

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

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З КУРСУ  
СВІЛОТЕХНІЧНІ МАТЕРІАЛИ**

*(для студентів 2-4 курсу денної і заочної форми навчання  
напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»  
спеціальності „Світлотехніка і джерела світла”)*

**ХАРКІВ - ХНУМГ - 2013**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу “Світлотехнічні матеріали” (для студентів 2-4 курсу денної і заочної форми навчання напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» спеціальності „ Світлотехніка і джерела світла”) / Харк. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: С. Л. Бухарін. – Х.: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2013 – 52 с.

Укладач: С. Л. Бухарін

Рецензент: Е.Д. Д`яков

Рекомендовано кафедрою світлотехніки і джерел світла,  
протокол № 3 від 28 січня 2003 р.

## ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	4
Лабораторна робота №1. Визначення оптичних властивостей світлотехнічних матеріалів.....	5
Лабораторна робота №2. Визначення термостійкості електролампового скла.....	10
Лабораторна робота №3. Вивчення механічних властивостей електровакуумних матеріалів.....	17
Лабораторна робота №4. Вивчення зварюваності електровакуумних металів і сплавів.....	24
Лабораторна робота №5. Визначення діаметра дроту з тугоплавких металів.....	29
Лабораторна робота №6. Визначення гранулометричного складу люмінофорів.....	36
Лабораторна робота №7. Вимірювання коефіцієнтів відбиття та пропускання за допомогою фотометра ФМШ-56.....	43
Лабораторна робота №8. Нанесення світловідбиваючих покриттів методом вакуумного напылення.....	48

## ВСТУП

Розробка й створення сучасних виробів світлотехнічної промисловості тісно пов'язані з викопистанням широкої номенклатури світлотехнічних матеріалів з манітними оптичними й світлотехнічними характеристиками.

Світлотехнічними вважають матеріали, які, взаємодіючи безпосередньо зі світловим випромінюванням, призводять до його відбиття, поглинання, пропускання, заломлення, розсіювання, поляризації, дифракції, інтерференції та ін. Залежно від області застосування одні з цих явищ цілеспрямовано використовують при створенні світлових приладів, а інші намагаються звести до мінімуму. Так, відбиття світлового потоку у видимій, ультрафіолетовій та інфрачервоній областях спектра широко застосовується в роботі різноманітних світильників та випромінювачів. Явище заломлення світла використовують при створенні призматичних заломлювачів світлових приладів, що дають змогу перерозподіляти світловий потік у просторі за певним законом. Такою ж важливою є роль світлопропускаючих та світлорозсіюючих матеріалів, що широко використовуються у світильниках як промислового, так і побутового призначення. Світлогенеруючі матеріали дозволяють створювати світловипромінювачі, що працюють у широкій області спектра - від інфрачервоного до ультрафіолетового. Використання поляризуючих матеріалів дало поштовх до розвитку нового напрямку світлотехнічного матеріалознавства, на базі якого створено світові прилади, які відповідають сучасним вимогам щодо якості освітлення об'єктів.

Отже, вивчення властивостей світлотехнічних матеріалів і фізичних явищ, що відбуваються при взаємодії середовища зі світловим потоком, є необхідною умовою успішного й спрямованого пошуку й застосування нових, більш ефективних матеріалів при розробці сучасних світлотехнічних виробів. Це дасть змогу, враховуючи масовість випуску виробів світлотехнічної промисловості, досягти великої економії матеріалів, енергоресурсів, коштів.

Метою виконання лабораторних робіт є засвоєння способів та методик проведення вимірювань основних характеристик матеріалів. У цих методичних вказівках описуються вісім робіт, в яких наведено характеристики й принцип дії вимірювальних приладів і обладнання, рекомендації щодо виконання робіт, контрольні запитання, порядок оформлення результатів і список літератури.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СВІЛОТЕХНІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Мета роботи** - вивчення основних оптичних властивостей світлотехнічних матеріалів та сучасних методів їх вимірювання, набуття практичних навичок роботи з фотометрами.

**Завдання роботи** - вивчення коефіцієнта пропускання світлопрозорих матеріалів, що мають різну товщину, а також виявлення коефіцієнта відбиття світловідбиваючих матеріалів.

У результаті виконання роботи студент повинен:

- ◆ вивчити класифікацію світлотехнічних матеріалів за типами пропускання та відбиття;
- ◆ визначити фактори, що впливають на коефіцієнти пропускання та відбиття;
- ◆ визначити фізичний зміст оптичних властивостей світлотехнічних матеріалів;
- ◆ засвоїти методи визначення оптичних характеристик матеріалів;
- ◆ вивчити принципову схему фотометра типу ФМ-56;
- ◆ навчитися обробляти, аналізувати й робити висновки за одержаними результатами;
- ◆ одержати практичні навички роботи з фотометром - його юстування, настроювання та вимірювання коефіцієнтів пропускання і відбиття.

У світлотехнічних виробках для пропускання або перерозподілу оптичного випромінювання використовують світлотехнічні матеріали. Їх світлотехнічні властивості характеризуються такими параметрами:

коефіцієнт пропускання  $\tau$ ;

коефіцієнт відбиття  $\rho$ ;

коефіцієнт заломлення нормальний  $n_\gamma$  і спектральний  $n_\lambda$ ;

поздовжня крива розсіювання світлового потоку.

У цій лабораторній роботі з наведених вище параметрів студенти повинні визначити тільки коефіцієнти пропускання та відбиття для видимої області оптичного випромінювання з допомогою фотометра ФМ-56.

### **1.1. Принцип роботи фотометра ФМ-56**

В основу роботи фотометра типу ФМ-56 покладено принцип вирівнювання двох світлових потоків за рахунок зміни одного з них за допомогою діафрагми, що змінює площу світлового отвору об'єктива фотометра, зображення якого проектується в зіницю спостерігача.

У фотометр через дві діафрагми I і 2 (рис. I), зв'язані з вимірювальними барабанами 3 і 4, потрапляють два паралельних світлових пучки. Ці два пучки оптичною системою приладу зводяться до однієї осі таким чином, що спостерігач через окуляр бачить поле зору у вигляді кола, що розділене пополам лінією. Яскравість лівої частини поля утворюється правим світловим пучком, що проходить через праву діафрагму, а правої - через ліву діафрагму. Якщо обидві діафрагми I і 2 освітлені однаково і в однаковій мірі розкриті, то яскравість обох половин поля зору буде однаковою. Якщо ж на шляху одного світлового пучка, наприклад, 1-го, перед діафрагмою при повному розкритті обох діафрагм розмістити об'єкт, який частково поглинає світло, то поле зору I (рис. I) стане менш яскравим. Для того, щоб зрівняти обидва поля за яскравістю, треба зменшити яскравість поля II. Таке зменшення здійснюється зміною площі діафрагми, через яку проходить світловий потік II.

На вимірювальних барабанах, що зв'язані з діафрагмами, нанесено відношення ( $y$  %) площини  $S$  діафрагми при даному розкритті до площі  $S_0$ , яку вона має при максимальному розкритті. Оскільки світловий потік рівномірного пучка, що проходить через діафрагму, пропорційний площі її розкриття, то відношення площ діафрагм дає відношення потоків I та II, що може служити мірою визначення коефіцієнта проходження світлового потоку.

### **1.2. Підготовка приладу до роботи**

Для одержання точних результатів вимірювання на фотометрі ФМ-56 необхідно забезпечити однакову початкову яскравість обох полів, що спостерігаються в окулярі приладу. Для цього треба ретельно підготувати прилад, що виконують у такій послідовності. По-перше, вмикають лампу освітлювача фотометра через знижувальний трансформатор Т-3. Лампа розрахована на напругу 8 В. З допомогою держака трансформатора, що знаходиться на його кришці, можна регулювати напругу живлення лампи освітлювача.

Промінь світла від освітлювача спрямовують на плоске дзеркало, яке повертають таким чином, щоб вхідні отвори фотометра були рівномірно освітлені. Далі вмикають зелений світлофільтр №5, за рахунок зміщення конденсорів освітлювача одержують в обох полях приладу, що спостерігаються в окулярі, чіткі зображення спіралі лампи.

Після цього в пази оправи конденсорів вставляють відповідні матові стекла. Підготовка приладу вважається задовільною, якщо при встановленні одного з барабанів на позначці "50" однакова яскравість поля порівняння відповідатиме відліку в межах 45-55 за шкалою другого барабана. Якщо цього не спостерігається, то яскравість полів можна зрівняти, діючи в такій послідовності:

- встановити в паз оправи одного з конденсорів прозоре скло, що входить до комплекту приладу;
- поміняти місцями розсіювачі;
- повільно пересувати один або обидва конденсори в освітлювачі.

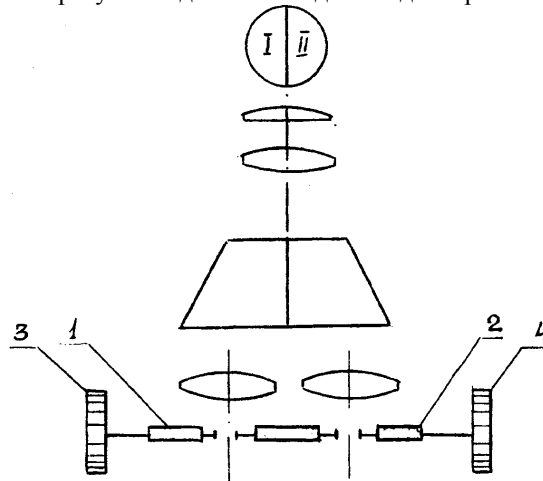


Рис. 1 - Оптична схема фотометра ФМ-56

### 1.3. Вимірювання коефіцієнта пропускання

Правий барабан установлюють на позначку 100 (на чорній шкалі), а прозорий зразок розміщують над правим вікном предметного столу. Повертаючи лівий барабан, зрівнюють яскравість обох світлових полів. Після цього зразок виймають і рівновагу яскравостей світлових полів відновлюють обертанням правого барабана. Відлік за чорною шкалою правого барабана дає коефіцієнт пропускання зразка, а за червоною шкалою - його оптичну густину:

$$D = -\lg \tau .$$

Для одержання точного значення коефіцієнта пропускання послідовно виконують 5-7 вимірювань і визначають  $\tau$  як середнє арифметичне з одержаних результатів.

#### 1.4. Вимірювання коефіцієнта відбиття

Коефіцієнт відбиття зразків світлорозсіювальних матеріалів вимірюють з допомогою механічного пристрою, що дозволяє вимірювати блиск. Цей пристрій встановлюють на штатив замість плоского дзеркала так, щоб відліковий лімб знаходився ліворуч від спостерігача, який дивиться зверху в окуляр фотометра. Обертю стіл ставлять у горизонтальне положення, що відповідає нулю за шкалою лімба. На обидва тримачі ставлять баритові еталонні платівки і рівномірно освітлюють їх з допомогою освітлювача. Лівий барабан виміральної діафрагми фотометра встановлюють за чорною шкалою на позначку 100. Правий барабан встановлюють у середнє положення фотометричної рівноваги. Після цього баритову платівку, що розміщена під правим пучком світла, знімають і ставлять на її місце досліджуваний матеріал. Обертанням лівого барабана досягають фотометричної рівноваги. Величину коефіцієнта відбиття  $\rho_1$  для даного положення зразка матеріалу по відношенню до баритової платівки визначають за чорною шкалою лівого барабана.

При обертанні зразка в одній і тій же площині величина  $\rho$  багатьох матеріалів змінюється, тому для підвищення точності вимірювання слід проводити при двох різних положеннях досліджуваного зразка. Перше положення зразка описано раніше, друге положення встановлюється обертанням зразка, що знаходиться в круглому тримачі, навколо вертикальної осі на  $90^\circ$ . Величину кута повертання визначають за барабаном. За результатами вимірювань при першому положенні зразка  $\rho_1$  і другому  $\rho_2$  встановлюють середнє значення

$$\rho = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}.$$

Для встановлення абсолютного значення коефіцієнта відбиття світла знайдену величину  $\rho$  помножують на коефіцієнт відбиття баритової платівки  $R_{пл}$ , який дають у долях одиниці:

$$R = \rho R_{пл}.$$

#### 1.5. Завдання до роботи

1. Перед початком роботи треба ознайомитися з основними світлотехнічними характеристиками світлопроникних та світловідбиваючих матеріалів, що використовуються у світлотехнічних виробках, наприклад, скло і полімерні матеріали (див. Іс. 4-25,34-56, 76-93, 2 с. 38-40, 51-52,82-87).

2. При вивченні принципу дії фотометра ФМ-56 треба



ввімкнути освітлювальну лампу приладу і через окуляр спостерігати поле зору освітлювальну лампу приладу і через окуляр спостерігати поле зору від паралельних світлових пучків. У випадку, коли поля зору освітлені неоднаково, необхідно виконати завдання згідно з п. 1.2.

3. Перевірити юстування приладу і впевнитися в тому, що при позначці "50" першого барабана і позначці "45-55" другого барабана яскравість полів зору від паралельних світлових пучків однакова.

Ознайомитися з шкалами, нанесеними на зовнішню поверхню барабанів (чорну й червону).

4. Виміряти коефіцієнт пропускання світла для одного, двох, трьох, чотирьох і шести стекол товщиною 1 мм.

Вимірювання повинен проводити кожний студент не менше 3 разів кожне і за результатами вимірювань виявляти середнє арифметичне значення коефіцієнта пропускання для кожного експерименту.

За результатами залежності середнього арифметичного значення коефіцієнта пропускання від товщини пластинок накреслити графік і зробити висновок, аналізуючи цей графік.

