

УДК 21.327.534.15.032.2

М. Тарасенко, докт. техн. наук., В. Коваль, канд. техн. наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

НАВКОЛОКАТОДНІ ПРОЦЕСИ В ЛЮМІНЕСЦЕНТНИХ ЛАМПАХ

Резюме. Розглянуто питання щодо механізмів утворення від'ємного катодного світіння, темних «дифузійних плям» та густих непрозорих замкнених смуг на стінках колб люмінесцентних ламп (ЛЛ) у навколокатодній області, причини виникнення периферійних пульсацій світлового потоку та страт як основного фактора, який обмежує глибину регулювання світлового потоку. Доведено, що утворення від'ємного катодного світіння в навколокатодній області ЛЛ зумовлено збудженням й іонізацією (в основному) атомів ртуті, а не аргону.

Ключові слова: катодне світіння, пульсації, страти, регулювання світлового потоку, дифузійні плями.

M. Tarasenko, V. Koval

PERI-CATHODE PROCESSES IN FLUORESCENT LAMPS

Summary. The article deals with the problem of the negative cathode glow formation mechanisms, dark «diffuse spots» and thick opaque closed stripes on the flask walls of fluorescent lamps (FL) in the peri-cathode space, whence of peripheral pulsations of luminous flux and strata as a major factor that limits the depth of the luminous flux regulation. It has been determined a) that peri-electrode pulsations of the luminous flux in FL are preconditioned not only by the periodic change of the electrode polarity, when the movement of Faraday dark space from one end of the lamp to another takes place, but also by the fact that dimensions of the negative cathode glow over each half-period change cophasally while the Faraday dark space change antiphassally by the instantaneous value of the current; b) the relationship between the rate of the dark «diffuse spots» formation and the thick opaque closed stripes on the flask walls in the peri-cathode space, the quality of FL and modes of its functioning in the electric circuit. Great operating and starting currents activate this process noticeably. It has been proved that: a) the formation of the negative cathode glow in the peri-cathode space of FL is caused by excitation and ionization (mostly) of mercury atoms and not those of argon; b) at smooth current decrease through the FL, as is the case in the regulation of the luminous flux of lamps, the temperature of the cathode and anode reduces so much that the cathode becomes unable to emit a sufficient enough number of electrons to maintain a discharge process. It testifies that without an additional heating of the electrode the regulation depth of the FL luminous flux cannot be high. Besides, while operating in the industrial frequency network, an increase of the pulsation depth of the luminous flux will take place. There have been clarified the reasons of the strata's appearance in the FL luminous flux regulation in high frequency electric circuits, which made it possible to set reasonable limits of its regulation by the current decrease through the lamp in no more than 5 times of the nominal current.

Key words: cathode glow, pulsations, strata, luminous flux regulation, diffusion spots.

Постановка проблеми. Масове виробництво компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ), які в чотири рази енергоощадніші за лампи розжарення, створило реальні умови щодо їхньої заміни на люмінесцентні. Гальмують цей процес не тільки висока вартість (у 10–15 разів вища, ніж ламп розжарення з відповідним світловим потоком) і майже повна відсутність світлових приладів, розроблених спеціально для них, але й погіршення їх зовнішнього вигляду в процесі експлуатації (утворення темних густих непрозорих плям та кільцевих смуг у приелектродних областях) та помітно нижча, ніж це зазначено на упаковці, середня тривалість світіння (СТС). Занижена СТС для України, де відсутній організований збір і утилізація перегорілих ЛЛ – це подальше погіршення не тільки загальної екологічної ситуації, але й конкретного екологічного середовища в помешканнях, зумовлене випаровуванням ртуті при руйнуванні колби ЛЛ. Тому процесам, які відбуваються у ЛЛ і призводять не тільки до погіршення їхнього зовнішнього вигляду, але й до падіння світлової віддачі та скорочення СТС, треба приділяти постійну увагу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] показав, що швидкість: а) погіршення зовнішнього вигляду; б) падіння світлової віддачі та в) скорочення СТС ЛЛ значною мірою визначається тим, яким чином протікають навколочатодні процеси при запалюванні й стаціонарному світінні ЛЛ. СТС в основному визначається швидкістю розпилення оксиду з катодів. При холодних запалюваннях ЛЛ падіння напруги в прикатодній ділянці (U_K) сягає 100-150 В. Такого ж порядку й енергія іонів, які бомбардують катод. Водночас в стаціонарному режимі світіння ЛЛ $U_K=10-20$ В і енергія іонів, які бомбардують катод, знаходиться на межі критичного розпилення оксиду. Тобто катодне розпилення оксиду при холодному запалюванні ЛЛ на 1-3 порядки більше, ніж при стаціонарному світінні. Швидкість розпилення оксиду при стаціонарному світінні також не залишається постійною. З плином часу вона постійно зростає за рахунок зростання катодного падіння потенціалу, що призводить до утворення темних кільцевих смуг у прикатодних ділянках, які не тільки погіршують зовнішній вигляд ЛЛ, але й зумовлюють падіння світлової віддачі.

