

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання курсового проекту
«Розрахунок параметрів і розробка конструкції джерела світла»
з навчальної дисципліни

«ДЖЕРЕЛА СВІТЛА»

*(для студентів денної і заочної форм навчання
фахового спрямування «Світлотехніка і джерела світла»,
спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2019**

Методичні рекомендації до виконання курсового проекту «Розрахунок параметрів і розробка конструкції джерела світла» з навчальної дисципліни «Джерела світла» (для студентів денної і заочної форм навчання фахового спрямування «Світлотехніка і джерела світла», спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Харків. нац. ун–т міськ. госп–ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Л. Д. Гуракова, К. І. Суворова, Л. Г. Баландаєва. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 47 с.

Укладачі : канд. техн. наук, доц. Л. Д. Гуракова,
канд. техн. наук К. І. Суворова,
асист. Л. Г. Баландаєва

Рецензент

А. С. Литвиненко, кандидат технічних наук, доцент кафедри світлотехніки і джерел світла Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою світлотехніки та джерел світла, протокол № 1 від 1 вересня 2017 р.

ЗМІСТ

Вступ	4
Загальні положення	5
1 Визначення електричних характеристик та геометричних параметрів ламп	7
1.1 Визначення електричних характеристик лампи.....	7
1.2 Визначення геометричних параметрів ламп	8
2 Зовнішній баланс енергії. Визначення температури холодної точки ...	11
3 Принципи попереднього відбору варіантів ламп.....	15
4 Визначення світлотехнічних характеристик варіантів ламп.....	18
5 Економічне порівняння варіантів ламп.....	22
Список рекомендованих джерел.....	26
Додатки	

ВСТУП

Створення люмінесцентних ламп (далі ЛЛ) було істотним проривом в області підвищення ефективності перетворення електричної енергії в світлову. В цих лампах поєднані два фізичні процеси: електричний розряд в суміші інертного газу і парів металу (ртуті) і люмінесценція твердого тіла під впливом ультрафіолетового випромінювання.

Сучасні ЛЛ є найбільш розповсюдженими розрядними джерелами світла, вони виробляють 60% усієї світлової енергії, що випромінюється розрядними джерелами світла. ЛЛ мають світлову віддачу 60–100 $\frac{\text{Лм}}{\text{Вт}}$, термін служби їх складає 10–20 тис. год. Завдяки використанню вузькосмугових люмінофорів індекс кольоропередачі люмінесцентних ламп досягає $R_e = 98$.

Ці лампи мають широкий діапазон кольорових температур (2 700–6 500 К) і різноманіття типів за кольоровими відтінками (лампи білого світла ЛБ, лампи денного світла ЛД, лампи теплого білого світла ЛТБ і т.д.). Тривалий термін служби, низьке енергоспоживання, різноманіття потужностей (від 14 до 100 Вт), довжин, форм (прямі, круглі, U – образні) забезпечують багатий вибір рішень для завдань освітлення.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Курсовий проект з розрахунку розрядних джерел світла виконують студенти денної форми навчання у 6 семестрі, а заочної – у 7 семестрі.

Він має за мету оволодіння студентами практичними навичками розрахунку і конструювання розрядних джерел світла.

Типове завдання на курсовий проект з розрахунку люмінесцентної лампи потребує виконання такого обсягу розрахункових і графічних робіт:

1. Визначення конструктивних параметрів (діаметра d і довжини $l_{\text{л}}$) варіантів люмінесцентних ламп (ЛЛ) заданої потужності.

2. Оцінка зовнішнього балансу енергії.

3. Розрахунок світлового потоку (Φ) і світлових віддач (H) варіантів ламп.

4. Економічне порівняння розрахованих варіантів ЛЛ при їх роботі в освітлювальних установках (ОУ) і вибір найбільш доцільного варіанта лампи з урахуванням умов обслуговування ОУ.

5. Оформлення пояснювальної записки до курсового проекту та виконання креслення, що включає загальний вигляд оптимального варіанта лампи, конструкції окремих вузлів (електрод, ніжка, цоколь і т. д. за вказівкою викладача) і графіків, що ілюструють результати економічного розрахунку.

Вихідними даними для розрахунку ЛЛ звичайно є: потужність лампи ($P_{\text{л}}$); тип ЛЛ за спектральним складом випромінювання (наприклад, ЛБ, ЛДЦ та ін.) і температура навколишнього середовища ($t_{\text{навк}}$), в якій працює лампа.

Очевидно, що вказаним вихідним даним може задовольняти велика кількість варіантів ЛЛ, що відрізняються конструктивними (d , $l_{\text{л}}$, вид і тиск газу, що наповнює), електричними (струм лампи I , напруга $U_{\text{л}}$), світлотехнічними (Φ , η), експлуатаційними (строк служби τ , стабільність світлового потоку лампи в часі) та економічними параметрами (вартість лампи).

Вибір найбільш раціонального варіанта лампи, керуючись тільки одним з цих параметрів, за винятком спеціальних випадків використання, неможливий, з огляду на відому суперечність вказаних показників (наприклад, лампи з високою світловою віддачею можуть мати короткий термін служби, значну довжину трубки, тобто більшу вартість). Крім того такий шлях відбору ламп масового використання буде невірним, тому що характеристики ламп великою мірою визначають показники інших елементів освітлювальної установки із ЛЛ, таких як світильники та пускорегулюючі апарати (наприклад збільшення довжини лампи $l_{\text{л}}$ призводить до збільшення розмірів, а отже і вартості світильника; зменшення напруги на лампі при постійній нарузі постачальної мережі призводить до збільшення габаритів, ваги, вартості ПРА, витрат електроенергії в ній та ін.).

Отже, характеристики лампи значно впливають на економічну ефективність освітлювальної установки в цілому, тому єдино правильним критерієм відбору найбільш доцільного варіанта лампи заданої потужності треба вважати економічний показник ОУ (промислового освітлення), за який приймають приведені річні затрати $C + \frac{K}{T_H}$, де C – частина річних експлуатаційних витрат, що змінюється; K – частина капітальних витрат, що змінюється, тобто собівартість ОУ; T_H – нормативний термін окупності ОУ.

Розрахований варіант лампи, що дає мінімум річних приведених затрат в установці з урахуванням реальних умов її обслуговування (спосіб заміни ламп в установці, періодичність чистки світильників та ін.) вважається найкращим.

З існуючих методів визначення геометричних параметрів ЛЛ – методу розрахунку на оптимальне питоме навантаження ($\omega_{\text{опт}}$) та багатоваріантного методу розрахунку – треба використовувати останній, тому що лампи з оптимальним питомим навантаженням часто не забезпечують найкращі економічні показники освітлювальних установок (наприклад, потужні ЛЛ $P_{\text{л}} > 100$ Вт із оптимальним питомим навантаженням можуть бути малоефективними, не зважаючи на високі світлові віддачі, тому що за рахунок великої довжини таких ламп збільшується їх вартість і вартість ПРА; останнє пов'язане з тим, що збільшення $l_{\text{л}}$ лампи супроводжується збільшенням її напруги запалу).

При використанні багатоваріантного методу розраховують варіанти ЛЛ заданої потужності на різні напруги постачальної мережі (U) зі змінними співвідношеннями напруги на лампах ($U_{\text{л}}$) до напруги мережі ($m = \frac{U_{\text{л}}}{U}$), діаметрами трубок, видом і тиском ($P_{\text{нг}}$) наповнюючого інертного газу, після чого проводять економічне зіставлення варіантів ламп за вказаними річними витратами в ОУ. Таким чином, для розрахунку ЛЛ, окрім початкових даних, необхідно обґрунтовано вибрати діапазони зміни ще п'яти параметрів: U , m , d_2 , рід інертного газу та його тиск.

Термін виконання курсового проекту складає 10 тижнів, на кожен із вказаних змістовних модулів (далі ЗМ) виділяються 5 тижнів. Контроль виконання здійснюється викладачем і оцінюється в балах: за кожен своєчасно виконаний ЗМ студент може отримати до 30 балів, а за оформлення і захист курсового проекту до 40 балів. Розподіл балів за виконання курсового проекту наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Розподіл балів за виконання курсового проекту

Хід виконання проекту		Оформлення та захист проекту				Сума
Розділи		Пояснювальна записка	Ілюстративна частина	Презентація	Захист проекту	
1	2					
30	30	10	10	10	10	100 %
60 %		40 %				100 %

1 ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛАМП

Визначення електричних характеристик лампи

Напругу на лампі визначають як

$$U_{л} = m \cdot U, \quad (1.1)$$

де U – напруга мережі.

Розрахунок $U_{л}$ здійснюють для вибраних відповідно до заданої потужності лампи значень U з числа стандартних ($U=127, 220, 380$ В) і для чотирьох значень m , що змінюються в межах від 0,45 до 0,65. Найменше значення m у вказаному діапазоні обмежено з огляду на економічні міркування, найбільше – з точки зору стабільності характеристик ЛЛ в умовах можливого коливання напруги мережі.

Далі розраховують струм лампи:

$$I = \frac{P_{л}}{k_{л} \cdot U}, \quad (1.2)$$

де k_L – коефіцієнт потужності лампи, що залежить від типу баласту, ввімкненого послідовно з лампою та величини m . Для індуктивного баласту та зазначених вище значень m він знаходиться у межах $k_L = 0,85-0,9$.

1.2 Визначення геометричних параметрів ламп

До геометричних параметрів ЛЛ відносяться довжина позитивного стовпа розряду I_{CT} і лампи I_L .

Як відомо, випромінювання ЛЛ створюється в основному в області позитивного стовпа. Приелектродні частини розряду, життєво необхідні з точки зору його існування, малоефективні по відношенню до випромінювання. Тому при розрахунку ЛЛ в першу чергу розглядають співвідношення для позитивного стовпа, причому для спрощення задачі вважається, що стовп має довжину значно більшу за фактичний радіус розрядного каналу і є однорідним за довжиною.

Спочатку легко записати таке співвідношення для падіння напруги в позитивному стовпі (U_{CT}):

$$U_{CT} = U_L \cdot U_{AK}, \quad (1.3)$$

де U_{AK} – анодно–катодне падіння потенціалу.

У люмінесцентних лампах звичайного типу величина U_{AK} в основному, визначається катодним падінням потенціалу U_K . Катодне падіння в загальному випадку залежить від виду й тиску інертного газу, від конструкції електродів та їх емісійних властивостей, а також від сили розрядного струму. При цьому, маючи на увазі, що залежність U_K від I слабо виражена, і вважаючи, що в розрахункових варіантах ЛЛ використовуються ідентичні за конструкцією та умовами активування електроди, можна враховувати лише залежність U_K від роду й тиску інертного газу (див. табл. 1 додатків). У ЛЛ звичайного типу на анодне падіння потенціалу припадає від 3 до 6 В.

Знаючи падіння потенціалу в позитивному стовпі, нескладно визначити його довжину:

$$I_{CT} = \frac{U_{CT}}{\varepsilon}, \quad (1.4)$$

де ε – градієнт потенціалу в позитивному стовпі.

Градiєнт потенціалу позитивного стовпу залежить від струму лампи, діаметра трубки, виду та тиску інертного газу. Вказані залежності для різних інертних газів (*Ne*; *Ar*; *Kr*) їх тисків, діаметрів розрядних трубок та струмів лампи наведені в табл. 2–5 (додаток). Крім цього, ε також є функцією температури навколишнього середовища (рис.1.1).

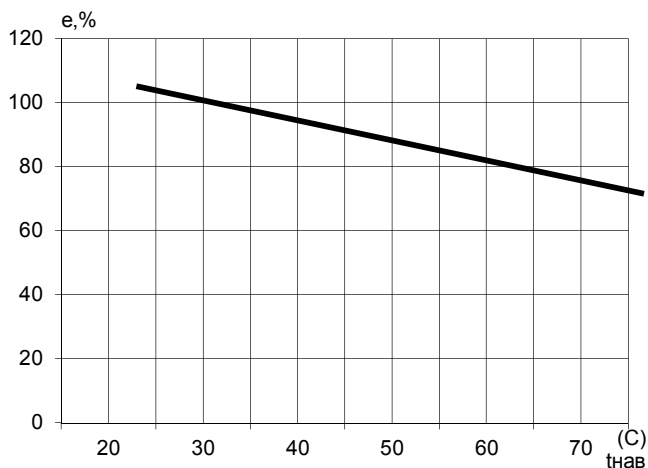


Рисунок 1.1 – Залежність градієнту потенціалу в позитивному стовпі від температури навколишнього середовища

З урахуванням довжини позитивному стовпа розряду можна визначити довжину лампи:

$$l_{\text{л}} = I_{\text{ст}} + \Delta l, \quad (1.5)$$

де в Δl враховується довжина біля електродних областей розряду і довжина двох електродних вузлів лампи (ніжка, цоколь). Для більшості практичних розрахунків можна з достатнім ступенем точності вважати $\Delta l = 12\text{--}15$ см.

Як видно з викладеного раніше, для визначення $U_{\text{ст}}$, $I_{\text{ст}}$, а значить і $l_{\text{л}}$, необхідно вибрати вид і тиск інертного газу, діаметр трубки лампи. В якості інертного газу, що наповнює ЛЛ, найчастіше використовують *Ne*; *Ar*; *Kr* з тиском від 0,07 до 4 мм рт. ст. З точки зору підвищення світлової віддачі ЛЛ перевага того чи іншого інертного газу залежить від потужності позитивного стовпа розряду $P_{\text{ст}}$:

$$P_{\text{ст}} = U_{\text{ст}} \cdot I \cdot k_{\text{л}} \cdot l_{\text{ст}} = P_{1\text{ст}} \cdot l_{\text{ст}}, \quad (1.6)$$

де $P_{1\text{ст}}$ – потужність позитивного стовпа одиничної довжини (питома потужність).

При невеликих значеннях $P_{ст}$, коли вторинні процеси в розряді теж є малими, світловий потік росте пропорційно потужності (рис. 1.2). Зі збільшенням потужності зростає роль зіткнень, що гасяться, і ступінчатих зіткнень. Це призводить до уповільнення збільшення світлового потоку.