5. Підготувати фотометр для вимірювання коефіцієнта відбиття. Кожному студенту виміряти коефіцієнти відбиття від горизонтальної площини матового скла у двох взаємно перпендикулярних положеннях площини.

#### **Контрольні запитання**

1. Накреслити оптичну схему приладу ФМ-56 і пояснити принцип його дії.
2. Як підготувати прилад до роботи?
3. Як називається і працює пристрій для порівняння світлових потоків?
4. Дати визначення і практично виміряти коефіцієнт пропускання матеріалів.
5. Дати визначення і розповісти, як вимірюють коефіцієнт відбиття матеріалів.
6. На які групи поділяються світлотехнічні матеріали за видами пропускання і відбиття?
7. Які фактори впливають на коефіцієнти пропускання і відбиття?

#### **Список джерел**

1. Мельников Ю.Ф. Светотехнические материалы. – М.: Высш. школа, 1976, – С.4-25, 34-56, 76-93.
2. Мешков В.В. Основы светотехники. – М. Энергия, 1979.- С. 38-40, 51-52, 82-87.
3. Конспект лекцій з курсу "Світлотехнічні матеріали", Л. №8 - 10.

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМОСТІЙКОСТІ ЕЛЕКТРОЛАМПОВОГО СКЛА**

**Мета роботи** - ознайомити студентів з методикою визначення термостійкості скла і факторами, що впливають на термостійкість.

**Завдання роботи** - визначити термостійкість скла до і після вогняної обробки за ГОСТ 7330-55.

У результаті виконання роботи студент повинен:

*знати* - визначення термостійкості, фактори, що впливають на термостійкість, метод визначення термостійкості і принципову схему пристрою, за допомогою якого вона вимірюється;

*вміти* - виконувати розрахунки з допомогою емпіричних співвідношень, обробляти результати вимірів і аналізувати їх; здобути практичні навички роботи з газовим пальником і проведення випробувань скла на термостійкість за ГОСТ 7330-55.

*Термостійкість* - це здатність скла витримувати без руйнування різкі зміни температури.

Для електролампового скла термостійкість має особливо важливе значення, бо в процесі виготовлення всіх видів джерел світла скло багаторазово підлягає нагріванню і охолодженню.

Термостійкість є складовою технологічною властивістю і визначається багатьма фізичними показниками: коефіцієнтом термічного розширення, модулем пружності (Юнга), межею міцності при видовженні, теплопровідністю, питомою теплоємністю та ін.

### **2.1. Залежність термостійкості скла від різних параметрів**

При охолодженні куска скла поверхневі шари його охолоджуються швидше і прагнуть скоротитися в об'ємі. Цьому протидіють міцно з ними зв'язані внутрішні, ще гарячі шари. Внаслідок цього в поверхневих шарах виникають напруження що розтягають, а у внутрішніх, –що стискають. При різкому перепаді температур напруження, що розтягають, можуть перевищити межу міцності при видовженні й зразок зруйнується. При швидкому розігріванні скла поверхневі шари прагнуть розширитися; цьому протидіють внутрішні, ще холодні шари скла. Внаслідок цього в поверхневих шарах виникає напруження стискання, а у внутрішніх - напруження видовження. Вирішальну роль відіграють напруження, що виникають у поверхневих шарах, тобто напруження стискання. Але межа міцності до стискання набагато більша, ніж до видовження, в результаті чого скло має значно більшу термостійкість до швидкого нагрівання, ніж до швидкого охолодження.

Термостійкість вимірюється різницею температур, між якими скло може бути охолоджене без руйнування. При оцінці термостійкості велику роль відіграє коефіцієнт лінійного розширення. Найбільш термостійким є скло кварцове, що мав найбільш низький коефіцієнт лінійного розширення. Великою стійкістю відзначаються марки скла вольфрамового С 37-2, С 38-1, С 40-1 (С - скло; 37-40... і т.д. - коефіцієнт термічного розширення скла, помножений на  $10^7$ , 1,2 - номер розробки скла).

Молібденові марки скла (С 49 - С 54) мають нижчу термостійкість, і нарешті "звичайні" марки скла мають порівняно низьку термостійкість до різких змін температур,

Для наближеної оцінки термостійкості скла інколи застосовують коефіцієнт термостійкості  $K$ , значення якого можна знайти за допомогою формули

$$\Delta T = K = \frac{\sigma_B}{\alpha E} \sqrt{\frac{\lambda}{c\rho}}$$

де  $\sigma_B$  - межа міцності на видовження;

$\alpha$  - коефіцієнт термічного розширення;

$E$  - модуль пружності (Юнга);

$\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності;

$c$  - питома теплоємність;

$\rho$  - густина.

Із зміною хімічного складу найбільш сильно змінюється коефіцієнт термічного розширення, тоді як співвідношення  $\frac{\lambda}{c\rho}$  і  $\frac{\sigma_B}{E}$

залишаються майже сталими. Тому термостійкість можна знайти з формули

$$\alpha \Delta T = 1150 * 10^6,$$

що дає дещо завищені результати. На практиці для оцінки термостійкості скла достатньо застосувати величину, зворотну коефіцієнту термічного розширення скла.

Зниження термостійкості викликається тими ж причинами, що ведуть до зменшення механічної міцності й навпаки. Так, значно знижують термостійкість скла подряпини й тріщини на поверхні, а також різноманітні неоднорідності й дефекти скла (свищі, звивини, камінці та ін.). Термостійкість скла можна підвищити вогняним поліруванням його поверхні чи травленням скла плавиковою (фтористоводневою) кислотою.

Товщина стінок скляного виробу дуже впливає на величину його термостійкості. Це є однією з причин виготовлення колб джерел світла із скла з низькою термостійкістю, тонкостінними. Залежність термостійкості скляного виробу від товщини його стінки відображає формула

$$\Sigma\Delta T = \frac{\Delta T}{\sqrt{a}},$$

де  $\Sigma\Delta T$  - термостійкість виробу в градусах;

$\Delta T$ - термостійкість скла, з якого виготовлений цей виріб, у градусах;

$a$ - товщина стінки виробу, мм.

Наведена формула справедлива для випадків, коли у виробі немає вад (свищі, подряпини, тріщини та ін.). Фактична термостійкість значно нижче теоретичної, підрахованої за цією формулою .

Термостійкість при охолодженні значно нижча, ніж при нагріванні, і значною мірою залежить від умов охолодження. Термостійкість при повному охолодженні

$$\Delta T = \frac{\sigma_{в.л.}(1-\mu)}{\alpha E},$$

при місцевому охолодженні

$$\Delta T = \frac{3\sigma_{в.л.}(1-\mu)}{2\alpha E},$$

при місцевому нагріванні

$$\Delta T = \frac{3\sigma_{в.л.}(1-\mu)}{\alpha E},$$

де  $\mu$ - коефіцієнт Пуассона;

$\sigma_{в.л.}$  - межа міцності на згин, кг/см<sup>2</sup> .

Поряд із стійкістю скляних виробів до дії швидкої зміни температури велике значення має їх статична термостійкість (СТС) , можливість витримувати, не руйнуючись, вплив сталих у часі, але різних в окремих точках виробу температурних навантажень. У працюючих електровакуумних пристроях часто можуть виникати подібні тривалі градієнти температури. Нерівномірний розподіл температури викликає нерівномірний розподіл напружень у виробках. У більш нагрітих його частинах з'являються стискаючі, а в менш нагрітих - подовжувальні напруження.

Величину цих напружень  $S$  можна одержати за допомогою формули

$$S = \frac{\alpha E \Delta T}{2(1-\mu)},$$

де  $\Delta T$  - градієнт температури.

З цієї формули можна знайти числову величину статичної термостійкості, коли підставити в неї  $S = 0,7 \text{ кг/мм}^2$ , величину подовжувальних напружень, які здатний витримати виріб у вигляді трубки чи диску, не руйнуючись. Величину  $\mu$  візьмемо рівною 0,23 - середня величина коефіцієнта Пуассона для електровакуумного скла. Тоді

$$\Delta T = \text{СТС} = \frac{1.4(1 - \mu)}{\alpha E} \approx \frac{1.08}{\alpha E}.$$

## 2.2. Метод визначення термостійкості

Для визначення термостійкості скла звичайно вживають метод "температурного поштовху", при якому швидко охолоджують нагрітий скляний зразок. При цьому мірою термостійкості є різниця температур, при якій зразок руйнується.

Як зразки для дослідів використовують готові вироби зі скла, зразки скла у вигляді кубиків, циліндрових дротів (стержнів) або пластинок.

У виробництві електровакуумного скла застосовують метод визначення термостійкості за ГОСТ 7330-55. Штапики довжиною 30 мм, діаметром 4 мм в кількості 12-15 одиниць вміщують у трубчасту електропіч у спеціальному нікелевому термоблоку і розігрівають до температури, що дорівнює нижній межі термостійкості скла.

Потім зразки швидко вміщують у посуд з водою. З охолоджених зразків відбирають зразки з тріщинами і знову вміщують їх у піч, температуру якої підвищують на  $10^\circ\text{C}$ . Такі операції повторюють доти, доки всі зразки не зруйнуються. Величину термостійкості визначають за формулою

$$\Delta T = \frac{n_1 \Delta T_1 + n_2 \Delta T_2 + \dots + n_i \Delta T_i}{n_1 + n_2 + \dots + n_i},$$

де  $n_i$  - кількість зразків, у яких виникла тріщина при різниці температур в печі й охолоджуючій рідині (води)  $\Delta T_i$

$$(i = 1, 2, 3, \dots, n).$$

При виборі і приготуванні зразків слід мати на увазі, що результати дослідів залежать від діаметра й довжини зразків, стану їх кінців і поверхні (тріщини, подряпини, сплавленість і т.д.), а також від ступеня відпалу зразків.

Відібрані зразки повинні мати вказані вище розміри, оплавлені кінці, бути добре відпаленими й не мати тріщин і подряпин.

### 2.3. Описання установки

Установка для визначення термостійкості скла (рис. 2) являє собою відбивну піч із йодною лампою розжарювання у стані нагрівача, обладнану пристроям для розташування зразків у печі під час розігрівання і послідовного скидання їх до посуду з водою.

Цей пристрій складається із сітчастого контейнера (3), де розміщують зразки і механізму скидання нагрітих зразків (2). До лампи печі подають напругу від лабораторного автотрансформатора. Температуру в печі регулюють напругою, що подається до лампи. Для контролю і вимірювання температури є термопарний термометр 4.

Напруга з термопар подається до гальванометра, що має шкалу у градусах °С. Скидання зразків здійснюється швидким відкриттям кришки печі 5 і пересуванням ручки 7 механізму скидання до положення І. Зразки скидаються до посуду з водою б, температура води кімнатна.

Для приготування зразків потрібне таке обладнання: 1) газовий палик; 2) полярископ ПКС-56; 3) штангенциркуль; 4) пінцет; 5) ніж для різання скла,

### 2.4. Завдання до роботи

І. Для виконання роботи слід уважно ознайомитися з механічними й термічними властивостями скла (див. І -с. 40-45; 2 - с. 96-107; 3 - лекція № ІІ).

*Завдання до п. 2.1.*

Уважно ознайомитися з формулами в розділі 2.1.

Розрахунковим шляхом визначити термостійкість скла таких марок: С 40-1, С 49-2, С 96-1.

Розрахунковим шляхом визначити термостійкість при місцевому охолодженні й нагріванні, а також статичну термостійкість для двох марок скла С 40-1 і С 96-1.

*Завдання до п. 2.2.*

Підготувати дві партії штапиків по 12 одиниць кожна, і першу з них обробити полум'ям газового пальника (оплавити кінці, вилучити подряпини й тріщини з бокової поверхні).

Описати кожний із зразків другої партії (без обробки полум'ям пальника), розглядаючи їх крізь лупу із збільшенням у 5...20 разів,

Обидві партії розташувати в контейнері й закрити в печі.

*Завдання до п. 2.3.*

Ознайомитися з установкою й методом визначення термостійкості.

Визначити термостійкість кожної з двох партій зразків.

За одержаними результатами зробити висновки про вплив стану поверхні на термостійкість скла.

## 2.5. Вказівки до проведення роботи

До п. 2.2: перевірити за допомогою штангенциркуля зразки на відповідність розмірам і відібрати для дослідів ті, що не мають подряпин та тріщин. Оплавити кінці штапиків у полум'ї газового пальника. Оплавлені зразки розглянути в полярископ на відсутність внутрішніх напружень

До п. 2.3: підняти ковпак печі, встановити контейнер із зразками, опустити ковпак. Подати до лампи напруження, що забезпечує потрібну температуру. Витримати зразки в печі при заданій температурі протягом 10-15 хв. Швидко відкрити кришку й повертанням ручки до положення I скинути зразки у воду. Відібрати зразки з тріщинами. Завантажити в піч зразки, що залишились без тріщин.

Підвищити температуру в печі на 10°C і продовжити досліді згідно з п 1-6, доки всі зразки не зруйнуються. Результати вимірів записати до таблиці.