Мета даної статті – створення ціліснішої теорії фізичних процесів, які мають місце в навколочатодних ділянках ЛЛ, на основі аналізу та узагальнення опублікованих і отриманих нами експериментальних даних для того, щоб сформулювати заходи щодо збільшення СТС, зменшення швидкостей погіршення зовнішнього вигляду, падіння світлової віддачі та покращення якості освітлення.

Результати досліджень. Відомо, що напруга на ЛЛ (U_L) складається з падіння напруги на відпрацьованих витках спіралей (U_{cn}), катодного падіння потенціалу (U_K), напруги, яка падає на позитивному стовпі розряду (U_P), і анодного падіння (U_A) (рис. 1). У зв'язку з цим можна записати

$$U_L = U_{cn} + U_K + U_P + U_A, \quad (1)$$

де $U_{cn} = I_L \cdot \rho_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (T - 273)] \cdot l_0 / S$, В;

$U_P = E_l \cdot l_P$, В;

I_L – струм лампи, А;

ρ_0 – питомий опір вольфраму при температурі 273 К;

α – температурний коефіцієнт опору вольфраму, $\alpha = (0,0048 - 0,0053)$, 1/К;

T – температура ділянки вольфрамового дроту біспіралі електрода довжиною l_0 , К;

l_0 – довжина вольфрамового дроту біспіралі (триспіралі) від мережевого кінця електрода до катодної плями (КП) (ділянка, з якої оксид розпилюється під час запалювання і випарувався за час світіння ЛЛ) (рис. 2), м;

$S = \pi \cdot d^2 / 4$ – площа поперечного перерізу вольфрамового дроту, із якого виготовлений електрод, м²;

d – діаметр вольфрамового дроту електрода, м;

E_l – градієнт потенціалу позитивного стовпа розряду, В/м;

l_P – довжина позитивного стовпа розряду, м.

Падіння напруги на відпрацьованих витках спіралей (U_{cn}) не залишається постійним і поступово зростає в міру випаровування оксидного покриття, розподіленого між витками вольфрамового дроту, і просування катодної плями (КП) від мережевого (М) до стартерного (С) кінця електродів рис. 2. Це негативно впливає на електричні й світлотехнічні характеристики ЛЛ. У міру віддалення КП від мережевого вводу змінюється і розподіл температури по довжині катоду. Максимальне значення, яке має місце в центрі КП, синхронно рухається з КП. У результаті поступово

зростають l_0 , інтегральна температура катоду та катодне падіння потенціалу в зв'язку з поступовим зменшенням інтенсивності підігрівання зони КП в анодний півперіод. Це призводить до зростання активних втрат потужності на електродах ЛЛ. У кінці СТС у малопотужних (8,13,15 Вт) ЛЛ вони зростають до $(0,23 \pm 0,03) \cdot P_{л.н.}$, для потужніших (18,36,58 Вт) – до $(0,08 \pm 0,02) \cdot P_{л.н.}$ (де $P_{л.н.}$ – номінальна потужність ЛЛ). Світлова віддача поступово зменшуються. Тільки з цієї причини в кінці СТС ЛЛ світлова віддача зменшується на (20 – 8%) відповідно, а падіння напруги на відпрацьованих витках спіралей зростає на (400 – 450%) від початкового значення [8].