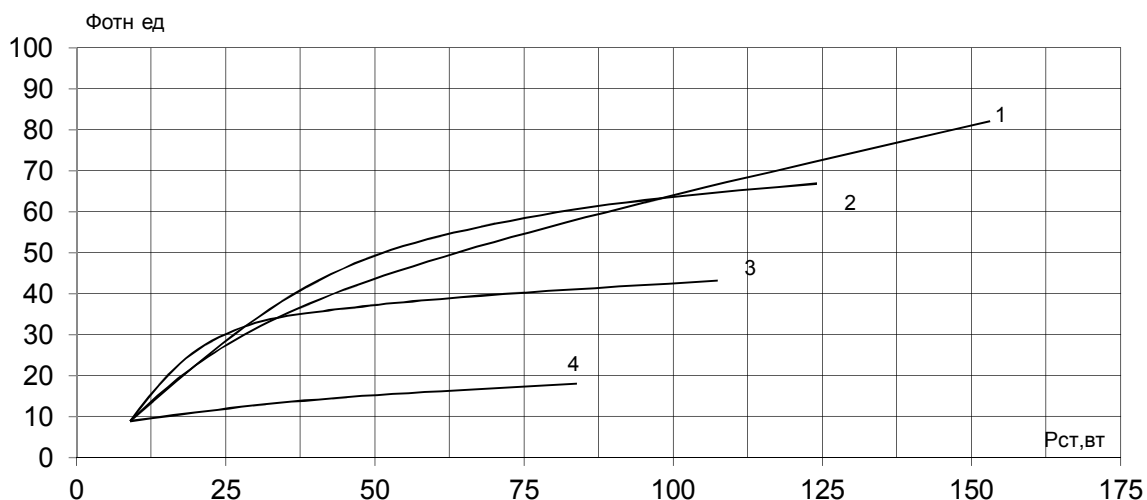


Рисунок 1.2 – Вплив питомої потужності на світловий потік для різного інертного газу: 1 – Ne; 2 – Ar; 3 – Kr; 4 – Xe [$d=38$ мм, $p=2$ мм рт. ст.]

Залежність (при $t_{ст} \approx 40^\circ\text{C}$) відносного виходу резонансного випромінювання $\frac{\Phi_{e1ст}}{P_{1ст}}$ ($\Phi_{e1ст}$ – енергетичний потік обох резонансних ліній ртутного розряду з одиниці довжини позитивного стовпа) від тиску інертного газу для двох значень $P_{1ст}$ подана на рисунку 1.3.

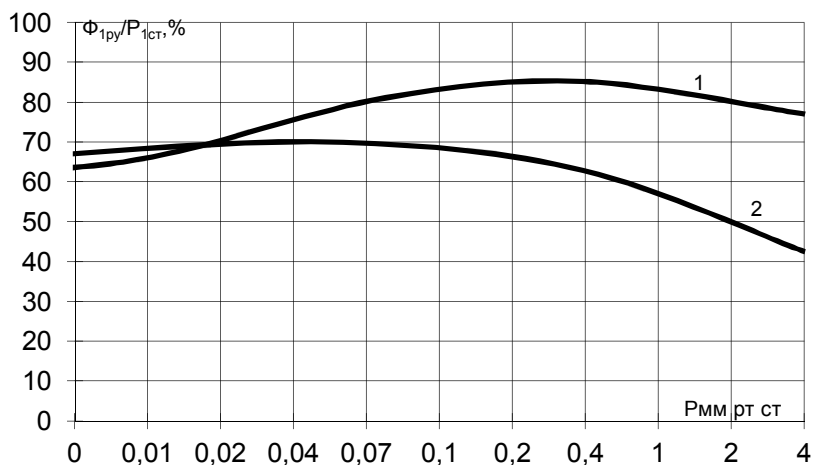


Рисунок 1.3 – Відносний вихід резонансного випромінювання від тиску інертного газу: 1 – $P_{1ст} = 0,33 \frac{\text{Вт}}{\text{см}}$; 2 – $P_{1ст} = 1,5 \frac{\text{Вт}}{\text{см}}$

Сказане свідчить про доцільність, з точки зору збільшення початкової світлової віддачі, наповнення потужних ЛЛ ($P_{л} \geq 100 - 150$ Вт) порівняно важкими інертними газами при низьких тисках.

Однак розробка ЛЛ з високими $P_{1ст}$, тобто зі збільшеними значеннями струму та малими тисками важкого інертного газу має серйозні труднощі, пов'язані з тривалістю роботи електродів (тобто термін служби лампи), стабільністю світлового потоку ЛЛ у процесі експлуатації, напругою запалення ламп, приелектродними втратами та ін. Врахування впливу вказаних факторів на характеристики ЛЛ є складним, з огляду на відсутність в літературі достатньо чітких даних про вплив величини струму, роду та тиску інертного газу на термін роботи ЛЛ при відповідних умовах експлуатації та ін. В зв'язку з цим в різних варіантах ЛЛ електродні вузли розробляються таким чином, що незалежно від робочого току лампи, роду та тиску інертного газу забезпечується потрібний строк служби варіантів ЛЛ.

Діаметри трубок для розрахункових варіантів ЛЛ обирають відповідно до даної потужності лампи з числа стандартних ($d_2 = 19, 25, 38, 54$ мм). При обиранні діаметрів треба прагнути до відтворення умов у розряді, що забезпечує найбільший вихід резонансного випромінювання.

2 ЗОВНІШНІЙ БАЛАНС ЕНЕРГІЇ. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ХОЛОДНОЇ ТОЧКИ

Температура колби є однією з найважливіших характеристик будь-якої газорозрядної лампи. Особливо чітко це має виявлення у ламп з розрядом у парах металу, тому що в цьому випадку мінімальна температура внутрішніх частин лампи ($t_{хт}$), до яких можуть доторкатися пари металу, визначає робочий тиск парів у лампі, а значить всі її електричні й світлотехнічні характеристики. У ЛЛ ми маємо справу з насиченими парами ртуті, тиск яких є різкою функцією $t_{хт}$.

У люмінесцентних лампах звичайної конструкції найбільш холодною частиною лампи є область позитивного стовпа. На рисунку 2.1 наведено типовий розподіл температури по поверхні ЛЛ при їх роботі у горизонтальному положенні в спокійному повітрі (умови природної конвекції). Можна вважати, що тиск у лампі визначається температурою зовнішньої поверхні трубки в області стовпа ($t_{ст}$), оскільки перепад температури в стінках трубки складає не більше одного градусу. Температура колби, а також інших елементів лампи може бути визначена з їхнього теплового балансу. У лампах трубчатої форми з довгим позитивним стовпом можна розглядати окремо тепловий баланс в області позитивного стовпа.

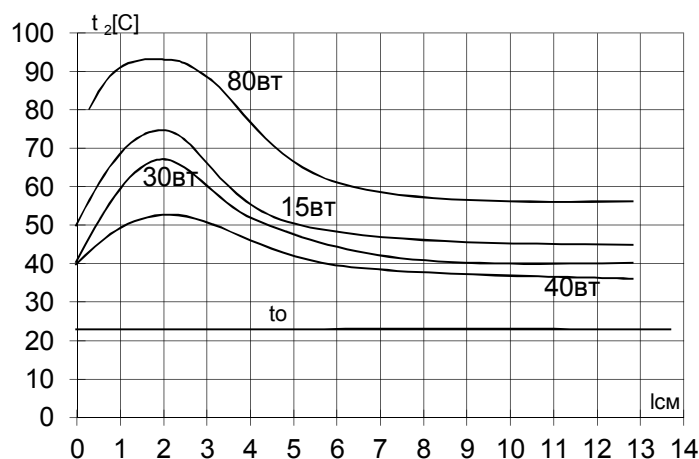


Рисунок 2.1 – Типовий розподіл температури по поверхні ЛЛ при роботі в умовах природної конвекції

У цьому випадку отримуємо:

$$\alpha_{ст} \cdot P_{ст} = \pi \cdot q_{ст} \cdot d_2 \cdot l_{ст} \quad (2.1)$$

або (для стовпа одиничної довжини)

$$\alpha_{ст} \cdot P_{1ст} = \pi \cdot q_{ст} \cdot d_2, \quad (2.2)$$

де $\alpha_{ст}$ – частина потужності позитивного стовпа, що йде на нагрів колби (коефіцієнт $\alpha_{ст}$ залежить від умов розряду, форми та матеріалу колби та ін., для практичних розрахунків у випадку ЛЛ вважається, що $\alpha_{ст} \approx 0,8$);

$q_{ст}$ – питомі втрати потужності, тобто потужність, що втрачається з одиниці площі зовнішньої поверхні колби у результаті всіх процесів відведення тепла, що відбуваються.

У загальному випадку тепловідведення нагрітої колби здійснюється шляхом теплової віддачі в навколишнє середовище і шляхом теплового випромінювання, тому

$$q_{ст} = q_T + q_{випр}, \quad (2.3)$$

де q_T – потужність, що втрачається з одиниці площі зовнішньої поверхні колби шляхом теплової віддачі в навколишнє середовище;

$q_{випр}$ – питомі втрати потужності шляхом теплового випромінювання.

Втрати потужності шляхом теплової віддачі в навколишнє середовище розраховують на основі законів теплової подібності, які базуються на великому обсязі експериментальних досліджень

$$q_T \approx A \cdot d_2^{-0,25} \cdot (t_{CT} - t_{НАВК})^{1,25}, \quad (2.4)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від роду газу навколо колби, його тиску. У таблиці Б.7 (див. дод. Б) наведені значення коефіцієнта A для роботи ЛЛ в спокійному повітрі із нормальним тиском (при зовнішньому діаметрі d_2 , в см q_T вимірюється у $\frac{Вт}{см^2}$).

Питомі втрати потужності $q_{випр}$ нагрітої колби шляхом теплового випромінювання можна визначати за наступним виразом, який часто використовується на практиці при виконанні теплотехнічних розрахунків

$$q_{випр} \approx \varepsilon_K \cdot \sigma_0 \cdot [T_{CT}^4 - T_{НАВК}^4], \quad (2.5)$$

де ε_K – інтегральний коефіцієнт випромінювання колби при температурі зовнішньої стінки T_{CT} (К);

σ_0 – постійна Стефана–Больцмана, що дорівнює $5,67 \cdot 10^{-12} \frac{Вт}{см^2} \text{К}^4$;

$T_{НАВК}$ – температура навколишнього середовища (К).

Для контролю отриманих розрахункових значень потрібно здійснити порівняння їх із графічними даними (рис. 2.2).

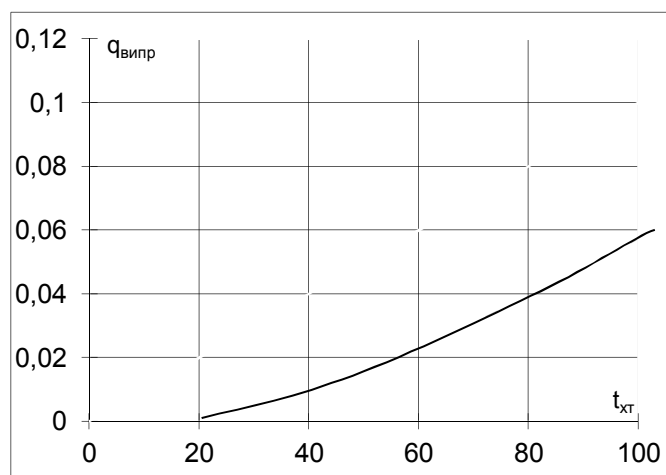


Рисунок 2.2 – Залежність $q_{CT} = f(t_{xm})$ для силікатного скла, що найбільш часто використовується для колб ЛЛ

При невеликих перепадах температури між зовнішньою поверхнею колби та навколишнім середовищем $\Delta t = (t_{ст} - t_{навк})$, що не перебільшують $20 \div 30^\circ\text{C}$, із достатньою для практики точністю можна прийняти залежність $q_{ст}$ від Δt лінійною:

$$q_{ст} \cong c \cdot \Delta t, \quad (2.6)$$

де c – коефіцієнт пропорційності, що слабо залежить від d_2 та $t_{навк}$.

Підставляючи значення q з (2–6) у (2–1), отримаємо спрощену розрахункову формулу, що зв'язує $t_{ст}$ лампи з питомим навантаженням ω , тобто потужністю позитивного стовпа на одиницю зовнішньої поверхні трубки.

$$\omega = \frac{P_{ст}}{\pi \cdot d_2 \cdot l_{ст}} = \frac{c}{\alpha_{ст} \cdot (t_{ст} - t_{навк})}. \quad (2.7)$$

На рисунку 2.3 наведені залежності $t_{ст}$ від питомого навантаження для трубо–крізного діаметра при $t_{навк} = 20^\circ\text{C}$.

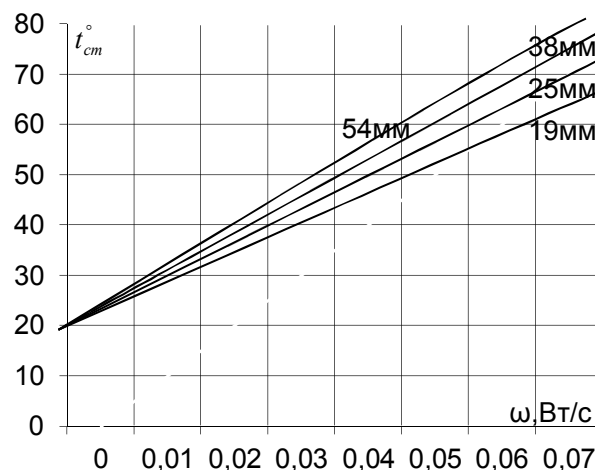


Рисунок 2.3 – Вплив питомого навантаження на температуру зовнішньої поверхні трубки в області стовпа

Слід підкреслити, що рівнянням (2.7) можна користуватися для розрахунку $t_{ст}$ ЛЛ звичайної конструкції, що працюють у спокійному повітрі при $t_{навк} = 20 \pm 10^\circ\text{C}$. При $t_{навк}$, що відрізняються у вказаних межах від 20°C , ординату кривих для $\omega = 0$ треба зміщати на відповідне значення $t_{навк}$. У інших випадках необхідно користуватися більш загальними співвідношеннями (2.1), (2.3), (2.4) і (2.5) і визначати $t_{ст}$ шляхом графічного вирішення рівняння теплового балансу позитивного стовпа.

Таким чином, знаючи $P_{ст}$, $\alpha_{ст}$, d і $l_{ст}$ визначають $t_{ст}$.

3 ПРИНЦИПИ ПОПЕРЕДНЬОГО ВІДБОРУ ВАРІАНТІВ ЛАМП

У зв'язку з тим, що в процесі розрахунку ЛЛ треба задаватися п'ятьма параметрами, зокрема, U , m , родом інертного газу, його тиском (p_{ig}), діаметром трубки, причому для кожного з цих параметрів звичайно приймають декілька значень, число варіантів ЛЛ, для котрих визначені геометричні параметри, досягає значної величини (близько 20–30 варіантів). Тому перед тим як приступити до розрахунку балансу енергії ЛЛ та визначення їх світлотехнічних характеристик, необхідно відкинути найгірші варіанти ЛЛ. Відсутність попереднього відбракування варіантів ЛЛ знижує якість курсового проекту.

Як вже було зазначено, найбільш правильним критерієм оцінки доцільності того чи іншого розрахованого варіанту ЛЛ є економічний показник освітлювальної установки, за який приймаються приведені річні витрати $C + \frac{K}{T_k}$. Тому треба провести якісне зіставлення розрахованих варіантів ЛЛ одного відносно другого за приведеними річними витратами, причому в першу чергу за такими характеристиками розрахованих варіантів ЛЛ, які найбільше впливають на $C + \frac{K}{T_k}$. Такими характеристиками перш за все є початкова світлова віддача лампи ($\eta_{л}$) і спад світлового потоку лампи в процесі використання, що визначає кількість ламп в установці, яка забезпечує потрібний рівень освітлення (однаковий для всіх порівняльних варіантів ламп), а також довжина та діаметр лампи, які визначають вартість самої лампи та світильника (на вартість світильника найбільше впливає $l_{л}$). У зв'язку з вказаним варіанти ламп, що мають помітно меншу у порівнянні з іншими початкову світлову віддачу та більшу довжину, мають відкидатися.

