють червоний, зелений і синій кольори (аналогічно ЛЛ з вузькосмуговими рідкісноземельними люмінофорами). З застосуванням люмінофорів створено СД з різною колірною температурою (від 3000 до 8000 К) при загальному індексі передачі кольору R_a до 85. При адитивному змішуванні випромінювань трьох кристалів можна одержати біле світло практично з будь-якою колірною температурою при R_a , близьким до 100, але з низькими частковими індексами передачі кольору.

Світлова віддача η_v лабораторних зразків червоних СД ($\lambda_{\text{макс}} = 611$ нм) досягає 102 лм/Вт і, за прогнозами фахівців, у найближчі

роки може перевищити 150 лм/Вт. Вище 100 лм/Вт може бути також світлова віддача зелених (530 нм) і жовтих (598 нм) СД.

Яскравість L вказується в каталогах тільки для світлодіодних матриць і пластин з досить великою площею світіння. Яскравість залежить від кольору випромінювання і може перевищувати 10000 кд/м².

Інерційність СД визначається часом наростання світлового потоку від 0,1 до 0,9 і спаду від 0,9 до 0,1 $\Phi_{\text{ном}}$ при подачі й знятті напруги. У сучасних СД цей час складає від 10 нс до 50 нс. Настільки мала інерційність дозволяє модулювати випромінювання СД із частотою до десятків МГц.

Типова люмен-амперна характеристика СД наведена на рис. 2. На досить великих ділянках ця характеристика лінійна, однак при струмах, значно перевищуючих номінальні значення, у всіх СД спостерігається відхилення від лінійності (у бік насичення).

Лінійна залежність світлового потоку від прямого струму і мала інерційність СД дозволяють створювати на їхній основі світло- і кольородинамічні установки з дуже широкими діапазонами зміни яскравості й кольору, не досяжними при використанні інших ДС.

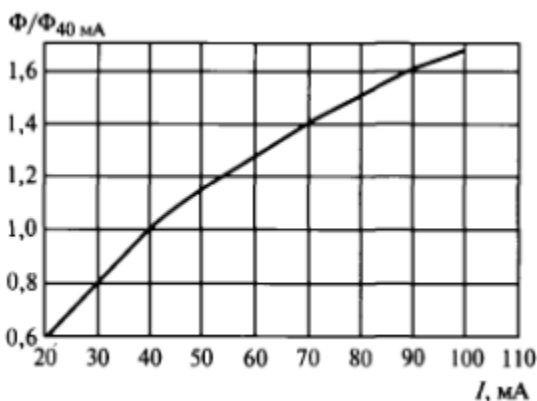


Рисунок 2 – Типова люмен-амперна характеристика СД

Живлення СД здійснюється в різних режимах: постійним струмом, в імпульсному режимі і функціональному режимі (наприклад, живлення струмом, сформованим по експоненті).

Режим живлення постійним струмом є найбільш простим, тому що для його здійснення не вимагаються спеціальні пристрої (генератори), СД підключаються до джерела живлення через

струмозадаючий резистор (Рис. 3) . Опір цього резистора визначається з виразу

$$R = (U_{\text{жив}} - U_{\text{СД}})/I_n$$

де $U_{\text{жив}}$ - напруга джерела живлення;

$U_{\text{СД}}$ - спадання напруги на СД, значення якого від 1,0 В до

2,2 В;

I_n - номінальний струм СД.

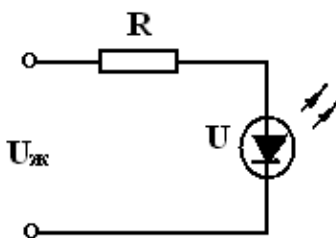


Рисунок 3 – Схема включення СД.

2 ОПИС УСТАНОВКИ

Вимірювання вольт-амперних і світлотехнічних характеристик світлодіодів здійснюють за допомогою приладу для вимірювання параметрів світлодіодів. Прилад містить два стояку, розміщені в ізолюваному від зовнішнього освітлення об'ємі. На одному стояку розташований фотоприймач, на другому установлюється світлодіод. Прилад містить клеми для підключення зовнішнього регульованого джерела живлення. Схема для вимірювання наведена на рисунку 4.