Кількість зразків, розташованих у печі	Розміри зразків, мм		Температура в печі, °C	Температура води, °C	Різниця температур, °C	Кількість зразків із тріщинами	Термостійкість
	довжина	діаметр					

## 2.6. Правила роботи з газовим пальником

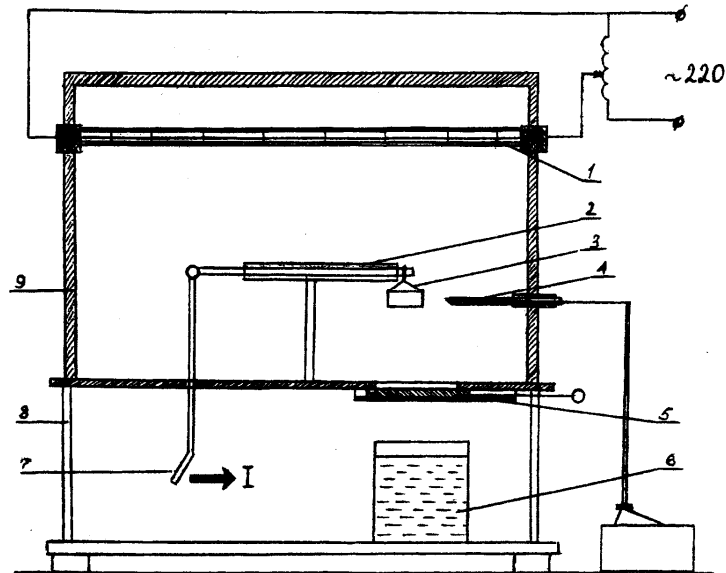
При запалюванні складувного пальника слід додержувати такої послідовності: відкрити загальні газовий і повітряний крани на газо - й повітропроводах. Запалити переносний запальник (сірник чи паперовий джгут) і піднести до пальника. Повільно відкрити газовий кран і швидко запалити газовий пальник. Плавню відкрити регулювальний кран стиснутого повітря на пальнику. Відрегулювати постачання повітря й газу для одержання полум'я потрібного вигляду. Для зменшення полум'я зменшити постачання повітря, а після цього зменшити постачання газу. Щоб загасити пальник, треба діяти у зворотній послідовності: зачинити кран постачання повітря, а потім - газовий кран.

Після закінчення роботи з пальником закривають крани на пальнику, а потім на повітряному трубопроводі.

### Контрольні запитання

1. Що називається термостійкістю скла, від яких фізичних властивостей матеріалу вона залежить?

2. В яких одиницях вимірюють термостійкість скла, яке скло має найбільшу термостійкість?
3. Коефіцієнт термостійкості скла. Від чого він залежить?
4. Розрахункові формули термостійкості скла.
5. Що зменшує і збільшує термостійкість скла?
6. Залежність термостійкості скляних виробів від товщини стінок
7. Способи практичного визначення термостійкості скла. Що є мірою стійкості скла до термоударів?
8. Як визначається величина статичної термостійкості скла?
9. Техніка безпеки при виконанні робіт.



*Рис. 2 - Пристрій для визначення термостійкості скла:  
 1-нагрівник; 2-механізм скидання зразків; 3-контейнер;  
 4-термопара; 5-кришка печі; 6-посуд з водою; 7-ручка механізму скидання; 8-  
 підставка печі; 9-корпус печі з алюмінієвим відбивачем випромінювання*

#### Список джерел

1. М.Л. Любимов. Спай металла со стеклом. - М.: Энергия, 1968.- С.40-45.
2. В.П.Денисов, Производство электрических источников света.- М.: Энергия, С.96-107.
3. В. Зеппе. Технология электровакуумных материалов. Т.2 - М.: Энергия, 1968,-С.28-73 , 81-84.



### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 ВИВЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОВАКУУМНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Мета роботи** - ознайомити студентів із способами визначення механічних властивостей матеріалів та впливу відпалу на ці властивості.

**Завдання роботи** - визначити межу міцності й відносне видовження вольфрамових, молібденових та нікелевих дротів, а також залежність межі міцності та відносного видовження вольфрамових дротів від температури відпалу.

Після виконання роботи студент повинен:

*знати* - характеристики механічних властивостей матеріалів, їх визначення і залежність від кристалічної структури, методи вимірювання механічних властивостей за допомогою кривої напруженість - деформація; принципову схему розривної машини РП - 100 та принцип її дії; правила техніки безпеки при роботі з вакуумним обладнанням;

*вміти* - працювати з вимірювальним інструментом, випробувальним обладнанням (розривною машиною та вакуумним постом), обчислювати результати вимірювань і аналізувати їх; розраховувати величину електричного струму, що нагрівав вольфрамовий дріт до певної температури відпалювання;

набути практичні навички вимірювання відносного видовження роботи на розривній машині та вакуумному посту.

Важливо з'ясувати, що електровакуумна технологія ставить жорсткі вимоги до механічних властивостей матеріалів: межі міцності, відносного видовження та ін. Знання цих властивостей дозволяє правильно застосовувати матеріали при конструюванні й виготовленні джерел світла. Для вольфрамових і молібденових дротів важливими властивостями є межа міцності і відносне видовження. Невідповідність цим вимогам дає брак при виготовленні спіралей з вольфрамового дроту. Нікель є важливим матеріалом, з якого виготовляють внутрішні монтажні пристрої електровакуумних приладів, він повинен мати певну міцність, пластичність, пружність. Досліди на межу - міцності й відносне видовження дротів з електровакуумних матеріалів виконують на розривних машинах із зусиллям 50 - 500 кГс.

### 3.1. Розривна машина РП-100

Схема машини зображена на рис. 3. Зразок дроту затискають у верхньому 2 і нижньому 3 стискачах і піддають видовженню.

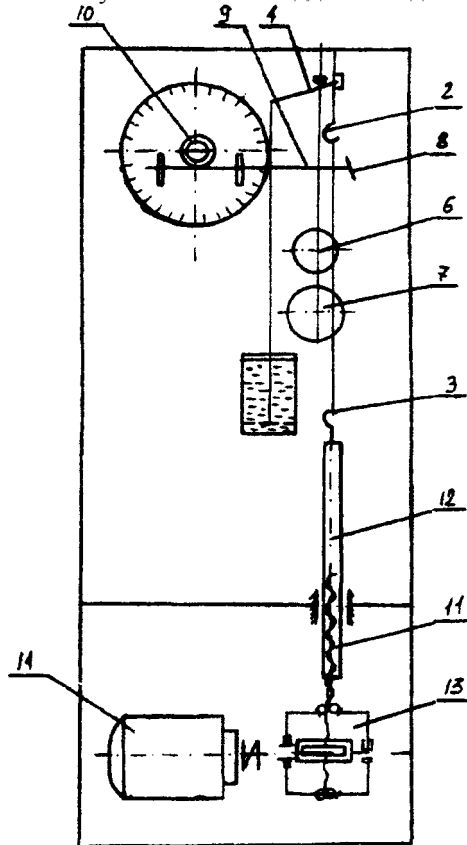


Рис. 3 - Розривна машина РП-100

Прикладене до зразка зусилля передається через верхній стискач 2 і підтримку до плеча вантажного важеля 4. Важіль зроблений як одне ціле з віссю маятника, що закріплена у двох кулькових підшипниках. На другому кінці осі жорстко закріплена штанга 5 із тягарями 6, 7. Під впливом навантаження важіль повертається й змушує відхилитися маятник від вертикального положення. Кут відхилення маятника пропорційний навантаженню. При відхиленні маятника закріплений на штанзі опір зміщує зубчасту рейку 9. Рейка 9 знаходиться в зачепленні із шестернею 10, що

розміщена на одній осі з робочою стрілою шкали, яка відхиляється на кут, пропорційний навантаженню, прикладеному до зразка. Максимальне навантаження фіксується контрольною стрілкою.

Повертання робочої стрілки і рейки у вихідне положення відбувається завдяки вантажу, закріпленому на шківі шестерні. Повертання контрольної стрілки до вихідного положення здійснюється вручну.

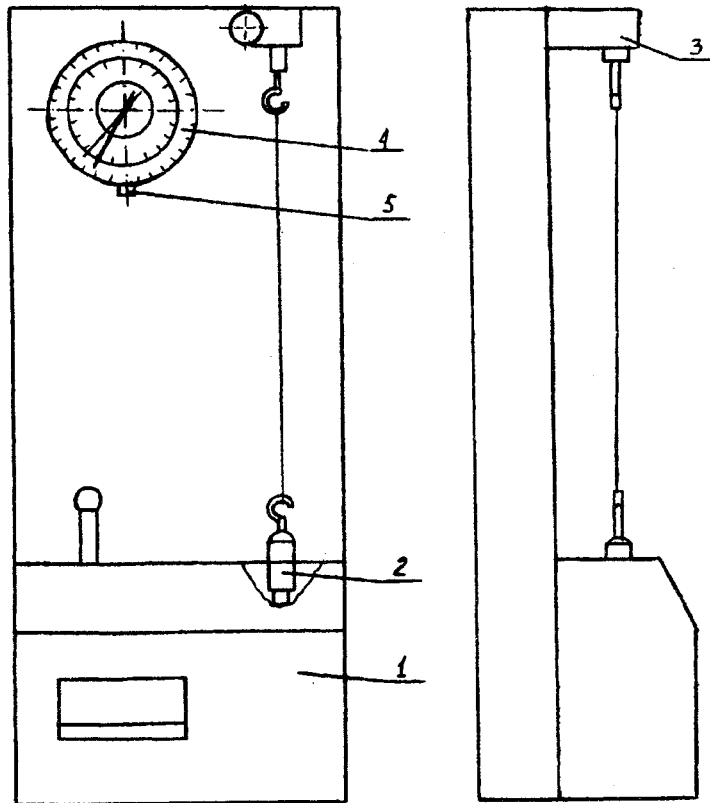


Рис. 4- Розривна машина РП-100

Ходовий гвинт II, що несе шпindel 12 із нижнім стискачем, отримує оберти через редуктор І3 від електродвигуна 14. Машина зображена на рис. 4. Вона має такі частини: кістяк І, привод 2, вимірник зусилля 3 із масляним демпфером, шкала зусилля 4 і електрообладнання. Кістяк - зварний каркас, де змонтовані всі вузли машини. Привод 2 використовується для передачі руху від електродвигуна до шпинделя. Він складається з асинхронного

електродвигуна одноступінчатого черв'ячного редуктора, що має ходовий гвинт із шпинделем. Вимірник зусилля потрібний для вимірювання зусилля, прикладеного до зразка. Конструктивно він зроблений за такою схемою. У сталій трубці на двох кулькових підшипниках змонтована вісь, на якій закріплений маятник. Останній має два тягарі. Верхній закріплений постійно і використовується в межах від 0 до 50 кГс, а нижній, що складається з двох дисків, - знімний і використовується в межах від 0 до 100 кГс. Маятник зв'язаний з масляним демпфером, що потрібно для плавного повертання маятника після розривання зразка.

Шкала навантажень 4 потрібна для візуального визначення навантаження, прикладеного до зразка, й фіксації максимального навантаження. Шкала подвійна. Установлення її на нуль здійснюється ручкою 5. Електрична схема машини дозволяє рухатись нижньому стискачеві вверх чи вниз.

Зміна напрямку пересування нижнього стискача здійснюється ручкою включення: у положенні "на себе" стискач пересувається вниз, у положенні "від себе" він рухається вверх і зупиняється в крайньому верхньому положенні.

### 3.2. Вакуумна камера

Схема камери показана на рис. 5. За допомогою дифузійного та механічного насосів під скляним ковпаком утворюється вакуум близько 0,1 Па. Пристрій для відпалу розташований під ковпаком і складається з верхнього диску, на якому закріплені дроти, другі кінці яких підключені до електричних ввідів. Напруга для відпалу від знижувального трансформатора подається до одного з дротів через диск та електричний ввід. За допомогою перемикача можна подавати напругу на будь-який дріт.

Унаслідок протікання електричного струму дріт розжарюється до потрібної температури. Якщо відомий діаметр дроту  $d$ , то можна розрахувати величину струму за рівнянням

$$I = \frac{\pi d}{2} \sqrt{\frac{dR_T}{\rho_T}},$$

де  $R_T$  - густина випромінювання з поверхні дроту, що залежить від температури, Вт/см<sup>2</sup>;

$\rho_T$  - питомий опір дроту, Ом\*см.

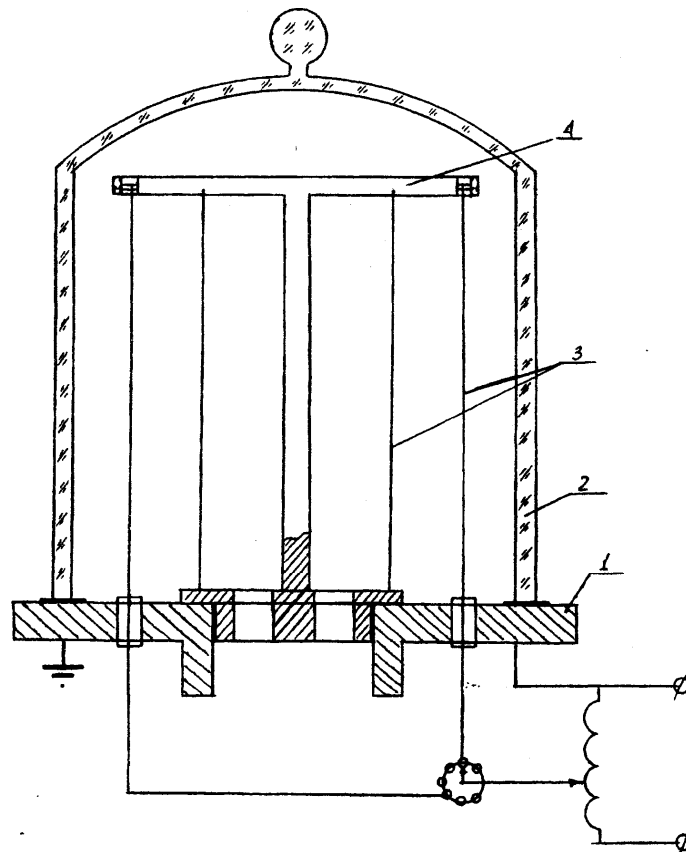


Рис. 5-Схема вакуумної камери відпалу:  
 1-плита ;2- вакуумний ковпак; 3-дріт, що відпалюється;  
 4-прилад для затиснення дротів

### 3.3. Завдання до роботи

1.Щоб виконати роботу, треба вивчити механічні властивості вольфраму, молібдену й нікелю ( див. 1, с. 58-75; 2, с. 28-64; 4, с. 50-54; 5, с. 65-97, 126, 189-193; 3 - лекції № 5, 6).