Світлова віддача лампи зв'язана зі світловою віддачею позитивного стовпа розряду $\eta_{ст}$ формулою:

$$\eta_{л} \approx \eta_{ст} \cdot \frac{P_{ст}}{P_{л}} \approx \left(1 - \frac{U_{ак}}{U_{л}}\right). \quad (3.1)$$

Рівняння (3.1) отримане на базі припущення, що світловий потік лампи $\Phi_{л}$ утворюється лише позитивним стовпом розряду, а участь приелектродних областей у цьому дуже мала (нею зневажають), тобто при $\Phi_{л} \approx \Phi_{ст}$, де $\Phi_{ст}$ – світловий потік позитивного стовпа з урахуванням перетворень у шарі люмінофору.

Світлова віддача позитивного стовпа $\eta_{ст} = \frac{\Phi_{ст}}{P_{ст}}$ залежить в основному від $t_{хт}$, струму лампи, її діаметру, роду та тиску наповнюючого інертного газу. Як відомо, залежність $\eta_{ст}$ від $t_{хт}$ при інших постійних параметрах має достатньо

різкий максимум, що припадає на значення $t_{\text{хт}}$ приблизно $38\div 45^{\circ}\text{C}$. При вказаних значеннях $t_{\text{хт}}$ в лампі забезпечується оптимальний тиск насичених парів ртуті (близько $5\cdot 10^{-3}$ мм. рт. ст.), при якому маємо найбільший відносний вихід резонансного випромінювання, тобто найбільшу $\eta_{\text{ст}}$. У зв'язку з цим, розраховані варіанти ЛЛ звичайної конструкції, що мають $t_{\text{хт}}$, менше $33\div 35^{\circ}\text{C}$ та більше ніж 60°C , можна відкинути, у зв'язку з низьким значенням $\eta_{\text{ст}}(\eta_{\text{л}})$, що очікується.

У випадку, коли викладачем буде запропоновано розрахувати ЛЛ спеціальної конструкції (лампи з холодними за електродними областями; світові джерела, у які введена амальгама ртуті та ін.), можуть бути використані і варіанти ЛЛ з $t_{\text{ст}}$, що перебільшує вказане вище найбільше значення $t_{\text{хт}}$. При введенні в ЛЛ замість чистої ртуті амальгами у залежності від відсоткової частини в ній сторонніх компонентів (індій, кадмій та ін.) оптимальний тиск насичених парів ртуті та максимальна величина $\eta_{\text{ст}}$ досягається при більш високих, ніж $38\text{--}45^{\circ}\text{C}$, значеннях $t_{\text{хт}}$ (рис. 3.1).

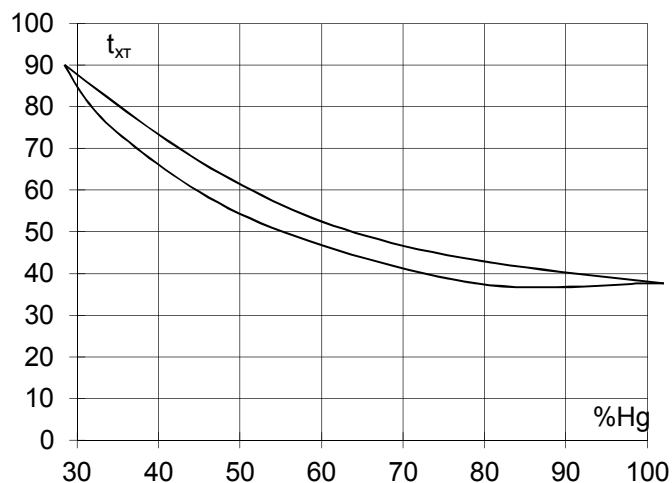


Рисунок 3.1 – Вплив процентного змісту амальгами ртуті на температуру внутрішніх частин лампи

Однак при цьому слід зважати на те, що введення амальгами приводить до зміни стабільності світлового потоку ЛЛ при експлуатації та збільшенню вартості самої лампи. Як було зазначено вище, $\eta_{\text{ст}}$ окрім $t_{\text{хт}}$, залежить від I , d_2 , роду та тиску інертного газу, що наповнює лампу (3.2). Температура холодної точки у вказаних залежностях змінна, і визначається питомим навантаженням, що відповідає кожному значенню струму лампи та її діаметру. Користуючись наведеними графічними залежностями визначають $\eta_{\text{ст}}$ варіантів ЛЛ, що у подальшому порівнюємо з урахуванням рівняння (3.1) і $\eta_{\text{л}}$.

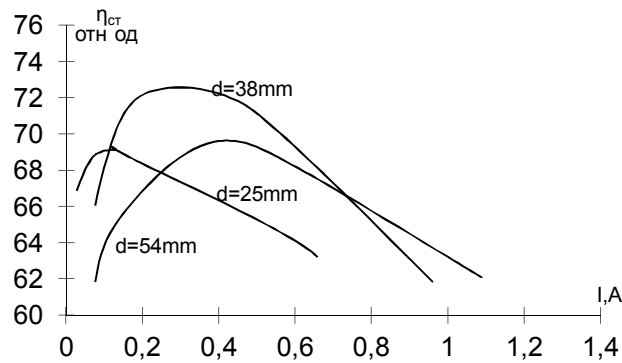


Рисунок 3.2 – Залежності $\eta_{ст}$ (у відносних одиницях) від I для різних діаметрів ламп, що наповнені Ar до тиску 3 мм. рт. ст.

Довжина лампи $l_{л}$ чинить помітний вплив на економічні показники освітлювальної установки. При збільшенні зазначеної характеристики зростає вартість лампи та світильників (інколи і ПРА), тобто капітальні та експлуатаційні витрати. Але при цьому для варіантів з постійним струмом [$d_2 = \text{const}$] за рахунок росту довжини позитивного стовпа, тобто зменшення частини приелектродних втрат збільшується $\eta_{л}$, що асимптотичне наближується до $\eta_{ст}$ (рис. 3.3). Однак суттєве збільшення $l_{л}$, коли постійними залишаються потужність та діаметр лампи, приводить до зменшення $\eta_{л}$ (рис. 3.4), внаслідок помітного зниження питомого навантаження, тобто зменшення $t_{хт}$ проти оптимальних значень.

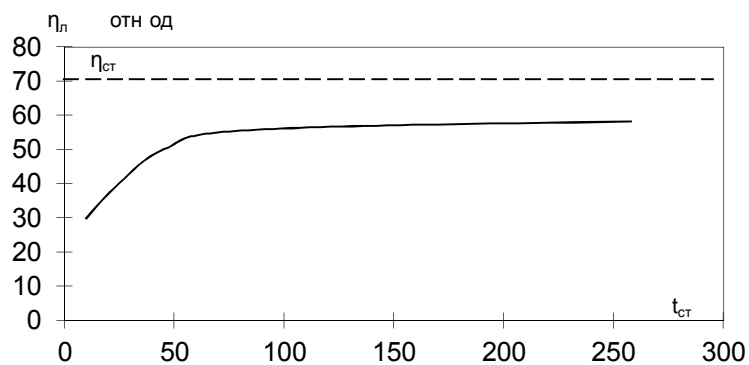


Рисунок 3.3 – Вплив температури зовнішньої поверхні трубки в області стовпа на світлову віддачу лампи

У зв'язку зі сказаним та враховуючи певні технологічні труднощі при виготовленні ЛЛ з великою довжиною трубки, а також пов'язані з цим експлуатаційні незручності, варіанти ЛЛ з довжиною трубки, що перебільшує 2,4 м, відкидаються.

Стабільність світлового потоку ЛЛ у процесі експлуатації залежить від величини питомого навантаження. Згідно з літературними даними і відносно

зниження світлового потоку $\Delta\Phi_t$ до моменту часу роботи лампи t прямо пропорційно величині ω (для різних відрізків часу t змінюється величина коефіцієнта пропорційності).

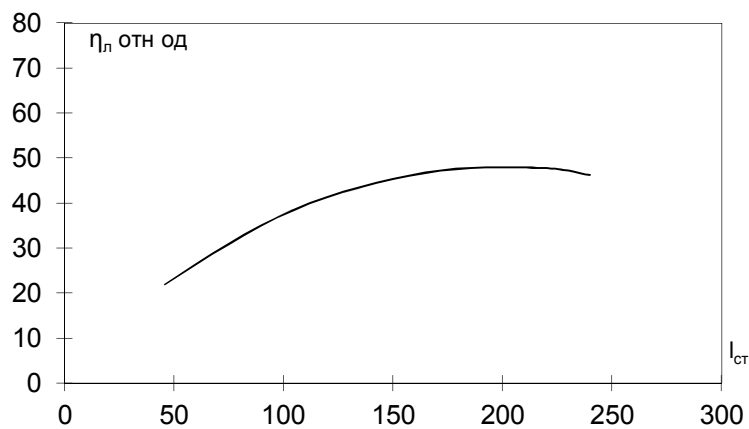


Рисунок 3.4 – Залежність світлової віддачі лампи від довжини позитивного стовпа

Після попереднього відбору для варіантів ламп, що залишилися з метою перевірки правильності розрахунку $l_{ст}$, d_2 и $t_{ст}$ складається зовнішній баланс енергії відповідно до рівнянь (3.1), (3.3), (3.4) і (3.5). Розбіжності лівої та правої частини балансу не повинні перебільшувати $\pm(5\div 10)\%$.

4 ВИЗНАЧЕННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАРІАНТІВ ЛАМП

Світловий потік ЛЛ утворюється світінням шару люмінофору, що збуджується резонансними лініями ртутного розряду з $\lambda_{рез} = 184,9$ та $253,7$ нм, та видимими лініями ртутного розряду з $\lambda_{рез} = 405, 436, 546$ та 577 нм. Основну частину потоку ЛЛ дає випромінювання люмінофору, випромінювання видимих ліній у світловому потоці ламп звичайно складає 8–12 %. Світловий потік лампи в області позитивного стовпа $\Phi_{ст}$ може бути розрахований згідно виразу

$$\Phi_{ст} = 683C\bar{\eta}_{шар.л} \left[\alpha_{185}\eta_{185}R_{185}\Phi_{1ст(185)} + \alpha_{254}\eta_{254}R_{254}\Phi_{1ст(254)} \right] \cdot l_{ст} + 683 \cdot l_{ст} \cdot \sum_{\lambda_{вид}} \Phi_{1ст(вид)} \cdot k(\lambda) \cdot \frac{\tau(\lambda)}{1-p(\lambda)}. \quad (4.1)$$

Перша складова рівняння (4.1) визначає світловий потік від шару люмінофору, другий – видимих ліній ртутного розряду.

У рівнянні (4.1) прийнято наступні позначення:

а) $\Phi_{1\text{ст}(185)}$ та $\Phi_{1\text{ст}(254)}$ – питомі (з одиниці довжини позитивного стовпа) енергетичні потоки резонансних ліній ртуті з довжинами хвиль $\lambda_{\text{рез}}$ відповідно 184,9 і 253,7 нм при умовах розряду, що розглядаються $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}}\right)$. Як відомо, вихід резонансного випромінювання у ртутному розряді низького тиску залежить від струмів лампи, температури холодної точки (тобто тиску насичених парів ртуті), діаметру розрядної трубки, роду та тиску наповнюючого лампу інертного газу. Експериментальні залежності $\Phi_{1\text{ст}(185)}$ та $\Phi_{1\text{ст}(254)}$ від I , d_2 для різних інертних газів та їх тисків при $t_{\text{хт}} = \text{const}$ наведені у таблицях А.8 ÷ А. 11 (див. дод. А). У таблиці А.12 (див. дод. А) наведені енергетичні яскравості резонансних ліній залежно від струму лампи, $t_{\text{хт}}$, роду та тиску інертного газу при діаметрі розрядної трубки $d_2 = 38$ мм. За своїми оптичними харак–теристиками позитивний стовп ртутного розряду низького тиску наближається до рівнояркого поверхневого випромінювача, тому при визначенні $\Phi_{1\text{ст}(\lambda_{\text{рез}})}$ згідно з енергетичними яскравостями резонансних ліній іноді використовують закон Ламберта;

б) R_{185} і R_{254} – відповідно квантові відношення для резонансного випромінювання з $\lambda_{\text{рез}} = 185$ та 254 нм. У випадку збудження попереднього спектра люмінесценції люмінофору однорідним випромінюванням (випадок ЛЛ), під R розуміють відношення середньої енергії кванту люмінесценції до енергії кванту збуджуючого (резонансного) випромінювання, тобто

$$R = \frac{h \cdot \bar{\nu}_{\text{люм}} \cdot \lambda_{\text{рез}}}{h \cdot \nu_{\text{рез}} \cdot \bar{\lambda}_{\text{люм}}}, \quad (4.2)$$

де h – постійна Планка; $\bar{\nu}_{\text{люм}}$ та $\bar{\lambda}_{\text{люм}}$ – відповідно середні значення частоти та довжини хвилі кванту люмінесценції;

$\nu_{\text{рез}}$ та $\lambda_{\text{рез}}$ – частота та довжина хвилі кванту резонансного випромінювання ртутного розряду, що збуджує люмінофор.

Середня довжина хвилі люмінесценції може бути визначена з урахуванням розподілу енергії у спектрі випромінювання люмінофору $\varphi(\lambda) = f(\lambda)$ за співвідношенням

$$\bar{\lambda}_{\text{люм}} = \frac{\int_{380}^{770} \varphi(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{770} \frac{1}{\lambda} \cdot \varphi(\lambda) d\lambda} \quad (4.3)$$

Розрахунок за рівнянням (4.3) проводиться методом графічного інтегрування відповідних залежностей $\varphi(\lambda) = f(\lambda)$. Спектральні характеристики основних типів ЛЛ надані в додатку А на рисунку А.1 (а–д) та рисунку А.2 (а–е);

в) η_{185} та η_{254} – відповідно квантові виходи люмінофору для резонансних ліній 185 та 254 нм, що дорівнюють відношенню числа квантів люмінесценції до числа поглинутих люмінофором квантів збуджуючого випромінювання. Для галофосфату кальцію (ГФК), активованого марганцем та сурмою, що використовується як люмінофор в усіх типах ЛЛ $\eta_{185} = 2,2$ та $\eta_{254} = 0,74$. Але при розрахунках треба враховувати, що в процесі нанесення шару люмінофору, його технологічної обробки та протягом перших 1–3 годин горіння лампи, величина квантового виходу для обох резонансних ліній ртуті знижується до 0,8 від вказаних вище значень;

г) $\lambda_{рез}$ та $\bar{\eta}_{шар.л}$ – відповідно коефіцієнт використання збуджуючого резонансного випромінювання у шарі люмінофору та ефективний КПД шару люмінофору, що враховує поглинання потоку люмінесценції. Значення $\lambda_{рез}$ та $\bar{\eta}_{шар.л}$ встановлюються просторовим розподілом випромінювання джерела, його формою та розмірами, геометрією шару та його розташуванням, а також оптичними характеристиками самого шару, що залежать від його товщини та показників поглинання і розсіювання. При оптимальній товщині шару, прийнятих способах розмолу та нанесення, добуток $\alpha_{рез} \cdot \bar{\eta}_{шар.л}$ прийнято вважати рівним 0,85–0,9;

д) С – відносний приведенний коефіцієнт видимості люмінофору

$$C = \frac{\int_{380}^{770} \varphi(\lambda) \cdot k(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{770} \varphi(\lambda) d\lambda}, \quad (4.4)$$

де $k(\lambda)$ – відносний коефіцієнт видимості ока (табл. Б.16 додатка Б).