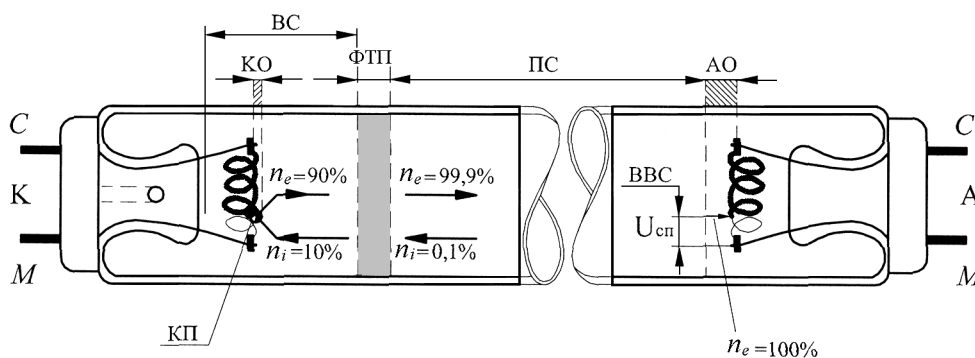


Рисунок 1. Структура ртутного дугового розряду низького тиску ЛЛ із відображенням розподілу іонної та електронної складових струму та місця розташування КП на електродах: К – катод; КП – катодна пляма; КО – катодна оболонка товщиною до 0,1 мм; ВС – від’ємне світіння; ФТП – Фарадея темний простір; ПС – позитивний стовп розряду; АО – анодна оболонка товщиною до 1 мм; ВВС – відпрацьовані вітки спіралі; А – анод; n_e , n_i – концентрація електронної та іонної складових розрядного струму відповідно; С, М – стартерні та мережеві виводи електродів ЛЛ відповідно

Figure 1. The structure of the mercury arc low-pressure of the FL with reflection of the distribution of ion and electron current components and locations of CS at the electrodes: К – cathode, CS – the cathodic slick, CC – the cathodic cladding thickness up to 0,1 mm, NG – negative glow, FDS – Faradeyevy dark space, PP – positive pole of discharge, AS – anode sheath thickness up to 1 mm; EBS – exhaust branches spiral, A – anode; n_e , n_i – concentration of electronic and ionic components of the discharge current, respectively, C, M – starter and network conclusions of the FL electrodes, respectively

У перший момент часу КП може почати формуватися на будь-якій ділянці катода, де в даний момент часу найвища емісійна здатність. Після завершення процесу формування КП вона переміщується в те місце, де сума падінь потенціалів на ділянці від мережевого вводу до КП і власне катодного падіння потенціалу найменша. При струмах більших чверті від номінального значення це місце знаходиться на стику відпрацьованих витків спіралі з початком оксидного покриття з боку мережевого кінця електрода. При менших значеннях струму КП утворюється там де емісійна здатність найвища і з плином часу її координати не змінюються, тому що катодне падіння потенціалу в місці стику більше, ніж сума падінь потенціалу на ділянці від стику до КП і власне катодного падіння потенціалу в точці з найвищою емісійною здатністю.

В момент утворення КП тліючий розряд переходить у дуговий. З цього моменту струм у катодній оболонці складається не тільки з потоку електронів, які виходять за межі оболонки, але й з потоку іонів, які рухаються всередину оболонки. Катодна оболонка товщиною [9, 10]

$$b_k = 0,793 \cdot \sqrt{\epsilon_0 / j_i} \cdot \sqrt[4]{e \cdot U_k^3 / m_i}, \quad (2)$$

де b_k – товщина катодної оболонки, м;

m_i , j_i – маса іона та густина іонного струму відповідно, кг, А/мм²;

ϵ_0 – електрична стала, Ф/м;

в межах якої діє напруженість електричного поля

$$E_k = 2 \cdot \sqrt{j_i \cdot m \cdot \sqrt{U_k} / (2 \cdot \epsilon_0 \cdot e)}, \text{ В/м}, \quad (3)$$

починає поводити себе як діод, в якому густина струму збільшується пропорційно анодній напрузі в степені 3/2