2.Чітко знати діаграму  $\sigma = f(\epsilon)$  (залежність напруги від відносної деформації) (див. 3 - лекція 4; 6, с. 70-88 ).

До п. 3.1: 1.Вивчити будову й принцип дії розривної машини РІ-100.

2.Ознайомитися з правилами вмикання і вимикання розривної машини, а також з правилами затиснення досліджуваних матеріалів.

3.Виміряти за допомогою мікрометра діаметри досліджуваних

дротів, а лінійкою – їх довжину.

4. Визначити межу міцності вольфрамівих, молібденових і нікелевих дротів.

5. Визначити відносне видовження при розриванні дротів.

6. Одержані дані занести до таблиці.

*До п. 3.2: 1. Ознайомитися з роботою вакуумного поста, на якому буде здійснюватися відпал вольфрамівих дротів.*

2. Ознайомитися з електричною схемою подання напруги до дроту.

3. Приготовлені зразки затиснути у вакуумній камері, ввімкнути вакуумний пост, відкачати вакуумну камеру до тиску 0,1 Па, подати напругу 2 В до електричного вводу першого дроту, зачекати 1 хв. і вимкнути напругу. Подати напругу 4 В до другого дроту, зачекати 1 хв., вимкнути напругу. Подати напругу 6 В до третього дроту, зачекати 1 хв. і вимкнути напругу.

Температура дротів при поданні напруги 2, 4, 6В складає 1000, 1200, 1600°C відповідно.

4. Вимкнути вакуумний пост, зняти ковпак вакуумної камери, дістати відпалені дроти.

5. Знайти межу міцності й відносне видовження відпалених вольфрамівих дротів.

6. Побудувати графік залежності межі міцності від відносного видовження.

7. Зробити висновки щодо впливу відпалу на механічні властивості вольфрамівих дротів.

8. За допомогою формули (I) здійснити розрахунок величини струму відпалу при температурах, вказаних у п. 3.

9. Значення питомого опору дроту і густину випромінювання при належних температурах взяти з довідкових таблиць див. 5, с. 65-97; 4, с.50-54.

### **3.4. Робота на розривній машині**

1. Залежно від очікуваного розривного зусилля встановити межу вимірювання навантаження.

2. Увімкнути машину за допомогою пакетного вимикача.

3. Підготувати дроти і здійснити затиснення їх у розривній машині.

4. З'єднати покажчики робочої і контрольної стрілок на шкалі за допомогою ручки.

5. Здійснити пуск машини натискуванням на ручку вмикання "до себе".

6. Після руйнування зразка робоча стрілка повертається до нуля автоматично, а нижній стискач - до початкового становища шляхом натискування на ручку "від себе" чи автоматично після повернення до

крайнього нижнього положення.

7.Записати навантаження за показанням контрольної стрілки, з'єднати покажчики робочої і контрольної стрілок.

#### **Контрольні запитання**

1.Якими характеристиками визначаються механічні властивості матеріалів? Відобразити діаграму видовження у функції відносної деформації для пластичних і крихких матеріалів.

2.Принцип будови розривної машини РП-ЮО. Послідовність про ведення на ній операцій.

3.Як визначаються відносне видовження і міцність випробуваних зразків?

4.Вплив відпалу на механічні характеристики вольфраму.

5.Як здійснюється відпал вольфрамового дроту у вакуумі?

6.Правила роботи з вакуумним постом.

7.Розрахункова формула для визначення величини струму відпалу через зразок при певній температурі відпалу.

8.Мета роботи.

9.Техніка безпеки при роботі з вакуумним постом.

#### **Список джерел**

1.В.П.Волкова, В.М.Хотин. Материалы электровакуумного производства. -Л.: Энергия, 1980- С. 57-75.

2.В.П.Денисов, Производство электрических источников света. М.: Энергия, 1975- С.28-64.

3. Конспект лекций по курсу "Технология электровакуумных и светотехнических материалов". Лекции 4, 5, 6.

4 .В.С.Литвинов, Г.Н.Рохлин. Тепловые источники оптического излучения. - М.: Энергия, 1975. - с.50-54.

5. Свойства и применение металлов и сплавов для электровакуумных приборов (справочное пособие) - М.: Энергия, 1973- С.65-97, 126, 189-193.

6. М.Л.Бернштейн, В.А.Заимовский. Структура и механические свойства металлов. -М., Metallургия, 1970- С.70-88.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 . ВИВЧЕННЯ ЗВАРЮВАНOSTІ ЕЛЕКТРОВАКУУМНИХ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

*Мета роботи* - ознайомити студентів з поняттям зварюваності матеріалів. Вивчити способи зварювання матеріалів і фактори, що впливають на якість зварного з'єднання. Одержати практичні навички роботи з апаратом точкового зварювання.

*Завдання роботи* - визначити режими зварювання однорідних і різнорідних матеріалів, а також їх зварність апаратом точкового зварювання. Металеві деталі джерел світла та світлових приладів з'єднують різними шляхами: зварюванням, паянням, механічним кріпленням, клеєним з'єднанням та ін.

*Зварювання* - найбільш технологічний спосіб з'єднання металевих деталей. Розрізняють два основних способи зварювання - плавленням і тиском.

Зварювання плавленням розрізняють як дугове, електроконтактне, електронно-променеве, плазмове, лазерне.

При зварюванні тиском метали залишаються у відносно холодному стані, а деталі з'єднуються внаслідок пластичної деформації та дифузії атомів з утворенням між з'єднувальними поверхнями металевих зв'язків. До цих способів зварювання відносять ультразвукове, холодне, термодифузійне.

Сукупність властивостей металів, внаслідок яких можна одержати зварне з'єднання потрібної якості різними способами, називається зварністю.

Вибір способу зварювання залежить від властивостей металів, які треба зварити, і від технологічних та економічних умов виробництва. У цій роботі практично застосовується один із способів електроконтактного зварювання - точкове зварювання. Найкращу зварність при точковому зварюванні мають метали з високою і стабільною пластичністю, що майже не змінюють структуру при нагріванні, мають досить великий опір електричному струмові, достатній у випадку нагрівання електричним струмом, а також малу теплопровідність і високу хімічну стійкість до рідин навколишнього середовища. З металів та сплавів, що використовуються у світлотехніці, цим вимогам найбільше задовольняють нікель, залізо, маловуглецева сталь, ковар, залізно-нікелеві сплави, ніхром, титан, цирконій, платиніт.

Тугоплавкі метали вольфрам і молібден дуже змінюють свою структуру при нагріванні й охолодженні, крім того вони утворюють легкі окисли й окисні плівки. Важка зварність вольфраму пояснюється його малою пластичністю при кімнатних температурах, що перешкоджає



утворенню необхідного контакту. Молибден легко зварюється з металами, що утворюють з ним сплави, наприклад, з нікелем.

Дещо краще зварюється тантал, що має достатню пластичність і більш великий опір електричному струмові.

Мідь і алюміній - найбільш важкозварні метали через їх високу електро - та теплопровідність. Ці метали утворюють задовільне зварне з'єднання в умовах високої густини електричного струму та короткодійних імпульсів струму достатньої потужності, наприклад, при застосуванні розрядного струму потужних конденсаторів у точковому зварюванні, а також при використанні лазерного електронно-променевого, плазмового зварювання. У цих випадках необхідно використовувати інертний газ як захисне середовище проти окислення поверхні.

Труднощі при зварюванні алюмованого заліза і нікелю викликані присутністю на поверхнях окисної плівки, що має високий опір електричному струмові. Найбільш погано зварюються деталі алюмованого заліза, що мають проміжний шар сплаву - залізо-алюміній, утворений попередньою термічною обробкою. У цих випадках потрібне термомеханічне формування контакту.

#### **4.1. Обладнання для точкового зварювання**

Найбільш простим обладнанням при точковому зварюванні є електромонтажний стіл, обладнаний зварювальним верстатом, що має понижуючий трансформатор, а також прилади, які регулюють силу електричного струму, тривалість його проходження та зусилля стиснення.

Зварювання відбувається внаслідок нагрівання стиснених між собою деталей, через місце контакту яких проходить імпульс електричного струму.

Верстат точкового зварювання складається з двох мідних електродів 6, 7, електрично ізольованих один від одного. Нижній електрод 7 закріплений нерухомо, а верхній 6 має здатність рухатися у вертикальному напрямку. Верхній електрод може притискуватися загостреним кінцем до нижнього і відходити від нього. Замикання і розмикання електродів здійснюється педальним приводом 8 з спіральними пружинами 9, один кінець яких закріплений у корпусі верстата, а другий - на продовженні верхнього електрода.

При натискуванні на педаль верхній електрод переміщується до нижнього і стискує деталі, після чого замикається вимикач 3 і через ЛАТР-2 до зварного трансформатора 4 потрапляє електричний струм від електричної мережі через вимикач І. У лабораторному верстаті тривалість імпульсу струму залежить від тривалості натискування на педаль. За допомогою ЛАТР регулюється напруга первинної обмотки зварювального трансформатора. Останній відрізняється від звичайного

тим, що має у вторинній обмотці дросель 5, який обмежує зварювальний струм, бо нормальний режим роботи цих трансформаторів є режимом короткого замикання. Електрична схема монтажно-зварювального верстата показана на рис. 6.

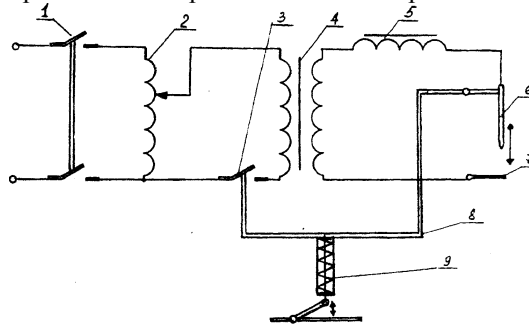


Рис.6 - Верстат точкового зварювання.

#### 4.2. Фактори, що впливають на якість точкового зварювання

Відомо, що кількість тепла, яке утворюється в зоні зварювання, визначається рівнянням Джоуля-Ленца

$$Q=I^2Rt,$$

де  $I$  - зварювальний струм, А;

$R$  - опір електричного струму зони зварювання, Ом;

$t$  - тривалість проходження зварювального струму, С. Величина опору складається з послідовно з'єднаних опорів між деталями й електродами, опорів деталей та опору контакту між деталями :

$$R=R_{e1d1}+R_{d1}+R_k+ R_{d2}+R_{e2d2}.$$

Час зварювання корисно скорочувати до частки секунди, щоб:

- 1) мідні електроди і зварювальні деталі не встигали відводити тепло із зварювальної зони;
- 2) скоротити втрати тепла в навколишнє середовище;
- 3) деталі, що зварюються, не встигали окислитися і змінити свою структуру в зоні зварювання.

Щоб одержати якісне зварне з'єднання, треба підібрати оптимальні зварювальний струм, зварювальний тиск і час.

Чим товщі деталі, тим більше потрібно тепла і тим більшим має бути зварювальний струм. Навпаки, занадто великий струм утворює перепалення деталей - виплескання металу, а занадто малий - недостатню міцність з'єднання.

Зварювальний тиск залежить від товщини матеріалів і їх пластичності. При малому тиску і малій пластичності матеріалів опір

контакту великий, внаслідок чого кількість тепла, утвореного в зварювальній зоні, зростає і деталі не зварюються, а при великому тиску й пластичності матеріалів площа контакту велика, опір малий, кількість тепла недостатня, щоб розплавити метал, внаслідок чого деталі прилипають одна до одної в окремих точках.

Для якісного зварного з'єднання потрібно, щоб зварювальний тиск був прикладений до проходження електричного струму і не змінювався з часом, в який відбувається зварювання. Зварювальний верстат, що використовується в лабораторній роботі, забезпечує одержання постійного зварного тиску завдяки спеціальному механічному пристрою.

Перевищення оптимального часу зварювання викликає перепалення металу. Малий час зварювання призводить до не проварювання товщі металу і поганої якості зварювання.

З деяким часом торець мідного електроду окислюється. Іскри між електродами пропалюють мідь і змінюють якість поверхні електродів. Внаслідок цього зростає перехідний опір між електродами й деталями, виникає прилипання деталей до електродів. Щоб забезпечити надійну роботу зварювального верстата, треба через певний час загострювати торець рухомого електроду й зачищати поверхню нерухомого електроду, після чого обидві поверхні потрібно шліфувати. При цьому необхідно стежити, щоб площа контактної поверхні верхнього електрода не змінювалась.

#### **4.3. Завдання до роботи**

1. Для виконання роботи слід ознайомитися з різноманітними способами зварювання різнорідних і однорідних матеріалів ( див. І, с.6-17, 130-140; 2, с.217-236 ).

2. Ознайомитися с особливостями точкового зварювання.

*До п. 4.1.:*

1. Ознайомитися з будовою і дією верстата точкового зварювання.