Розрахунок за рівнянням (4.4) проводиться методом графічного інтегрування з використанням залежностей (рис. А.1 і А.2 додатку);

е) $\Phi_{1ст(вид)}$ – питомий (з одиниці довжини) енергетичний потік видимих ліній ртуті у стовпі.

Друга складова рівняння (4.1) надає значення світлового потоку від видимих променів ртутного розряду. Величина цього потоку залежить від робочого струму лампи, геометрії колби та ін. Однак частина світлового потоку видимих ліній від потоку ЛЛ незначна, тому при оціночних розрахунках можна

вважати, що світлова віддача стовпа $H_{ст}$ за рахунок світлового потоку видимих ліній незалежно від характеристик ЛЛ збільшується на 6–7 лм/Вт, тобто замінити зазначену складову виразом: $(6 - 7) P_{ст}$ [лм].

Знаючи $\Phi_{ст}$, визначають $\eta_{ст} = \frac{\Phi_{ст}}{P_{ст}}$ і $\eta_{л}$ за рівнянням (4.1).

Як відомо, у процесі горіння ЛЛ зменшується величина світлового потоку. Розрахунок за рівнянням (4.1) дає початкову величину потоку лампи Φ_0 (після 1 – 2 – 3 годин горіння). За номінальний потік ЛЛ Φ_n відповідно до ДСТУ приймається світловий потік ламп після 100 годин горіння, який можна визначити як

$$\Phi_n = \Phi_0 \cdot (1 - \Delta\Phi_n), \quad (4.5)$$

де $\Delta\Phi_n = \frac{\Phi_0 - \Phi_n}{\Phi_0}$ відносний спад світлового потоку лампи після 100 годин горіння.

Початковий спад світлового потоку $\Delta\Phi_n$ лінійно залежить від питомого навантаження ω

$$\Delta\Phi_n = a \cdot \omega, \quad (4.6)$$

де $a = 0,7 \div 2,0 \left(\frac{см^2}{Вт}\right)$ коефіцієнт пропорційності залежить від типу люмінофору, що використовується.

Світловий потік лампи за час горіння $t = 0,4\tau$ знижується до значення

$$\Phi_{0,4\tau} = \Phi_n \cdot (1 - \Delta\Phi_{0,4\tau}) = \Phi_n \cdot \left(1 - \frac{\Phi_n - \Phi_{0,4\tau}}{\Phi_n}\right). \quad (4.7)$$

З урахуванням зв'язків

$$\Phi_{0,4\tau} \approx b \cdot \omega, \quad (4.8)$$

де $b = 2 \div 5 \left(\frac{см^2}{Вт}\right)$ залежить від люмінофору, що використовується.

Середній за терміном роботи світловий потік лампи $\Phi_{сер}$ можна розрахувати методом графічного інтегрування за співвідношенням

$$\Phi_{сер} = \frac{1}{\tau} \cdot \int_{t=0}^{\tau} \Phi(t) dt. \quad (4.9)$$

При цьому величина терміну роботи лампи τ задається викладачем.

Згідно з літературними даними $\Phi_{\text{сер}} \approx \Phi_{0,4\tau}$ та використовуючи залежності (4.5) – (4.8) оцінити світловий потік ЛЛ і побудувати криву $\Phi(t)$ у діапазоні змінення від $t = 0$ до $t = \tau$.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ ЛАМП

Розраховані варіанти ЛЛ порівнюють за приведеними річними витратам освітлювальної установки $C + \frac{K}{T_n}$ при однакових рівнях освітлення, що утворюється різними варіантами ламп. Нормативний строк окупності T_n освітлювальних установок складає 6,7 року.

Частина капітальних затрат K , що змінюються, складається із вартості ламп $K_{\text{л}}$, світильників $K_{\text{св}}$ і ПРА – $K_{\text{пра}}$. Вартість освітлювальної мережі, комутаційної та розподільної апаратури вважається майже однаковою для варіантів освітлювальних установок, що порівнюються, тому вона в розрахунок не враховується.

Таким чином,

$$K = K_{\text{л}} + K_{\text{св}} + K_{\text{пра}} \cdot \quad (5.1)$$

Вартість ламп $K_{\text{л}}$ визначається за виразом

$$K_{\text{л}} = g_{\text{л}} \cdot n_{\text{л}}, \quad (5.2)$$

де $g_{\text{л}}$ – вартість однієї лампи, яка залежить від довжини, діаметру та конструктивних особливостей лампи (обирається за вказівкою викладача);

$n_{\text{л}}$ – кількість ламп в установці, що забезпечує потрібний рівень освітлення,

$$n_{\text{л}} = \frac{K_3 \cdot N}{\Phi_n}, \quad (5.3)$$

де $K_3 = \frac{\Phi_n}{\Phi_t}$ – один із складових коефіцієнта запасу установки, зумовлена зменшенням світлового потоку ламп в процесі експлуатації та режимом обслуговування установки;

N – необхідна величина світлового потоку освітлювальної установки, що забезпечує потрібний рівень освітлення з урахуванням інших складових коефіцієнта запасу, зумовлених запиленням світильників та відбиваючих поверхонь приміщення, виходом ЛЛ з ладу та ін.

Час експлуатації t , для якого визначається Φ_t , залежить від системи обслуговування та кривої розладу ЛЛ; складові коефіцієнта запасу за рахунок вказаних вище причин приймаються однаковими для варіантів ламп, що порівнюються.)

Вартість світильників –

$$K_{\text{св}} = g_{\text{св}} \cdot n_{\text{св}}, \quad (5.4)$$

де $g_{\text{св}}$ – вартість одного світильника, яка в основному залежить від типу світильника, кількості ламп в одному світильнику $\mu_{\text{св}}$ та довжини ЛЛ (обирається за вказівкою викладача);

$$n_{\text{св}} = \frac{n_{\text{л}}}{\mu_{\text{св}}} - \text{кількість світильників в освітлювальній установці.}$$

Вартість пускорегулюючих апаратів –

$$K_{\text{пра}} = g_{\text{пра}} \cdot n_{\text{пра}}, \quad (5.5)$$

де $g_{\text{пра}}$ – вартість одного пускорегулюючого апарата, яка залежить від типу ПРА, кількості ламп $n_{\text{пра}}$ що одночасно приєднані до апарату, $\frac{U_{\text{л}}}{U}$ або $\frac{U_{\text{л}}}{U_{\text{хх}}}$, потужності ЛЛ та інших факторів, обирається за вказівкою викладача;

$n_{\text{пра}}$ – повна кількість апаратів в освітлюваній установці

$$n_{\text{пра}} = \frac{n_{\text{л}}}{\mu_{\text{пра}}}. \quad (5.6)$$

Частина річних експлуатаційних витрат складається з вартості електроенергії C_e , що споживається установкою; вартості ламп $C_{\text{л}}$, що змінюються за один рік; амортизаційних відрахувань C_a , а також вартостей ремонту та обслуговування установки C_0 та очищення одного світильника $C_{\text{оч}}$ відповідно, тобто

$$C = C_e + C_{\text{л}} + C_a + C_0 + C_{\text{оч}}. \quad (5.7)$$

Вартість електроенергії –

$$C_e = n_{\text{л}} \cdot P_{\text{л}} \cdot \beta \cdot T \cdot g_{\text{ен}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta U}{100}\right), \quad (5.8)$$

де $P_{\text{л}}$ – потужність однієї лампи (кВт);

$\beta = 1,1 \dots 1,25$ – коефіцієнт втрати потужності у ПРА, який залежить від типу ПРА та потужності ламп, що працюють з ним;

$T=750 \dots 6\,300$ – кількість годин роботи освітлювальної установки за рік, яка залежить від кількості змін на підприємстві, наявності природного освітлення тощо. Величина зазначеного параметру визначається за вказівкою викладача;

$g_{ен}$ – тариф на електроенергію в залежності від типу підприємства, на якому створюється освітлювальна установка (вибирається згідно вказівки викладача);

ΔU – відносне падіння напруги (%) в освітлювальній мережі до середньої лампи установки ($\Delta U = 2,5\%$).

Вартість ламп, що змінюється протягом року:

$$C_L = K_L \cdot \frac{T}{\tau} \quad (5.9)$$

Річні амортизаційні відрахування:

$$C_a = (K - K_L) \cdot \frac{\alpha}{100}, \quad (5.10)$$

де α – відсоток амортизаційних відрахувань ($\alpha = 15\%$).

Вартість обслуговування та ремонту установки C_0

$$C_0 = 0,02 \cdot (K - K_L - K_{св}) \quad (5.11)$$

та очищення освітлювальних приладів $C_{оч}$

$$C_{оч} = C_{оч1} \cdot n_{св} \cdot \frac{12}{t_{оч}}, \quad (5.12)$$

де $C_{оч1}$ – вартість (грн) очистки одного світильника (дорівнює 0,2–0,4 грн і залежить від типу світильників, їх розмірів, тобто потужності ламп, що працюють у світильнику, розташування освітлювальної арматури в установці тощо);

$t_{оч} = 1 \dots 3$ – інтервал між очищеннями, виражений у місяцях (залежить від умов запилення приміщення, особливостей виробничого процесу та інших факторів і обирається за вказівкою викладача).

Варіант ЛЛ, що має мінімальні приведені річні витрати, є оптимальним для даних умов експлуатації освітлювальної установки.

Результати розрахунків геометричних та світлових параметрів ЛЛ рекомендується звести у таблицю 5.1, а результати економічних розрахунків – у таблицю 5.2.

Таблиця 5.1 – Розрахункові значення геометричних і світлових параметрів оптимального варіанта ЛЛ

Номер оптимального варіанта	U, B	m	$U_{л}, B$	I, A	Тиск інертного газу $p_{іг},$ мм.рт.ст.	$U_{ак}, B$	$U_{ст}, B$
$d_2, см$	$\varepsilon, \frac{B}{см}$	$l_{ст}, см$	$l_{л}, см$	$P_{ст}, Вт$	$\omega, \frac{Вт}{см^2}$	$t_{хт}, ^\circ C$	$\alpha_{ст} P_{ст}, Вт$
$(q_{т} + q_{випр}) \pi d_2 l_{ст},$ Вт	$\Phi_{ст}, Вт$	$\frac{H_{ст},}{лм}$ $\frac{лм}{Вт}$	$\frac{H_{л},}{лм}$ $\frac{лм}{Вт}$	$\Phi_{н}, лм$	$\Phi_{4000}, лм$	$\Phi_{т}, лм$	

Таблиця 5.2 – Результати економічних розрахунків оптимального варіанта ЛЛ

Номер варіанта	$k_{л}$	$n_{л}$	$K_{л}, грн$	$K_{св}, грн$	$K_{пра}, грн$	$K, грн$
$C_e, грн$	$C_{л}, грн$	$C_a, грн$	$C_o, грн$	$C_{оч}, грн$	$C, грн$	$C + \frac{K}{T_n}, грн$

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рохлин Г. М. Розрядные источники света / Г. М. Рохлин – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 719 с.
2. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Знак, 2006. – 972 с.
3. Методичні вказівки до дипломного проектування / Назаренко Л. А., Гуракова Л. Д. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 50 с.