$$j = 2,34 \cdot 10^{-6} \cdot U_A^{3/2} / x_A, \quad (4)$$

де x_A – відстань від КП до віртуального анода катодної області, м,

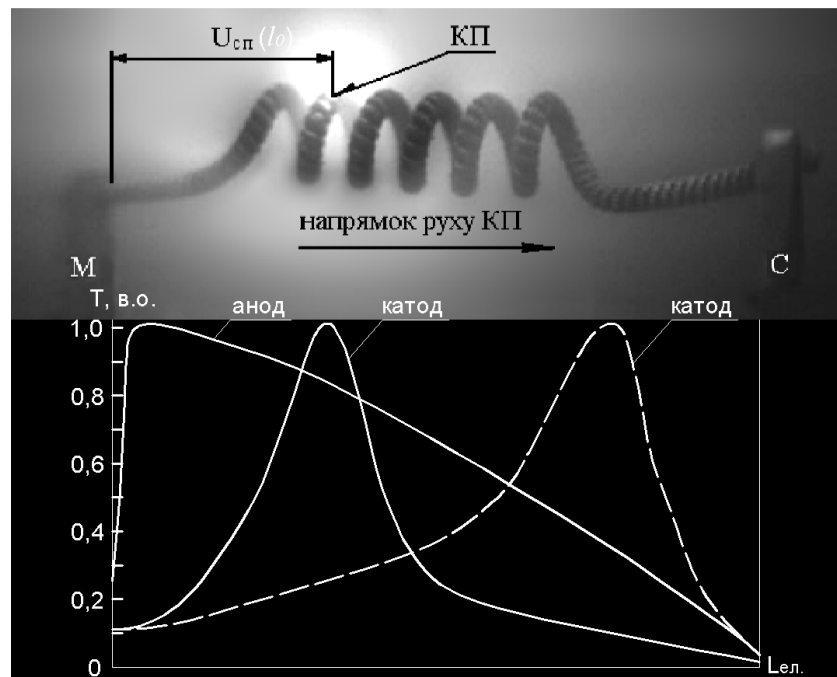


Рисунок 2. Фото катода ЛЛ типу ЛБ40 в колі однополярного пульсуючого струму з яскраво вираженою КП та виділенням ділянки катода (U_{cn}), на якій відбулося випаровування оксиду в міру просування КП від мережевого (М) до стартерного кінця (С) катода, та якісна картина розподілу температури по довжині анода й катода для двох випадків місцеположення КП: а – ближче до М кінця; б – ближче до С кінця

Figure 2. Picture of LB40 type cathode in the round of unipolar pulsed current with a pronounced CS and allocation areas of the cathode (U_{sp}), on which evaporation of oxide occurs, when CS moves from network (M) to the starter end (C) of the cathode and a qualitative picture of the temperature distribution in length of the anode and cathode for the two cases of location CS: a – closer to the end of the M; b – closer to the end of C

і відбувається перенеення іонно-просторо-вого заряду позитивних іонів від зовнішньої оболонки до катода. Стабільне горіння дугового розряду підтримується прискореними в електричному полі електронами, які здатні набувати стільки енергії, щоб її вистачало для утворення необхідної, для підтримання дугового розряду, кількості позитивних іонів. Іони безперервно бомбардують поверхню катода, підтримуючи температуру в зоні КП на позначці, при якій тер-моелектронна емісія протікає інтенсивно. Вторинна електронна емісія при іонному бомбардуванні настільки мала, що нею можна нехтувати.

Прискорені в катодній оболонці розряду електрони витрачають набуту енергію на іонізацію й збудження атомів ртуті та інертного газу, утворюючи ділянку від'ємного світіння (BC). З цієї ділянки вони виходять з настільки незначною кількістю енергії, що

на відрізьку близько 10 мм не здатні навіть до елементарних збуджуючих зіткнень. Саме тому цей простір випромінює слабо і його, за аналогією з тліючим розрядом, називають Фарадея темним простором (ФТП). Дібравши енергії в ФТП, електрони знову починають здійснювати не пружні зіткнення, формуючи ділянку високої провідності без значних перепадів потенціалу, в якій постійно відбуваються іонізаційні й рекомбінаційні процеси і яка тісно примикає до фронтальної поверхні анода.

Концентрація електронів уздовж позитивного стовпа розряду на низьких частотах змінюється у фазі зі струмом, а на високих частотах відстає від нього [11]. При цьому радіальний розподіл концентрації, а відповідно і провідності, суттєво неоднорідний [9]. На осі розряду концентрація електронів максимальна і поступово спадає в напрямку до стінки трубки за законом

$$n_e(r) = n_{e0} \cdot [J_0 = f(2,4 \cdot r / R)], \quad (5)$$

де $n_e(r)$ – концентрація електронів на відстані r від осі розряду;

n_{e0} – концентрація електронів на осі розряду, яка в 2,3 раза перевищує середню концентрацію по поперечному перерізі розрядної трубки ЛЛ;

$J_0 = f(2,4 \cdot r / R)$ – функція Бесселя нульового порядку;

R – радіус розрядної трубки, м;

r – відстань від осі розряду, на якій визначається концентрація електронів у плазмі позитивного стовпа розряду ЛЛ ($r = 0 \dots R$), м.