2. Знати призначення кожного елемента електричної схеми монтажно-зварювального верстата, правила вмикання, регулювання напруги та техніку безпеки.

3. Розділити отримані матеріали певними способами.

4. Виконати зварювання дротів з однорідних і різнорідних матеріалів. Вказати, які напруги є оптимальними для якісного зварювання цих дротів.

5. Здійснити зварювання вольфрамових дротів за допомогою нікелевої пластинки. Вказати оптимальну напругу.

6. Отримані дані внести до таблиці з вказівкою на якість зварного з'єднання. Зробити висновки.

#### 4.4. Вказівки до проведення роботи.

*До ввідної частини:*

- а) візуально відібрати мідь, платиніт, алюміній та його сплави, мідні сплави, срібло;
- б) за допомогою магніту відібрати феромагнітні матеріали;
- в) на поверхні зламу відрізнити молібденовий дріт від вольфрамового;
- г) відрізнити алюміній від срібла;
- д) відділити мідний дріт від платинового.

*До п. 4.2.:*

- а) місце зварного з'єднання треба зачистити від окислів за допомогою наждакової шкірки і промити бензином, ацетоном, спиртом від жирової плівки;
- б) зварити нікель, вуглецеву сталь, платиніт, тантал з нікелем, платинітом, вуглецевою сталлю, молібденом, вольфрамом, ніхромом, константаном;
- в) зварити вольфрамовий дріт з вольфрамовим за допомогою нікелевої пластинки, зварити вольфрам з молібденом.

#### Контрольні запитання

1. Які способи зварювання використовують для з'єднання різнорідних і однорідних матеріалів?
2. Які методи електроконтактного зварювання ви знаєте?
3. Що називається зварністю матеріалів? Які вимоги ставляться до зварного з'єднання?
4. Які фактори впливають на якість зварних з'єднань?
5. Які властивості матеріалів впливають на якість зварного з'єднання?
6. З яких елементів складається зварювальний верстат? Його призначення і принцип дії. Правила техніки безпеки.

#### Список джерел

1. И.Б.Мисник. Ручная дуговая сварка металлов. – Минск: Высш. шк., 1981. - С.6-17, 130-140.
2. В.П.Денисов. Производство электрических источников света.- М.: Энергия, 1975. - С.217-236.
3. А.В.Балицкий. Технология изготовления вакуумной аппаратуры. М.Энергия, 1974. - С.107-160.
4. К.К.Намиток, В.Ф.Рой, В.И.Норко. Основы технологии производства дуговых ламп высокой интенсивности. К: УМК ВО, 1991- С.103-111.

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ДІАМЕТРА ДРОТУ З ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛІВ**

*Мета роботи* - вивчення основних вимог до якості дроту з тугоплавких металів, зокрема, з вольфраму й молібдену, і засвоєння сучасних методів вимірювання та контролю діаметра дроту.

*Завдання роботи* - визначення діаметра дроту з вольфраму й молібдену за допомогою мікрометричного індикатора та торсійних терезів.

У результаті виконання роботи студент повинен:

- вивчити вимоги до тугоплавких металів, з яких виготовляють спіралі ламп розжарювання;
- засвоїти сучасні методи визначення і контролю діаметра дроту, їх переваги й недоліки;
- вивчити конструкцію та принцип дії торсійних терезів;
- навчитися проводити юстування та градировку торсійних терезів;
- проводити вимірювання діаметра дроту за допомогою мікрометра та торсійних терезів; навчитися обробляти результати вимірювань, аналізувати їх і робити висновки.

Тугоплавкі метали вольфрам і молібден використовують для виготовлення найбільш відповідальних елементів джерел світла та інших електровакуумних приладів. Тому до цих металів ставлять особливі вимоги і здійснюють строгий контроль їх властивостей. Зокрема, в технічних умовах на вольфрамовий і молібденовий дріт містяться дуже жорсткі допустимі відхилення за діаметром, що досягають  $\pm 0,5$  мкм.

#### **5.1. Методи визначення діаметра дроту**

Розроблено різні методи контролю рівномірності за довжиною, овальністю та діаметром тонких вольфрамових і молібденових зразків дроту. Найбільш зручним і досить точним методом контролю дроту за діаметром є ваговий метод.

Діаметр вольфрамового дроту більше 0,35 мм вимірюють індикаторним мікрометром у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Діаметр дроту менше 0,35 мм виміряти з достатньою точністю індикаторним мікрометром неможливо, тому його визначають методом зважування відрізка дроту довжиною 200 мм і розрахунком середнього діаметра. Відрізок дроту намотують на дисковий шаблон із конічною прорізною, що має коло довжиною 200 мм, і відтинають від нього шматок в 200 мм, після чого відрізок дроту згортають і точно зважують.

Зважування проводять на торсійних терезах із відносно вузькою зоною вимірювань та вантажопідйомністю, близькою до ваги вимірюваного відрізка. Залежність між вагою відрізка і його середнім діаметром визначається формулою

$$Q = 200 \frac{\gamma \pi d^2}{4},$$

де  $Q$  - маса 200 мм дроту, мг;

$\gamma$  - густина вольфраму ( $19,3 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>);

$d$  - середній діаметр дроту, мм.

Після спрощення рівняння для вольфрамового дроту має вигляд

$$d = 0,01817 \sqrt{Q},$$

для молібдену

$$d = 0,02475 \sqrt{Q}.$$

Ця формула одержана при густині молібдену -  $10,4 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

У цій роботі використовують торсійні терези типу ВТ-500, що найбільше розповсюджені в електроламповому виробництві і мають допустиме навантаження 10-500 мг.

## 5.2. Будова терезів

Вимірювальним елементом у терезах є спіральна моментна пружина, натяг якої збільшується при її закручуванні і врівноважується зважувальним тягарем. Кут закручування моментної пружини пропорційний масі зважуваного тіла, тому шкала терезів, що показує цей кут, градуйована в одиницях маси.

Схема терезів наведена на рис.7. Вісь терезів 14 обертається у двох конічних опорах. На осі закріплені: внутрішній кінець моментної пружини 15, коромисло 7 із заспокоювачем 13, що переміщується при обертанні осі між полюсами постійного магніту 12, і шарнірно підвішеним гачком 8 з чашкою 9, контрольна стрілка 3 (показчик нульового положення коромисла терезів).

Зовнішній кінець моментної пружини жорстко скріплений із стрілкою 5, за допомогою якої за шкалою циферблата проводиться підрахунок результатів вимірювання. Циферблат, контрольна й підрахункові стрілки закриті склом. Через отвір у склі проходить стержень, на якому з внутрішньої сторони скла закріплена підрахункові стрілка, а із зовнішньої - ручка 4 для закручування моментної пружини. Для встановлення коромисла в нульове

положення використовують допоміжну (тарувальну) спіральну пружину 16, що закріплена одним кінцем на осі терезів, а другим - на тримачі. Останній фрикційне зв'язаний із шестернею черв'ячної передачі тарувальної головки 10. Будова цієї передачі дає змогу обертати головку в обох напрямках на необмежену кількість обертів.

Механізм терезів знаходиться у футлярі корпусу. Триніжок останнього має два регулювальних гвинта 1 і сферичний показчик рівня 11 для встановлення терезів у горизонтальне положення.

Терези обладнані також аретиром, що приводиться в дію важелем 2. Кінець коромисла, до якого прикріплений гачок з чашечкою, закритий відкидною кришкою 6 з прозорими стінками.

### **5.3. Підготовка до зважування**

Встановити ваги за рівнем 11 за допомогою регулювальних гвинтів 1, відкрити кришку 6, повісити на гачок 8 коромисла 7 чашечку 9 і закрити кришку. Звільнити коромисло переміщенням праворуч важеля аретира 2. Переміщенням ручки 4 встановити підрахункову стрілку 5 на нуль шкали циферблата. Обертанням тарувальної головки 10 сумістити контрольну стрілку 3 з контрольною рисою циферблата. Аретирувати коромисло переміщенням ліворуч важеля аретира.

Зважування треба проводити в такій послідовності:

- відкрити кришку, покласти на чашечку дріт, що зважується;
- закрити кришку;
- звільнити коромисло;
- повільно обертати (проти годинникової стрілки) ручку до повного збігу контрольної стрілки з контрольною рисою циферблата, після чого записати показання від рахункової стрілки;
- аретирувати коромисло, відкрити кришку, забрати з чашечки вантаж, що зважується, закрити кришку, повернути підрахункову стрілку в нульове положення.

1. Терези не повинні знаходитися біля електромагнітних пристроїв, діючих високочастотних електричних апаратів та джерел тепла і вологи. Вони не повинні зазнавати механічних пошкоджень, вібрацій та ударів.

2. Забороняється класти на коромисло вантаж, вага якого перевищує 500 мг.

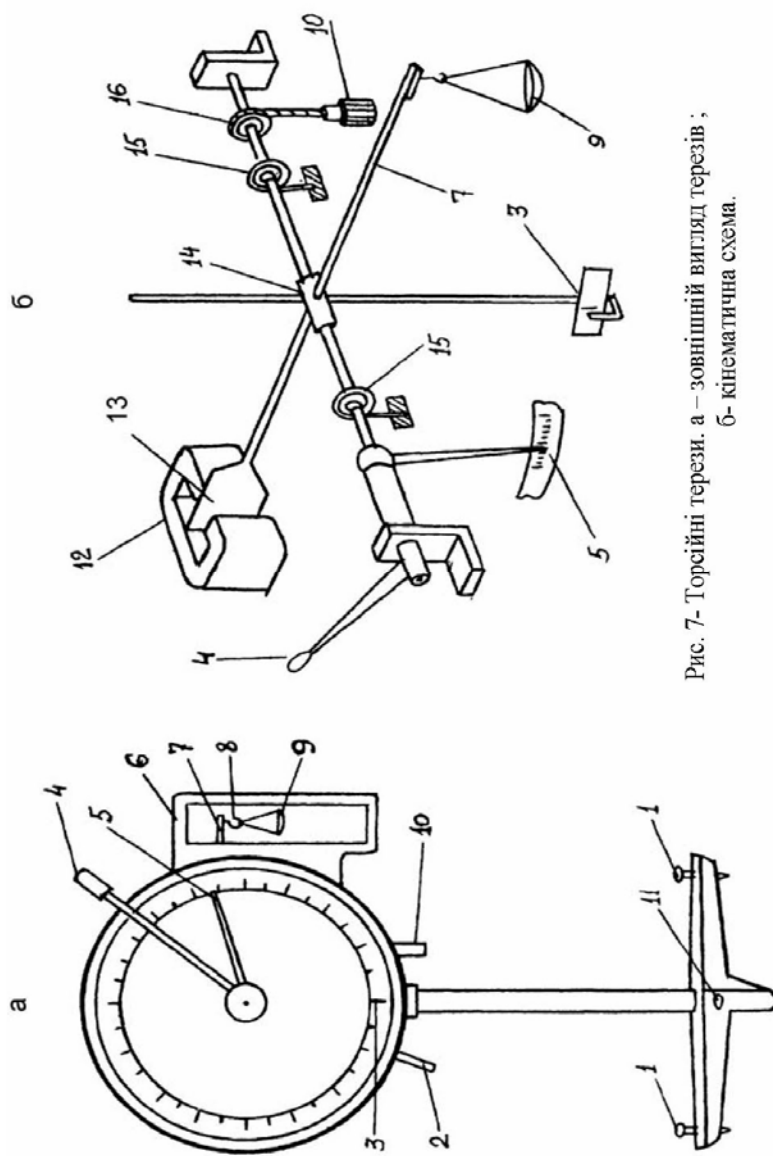


Рис. 7- Торсійні терези. а – зовнішній вигляд терезів ;  
б- кінематична схема.



#### 5.4. Перевірка терезів

Перш ніж приступити до практичного зважування, необхідно перевірити роботу терезів. Для цього до терезів додають два контрольних вантажу: один - масою 500, другий - масою 250 мг.

Необхідно по черзі зважити обидва контрольних вантажі і записати показання стрілки терезів, потім обчислити різницю між цими показаннями і дійсним значенням маси відповідного контрольного вантажу, що вказаний у свідоцтві. В обох випадках ця різниця не повинна перевищувати 1 мг.

Якщо ж умови, в яких знаходяться терези, відрізняються від умов їх градування, тобто коли значення прискорення сили тяжіння і температури не відповідають значенням, які показує стрілка на циферблаті терезів, показання їх при зважуванні контрольного вантажу 500 мг може відрізнятись від дійсного значення маси цього вантажу більше ніж на 1 мг (але не більше як на 5 мг).

У цьому випадку для одержання дійсного значення в показання терезів вводять поправку з допомогою коефіцієнта  $K$ , що визначають за формулою

$$K = \frac{M_k}{L_k},$$

де  $M_k$  - дійсне значення маси контрольного вантажу 500 мг, взяте з свідоцтва;

$L_k$  - показання терезів при зважуванні контрольного вантажу.

Коефіцієнт необхідно визначати з точністю до 0,001 і помножувати його на показання терезів. Після визначення коефіцієнта треба зважити контрольний вантаж 250 мг і показання терезів при цьому зважуванні помножити на коефіцієнт  $K$ . Різниця між одержаним виправленим показанням і дійсним значенням маси цього вантажу, взятим із свідоцтва, не повинна перевищувати 1 мг.

Після такої перевірки можна приступати до практичного зважування.

#### 5.5. Лабораторний інвентар

1. Терези торсійні ВТ-500.
2. Контрольні терези.
3. Дисковий шаблон з колом довжиною 200 мм.
4. Ножі для різання металу або гострозубці.
5. Мікрометр індикаторний.
6. Досліджуваний дріт з вольфраму і молібдену.