ДОДАТОК А

Спектральні характеристики основних типів ЛЛ

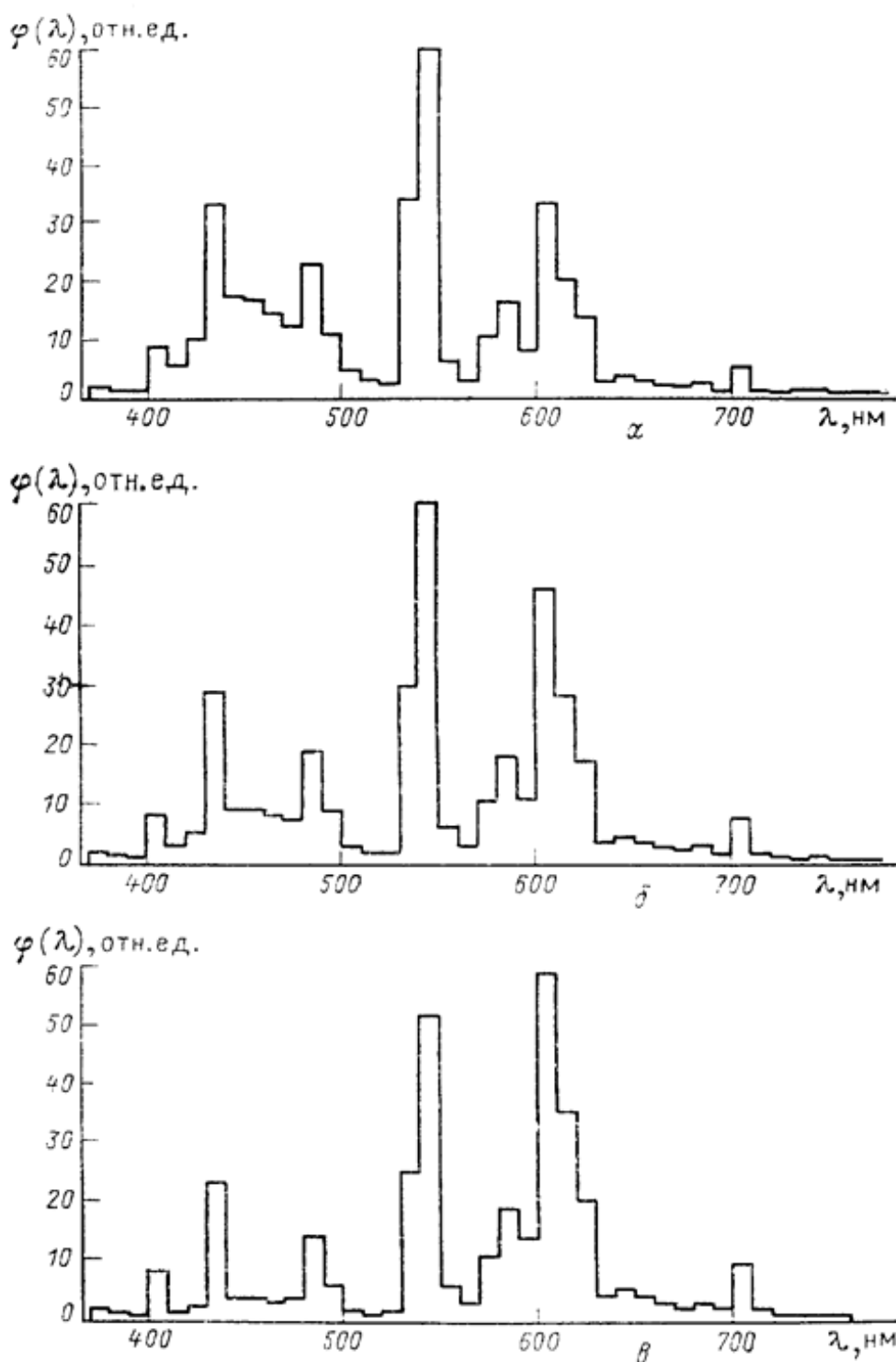


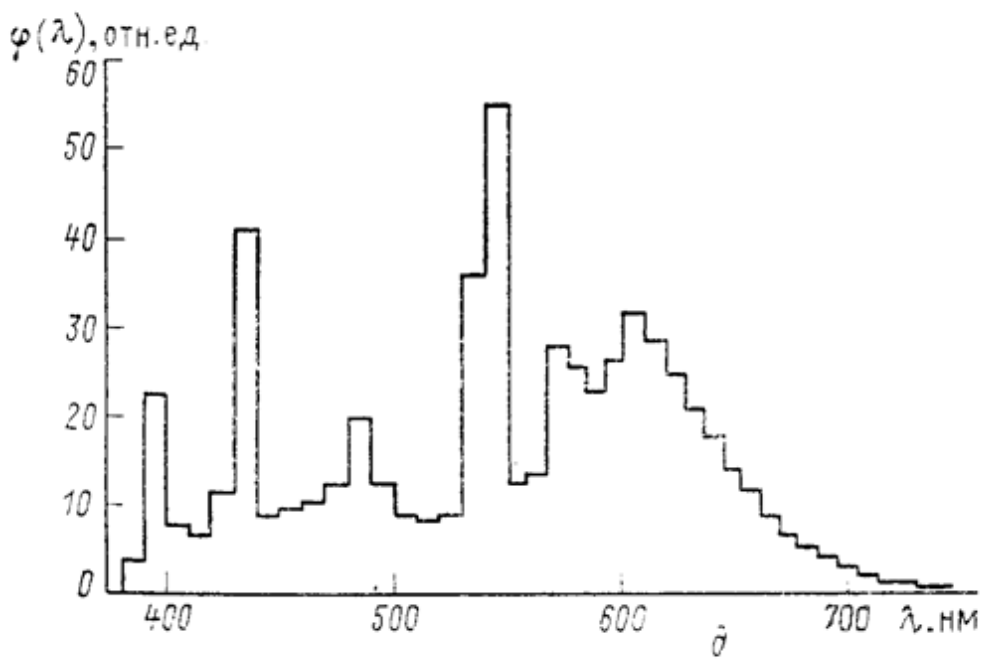
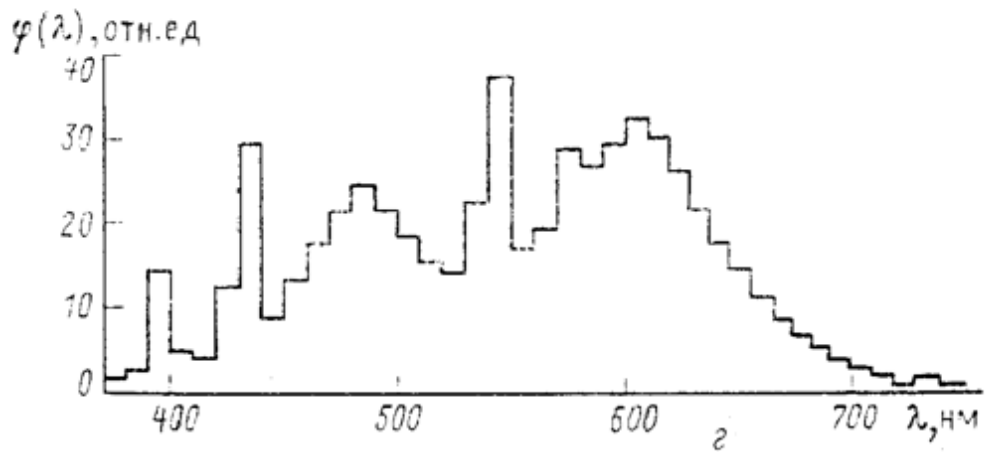
Рисунок А.1 – Спектральні характеристики ЛЛ різної кольоровості з рідкоземельними

вузько смуговими люмінофорами:

а – лампа ЛД (денного світла);

б – ЛБ (білого світла);

в – ЛТБ (теплого білого світла);



Продовження рисунка А.1

г – ЛБЦ («делюкс» білого світла);

д – ЛТБЦ («делюкс» теплого білого світла)

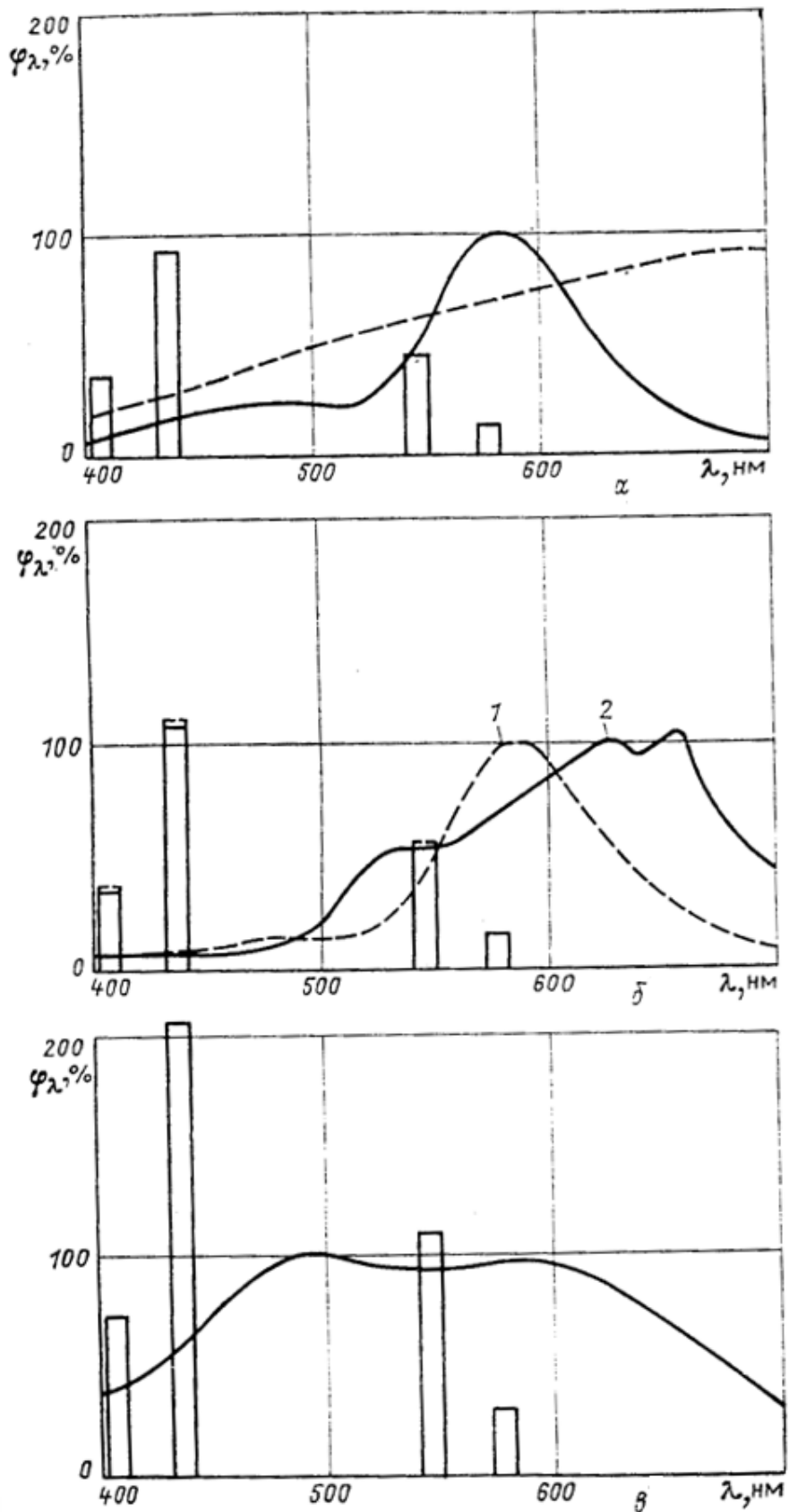
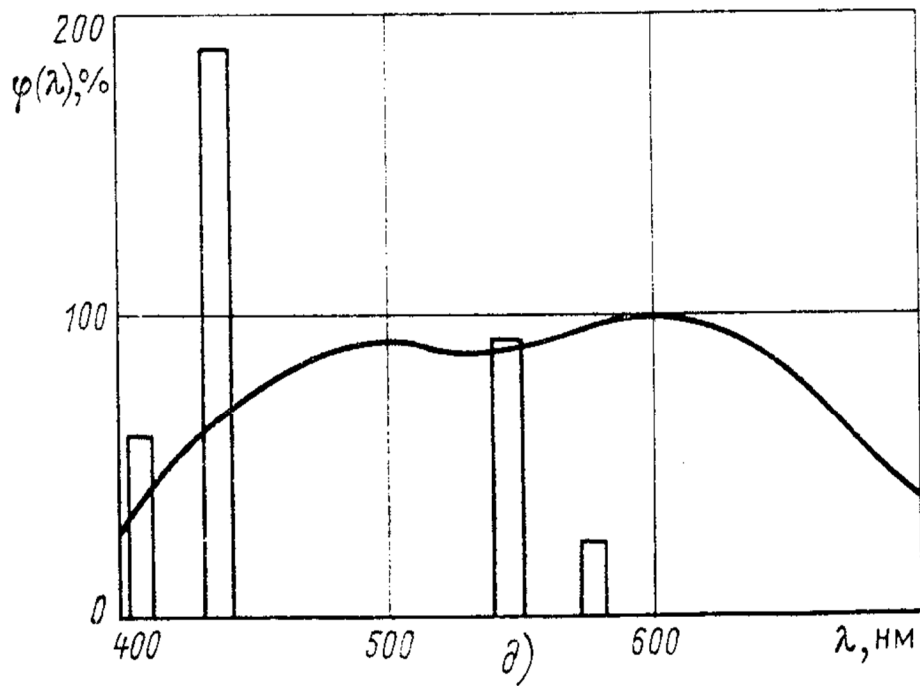
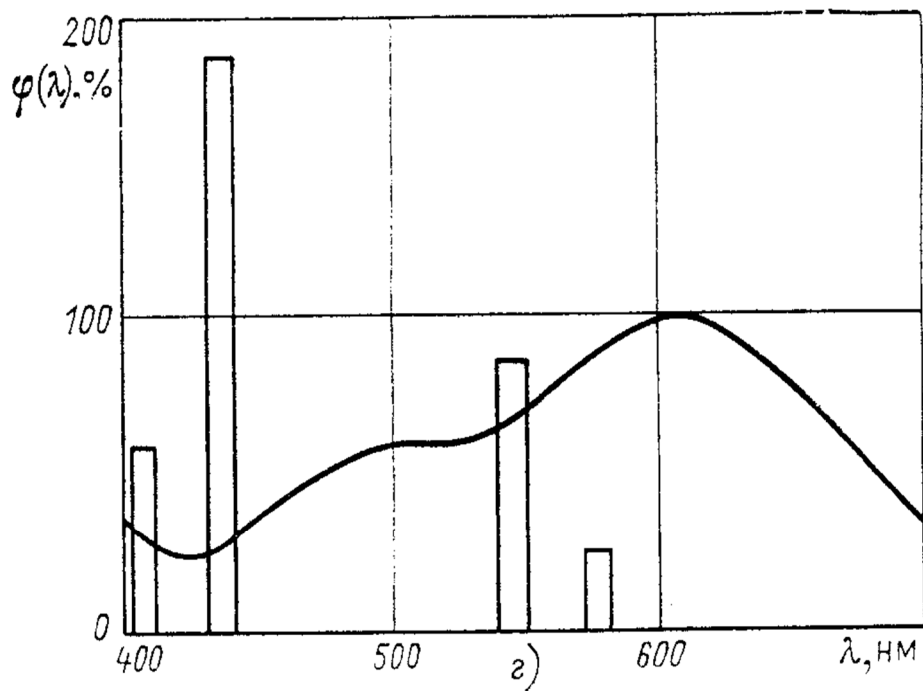


Рисунок А.2 – Спектральні характеристики ЛЛ різної кольоровості:
 а – ЛБ, пунктирна крива – випромінювання АЧТ при $T = 3600 \text{ K}$;
 б – ЛТБ (1) и ЛТБЦ (2);
 в – ЛДЦ



Продовження рисунка А.2:

г – ЛЕЦ;

д – ЛХЕЦ

ДОДАТОК Б

Довідкові дані для виконання розрахунків

Таблиця Б.1 – Катодне падіння напруги при $P_{Hg}=(3-4)\cdot 10^{-3}$ мм. рт. ст.

p_{gr} , мм. рт. ст.	Вид газу			
	<i>Ne</i>	<i>Ar</i>	<i>Kr</i>	<i>Xe</i>
4,0	11	8.5	6	4.5
2,0	15	9.5	7	5.5
0,5	18	11	8	6.5
0,07	22	12	10	8.5

Таблиця Б.2 – Градієнт потенціалу (В/см) в позитивному стовпі розряду
неон–ртуть

d , мм	p_{gr}	I , А											
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	1,0	2,0
19	4,0	1,94	1,90	1,86	1,82	1,78	1,76	1,73	1,71	1,67	1,63	1,49	1,36
	3,0	1,87	1,84	1,80	1,77	1,74	1,71	1,69	1,67	1,63	1,60	1,47	1,34
	2,0	1,80	1,77	1,75	1,72	1,69	1,67	1,65	1,63	1,60	1,57	1,45	1,32
	1,0	1,75	1,72	1,69	1,66	1,64	1,62	1,60	1,58	1,55	1,52	1,42	1,31
	0,5	1,72	1,69	1,67	1,64	1,61	1,59	1,57	1,56	1,53	1,50	1,40	1,30
25	4,0	1,54	1,52	1,50	1,48	1,46	1,44	1,42	1,40	1,37	1,34	1,21	1,11
	3,0	1,42	1,40	1,39	1,37	1,36	1,34	1,32	1,31	1,28	1,26	1,15	1,06
	2,0	1,30	1,29	1,28	1,26	1,25	1,24	1,22	1,21	1,19	1,17	1,09	1,00
	1,0	1,18	1,17	1,16	1,15	1,14	1,13	1,11	1,10	1,09	1,07	1,00	0,92
	0,5	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,02	0,96	0,88
38	4,0	1,24	1,22	1,21	1,19	1,17	1,15	1,14	1,12	1,10	1,07	0,98	0,85
	3,0	1,18	1,16	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,07	1,05	1,03	0,94	0,82
	2,0	1,12	1,11	1,09	1,08	1,06	1,05	1,03	1,02	1,00	0,98	0,89	0,78
	1,0	1,03	1,02	1,01	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95	0,94	0,92	0,85	0,73
	0,5	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,89	0,83	0,71
	0,07	0,85	0,84	0,83	0,81	0,80	0,79	0,79	0,78	0,77	0,76	0,71	0,66
54	4,0	1,05	1,05	1,04	1,04	1,03	1,02	1,01	1,01	0,99	0,98	0,93	0,82
	3,0	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,85	0,76
	2,0	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,84	0,83	0,82	0,81	0,77	0,69
	1,0	0,82	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,78	0,77	0,77	0,76	0,71	0,64
	0,5	0,79	0,78	0,78	0,77	0,76	0,76	0,75	0,75	0,74	0,73	0,68	0,62

Примітка. Величини тиску p_{gr} інертного газу приведені в мм ртутного стовпа.