У зв'язку з тим, що в плазмі дугового розряду низького тиску основним механізмом нейтралізації заряджених частинок є амбіполярна дифузія, в позитивному стовпі розряду утворюються об'ємні заряди, які призводять до виникнення поздовжніх і радіальних полів. Ці поля формують направлену складову швидкості заряджених частинок, завдяки чому відбувається зростання швидкості іонізації. Автоматично встановлюється деяка невелика поздовжня напруженість електричного поля E_l , яка по періоду струму в колах промислової частоти змінюється слабо, а концентрація електронів змінюється у фазі зі струмом. Таким чином при живленні розряду струмом промислової частоти стовп розряду квазістаціонарний. Це вказує на те, що змінний струм низької частоти не впливає на концентрацію електронів і метастабільних атомів, а також на напруженість електричного поля, які мають ті ж самі значення, що і для випадку стаціонарного розряду при відповідному розрядному струмі. Зі збільшенням частоти розрядного струму напруженість електричного поля на півперіоді починає змінюватися нелінійно. З'являється максимум, який випереджає максимум розрядного струму, в той час як максимум концентрації електронів починає відставати від струму. Чим більше частота розрядного струму, тим яскравіше проявляються ці явища [11].

Середнє значення E_l зворотно пропорційне внутрішньому радіусу розрядної трубки ЛЛ. Це зумовлено тим, що при збільшенні радіуса розрядної трубки швидкість нейтралізації заряджених частинок на її стінках (швидкість амбіполярної дифузії) зменшується. Відповідно зменшується і швидкість іонізації.

Під час амбіполярної дифузії електрони, у яких рухливість помітно більша, ніж у іонів, заряджають внутрішню поверхню стінки колби ЛЛ від'ємно. В результаті потенціал поблизу внутрішньої стінки колби ЛЛ виявляється на 5-10 В нижче потенціалу плазми, що сприяє гальмуванню електронів і прискоренню іонів.

Слід зауважити, що у зв'язку зі значним тепловідведенням нікелевими електродами кінці спіралі при активуванні катодів у процесі виготовлення ЛЛ, прогриваються гірше, ніж їх середина, і карбонати виявляються не повністю розкладеними. В результаті струм термоємисії в цих місцях, як правило, менший, а

температура КП більша, ніж посередині спіралі. В процесі перших ста годин горіння ЛЛ відбувається доактивування електродів і термоемісійна здатність катодів по всій поверхні вирівнюється, хоча і не стає однаковою по довжині.

Непостійність термоемісійної здатності окремих ділянок катодів призводить до постійної зміни швидкості зміни швидкості просування катодної плями від мережевого до стартерного кінця електродів. Це утруднює можливість визначення середньої тривалості світіння ЛЛ за результатами вимірів швидкості просування КП на окремій довільно вибраній ділянці катода.

Враховуючи те, що катоди в процесі роботи виділяють кисень, який є найактивнішою компонентою, із всіх, що виникають ($CO_2, CO, C, H_2O, Ca, Sr, Ba$) у колбі ЛЛ, відбувається поступове отруєння катода. Це призводить до зниження його термоемісійної здатності. Крім того, кисень взаємодіє зі ртуттю, у результаті чого утворюються окисли, які осідають на внутрішній поверхні люмінофору ЛЛ, утворюючи темні кільцеві смуги в межах ФТП. Вуглець, який утворюється при розкладанні CO , також осідає на стінках колби ЛЛ, утворюючи „дифузійні плями” з боку розташування КП. У міру просування КП від мережевого до стартерного вводу біспіралі „дифузійна пляма” подовжується, утворюючи кільцеву смугу, яка наприкінці СТС ЛЛ стає замкненою. При випаровуванні Ca, Sr, Ba утворюються амальгами, які також осідають на внутрішній поверхні люмінофору у вигляді густих непрозорих плям. Особливо інтенсивно ці процеси відбуваються при: а) холодному або з недогрітими електродами, запалюванні ЛЛ; б) попередньому підігріванні електродів струмами, при яких у лампі виникають навколо електродні розряди; в) тривалій роботі ЛЛ в пусковому режимі в разі злипання контактів стартера. В результаті сумарної дії зазначених вище процесів на кінцях колб ЛЛ утворюються темні смуги, які поступово не тільки погіршують зовнішній вигляд ламп, призводять до падіння світлового потоку (особливо у КЛЛ [12]), а й знижують термоемісійну здатність катодів. Як правило, з одного кінця колби ЛЛ темні смуги (смуга) виражені яскравіше, ніж з другого. Це зумовлено тим, що при компресійному методі нанесення люмінофору, коли його товщина визначається стіканням суспензії певної консистенції по стінках вертикально закріплених колб, товщина шару люмінофору по довжині не може бути однаковою і завжди повільно зростає від верхнього до нижнього кінця лампи.