## 5.6. Завдання до роботи

1. Перед початком роботи треба ознайомитися з вимогами, що ставляться до якості дроту з тугоплавких металів, зокрема вольфраму [див. 1, с. 12-19 та 104-138; 2, с. 5-48 ].

2. Необхідно уважно розглянути сучасні методи визначення і контролю діаметра дроту, зокрема з вольфраму й молібдену [див. 2, с. 330-333; 4, с. 3 ].

3.3 допомогою мікрометра розсортувати дріт, що видається викладачем за діаметром.

4.3 допомогою мікрометра виміряти діаметр дроту в двох взаємно перпендикулярних напрямках у 4-5 поперечних перерізах. За одержаними даними розрахувати середнє арифметичне значення діаметра дроту, встановити абсолютну й відносну похибки проведених вимірювань .

5. Приготувати по чотири відрізки дроту різного діаметра (матеріалу) для визначення їх діаметра з допомогою торсійних терезів відповідно до правил, викладених у п. 7.

6.3 допомогою розрахункової формули (I) побудувати графік залежності маси дроту від її діаметра  $d$  для таких розмірів: 0,01-0,35 мм.

## 5.7. Приготування зразків

Від якості приготування зразків залежить точність визначення діаметра дроту , тому це треба робити дуже ретельно.

1. Підготувати шаблон, ножиці або гострозубці.

2. Закріпити дріт на одному із затискачів шаблону.

3. Обмотати дротом шаблон один раз, натягуючи його.

4. Придержуючи дріт за вільний кінець (сила натягу його залежить від діаметра), розрізати його в середині прорізу шаблону ножицями (дріт діаметром менше 120-150 мкм) або гострозубцями (дріт діаметром більше 120-150 мкм).

Слід пам'ятати, що від сили натягу дроту залежить результат визначення діаметра: при великому натягу (особливо у випадку тонкого дроту) можливе розтягування його і зменшення при цьому дійсної ваги відрізки. При малому натягу можливе збільшення довжини відрізка відповідно до його дійсної ваги.

Після цього переходять до безпосереднього виконання роботи, яку необхідно проводити в такій послідовності:

1) ознайомитися з будовою торсійних терезів, засвоїти принцип їх дії і чітко уявити призначення деталей та вузлів цих терезів (рис. 7а,б);

2) провести підготовку торсійних терезів до роботи відповідно до п. 3;

3) провести перевірку правильності градуювання торсійних терезів;

4) провести зважування на торсійних терезах 4-х відрізків одного

й того ж діаметра і матеріалу. За одержаними даними і з допомогою побудованого графіка визначити середній діаметр дроту, а також абсолютну й відносну похибку вимірювань;

5)повторити вимірювання, вказані в п. 2, для дроту інших діаметрів або матеріалів;

б)за одержаними даними зробити висновок про придатність досліджуваного дроту для виготовлення тіл розжарювання джерел світла.

#### **Контрольні запитання**

1.Сучасні методи визначення діаметра дроту.

2.Для чого треба вимірювати діаметри дротів тугоплавких металів, що застосовуються при виготовленні джерел світла, з допомогою торсійних терезів та приладів типу НК8-1, ЦЛ-211 (Л.2), ИДН-3, ВДН-4 (Л.4).

3.Побудова торсійних терезів і принцип їх дії.

4.Калібрування торсійних терезів.

5.Яких правил слід додержуватись при підготовці зразків дроту, щоб не внести істотних похибок у вимірювані діаметри?

6. Порядок проведення зважування і зняття даних з терезів.

#### **Список джерел**

1.Литвинов В.С., Рохлин Г.Н. Тепловые источники оптического излучения. - М. Энергия, 1975. - С.12-19, 104-138.

2. Свойства и применение металлов и сплавов для электровакуумных приборов, - М.: Энергия, 1973. - С.5-48, 330-333.

3. Намитоков К.К., Рой В.Ф., Норко В.И. Основы технологии производства дуговых ламп высокой интенсивности. - К.: УМК ВО, 1991.

4. Конспект лекций по курсу «Технология производства источников света». Раздел «Тугоплавкие металлы, их свойства и применение».

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6. ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ЛЮМІНОФОРІВ**

*Мета роботи* - ознайомлення з методами визначення гранулометричного складу люмінофорів та його впливом на світлотехнічні характеристики люмінесцентних ламп.

*Завдання роботи* - визначити гранулометричний склад люмінофора методом седиментометричного аналізу,

У результаті виконання роботи студент повинен:

- засвоїти сучасні методи визначення гранулометричного складу люмінофорів, їх переваги й недоліки, теоретичні основи седиментометричного аналізу і методику його проведення;

- навчитися проводити розрахунок процентного складу та розміру частинок люмінофору за одержаним графіком зміни маси люмінофору при його випаданні з часом, вміти аналізувати здобуті результати;

- набути практичні навички роботи з торсійними терезами і визначення розміру зерен та процентний склад люмінофора методом седиментометричного аналізу.

Люмінофор повинен мати певний набір зерен (за розміром) - заданий гранулометричний склад. Відхилення останнього від оптимального призводить до зміни властивостей люмінофору: зменшення початкової яскравості і зниження люмінофору за час роботи у лампі, зменшення адгезії до лампового скла, нерівномірне осідання його на колби електровакуумних приладів та ін. Величина зерна лампових люмінофорів знаходиться в інтервалі від 1 до 45 мкм. Зерна люмінофора, що мають розмір менше 4-6 мкм, слабо перетворюють ультрафіолетове випромінювання у видиме і дають меншу яскравість. Люмінофор розміром зерна більше 20 мкм використовувати не бажано, оскільки адгезія їх до лампового скла недостатня. Оптимальним за гранулометричним складом є люмінофор з розміром зерен 6-20 мкм. Розроблено фракціоновані люмінофори, що не мають у своєму складі частинок менше 4 мкм, а кількість частинок з розміром більше 20 мкм становить 7 %. Застосування таких фракціонованих люмінофорів дає змогу підвищити світлову віддачу ламп на 10-17 %.

Знання параметрів гранулометричного складу люмінофору необхідне також для визначення оптимального технологічного режиму його обробки. Тому важливим є контроль гранулометричного складу люмінофорів при їх синтезі, а також при використанні на електролампових заводах.

### 6.1. Методи аналізу гранулометричного складу люмінофорів

Для аналізу гранулометричного складу застосовують мікроскопічний метод або метод седиментометричного аналізу. За першим методом люмінофор з водою, спиртом чи іншою рідиною наносять на скло проєкційного мікроскопу із збільшенням 300-800. Гранулометричний склад визначають простим підрахунком числа зерен у полі зору, максимальний діаметр яких знаходиться в певному діапазоні. Для збільшення достовірності результату досліджень проводять підрахунок не менше 300-500 зерен. За одержаними результатами будують графік розподілу зерен люмінофору за їх величиною. Для виключення випадкових похибок при виборі проб, а також для одержання статистично достовірних результатів необхідно багаторазове повторювання вимірювань.

ГОСТ на лампові люмінофори регламентує проведення аналізу гранулометричного складу седиментометричним методом, в якому відсутні недоліки мікроскопічного методу вимірювань. Суть методу полягає у вимірюванні швидкості осідання порошку люмінофору із суспензії, оскільки швидкість падіння частинок у рідкому середовищі залежить від їх розмірів. На падаючу частинку діють три сили: сила тяжіння, підйомна сила й сила опору руху (вплив в'язкості).

Сила опору, яку долає частинка кулеподібної форми при вільному падінні в рідині, описується формулою Стокса:

$$F = 6\pi\eta r v,$$

де  $\eta$  - в'язкість рідини;

$v$  - швидкість руху частинки;

$r$  - радіус частинки.

Сила, під впливом якої частинка осідає в рідині, дорівнює її вазі з урахуванням гідростатичної поправки:

$$f = \frac{4}{3} \pi r^3 (\gamma_m - \gamma_p) * q,$$

де  $\gamma_m$  - густина матеріалу частинки;

$\gamma_p$  - густина рідини;

$q$  - прискорення сили тяжіння.

Коли сили  $F$  і  $f$  зрівняються, частинка починає рухатися в рідині за інерцією рівномірно. При цьому

$$6\pi\eta r v = \frac{4}{3} \pi r^3 (\gamma_m - \gamma_p) * q.$$

Звідки

$$v = \frac{2}{9} r^2 \frac{\gamma_m - \gamma_p}{\eta} * q.$$

Постійна швидкість  $v$  для малих частинок встановлюється швидко.

При відомій швидкості осідання частинок радіус їх можна визначити за формулою

$$r = \sqrt{\frac{9\eta v}{2(\gamma_m - \gamma_p) * q}}.$$

Середня швидкість падіння частинки

$$v = \frac{h}{t},$$

де  $h$  - висота падіння частинки;

$t$  - час падіння частинки.

Оскільки  $\eta$ ,  $\gamma_m$  та  $\gamma_p$  постійні в умовах експерименту, то формула для визначення радіуса частинок набуває вигляду

$$r = k \sqrt{\frac{h}{t}}.$$

На точність визначення гранулометричного складу матеріалів впливають різноманітні фактори, такі, як розмір частинок, ширина посуду, температура, стійкість суспензій, диференціювання кривої залежності маси люмінофору, що випав, від часу падіння.

При рідинах з в'язкістю води застосування седиментометричного методу дає хороші результати тільки для порошоків з радіусом частинок від 1 до 50 мкм. Швидке падіння у рідині частинок з  $r > 50$  мкм призводить до її завихрення, у зв'язку з чим порушується ламінарність руху, що спричиняє великі помилки. Для частинок діаметром менше 1 мкм швидкість руху знижується завдяки присутності на їх поверхні молекул стабілізуючих речовин.

Висота падіння частинок береться такою, щоб одержати достатню кількість точок підрахунку.

Суспензія, що досліджується, повинна мати малу концентрацію для того, щоб була виконана умова вільного (без зіткнення) падіння частинок.

При зміні температури рідини змінюється її в'язкість і густина, що може призвести до виникнення конвекційних потоків у суспензії і неточності визначення розмірів частинок.

Для одержання достовірних результатів аналізу треба попередити злипання частинок в суспензіях, тобто стабілізувати їх. Для цього в суспензію додають електроліти або органічні речовини полярної структури, що легко адсорбуються на поверхні частинок. Як стабілізатор при седиментаційному аналізі люмінофорів застосовують концентрат сульфїтно-спиртової барди або натрій лимоннокислий тризаміщений. Робочою рідиною є вода. У роботі визначення швидкості осідання люмінофору проводиться зважування частинок, що випали через певний проміжок часу на установці, схема якої показана на рис.8. Діаметр частинок (в мкм) визначають відповідно до закону Стокса за формулою

$$d = 1354 \sqrt{\frac{\eta}{\gamma_m - \gamma_p}} * \sqrt{\frac{h}{t}}$$

## 6.2. Проведення роботи

Торсійні терези встановлюють на масивній підставці в такому місці, де немає потоків повітря та вібрації. Вимірювання повинні проводитись при температурі  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ . За допомогою регулювальних гвинтів 1 за сферичним індикатором 2 встановлюють терези горизонтально. Перевіряють положення контрольної стрілки 3 і, за необхідністю, повертаючи тарувальну головку 4, суміщають контрольну стрілку 3 з нульовою рисою цифрового циферблату 5. Аретують коромисло 10 ручкою 6. Посуд 7 заповнюють розчином лимоннокислого натрію (1 г на літр води). Вносять капронову нитку 9 з чашкою 8 в посуд 7 і вивішують на коромислі 10 терезів. На нитці нанесено позначку на відстані 10 см від чашки. Доводять рівень розчину до позначки і визначають масу порожньої чашки з розчином.

Обережно виймають чашку і насипають у розчин 1,5 г люмінофору. Перемішують суспензію скляною паличкою протягом трьох хвилин. Після цього витягають мішалку, вміщують посуд на підставку, швидко занурюють чашку і підвішують нитку на коромисло терезів таким чином, щоб чашка знаходилася по центру посуду. Одночасно вмикають секундомір і проводять зважування, обертаючи важіль 11, чашки з люмінофором, що випав, через проміжок часу в 30 с., потім через 60, 90, 120, 150 с., далі через 3, 5, 7, 10, 15, 30, 45 хв. до повного освітлення рідини. Періодично врівноважують терези, не допускаючи значного відхилення контрольної стрілки 3 від нульової риски.