Таблиця Б.3 – Градієнт потенціалу (В/см) в позитивному стовпі розряду аргон–ртуть

d , мм	$p_{\text{іг}}$	I , А											
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	1,0	2,0
19	4,0	1,70	1,63	1,57	1,50	1,43	1,39	1,34	1,30	1,23	1,16	0,99	0,79
	3,0	1,69	1,63	1,56	1,50	1,43	1,39	1,35	1,31	1,25	1,19	1,02	0,82
	2,0	1,68	1,62	1,56	1,49	1,43	1,40	1,36	1,33	1,27	1,22	1,05	0,84
	1,0	1,66	1,61	1,57	1,52	1,47	1,44	1,41	1,38	1,34	1,29	1,14	0,98
	0,5	1,65	1,61	1,57	1,53	1,49	1,46	1,44	1,41	1,37	1,33	1,18	1,05
	0,07	1,62	1,60	1,58	1,55	1,53	1,52	1,51	1,50	1,48	1,46	1,40	1,36
25	4,0	1,35	1,31	1,28	1,24	1,20	1,17	1,13	1,10	1,05	1,00	0,83	0,65
	3,0	1,27	1,23	1,19	1,15	1,12	1,09	1,06	1,04	1,00	0,96	0,81	0,65
	2,0	1,18	1,14	1,11	1,07	1,03	1,01	0,99	0,97	0,94	0,91	0,79	0,64
	1,0	1,12	1,09	1,06	1,03	1,00	0,98	0,97	0,95	0,92	0,89	0,78	0,67
	0,5	1,09	1,07	1,04	1,02	0,99	0,97	0,95	0,94	0,91	0,88	0,78	0,69
	0,07	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,92	0,91	0,89	0,87	0,84	0,75
38	4,0	0,94	0,92	0,91	0,89	0,87	0,86	0,84	0,83	0,80	0,78	0,67	0,55
	3,0	0,90	0,88	0,86	0,85	0,83	0,82	0,80	0,79	0,77	0,75	0,65	0,55
	2,0	0,85	0,84	0,82	0,80	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73	0,71	0,63	0,54
	1,0	0,81	0,80	0,78	0,77	0,75	0,74	0,73	0,72	0,70	0,68	0,62	0,55
	0,5	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73	0,72	0,71	0,70	0,69	0,67	0,61	0,56
	0,07	0,69	0,69	0,68	0,68	0,67	0,66	0,66	0,65	0,64	0,63	0,60	0,55
54	4,0	0,84	0,83	0,82	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76	0,74	0,72	0,62	0,50
	3,0	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,70	0,69	0,59	0,48
	2,0	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68	0,68	0,67	0,67	0,66	0,65	0,55	0,46
	1,0	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,54	0,47
	0,5	0,64	0,63	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,59	0,57	0,56	0,53	0,47
	0,07	0,57	0,57	0,56	0,56	0,55	0,55	0,54	0,54	0,54	0,53	0,50	0,46

Примітка. Значення тиску $p_{\text{іг}}$ інертного газу надані в мм ртутного стовпа.

Таблиця Б.4 – Градієнт потенціалу (В/см) в позитивному стовпі розряду кріптон–ртуть

d , мм	$p_{iГ}$	I , А											
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	1,0	2,0
19	4,0	1,28	1,22	1,15	1,09	1,02	0,99	0,95	0,92	0,87	0,82	0,66	0,47
	3,0	1,25	1,19	1,14	1,08	1,02	0,99	0,95	0,92	0,87	0,82	0,67	0,49
	2,0	1,22	1,17	1,12	1,07	1,02	0,99	0,95	0,92	0,87	0,82	0,67	0,50
	1,0	1,25	1,20	1,15	1,10	1,05	1,02	1,00	0,97	0,94	0,90	0,78	0,63
	0,5	1,26	1,21	1,16	1,11	1,06	1,04	1,02	1,00	0,97	0,94	0,83	0,70
	0,07	1,36	1,34	1,33	1,31	1,29	1,28	1,26	1,25	1,23	1,21	1,14	1,04
25	4,0	1,10	1,05	1,00	0,95	0,90	0,88	0,85	0,83	0,79	0,75	0,60	0,43
	3,0	1,03	0,99	0,95	0,92	0,88	0,86	0,83	0,81	0,78	0,74	0,60	0,49
	2,0	0,95	0,93	0,91	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,76	0,73	0,60	0,54
	1,0	1,02	0,98	0,94	0,90	0,86	0,84	0,82	0,81	0,78	0,75	0,64	0,53
	0,5	1,06	1,01	0,96	0,91	0,86	0,84	0,83	0,81	0,79	0,76	0,66	0,52
	0,07	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,88	0,88	0,87	0,86	0,85	0,78	0,68
38	4,0	0,87	0,84	0,82	0,79	0,76	0,74	0,71	0,69	0,66	0,62	0,49	0,35
	3,0	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,66	0,64	0,62	0,59	0,48	0,36
	2,0	0,68	0,67	0,65	0,64	0,62	0,61	0,60	0,59	0,58	0,56	0,47	0,36
	1,0	0,67	0,65	0,64	0,63	0,61	0,60	0,59	0,58	0,56	0,55	0,47	0,39
	0,5	0,66	0,65	0,64	0,62	0,61	0,60	0,59	0,58	0,56	0,54	0,47	0,40
	0,07	0,66	0,66	0,65	0,65	0,64	0,63	0,63	0,62	0,61	0,60	0,58	0,53
54	4,0	0,83	0,81	0,79	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,64	0,61	0,47	0,33
	3,0	0,73	0,71	0,70	0,68	0,66	0,65	0,63	0,62	0,59	0,57	0,47	0,33
	2,0	0,63	0,62	0,61	0,59	0,58	0,57	0,56	0,56	0,54	0,53	0,46	0,32
	1,0	0,57	0,56	0,55	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,50	0,49	0,43	0,34
	0,5	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,50	0,50	0,49	0,48	0,47	0,42	0,35
	0,07	0,54	0,54	0,53	0,53	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,48

Примітка. Значення тиску $p_{iГ}$ інертного газу надані в мм ртутного стовпа.

Таблиця Б.5 – Градієнт потенціалу (В/см) в позитивному стовпі розряду ксенон–ртуть

d , мм	$p_{\text{іг}}$	I , А											
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	1,0	2,0
19	4,0	1,10	1,02	0,94	0,86	0,78	0,75	0,71	0,68	0,63	0,58	0,45	0,39
	3,0	1,01	0,95	0,90	0,84	0,78	0,75	0,72	0,69	0,64	0,59	0,48	0,41
	2,0	0,92	0,89	0,85	0,82	0,78	0,75	0,72	0,69	0,65	0,60	0,50	0,42
	1,0	0,98	0,96	0,93	0,91	0,88	0,86	0,83	0,81	0,77	0,73	0,62	0,52
	0,5	1,01	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,83	0,80	0,68	0,57
	0,07	1,06	1,05	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00	0,99	0,97	0,92	0,81
25	4,0	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,76	0,71	0,67	0,61	0,54	0,38	0,32
	3,0	0,93	0,89	0,85	0,80	0,76	0,72	0,69	0,65	0,60	0,54	0,37	0,31
	2,0	0,86	0,83	0,79	0,76	0,72	0,69	0,66	0,63	0,59	0,54	0,36	0,29
	1,0	0,89	0,86	0,83	0,81	0,78	0,76	0,73	0,71	0,68	0,64	0,50	0,37
	0,5	0,90	0,88	0,86	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,72	0,69	0,57	0,41
	0,07	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,94	0,91	0,89	0,86	0,82	0,76	0,63
38	4,0	0,80	0,76	0,73	0,69	0,65	0,62	0,59	0,56	0,52	0,47	0,33	0,27
	3,0	0,71	0,68	0,66	0,63	0,60	0,58	0,55	0,53	0,49	0,46	0,32	0,27
	2,0	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,50	0,47	0,44	0,31	0,26
	1,0	0,59	0,58	0,57	0,55	0,54	0,52	0,51	0,50	0,47	0,45	0,36	0,31
	0,5	0,58	0,57	0,56	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,48	0,46	0,39	0,34
	0,07	0,63	0,63	0,62	0,62	0,61	0,61	0,60	0,60	0,59	0,58	0,56	0,51
54	4,0	0,72	0,69	0,66	0,63	0,60	0,58	0,55	0,53	0,49	0,45	0,31	0,21
	3,0	0,65	0,63	0,61	0,58	0,56	0,54	0,52	0,49	0,46	0,43	0,31	0,21
	2,0	0,58	0,57	0,55	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46	0,43	0,40	0,30	0,20
	1,0	0,53	0,51	0,50	0,49	0,47	0,46	0,45	0,43	0,41	0,39	0,32	0,22
	0,5	0,50	0,49	0,48	0,46	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	0,39	0,33	0,23
	0,07	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,50	0,50	0,47	0,53

Примітка. Значення тиску $p_{\text{іг}}$ інертного газу надані в мм ртутного стовпа.

Таблиця Б.6 – Пружність насичених парів ртуті

Температура $t_{\text{хт}}$, °С	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Пружність пару, мм рт. ст.	$0,21 \times 10^{-3}$	$0,54 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-3}$	$6,5 \times 10^{-3}$	0,013 4	0,026 5	0,05	0,092
Температура $t_{\text{хт}}$, °С	90	100	110	120	130	140	150	160	170
Пружність пару, мм рт. ст.	0,163	0,279	0,466	0,756	1,197	1,854	2,81	4,18	6,10

Таблиця Б.7 – Значення коефіцієнта А при роботі люмінесцентних ламп у спокійному повітрі при нормальному тиску

$t_{\text{набк}}, \text{ }^\circ\text{C}$	-50	0	+20	+40	+60	+100	+200
A	$4,14 \cdot 10^{-4}$	$3,94 \cdot 10^{-4}$	$3,87 \cdot 10^{-4}$	$3,78 \cdot 10^{-4}$	$3,69 \cdot 10^{-4}$	$3,60 \cdot 10^{-4}$	$3,33 \cdot 10^{-4}$

Таблиця Б.8 – Питомий енергетичний потік резонансних ліній (неон–ртуть)

d_2 , мм	Р	I_A													
		мм.рт.ст	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500	0,600	1,000	2,000	
		$\lambda = 184,9$ нм													
19,0 (57)	4,000	0,015	0,021	0,027	0,033	0,040	0,042	0,019	0,051	0,040	0,062	0,081	0,110		
	3,000	0,014	0,020	0,027	0,034	0,041	0,044	0,034	0,053	0,050	0,065	0,085	0,116		
	2,000	0,013	0,020	0,027	0,035	0,042	0,045	0,050	0,055	0,059	0,068	0,088	0,121		
	1,000	0,014	0,022	0,030	0,038	0,046	0,050	0,055	0,060	0,065	0,075	0,099	0,144		
	0,500	0,014	0,022	0,031	0,039	0,048	0,052	0,057	0,063	0,068	0,079	0,104	0,155		
25,0 (43)	0,070	0,013	0,019	0,024	0,030	0,035	0,040	0,046	0,052	0,057	0,068	0,099	0,169		
	4,000	0,011	0,013	0,016	0,018	0,021	0,025	0,030	0,036	0,041	0,052	0,068	0,091		
	3,000	0,011	0,013	0,016	0,018	0,021	0,025	0,031	0,037	0,042	0,054	0,071	0,096		
	2,000	0,011	0,013	0,016	0,018	0,021	0,025	0,031	0,038	0,043	0,055	0,074	0,100		
	1,000	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,025	0,032	0,038	0,044	0,057	0,082	0,116		
38,0 (40)	0,500	0,010	0,013	0,015	0,017	0,020	0,024	0,032	0,039	0,045	0,058	0,085	0,124		
	0,070	0,009	0,011	0,013	0,015	0,018	0,022	0,028	0,035	0,040	0,052	0,082	0,134		
	4,000	0,007	0,010	0,014	0,017	0,021	0,023	0,026	0,029	0,031	0,037	0,054	0,081		
	3,000	0,007	0,010	0,014	0,017	0,021	0,023	0,026	0,029	0,032	0,038	0,056	0,087		
	2,000	0,007	0,010	0,014	0,017	0,021	0,023	0,026	0,030	0,033	0,039	0,059	0,094		
54,0 (40)	1,000	0,007	0,010	0,013	0,017	0,020	0,023	0,026	0,030	0,033	0,039	0,061	0,106		
	0,500	0,007	0,010	0,013	0,017	0,020	0,023	0,026	0,030	0,033	0,039	0,063	0,112		
	0,070	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,020	0,023	0,027	0,029	0,036	0,059	0,112		
	4,000	0,005	0,007	0,009	0,011	0,013	0,015	0,017	0,020	0,022	0,026	0,041	0,066		
	3,000	0,005	0,007	0,009	0,011	0,013	0,015	0,018	0,020	0,022	0,027	0,041	0,068		
1,000	0,005	0,007	0,009	0,011	0,013	0,015	0,018	0,020	0,023	0,028	0,042	0,071			
	0,500	0,004	0,006	0,009	0,011	0,013	0,015	0,017	0,020	0,022	0,027	0,042			
	0,070	0,004	0,006	0,009	0,011	0,013	0,015	0,017	0,020	0,022	0,027	0,042			
0,500	0,003	0,005	0,006	0,008	0,010	0,012	0,015	0,017	0,020	0,022	0,027	0,042			
	0,070	0,003	0,005	0,006	0,008	0,010	0,012	0,013	0,015	0,017	0,021	0,034			
	0,070	0,003	0,005	0,006	0,008	0,010	0,012	0,013	0,015	0,017	0,021	0,034			