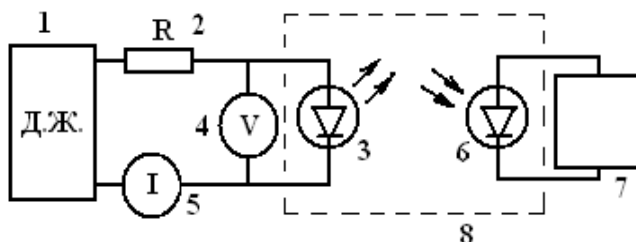


Рисунок 4 – Схема вимірювання:

- 1 - регульоване джерело живлення постійного струму;
- 2 - струмозадаючий резистор; 3 - світлодіод; 4 - вольтметр;
- 5 - амперметр; 6 - фотоприймач; 7 - вимірювач струму фотоприймача; 8 - об'єм, ізолюваний від зовнішнього освітлення

При вимірюванні залежності осьової сили світла від струму світлодіода величину сили світла беруть в одиницях струму фотоприймача.

3 ЗАВДАННЯ ДО РОБОТИ

1. Розрахувати величину опору струмозадаючого резистора R . Величину $U_{жив}$ - напруга джерела живлення; U_{CD} - спадання напруги на СД і I_n - номінальний струм СД для досліджуваних СД задає викладач.
2. Зібрати схему вимірювання.
3. Змінюючи напругу джерела живлення, зняти вольт-амперну характеристику (залежність струму від живильної СД напруги), а також залежність осьової сили світла (в одиницях струму фотоприймача) від струму світлодіода.
4. Побудувати в прямокутній системі координат вольт-амперні характеристики досліджуваних СД.
5. Побудувати в прямокутній системі координат графіки залежності осьової сили світла (в одиницях струму фотоприймача) від струму світлодіода для всіх досліджуваних СД.

4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Досліджувані світлодіоди встановлюють в затисках стояка приладу з урахуванням полярності таким чином, щоб оптична вісь СД збігалася з оптичною віссю фотоприймача.
2. Діапазон змін напруг для досліджуваних світлодіодів задається викладачем.
3. При встановленій напрузі живлення СД одночасно знімаються показання величини струму світлодіода і осьової сили світла (в одиницях струму фотоприймача).
4. Вольт-амперні характеристики для всіх досліджуваних СД будують на одному графіку.
5. Залежності осьових сил світла від струму СД для всіх досліджуваних світлодіодів будують на одному графіку.

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Принцип роботи СД.
2. Вхідні параметри СД.
3. Вихідні параметри СД.
4. Як одержують біле світло?

5. В яких режимах здійснюється живлення СД?
6. Для чого служить і як розраховується струмозадаючий резистор?
7. Нарисувати схему вимірювання.
8. Проаналізувати вольт-амперні характеристики обмірюваних СД.
9. Проаналізувати отримані залежності осьової сили світла (в одиницях струму фотоприймача) від струму світлодіодів

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Трембач В. В. Световые приборы (теория и расчет) / В. В. Трембач. – М. : Высшая школа, 1991. – 496 с.
2. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 972 с.
3. Айзенберг Ю. Б. Световые приборы / Ю. Б. Айзенберг. – М.: Энергия, 1980. – 380 с.
4. Литвиненко А. С. Світлові прилади : навч. посіб. для студ. вищ. техн. навч. закладів / А. С. Литвиненко, О. Л. Черкашина ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 125 с.

Навчальне видання

Методичні вказівки
для виконання лабораторних робіт
із навчальної дисципліни
«СВІТЛОВІ ПРИЛАДИ»

(для студентів денної і заочної форм навчання
напряму підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології,
фахове спрямування «Світлотехніка і джерела світла»)

Укладач ЛИТВИНЕНКО Анатолій Савелійович

Відповідальний за випуск *О. М. Ляшенко*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *А. С. Литвиненко*

План 2017, поз. 533 М

Підп. до друку 13.06.2017

Друк на ризографі

Зам. №

Формат 60х84/16

Ум. друк. арк. 1,9

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017 р.