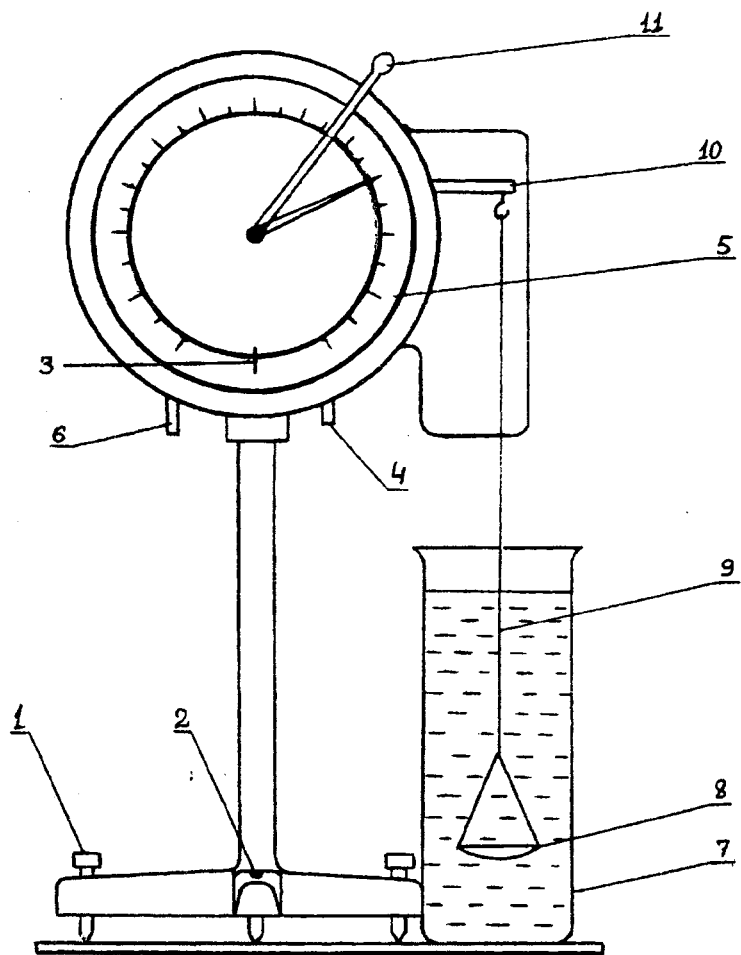


Рис. 8- Установка для вимірювання гранулометричного складу люмінофору



Одержані результати заносять до табл. 1.

**Таблиця 1**

Час, хв.	Маса, мг
0	
0,5	
1,0	
1,5	
2,0	
2,5	
3,0	
5,0	
.....	
120	

За даними таблиці будують графік залежності маси люмінофору, що випав  $m_t - m_0$ , від часу. Тут  $m_t$  - маса чашки з люмінофором, мг;  $m_0$  - маса порожньої чашки в розчині.

### 6.3. Розрахунок гранулометричного складу

За одержаною експериментальною кривою розраховують процентний склад фракцій. Для цього на кривій наносять точки, що відповідають таким відріzkам часу: 2; 2,4; 4,9; 9,5; 26,2; 56,9 хв. (розмір частинок для фракцій, що випали за ці відрізки часу розраховують за формулою (7), де  $\gamma_p = 1 \text{ т/м}^3$ ;  $\eta = 0,01$ ;  $h=0,1 \text{ м}$ ;  $\gamma_m = 3,19 \text{ т/м}^3$ . У заданих точках до кривої проводять дотичні лінії, які продовжують до перетину з віссю координат.

Відношення маси, що відповідає величині відріzkів, які відтинаються дотичними лініями на осі ординат, від нульової точки до кінцевої маси люмінофору, що випав, помножене на 100, дає процентний склад фракцій, які випали в дані моменти часу.

Одержані результати записують до табл.2 за такою формою:

**Таблиця 2**

Лінійні розміри частинок, мкм	Час осідання, хв.	Склад частинок %
Від 0 до 4	Більше 56,9	-
Від 4 до 6	Від 56,9 до 26,2	Менше 6
Від 6 до 8	Від 26,2 до 9,2	Більше 33

### 6.4. Завдання до роботи

1. До початку роботи треба ознайомитися з впливом розміру гранул люмінофору на його роботу в газорозрядних лампах (1, с.73-106; 2, с.51-80; 3, с.275-287).

2. Для проведення досліджень необхідно приготувати такі прилади й реактиви:

- торсійні терези типу ВТ-500;
- плоску алюмінієву чашку з тонкої фольги (діаметром 24 мм, висотою 1-2 мм);
- секундомір або годинник з секундною стрілкою;
- скляну циліндричну посудину діаметром не менше 60 мм і висотою 200мм;
- нитку капронову діаметром 0,1-0,2 мм;
- натрій лимоннокислий тризаміщений;
- порошкоподібний люмінофор.

3. Для підготовки приладу до проведення випробувань виконують всі дії, наведені в розділі 2 "Проведення роботи".

4. Результати вимірювань заносять до табл. І і за цими даними будують графік залежності маси люмінофору, що випав, від часу випадіння.

5. Для проведення розрахунку гранулометричного складу користуються графіком  $m(t)$ , одержаним в п.4, і розрахунковою формулою (7). Здобуті результати заносять до табл. 2.

6. За даними про гранулометричний склад дають висновки про придатність досліджуваного люмінофору для використання у газорозрядних лампах.

#### **Контрольні запитання.**

1. Як розмір зерен люмінофору впливає на світлові характеристики люмінесцентних ламп?

2. Яким вимогам повинні відповідати люмінофори, що використовуються у газорозрядних лампах?

3. Назвіть методи визначення гранулометричного складу люмінофору, їх переваги й недоліки.

4. Фізичний зміст седиментометричного методу визначення гранулометричного складу люмінофору.

5. Розрахункові формули для визначення швидкості випадіння і розміру частинок.

6. Порядок проведення вимірювань.

7. Як визначається процентний склад різних фракцій у суспензії?

#### **Список джерел**

1. Неорганические люминофоры. - Л.: Химия, 1975-С.73-106.
2. Федоров В.В. Производство люминесцентных ламп. - М.: Энергоиздат, 1981. - С.51-80.
3. Гугель Б.М. Люминофоры для электровакуумной промышленности.- М.: Энергия, 1967. - С.275-287.

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7**  
**ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ВІДБИТТЯ ТА**  
**ПРОПУСКАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ФОТОМЕТРА ФМШ-56**

*Мета роботи* - вивчення основних властивостей світлотехнічних матеріалів і методів їх вимірювання, набуття практичних навичок роботи з фотометричними приладами.

*Завдання роботи* - проведення вимірювань коефіцієнтів відбиття та пропускання деяких світлотехнічних матеріалів абсолютним і відносним методами.

У результаті виконання роботи студент повинен:

- засвоїти класифікацію світлотехнічних матеріалів за основними світлотехнічними характеристиками;
- визначити фізичні фактори, що впливають на оптичні характеристики світлотехнічних матеріалів;
- визначити фактори, що безпосередньо впливають на коефіцієнти відбиття та пропускання;
- вивчити методи вимірювання оптичних характеристик світлотехнічних матеріалів;
- вивчити принципову схему фотометра типу -ФМШ-56;
- одержати практичні навички роботи з фотометром ФМШ-56;
- навчитися обробляти й аналізувати одержані результати вимірювання оптичних характеристик світлотехнічних матеріалів.

**7.1. Конструкція приладу ФМШ-56**

З лівого боку приладу знаходиться освітлювач 1, в якому встановлена лампа розжарювання. Під освітлювачем розміщені: ручка 2, компенсаційна діафрагма 3 для обертання диску з світлофільтрами. Номер введеного світлофільтру спостерігається у вікні 7. На передній стінці приладу розміщені: шкала вимірювальної діафрагми 0, ручка потенціометра 11 для встановлення "електричного" нуля, ручка перемикачності чутливості приладу 12. Коли ручка поставлена у положення "0" - гальванометр вимкнений, найбільша чутливість приладу - коли ручка поставлена в положення "3".

Обертанням ручки 10 змінюють положення дзеркала, що приводить до зміни напрямку світлових променів, які йдуть у вимірювальну кулю. На шкалі розташовані літери "Э", "Ш", "0". При встановленні ручки 10 навпроти кожної літери промінь відповідно прямує на еталон, стінку кулі або зразок.

Під виступаючою частиною приладу розташовані стіл для еталону 5 і стіл для зразків 6 з поворотним диском на 5 гнізд, в які кладуть зразки при вимірюванні коефіцієнтів відбиття. Обидва столи після опускання їх униз за ручки обертанням зміщуються на сторону,

що полегшує розміщення на них еталону і зразка.

Для вимірювання зразків на пропускання передбачений "верхній" стіл, закріплений на відкидних дверцятах 13. Зразок розміщується над отвором столу, перед цим треба відкрити дверцята 13 (ручка 17 повинна знаходитись у положенні "стіл піднятий"), потім щільно закрити їх і повернути ручку в робоче положення.

На правій стінці приладу розміщена ручка 15 вимірювальної діафрагми. Зверху розташована ручка шторки 4, що перекривав світловий потік між конденсором і світлофільтром.

Приймачами світла в приладі є два фотоелементи: сурм'яно - цезієвий для області спектру від 360 до 600 нм; киснево - цезієвий для області спектру від 600 до 1000 нм. Повертанням ручки 16 здійснюється переміщення і електричне перемикання фотоелементів.

## **7.2. Приготування приладу до вимірювань**

Перед початком роботи ручку перемикання чутливості приладу 12 треба встановити на найменшу чутливість. Ручка має такі позиції: 0 - гальванометр вимкнений; 1- найменша чутливість гальванометра; 2- середня чутливість гальванометра; 3- найбільша чутливість гальванометра.

По закінченні робіт, у перервах між вимірюваннями, а також при перемиканнях фотоелементів та світлофільтрів гальванометр повинен бути вимкнений - ручка встановлена в положення "0".

Для стабілізації роботи електричної схеми ввімкнений прилад необхідно витримати не менше 30 хв., при цьому світловий потік від фотометричної лампи в прилад мусить бути\* перекритий шторкою. Для цього ручку шторки 4 встановлюють у положення "Закрито".

Після прогрівання приладу треба перевірити "електричний нуль", для чого ручку перемикача чутливості ставлять у положення "I" (найменша чутливість) і спостерігають за стрілкою гальванометра. Якщо вона займає ненульове положення, то обертанням ручки потенціометра II встановлюють її в нульове положення. Далі послідовно роблять таку ж перевірку при середній і найбільшій чутливостях гальванометра. Після регулювання "електричного нуля" вимикають гальванометр і відкривають шторку, встановлюючи ручку 4 у положення "відкрито" і проводячи освітлення фотоелементів 19.

Вимірювання можна починати через 10-15 хв. після освітлення фотоелементів. Крім того, при роботі з приладом необхідно мати на увазі, що :

- ◆ при кожному перемиканні фотоелементів з однієї пари на іншу пару фотоелементи повинні бути витримані під освітленням до початку вимірювань 10-15 хв.;
- ◆ при перемиканні будь-якого з світлофільтрів вимірювання треба починати не раніше ніж через 3-5 хв.;

- ◆ при невеликих перервах у роботі не рекомендується вимикати прилад, а також закривати світлові пучки шторкою;
- ◆ вмикати більш чутливий діапазон гальванометра можна тільки у випадку, коли стрілка гальванометра встановлена на "нуль" діапазону меншої чутливості.

### **7.3. Вимірювання коефіцієнта пропускання**

Для вимірювання коефіцієнта пропускання зразок розташовують над отвором верхнього столу. Обертанням ручки 10 дзеркало встановлюють у положення "Ш", при цьому потік світла спрямовується на стінку кулі 18. Між досліджуваним зразком і вікном фотоелемента ручкою 14 вводять екран (положення "Г"). Вимірювальна діафрагма встановлюється на повне розкриття (100 %) . При цьому порушується рівновага електричної схеми і стрілка гальванометра відхиляється від нульової позначки. Для приведення стрілки гальванометра до нуля змінюють розкриття компенсуючої діафрагми ручкою 2. Після такої операції зразок знімають, а порушена рівновага електричної схеми відновлюється зменшенням розкриття вимірювальної діафрагми. Підрахунок за шкалою вимірювальної діафрагми дає безпосередньо коефіцієнт пропускання досліджуваного зразка.

### **7.4. Вимірювання коефіцієнта відбиття абсолютним методом**

На нижній столик 6 розміщують досліджувані зразки. Тверді зразки у вигляді пластин кладуть безпосередньо на столик. Обертанням столика один з зразків встановлюють під правим нижнім отвором кулі. На столик еталона 5 кладуть білу платівку (є в комплекті приладу) з таким же коефіцієнтом відбиття, як і поверхня кулі або близька до нього, і розміщують під лівим отвором кулі. Вимірювальну діафрагму встановлюють на повне розкриття (100 %). Обертанням ручки 10 дзеркало встановлюють у положення "О", тобто потік світла спрямовується на досліджуваний зразок. Між зразком і вікном фотоелемента встановлюють екран. Для чого ручку 14 ставлять у положення "2". З допомогою компенсуючої діафрагми стрілка гальванометра встановлюється у нульове положення. Після цього ручку 10 встановлюють у положення "Ш", спрямовуючи світловий потік на стінку кулі. Екран в кулі з допомогою ручки 14 перемикається у положення "1". Порушену рівновагу електричної схеми компенсують закриттям вимірювальної діафрагми (ручка 15) і за шкалою відраховують величину відбиття досліджуваного зразка.