Продовження таблиці Б.8

d_2 , мм		I, А													
$t_{\text{хт}}$, °С	Р мм.рт.ст	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500	0,600	1,000	2,000		
$\Lambda=253,7$ нм															
19,000 (57)	4,000	0,061	0,081	0,102	0,123	0,144	0,152	0,165	0,177	0,187	0,210	0,270	0,366		
	3,000	0,063	0,082	0,105	0,126	0,147	0,158	0,172	0,187	0,200	0,226	0,298	0,408		
	2,000	0,065	0,086	0,109	0,130	0,152	0,163	0,180	0,196	0,212	0,242	0,326	0,450		
	1,000	0,060	0,081	0,102	0,123	0,145	0,158	0,179	0,198	0,217	0,254	0,345	0,525		
	0,500	0,056	0,077	0,098	0,119	0,142	0,156	0,179	0,200	0,219	0,259	0,354	0,564		
25,000 (43)	0,070	0,035	0,049	0,063	0,077	0,093	0,103	0,117	0,133	0,145	0,173	0,266	0,476		
	4,000	0,058	0,079	0,102	0,124	0,145	0,154	0,170	0,186	0,198	0,226	0,278	0,375		
	3,000	0,056	0,075	0,098	0,119	0,142	0,151	0,170	0,187	0,200	0,231	0,299	0,418		
	2,000	0,054	0,074	0,095	0,116	0,137	0,149	0,168	0,187	0,201	0,236	0,322	0,462		
	1,000	0,056	0,075	0,098	0,121	0,142	0,156	0,175	0,194	0,210	0,249	0,348	0,539		
38,000 (40)	0,500	0,056	0,077	0,100	0,123	0,145	0,159	0,179	0,200	0,215	0,254	0,361	0,578		
	0,070	0,047	0,068	0,089	0,109	0,130	0,142	0,161	0,184	0,198	0,236	0,368	0,625		
	4,000	0,053	0,074	0,096	0,117	0,140	0,152	0,170	0,186	0,201	0,233	0,294	0,387		
	3,000	0,051	0,072	0,093	0,114	0,137	0,149	0,166	0,184	0,200	0,231	0,303	0,418		
	2,000	0,049	0,070	0,091	0,112	0,133	0,145	0,163	0,182	0,196	0,229	0,310	0,452		
54,000 (40)	1,000	0,049	0,072	0,093	0,114	0,135	0,147	0,165	0,184	0,198	0,233	0,331	0,518		
	0,500	0,049	0,072	0,093	0,114	0,137	0,149	0,166	0,186	0,200	0,235	0,341	0,551		
	0,070	0,040	0,058	0,075	0,095	0,112	0,124	0,142	0,159	0,173	0,207	0,326	0,557		
	4,000	0,044	0,063	0,081	0,098	0,117	0,128	0,145	0,161	0,177	0,207	0,275	0,382		
	3,000	0,044	0,061	0,079	0,098	0,117	0,130	0,147	0,165	0,180	0,212	0,284	0,408		
2,000	0,042	0,061	0,079	0,098	0,117	0,130	0,149	0,166	0,182	0,196	0,217	0,294	0,434		
	1,000	0,039	0,056	0,074	0,093	0,109	0,121	0,140	0,156	0,173	0,207	0,303	0,483		
	0,500	0,037	0,054	0,072	0,089	0,105	0,117	0,135	0,152	0,168	0,201	0,306	0,508		
0,070	0,035	0,051	0,068	0,084	0,102	0,112	0,130	0,149	0,161	0,194	0,301	0,529			

Таблица Б.9 – Питомий енергетичний потік резонансних ліній
(аргон–ртуть)

d_2 мм		I, A												
$(t_{\text{хт}}, ^\circ\text{C})$	P мм.рт.ст	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500	0,600	1,000	2,000	
		$\Lambda=184,9$ нм												
19,000 (57)	4,000	0,017	0,026	0,034	0,043	0,052	0,057	0,063	0,070	0,075	0,087	0,116	0,180	
	3,000	0,016	0,024	0,032	0,040	0,049	0,054	0,061	0,068	0,073	0,087	0,119	0,181	
	2,000	0,015	0,022	0,030	0,038	0,045	0,050	0,058	0,066	0,072	0,086	0,122	0,182	
	1,000	0,012	0,019	0,025	0,031	0,038	0,042	0,048	0,055	0,061	0,073	0,111	0,172	
	0,500	0,011	0,017	0,022	0,028	0,034	0,038	0,044	0,050	0,055	0,066	0,106	0,167	
	0,070													
25,000 (43)	4,000	0,012	0,019	0,026	0,033	0,039	0,044	0,050	0,057	0,063	0,075	0,103	0,167	
	3,000	0,012	0,019	0,026	0,032	0,039	0,043	0,050	0,057	0,063	0,075	0,104	0,194	
	2,000	0,011	0,018	0,025	0,032	0,039	0,043	0,050	0,057	0,063	0,076	0,105	0,172	
	1,000	0,010	0,015	0,022	0,027	0,034	0,038	0,043	0,049	0,054	0,067	0,099	0,163	
	0,500	0,009	0,014	0,020	0,026	0,031	0,035	0,040	0,046	0,050	0,061	0,096	0,158	
	0,070													
38,000 (40)	4,000	0,008	0,013	0,019	0,025	0,030	0,034	0,039	0,044	0,048	0,057	0,091	0,158	
	3,000	0,008	0,013	0,018	0,023	0,028	0,032	0,037	0,043	0,047	0,058	0,091	0,163	
	2,000	0,007	0,012	0,017	0,022	0,026	0,030	0,036	0,042	0,047	0,058	0,091	0,168	
	1,000	0,006	0,011	0,015	0,019	0,024	0,028	0,034	0,039	0,044	0,055	0,084	0,160	
	0,500	0,006	0,010	0,014	0,019	0,023	0,027	0,033	0,038	0,043	0,054	0,081	0,155	
	0,070													
54,000 (40)	0,070													
	4,000	0,003	0,007	0,010	0,014	0,018	0,021	0,026	0,031	0,036	0,045	0,066	0,143	
	3,000	0,004	0,007	0,010	0,014	0,017	0,019	0,022	0,026	0,029	0,034	0,056	0,095	
	2,000	0,005	0,008	0,011	0,013	0,016	0,019	0,022	0,025	0,027	0,034	0,056	0,098	
	1,000	0,005	0,007	0,009	0,012	0,014	0,016	0,019	0,022	0,025	0,030	0,047	0,096	
	0,500	0,005	0,007	0,009	0,011	0,013	0,015	0,018	0,021	0,023	0,029	0,043	0,086	
	0,070													

Продовження таблиці Б.9

P		I, A												
d ₂ , мм	мм.рт.ст	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500	0,600	1,000	2,000	
		HM Λ=253,7												
19,000 (57)	4,000	0,068	0,091	0,116	0,140	0,165	0,177	0,196	0,215	0,231	0,266	0,368	0,564	
	3,000	0,061	0,086	0,112	0,135	0,161	0,173	0,194	0,214	0,231	0,266	0,378	0,616	
	2,000	0,056	0,081	0,107	0,131	0,156	0,170	0,191	0,212	0,229	0,266	0,390	0,669	
	1,000	0,053	0,074	0,096	0,117	0,140	0,154	0,173	0,193	0,208	0,245	0,357	0,614	
	0,500	0,051	0,072	0,091	0,112	0,133	0,145	0,165	0,184	0,200	0,235	0,341	0,588	
	0,070													
25,000 (43)	4,000	0,070	0,098	0,128	0,156	0,186	0,201	0,226	0,250	0,271	0,317	0,434	0,704	
	3,000	0,067	0,095	0,124	0,152	0,182	0,198	0,222	0,247	0,266	0,310	0,439	0,730	
	2,000	0,063	0,093	0,121	0,149	0,179	0,194	0,219	0,242	0,261	0,305	0,445	0,756	
	1,000	0,054	0,081	0,107	0,131	0,159	0,173	0,196	0,217	0,235	0,277	0,417	0,702	
	0,500	0,051	0,075	0,100	0,124	0,149	0,163	0,184	0,205	0,222	0,263	0,403	0,676	
	0,070													
38,000 (40)	4,000	0,065	0,093	0,121	0,149	0,177	0,189	0,208	0,228	0,243	0,278	0,438	0,649	
	3,000	0,061	0,089	0,116	0,144	0,170	0,184	0,207	0,229	0,247	0,285	0,429	0,642	
	2,000	0,060	0,086	0,112	0,138	0,165	0,180	0,205	0,229	0,249	0,294	0,420	0,637	
	1,000	0,054	0,079	0,103	0,130	0,154	0,170	0,193	0,217	0,236	0,278	0,406	0,625	
	0,500	0,053	0,075	0,100	0,124	0,149	0,165	0,187	0,210	0,229	0,271	0,399	0,620	
	0,070													
54,000 (40)	4,000	0,040	0,056	0,074	0,091	0,109	0,119	0,137	0,154	0,168	0,201	0,319	0,532	
	3,000	0,053	0,075	0,098	0,121	0,144	0,159	0,182	0,205	0,224	0,266	0,403	0,600	
	2,000	0,049	0,072	0,095	0,116	0,138	0,152	0,177	0,198	0,217	0,257	0,387	0,597	
	1,000	0,047	0,068	0,091	0,112	0,133	0,147	0,170	0,191	0,210	0,250	0,371	0,592	
	0,500	0,046	0,063	0,084	0,103	0,123	0,135	0,156	0,179	0,196	0,235	0,348	0,569	
	0,070	0,044	0,061	0,081	0,098	0,117	0,130	0,151	0,172	0,189	0,226	0,338	0,558	
	0,070													

Таблица Б.10 – Питомий енергетичний потік резонансних ліній
(криптон–ртуть)

d ₂ мм	P мм.рт.ст	I, А													
		0,100	0,150	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500	0,600	1,000	2,000		
		Λ=184,9 нм													
19,000 (57)	4,000	0,013	0,018	0,023	0,028	0,034	0,036	0,039	0,042	0,045	0,050	0,061	0,062		
	3,000	0,013	0,018	0,024	0,029	0,035	0,037	0,040	0,044	0,047	0,053	0,065	0,074		
	2,000	0,013	0,019	0,025	0,031	0,036	0,039	0,042	0,046	0,049	0,056	0,069	0,087		
	1,000	0,013	0,019	0,025	0,031	0,038	0,041	0,046	0,051	0,055	0,064	0,087	0,118		
	0,500	0,013	0,019	0,026	0,032	0,038	0,042	0,047	0,053	0,058	0,068	0,095	0,134		
	0,070	0,011	0,017	0,022	0,027	0,033	0,037	0,042	0,047	0,052	0,062	0,097	0,158		
	4,000	0,009	0,013	0,018	0,022	0,026	0,028	0,031	0,033	0,035	0,040	0,050	0,057		
25,000 (43)	3,000	0,009	0,013	0,017	0,021	0,026	0,027	0,030	0,033	0,035	0,041	0,052	0,062		
	2,000	0,008	0,012	0,017	0,021	0,025	0,027	0,030	0,033	0,036	0,041	0,054	0,068		
	1,000	0,009	0,013	0,018	0,022	0,027	0,030	0,034	0,037	0,041	0,048	0,064	0,085		
	0,500	0,009	0,014	0,019	0,023	0,028	0,031	0,035	0,040	0,043	0,051	0,069	0,094		
	0,070	0,008	0,014	0,019	0,024	0,030	0,033	0,038	0,043	0,047	0,056	0,080	0,125		
	4,000	0,006	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,021	0,023	0,025	0,029	0,037	0,050		
	3,000	0,006	0,009	0,012	0,014	0,017	0,018	0,021	0,023	0,025	0,030	0,039	0,052		
38,000 (40)	2,000	0,006	0,008	0,011	0,013	0,016	0,018	0,020	0,023	0,026	0,031	0,041	0,053		
	1,000	0,006	0,008	0,011	0,013	0,016	0,018	0,020	0,023	0,026	0,031	0,044	0,068		
	0,500	0,006	0,008	0,011	0,013	0,016	0,018	0,020	0,023	0,026	0,031	0,0451	0,076		
	0,070	0,005	0,008	0,011	0,013	0,016	0,018	0,020	0,023	0,026	0,031	0,050	0,092		
	4,000	0,003	0,005	0,007	0,009	0,012	0,013	0,016	0,019	0,021	0,026	0,034	0,038		
	3,000	0,003	0,005	0,007	0,009	0,012	0,013	0,015	0,017	0,019	0,023	0,033	0,043		
	2,000	0,004	0,005	0,007	0,009	0,011	0,012	0,014	0,016	0,017	0,020	0,031	0,047		
54,000 (41)	1,000	0,004	0,005	0,007	0,009	0,010	0,012	0,014	0,015	0,017	0,020	0,031	0,051		
	0,500	0,004	0,005	0,007	0,009	0,010	0,012	0,013	0,015	0,017	0,020	0,031	0,053		
	0,070	0,003	0,005	0,006	0,008	0,010	0,011	0,013	0,014	0,016	0,019	0,031	0,056		

Продовження таблиці Б.10

d_2 , мм		I, А												
$(t_{кр}, ^\circ\text{C})$	P мм.рт.ст.	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500	0,600	1,000	2,000	
HM $\Lambda=253,7$														
19,000 (57)	4,000	0,053	0,067	0,082	0,098	0,114	0,119	0,128	0,137	0,144	0,159	0,187	0,229	
	3,000	0,051	0,067	0,082	0,100	0,116	0,123	0,131	0,144	0,151	0,170	0,208	0,271	
	2,000	0,049	0,067	0,084	0,102	0,119	0,126	0,137	0,149	0,159	0,180	0,229	0,313	
	1,000	0,051	0,070	0,089	0,107	0,126	0,135	0,149	0,163	0,177	0,203	0,278	0,427	
	0,500	0,053	0,072	0,091	0,110	0,130	0,140	0,156	0,172	0,186	0,214	0,303	0,483	
25,000 (43)	0,070	0,049	0,070	0,093	0,116	0,138	0,152	0,172	0,193	0,208	0,247	0,362	0,604	
	4,000	0,049	0,067	0,084	0,100	0,117	0,124	0,133	0,144	0,152	0,172	0,203	0,238	
	3,000	0,049	0,065	0,082	0,098	0,114	0,123	0,133	0,144	0,154	0,177	0,219	0,270	
	2,000	0,049	0,065	0,081	0,096	0,112	0,121	0,133	0,145	0,156	0,180	0,233	0,301	
	1,000	0,051	0,068	0,086	0,103	0,121	0,130	0,145	0,161	0,173	0,203	0,275	0,390	
38,000 (40)	0,500	0,053	0,072	0,089	0,107	0,124	0,135	0,151	0,168	0,182	0,214	0,296	0,434	
	0,070	0,049	0,072	0,093	0,114	0,137	0,151	0,172	0,194	0,212	0,250	0,371	0,623	
	4,000	0,049	0,067	0,086	0,105	0,124	0,133	0,145	0,159	0,170	0,194	0,236	0,278	
	3,000	0,047	0,065	0,084	0,102	0,121	0,131	0,145	0,159	0,170	0,196	0,245	0,303	
	2,000	0,044	0,061	0,081	0,098	0,117	0,128	0,144	0,158	0,170	0,198	0,254	0,326	
54,000 (41)	1,000	0,042	0,060	0,079	0,096	0,116	0,126	0,142	0,154	0,168	0,196	0,261	0,383	
	0,500	0,040	0,060	0,079	0,096	0,116	0,126	0,140	0,154	0,168	0,194	0,266	0,411	
	0,070	0,037	0,054	0,072	0,089	0,105	0,116	0,133	0,151	0,166	0,198	0,306	0,523	
	4,000	0,047	0,065	0,084	0,102	0,121	0,130	0,144	0,156	0,168	0,193	0,222	0,298	
	3,000	0,047	0,063	0,081	0,096	0,112	0,121	0,135	0,149	0,161	0,186	0,236	0,317	
2,000	0,049	0,061	0,075	0,089	0,102	0,112	0,128	0,142	0,154	0,154	0,180	0,250	0,336	
	1,000	0,040	0,053	0,067	0,082	0,096	0,105	0,119	0,135	0,147	0,173	0,249	0,369	
	0,500	0,035	0,049	0,063	0,079	0,093	0,102	0,116	0,131	0,144	0,170	0,249	0,385	
0,070	0,032	0,047	0,061	0,075	0,089	0,100	0,117	0,135	0,149	0,180	0,285	0,495		

Продовження таблиці Б.11

d ₂ мм (t _{хр} , °C)		I, A													
		P мм.рт.ст	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500	0,600	1,000	2,000	
19,000 (57)		HM Λ=253,7													
		4,000	0,033	0,039	0,044	0,047	0,053	0,053	0,054	0,054	0,054	0,056	0,056	0,058	0,075
		3,000	0,032	0,039	0,045	0,051	0,057	0,058	0,061	0,060	0,061	0,063	0,066	0,066	0,074
		2,000	0,032	0,039	0,046	0,054	0,061	0,063	0,065	0,068	0,070	0,075	0,075	0,075	0,100
		1,000	0,037	0,047	0,056	0,066	0,075	0,081	0,087	0,094	0,100	0,100	0,113	0,151	0,223
		0,500	0,040	0,051	0,061	0,072	0,082	0,089	0,098	0,107	0,116	0,116	0,131	0,180	0,271
		0,070	0,037	0,053	0,068	0,084	0,102	0,110	0,123	0,135	0,147	0,147	0,170	0,250	0,399
		4,000	0,049	0,060	0,068	0,077	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088	0,081	0,081
		3,000	0,049	0,060	0,070	0,080	0,091	0,092	0,092	0,093	0,093	0,093	0,095	0,094	0,096
		2,000	0,049	0,061	0,072	0,082	0,095	0,096	0,096	0,098	0,098	0,098	0,102	0,107	0,112
25,000 (43)		1,000	0,048	0,062	0,078	0,092	0,106	0,111	0,117	0,125	0,131	0,144	0,172	0,201	
		0,500	0,047	0,063	0,081	0,096	0,112	0,119	0,128	0,138	0,147	0,165	0,205	0,245	
		0,070	0,044	0,065	0,086	0,109	0,130	0,142	0,159	0,177	0,191	0,224	0,322	0,499	
		4,000	0,044	0,053	0,061	0,068	0,077	0,077	0,075	0,075	0,074	0,072	0,072	0,072	0,077
		3,000	0,042	0,053	0,063	0,073	0,083	0,084	0,086	0,088	0,088	0,092	0,092	0,094	0,097
		2,000	0,040	0,053	0,065	0,077	0,089	0,091	0,096	0,096	0,102	0,103	0,112	0,116	0,117
		1,000	0,038	0,053	0,067	0,082	0,096	0,102	0,110	0,119	0,125	0,125	0,142	0,169	0,200
		0,500	0,037	0,053	0,068	0,084	0,100	0,107	0,117	0,128	0,137	0,137	0,158	0,196	0,242
		0,070	0,035	0,051	0,065	0,081	0,096	0,109	0,126	0,144	0,159	0,159	0,193	0,294	0,455
		4,000	0,035	0,046	0,054	0,063	0,074	0,074	0,072	0,072	0,070	0,070	0,068	0,068	0,068
54,000 (42)		3,000	0,033	0,045	0,056	0,067	0,079	0,081	0,082	0,085	0,086	0,090	0,090	0,087	
		2,000	0,032	0,044	0,058	0,072	0,084	0,088	0,093	0,098	0,102	0,112	0,112	0,105	
		1,000	0,032	0,044	0,058	0,072	0,084	0,090	0,099	0,107	0,114	0,131	0,163	0,184	
		0,500	0,032	0,044	0,058	0,072	0,084	0,091	0,102	0,112	0,121	0,140	0,189	0,224	
		0,070	0,032	0,047	0,061	0,075	0,089	0,100	0,114	0,130	0,142	0,170	0,278	0,422	

Таблиця Б.12 – Енергетична яскравість резонансних ліній L_e
(мВт/стер.см²) для діаметру трубки $d = 38$ мм

I, А	(t _{хт} , °С)	$\lambda_{рез}, \text{нм}$					$\lambda_{рез}, \text{нм}$				
		184,9					253,7				
		Вид газу					Вид газу				
		Kr		Ar		Ne	Kr		Ar		Ne
		$p_{иг}, \text{мм рт. ст.}$					$p_{иг}, \text{мм рт. ст.}$				
		2	1	3	1	2	2	1	3	1	2
0,4	20	0,237	0,372	–	–	–	1,93	2,31	–	–	–
	30	0,43	0,56	0,74	0,84	–	3,20	3,70	4,50	5,00	–
	40	0,55	0,57	0,78	0,77	1,04	4,00	4,00	4,90	4,90	6,10
	50	0,56	0,57	0,74	0,70	0,94	3,80	3,60	4,50	4,40	5,40
	60	–	–	0,73	0,66	0,90	–	–	3,80	3,60	4,70
	70	–	–	–	–	0,87	–	–	–	–	4,10
0,8	20	0,28	0,50	–	–	–	2,47	3,33	–	–	–
	30	0,65	0,87	1,18	1,48	–	4,70	5,80	7,20	8,00	–
	40	0,89	1,07	1,37	1,49	2,11	6,10	6,80	7,60	8,00	10,4
	50	1,01	1,11	1,42	1,42	1,94	6,00	5,70	7,20	7,20	9,20
	60	–	–	1,46	1,35	1,90	–	–	5,90	5,80	7,80
	70	–	–	–	–	1,86	–	–	–	–	6,60
1,5	20	0,36	0,60	–	–	–	3,20	4,40	–	–	–
	30	0,70	1,15	1,58	2,20	–	5,80	7,60	9,30	12,5	–
	40	1,21	1,65	2,08	2,40	3,40	7,60	9,10	10,4	12,3	16,1
	50	1,54	1,62	2,20	2,44	3,34	7,70	7,60	9,40	10,4	14,0
	60	–	–	2,27	2,38	3,30	–	–	7,50	8,30	11,4
	70	–	–	–	–	3,21	–	–	–	–	9,40
2,0	20	0,37	0,70	–	–	–	3,50	5,20	–	–	–
	30	0,70	1,27	1,73	2,58	–	6,10	8,60	10,4	14,6	–
	40	1,28	1,90	2,31	2,84	3,88	8,10	10,3	11,6	14,2	18,5
	50	1,69	2,04	2,48	2,97	3,96	8,40	8,50	10,2	12,0	16,4
	60	–	–	2,58	2,85	4,00	–	–	8,00	9,90	13,4
	70	–	–	–	–	3,94	–	–	–	–	10,7

Таблиця Б.13 – Лампи люмінесцентні ртутні

Тип лампи	Потужність, Вт		Напруга на лампі, В		Струм, А	Світловий потік, Лм		Світловий потік кожної лампи після 4000 годин горіння, Лм, не менше
	номінальна	граничне відхилення	номінальна	граничне відхилення		номінальний	не менше	
ЛДЦ 15-4 ЛД 15-4 ЛХБ 15-4 ЛТБ 15-4 ЛБ 15-4	15	+1,25	54	± 5,4	0,33	500	450	325
590						530	385	
675						605	440	
700						630	455	
760						680	495	
ЛДЦ 20-4 ЛД 20-4 ЛХБ 20-4 ЛТБ 20-4 ЛБ 20-4	20	+1,50	57	± 6,0	0,36	820	735	615
920						825	690	
935						840	700	
975						875	730	
1 180						1 060	885	
ЛДЦ 30-4 ЛД 30-4 ЛХБ 30-4 ЛТБ 30-4 ЛБ 30-4	30	+2,00	104	±10,4	0,36	1 450	1 305	940
1 640						1 475	1 065	
1 720						1 490	1 120	
1 720						1 545	1 120	
2 100						1 890	1 365	
ЛДЦ 40-4 ЛД 40-4 ЛХБ 40-4 ЛТБ 40-4 ЛБ 40-4	40	+2,50	103	±10,3	0,43	2 100	1 890	1 575
2 340						2 105	1 755	
2 600						2 340	1 950	
2 580						2 320	1 935	
3 000						2 700	2 250	
ЛДЦ 65-4 ЛД 65-4 ЛХБ 65-4 ЛТБ 65-4 ЛБ 65-4	65	+3,75	110	±11,0	0,67	3 050	2 745	1 980
3 570						3 210	2 320	
3 820						3 435	2 500	
3 980						3 580	2 590	
4 550						4 095	2 955	
ЛДЦ 80-4 ЛД 80-4 ЛХБ 80-4 ЛТБ 80-4 ЛБ 80-4	80	+4,50	102	±10,2	0,865	3 560	3 200	2 320
4 070						3 660	2 645	
4 440						3 995	2 885	
4 440						4 165	2 885	
5 220						4 695	3 395	

Таблиця Б.14 – Лампи люмінесцентні ртутні

Потужність, Вт	Діаметр, мм	Довжина з цоколями без штирків, мм
15	25	437,4
20	38	589,8
30	25	894,6
40	38	1199,4
80	38	11500,0
4	17	136
6	17	212
13	17	288
30	38	894,6
20(ЛБК–20)	32	722
(зовнішній діаметр кільця 236 мм)		
125(ЛБ125–1)	38	1500,0
125(ЛБ125–2)	38	1199,4
150	38	1500,0
200	54	1500,0

Таблиця Б.15 – Лампи люмінесцентні ртутні

Тип лампи	Напруга на лампі, В	Струм, А	Світловий потік, лм (після 100 годин горіння)	Напруга мережі, В
ЛБ 4–1	30	0,150	90	127
ЛБ 6–1	46	0,150	180	127
ЛБ 8–3	61	0,170	310	127
ЛБ 13–1	95	0,175	540	220
ЛБК 20	68	0,33	820	127 та 220
ЛБ 125–1	120	1,25	6 000	220
ЛХБ 125–3	67	2,1	6 200	380/220
ЛХБ 150	89	2,0	8 000	380
ЛХБ 200	65	3,5	10 000	380/220

Таблиця Б.16 – Відносна спектральна світлова ефективність випромінювання

$\lambda_{\text{нм}}$	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490
$k(\lambda)$	0,0004	0,0012	0,0040	0,0116	0,023	0,038	0,060	0,091	0,139	0,208
$\lambda_{\text{нм}}$	500	510	520	530	540	550	555	560	570	580
$k(\lambda)$	0,323	0,503	0,710	0,862	0,954	0,995	1,0	0,995	0,952	0,870
$\lambda_{\text{нм}}$	590	600	610	620	630	640	650	660	670	680
$k(\lambda)$	0,757	0,631	0,503	0,381	0,265	0,175	0,107	0,061	0,032	0,017
$\lambda_{\text{нм}}$	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780
$k(\lambda)$	0,008	0,004	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	–	–
	2	1	1	05	52	25	12	06		

ДОДАТОК В

ЗАВДАННЯ

до курсового проекту «Розрахунок параметрів і розробка конструкції джерела світла»

з навчальної дисципліни «Джерела світла»

Студ. 3 курсу СДС _____

Вихідні дані

Дані	ЛЛ
1. Потужність лампи ($P_{л}$, Вт)	
2. Тип лампи	
3. Напруга мережі (U , В)	
4. Температура навколишнього середовища ($t_{навк}$, °С)	
5. Вартість лампи ($g_{л}$)	
6. Вартість світильника ($g_{св}$)	
7. Кількість ламп у світильнику ($\mu_{св}$)	
8. Вартість ПРА ($g_{ПРА}$)	
9. Вартість електроенергії ($g_{ел}$)	
10. Кількість годин роботи ОУ за рік (Т)	
11. Загальний світловий потік ОУ (лм)	

Завдання

1. Визначити електричні характеристики лампи ($U_{л}$, $I_{л}$) для одного значення « m » і одного значення $k_{л}$.

2. Вибрати можливі варіанти роду (Ne, Ar, Kr, Xe) і тиску інертного газу (2, 3, 4 мм. рт. ст.), та провести розрахунок геометричних параметрів варіантів лампи ($l_{л}$, $l_{ст}$).

3. Визначити потужність позитивного стовпа ($P_{ст}$) лампи і температуру ($t_{ст}$) для обраних діаметрів колби лампи.

4. Скласти зовнішній баланс енергії лампи та перевірити правильність визначення геометричних параметрів колби.

5. Використавши принципи попереднього відбору варіантів ламп, обрати для подальшого розрахунку найкращі варіанти.

6. Визначити світлотехнічні характеристики ламп ($\Phi_{ст}$, $\eta_{ст}$, $\eta_{л}$).

7. Побудувати криву спаду світлового потоку ламп $\Phi=f(\tau)$.

8. Провести економічне порівняння варіантів ламп і відібрати кращий.

9. Оформити пояснювальну записку та виконати такі креслення:

- загальний вигляд оптимального варіанту лампи;
- електрод;
- ніжка;
- цоколь.

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ПРОЕКТУ

№ завдання	Термін виконання	Бали	Виконано (бали)
1.		5	
2.		5	
3.		5	
4.		10	
5.		5	
6.		10	
7.		5	
8.		5	
9.		10	
Усього:		60	

Захист проекту:

Дата видачі завдання:

Дата здачі проекту:

Завдання видав

доцент Гуракова Л. Д.

Виробничо–практичне видання

Методичні рекомендації
до виконання курсового проекту
«Розрахунок параметрів і розробка конструкції джерела світла»
з навчальної дисципліни

«ДЖЕРЕЛА СВІТЛА»

*(для студентів денної і заочної форм навчання
фахового спрямування «Світлотехніка і джерела світла»,
спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Укладачі: **ГУРАКОВА** Лариса Дмитрівна,
СУВОРОВА Кристина Ігорівна,
БАЛАНДАЄВА Людмила Георгіївна

Відповідальний за випуск *Ю. О. Васильєва*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *К. І.Суворова*

План 2019 , поз. 229 М

Підп. до друку 31.05.2019. Формат 60 × 84/16

Друк на різнографі. Ум. друк. арк. 1,6

Тираж 50 пр. Зам. №

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