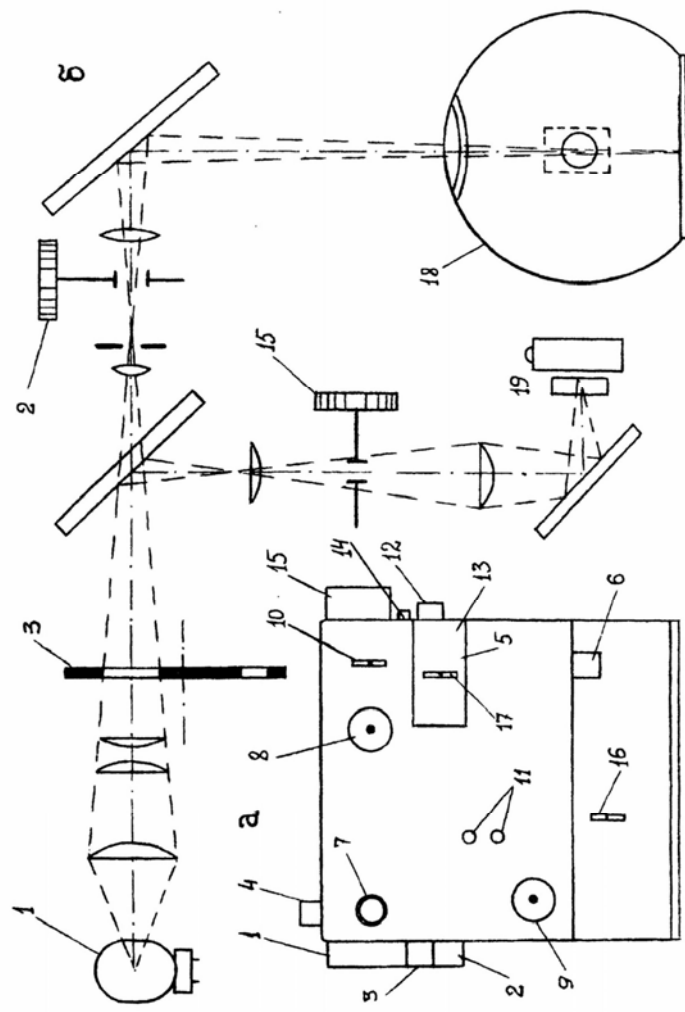


Рис. 9.-Фотометр ФМШ-56; а – зовнішній вигляд, б – оптична схема.

### **7.5. Вимірювання коефіцієнта відбиття відносним методом**

Для вимірювання коефіцієнта відбиття зразка відносним методом потрібно мати зразок (еталон) з відомим коефіцієнтом відбиття. Такий зразок може бути попередньо відкалібрований на тому ж приладі за описаною методикою вимірювання. Як і при абсолютному методі вимірювання, на нижній столик для зразків кладуть зразки, що будуть досліджені, а на столик для еталона - калібрований зразок, яким закривають нижній отвір кулі. Ручку екрана 14 ставлять на весь час вимірювань у положення "1". Вимірювальну діафрагму встановлюють на розкриття, що відповідає коефіцієнту відбиття еталонного зразка. Ручкою 10, змінюючи положення дзеркала, спрямовують світловий потік на досліджуваній зразок, встановлюючи його у положення "0". Змінюючи розкриття компенсуючої діафрагми, встановлюють стрілку гальванометра на нуль. Після цього світловий потік спрямовують на еталон - ручку 10 ставлять у положення "3". Порушена рівновага електричної схеми компенсується зміною розкриття вимірювальної діафрагми. За її шкалою здійснюється підрахунок. Одержаний результат є значенням коефіцієнта відбиття досліджуваного зразка.

### **7.6.Завдання до роботи**

1.Перед початком роботи треба ознайомитись з властивостями світлотехнічних матеріалів, їх характеристиками, способами вимірювання (1, с.4-25, 34-56, 76-93; 2, с.38-40, 51-52, 82- 87.).

2.Вивчити схему і принцип дії фотометра ФМШ-56.М.

3.Ознайомитись з будовою і методикою проведення вимірювань на фотометрі ФМШ-56М.

4.Провести вимірювання інтегрального коефіцієнта пропускання 4-х зразків світлотехнічних матеріалів.

5.Провести вимірювання інтегрального коефіцієнта відбиття двох зразків світлотехнічних матеріалів.

Кожне вимірювання необхідно проводити не менше ніж двічі і за їх результатами визначати середнє арифметичне значення відповідного коефіцієнта.

### **Контрольні запитання**

1. Користуючись оптичною схемою приладу ФМШ-56М, пояснити принцип його дії при вимірюванні коефіцієнтів пропускання і відбиття.

2. Дати визначення спектрального та інтегрального коефіцієнтів відбиття світлотехнічних матеріалів.

3.За якими ознаками здійснюється класифікація світлотехнічних матеріалів?

4.Як проводити вимірювання коефіцієнтів пропускання і відбиття?

5. Які фактори впливають на коефіцієнти пропускання і відбиття світлотехнічних матеріалів?

#### Список джерел

1. Долгополов В.И. Светотехнические материалы.-М.:Энергия, 1972. - С.28-36, 43-62.
2. Мельников Ю.Ф. Светотехнические материалы. - М.: Высш. шк., 1976. - С.4-25, 34-56.
3. Айзенберг Ю.Б. Световые приборы. - М.: Высш. шк., 1985. - С.25-42.

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8 НАНЕСЕННЯ СВІТЛОВІДБИВАЮЧИХ ПОКРИТТІВ МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО НАПИЛЕННЯ

Багато з елементів світлових пристроїв потребують нанесення світловідбиваючих покриттів. За характером розподілу в просторі відбитого світлового потоку світлотехнічні матеріали розподіляються на матеріали із спрямованим (дзеркальним) відбиттям світлового потоку, з спрямовано-розсіяним, дифузним і змішаним відбиттям.

У цій роботі розглядається одержання матеріалу із спрямованим (дзеркальним) відбиттям. Для виготовлення відбивача із спрямованим відбиттям світла застосовують алюміній, срібло, золото, нікель, хром, родій. Найбільшого розповсюдження набув алюміній. Дзеркальні відбивачі можна створити з одного світловідбиваючого матеріалу із спеціально обробленою поверхнею (монолітні) чи складними, що мають основу і нанесені на неї один чи декілька шарів світловідбиваючого матеріалу.

Створення відбиваючого шару на основі можна здійснювати різними способами (хімічним та електричним осадженням, випарюванням металу у вакуумі, плазмовим напиленням та ін.). Зупинимося більш докладно на способі нанесення світловідбиваючого покриття методом вакуумного напилення.

У камері під вакуумом високовідбиваючий метал розжарюють до температури його інтенсивного випарювання (1070 К). Випарені атоми металу досягають поверхні підкладки (основи) і конденсуються на ній у вигляді тонкого шару.

Для випарювання потрібний тільки ретельно очищений і знежирений метал з мінімальною кількістю домішок. Високі вимоги до чистоти передбачені і до матеріалу основи. Він мусить бути знежиреним і зневодненим. У деяких випадках передбачається розігрівання матеріалу основи для поліпшення адгезії металевого світловідбиваючого шару. Основа закріплюється біля випарника, який,



у найпростішому випадку, є звичайною вольфрамовою спіраллю, яку розігрівають за допомогою електричного струму до необхідної температури. Під вакуумним ковпаком треба створити тиск не вище 0,01-0,1 Па, щоб довжина вільного пробігу випарених атомів була більше довжини між випарником і основою. Тривалість часу випарювання звичайно становить 10-20 с, струм випарника 40-45 А.

Перевагами цього способу нанесення покриттів є можливість одержання плівок з високим коефіцієнтом відбиття, економія матеріалів, можливість створення багат шарових покриттів шляхом послідовного вмикання різних випарників з необхідними матеріалами. Недоліки цього способу: напилений шар дуже тонкий, потребує захисту від механічних пошкоджень і корозії. Найбільш ефективним способом плівки з алюмінію є покриття її плівкою з окису кремнію. Ця плівка завтовшки 0,15 мм незначно знижує (на 1-2 %) коефіцієнт відбиття і має високу механічну, хімічну й термічну стійкість. Нанесення кремнієвої плівки можна здійснити на цьому лабораторному пристрої.

Мета роботи - ознайомитися з методом вакуумного напилення, необхідним для цього устаткуванням і вимірювальним обладнанням.

Завдання роботи - 1) нанести світловідбиваюче покриття з алюмінію на внутрішню поверхню колби лампи розжарювання; 2) виміряти коефіцієнт прозорості одержаного покриття.

### **ЗАВДАННЯ № 1 .**

Одержання світловідбиваючого покриття.

1. Ретельно знежирити, промити й висушити колбу.
2. За допомогою пристрою, складеного з гелій-неонового лазера, селенового фотоелемента і гальванометра, виміряти струм, пропорційний коефіцієнту прозорості колби (не менше 5 вимірів). Повертати колбу навколо поздовжньої осі.
3. Відкрити ковпак вакуумної камери і підвісити невеличкий шматок алюмінієвої фольги на вольфрамову спіраль (випарник).
4. Затиснути колбу.
5. Закрити ковпак.
6. Вимкнути насос попереднього розрідження:
  - а) перетиснути вакуумну гумову трубку, що з'єднує насос з атмосферою і вакуумний ковпак з насосом;
  - б) вимкнути рубильник і зачекати 1-2 хв.;
  - в) поступово розтиснути трубку, що з'єднує насос з вакуумним ковпаком.
7. Вимкнути вакуумметр "ВИТ-2" за допомогою тумблера "СЕТЬ".

8. Вимкнути манометричну лампу ЛТ-2:
- а) вимкнути тумблер "Нагрев термпарного дат";
  - б) перевести тумблер "Ток накала - Измерение" до положення "Ток накала";
  - в) встановити потенціометром "Рег. тока накала" робочий струм (123mA- нижня шкала);
  - г) перевести тумблер "Ток накала - Измерение" до положення "Измерение".
- По досягненні тиску 0,03-0,05 мм рт. ст. і показаннях приладу 2,5-3 mV (за градуовальним графіком лампи ЛТ-2 на боковій поверхні вакуумного поста) можна вмикати насос середнього вакууму ММ-40.
- 9) Вимкнути дифузійний насос:
- а) вимкнути систему охолодження, для чого відкрити кран, що знаходиться праворуч від вакуумного поста;
  - б) приєднати нагрівник до насоса і вимкнути його в електричну мережу;
  - в) за допомогою ЛАТРа подати напругу до нагрівника 130 В (застосовується ЛАТР вакуумного поста № 1).
- Час розігрівання насоса складає 25-30 хв. У перші декілька хвилин після розігрівання насоса вакуум буде забруднюватися (виходять гази, поглинуті робочою рідиною і металевими деталями насоса).
10. Одержати середній вакуум. Прилад на вакуумметрі ВИТ-2 має показувати 10 mV, що відповідає тиску  $10^{-3}$  мм. рт. ст.
11. Почати наплення плівки, для чого подати до випарника за допомогою ЛАТРа поста 9 2 напругу 1,5 В згідно з вольтметром, що знаходиться на столі вакуумного поста (30 под. на межі 7,5 В). Шматок фольги повинен розплавитися і зібратися в кульку, на спіралі. Кулька випарюється і алюміній конденсується на поверхні колби.
12. Зняти напругу з випарника.
13. Зупинити дифузійний насос:
- а) зняти напругу з нагрівника і вимкнути його з мережі;
  - б) зняти нагрівник з насоса і встановити його на кронштейн (тримати нагрівник треба за спеціальні азбестові пластини).
- УВАГА:** Категорично забороняється зупинити насос попереднього розрідження і перекривати систему охолодження дифузійного насоса;
- в) охолодити корпус дифузійного насоса до температури 40-45 С (при цій температурі можна на тривалий час доторкнутися долонею до нижньої частини корпусу).
- Дозволяється занурювати нижню частину корпусу в холодну воду;
- г) перекрити систему охолодження.

14. Вимкнути насос попереднього розрідження:
  - а) вимкнути рубильник на передній поверхні поста;
  - б) негайно відкрити трубопровід, що з'єднує форвакуумний насос з повітрям.
15. Відкрити трубопровід, що з'єднує вакуумний ковпак з форвакуумним насосом.

Під ковпаком тиск зрівнявся з повітряним і його можна зняти.
16. Зняти ковпак і витягти напилену колбу.
17. Встановити ковпак. Перетиснути трубопроводи, що з'єднують ковпак з насосом і насос з повітрям.
18. Вимкнути насос попереднього розрідження і, почекавши 1-2 хв. відкрити трубопровід, що з'єднує насос з вакуумним ковпаком.
19. Відкачати повітря з-під вакуумного ковпака протягом 3-5 хв, перетиснути трубопровід, що з'єднує насос з ковпаком.
20. Вимкнути насос і відкрити трубопровід, що з'єднує насос з повітрям.

## **ЗАВДАННЯ № 2**

Визначення коефіцієнта прозорості покриття за допомогою гелійнеонового лазера

1. Встановити колбу з напиленим покриттям на установку, що використовувалася у п.2 завдання № 1.
2. Виміряти електричний струм, що дає фотоелемент, за допомогою гальванометра. Вимірювання проводити не менше 5 разів, повертаючи колбу навколо поздовжньої осі.
3. Визначити коефіцієнт прозорості покриття.

### **Контрольні запитання**

1. Методи одержання світловідбиваючих покриттів.
2. Фізичні процеси, що відбуваються при нанесенні дзеркального покриття методом вакуумного напилення.
3. Основні пристрої, прилади й вимірювальна техніка, потрібні для нанесення покриття.
4. Способи вимірювання товщини покриття.
5. Що впливає на якість одержаного покриття?

### **Список джерел**

1. Ю.Ф.Мельников. Светотехнические материалы. - М.: Высш. шк., 1976. - 151 с.
2. В.И.Литвак. Фотоэлектрические датчики в системах контроля, управления и регулирования.-М.: Наука, 1966. - 410 с.

*Навчальне видання*

Методичні вказівки  
до виконання лабораторних робіт  
з курсу

**“Світлотехнічні матеріали”**

*(для студентів 2-4 курсу денної і заочної форми навчання напряму  
підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»  
спеціальності „ Світлотехніка і джерела світла”)*

Укладач **Бухарін** Сергій Леонідович

Відповідальний за випуск *Л. О. Назаренко*

*В авторській редакції*

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2011, поз. 254М

Підп. до друку 19.03.2012

Друк на різнографі.

Зам. №

Формат 60 x 84/16

Ум. друк. арк. 3,05

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК №4064 від 12.05.2011 р.