На рис. 3 наведено фото спеціально виготовленої короткої ЛЛ (КСЛ) з міжелектродною відстанню 11 см, колба якої в місцях розташування електродів не покрита люмінофором. При роботі КСЛ у колі постійного струму чітко проявляються різні ділянки розряду (рис. 4,5). Від’ємне світіння являє собою яскраву кулю синювато-зеленого кольору, яка рівномірно заповнює закатодну і прикатодну області, в яку повністю занурений катод.

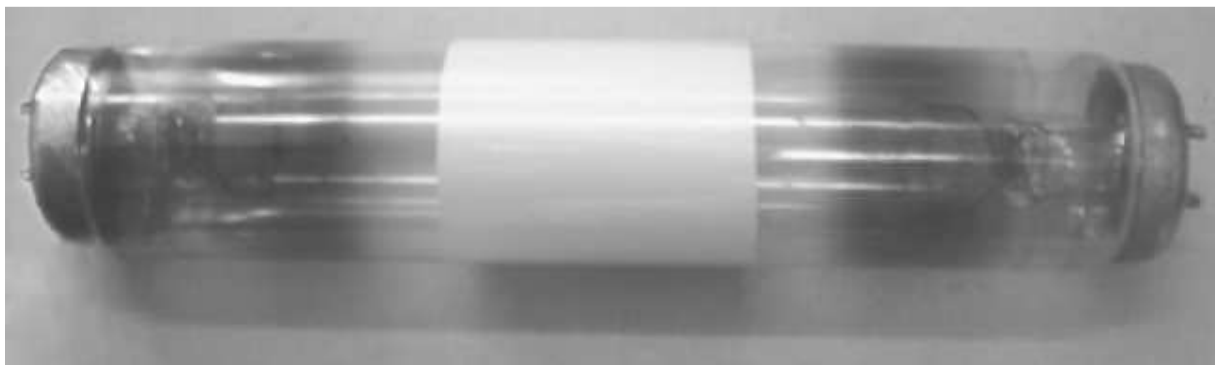


Рисунок 3. Фото короткої спеціально виготовленої ЛЛ (КСЛ), колба якої в місцях розташування електродів не покрита люмінофором. Зовнішній діаметр колби 40 мм, внутрішній – 38 мм,

міжелектродна відстань – 110 мм

Figure 3. Picture of the specially made brief FL (BSL), the bulb of which is not covered by a phosphor in the locations of the electrodes. The outer diameter of the bulb is 40 mm, inner – 38 mm, interelectrode distance – 110 mm

Діаметр яскравої кулі від'ємного світіння визначається відстанню, на яку залітають швидкі первинні електрони, що отримали енергію в катодній оболонці. Як правило, вона не перевищує 0,8 діаметра колби ЛЛ. Синювато-зелений колір від'ємного світіння зумовлений збудженням атомів ртуті до енергетичних рівнів, із яких відбувається випромінювання спектральних ліній зелено-блакитного з довжиною хвиль $\lambda_{\text{Hg}}=502,1$ нм, $\lambda_{\text{Hg}}=502,6$ нм, та зеленого $\lambda_{\text{Hg}}=546$ нм кольорів, а також атомів барію синього $\lambda_{\text{Ba}}=455,4$ нм та жовто-зеленого $\lambda_{\text{Ba}}=553,5$ нм кольорів [13]. У позитивному стовпі розряду відбувається збудження атомів ртуті не тільки на резонансні енергетичні рівні, із яких відбувається невидиме оком випромінювання з довжиною хвиль $\lambda_{\text{Hg}}=184,96$ нм і $\lambda_{\text{Hg}}=253,65$ нм, але й на енергетичні рівні, із яких відбувається видиме випромінювання фіолетового кольору з довжиною хвиль $\lambda_{\text{Hg}}=404,6$ нм, $\lambda_{\text{Hg}}=407,8$ нм, $\lambda_{\text{Hg}}=410,8$ нм та $\lambda_{\text{Hg}}=435,8$ нм. Вони змішуються з випромінюванням атомів аргону фіолетового $\lambda_{\text{Ar}}=420,1$ нм та блакитного $\lambda_{\text{Ar}}=488$ нм кольорів. У результаті позитивний стовп розряду набуває фіолетово-блакитного кольору. Саме цим і пояснюється неоднаковий колір навколо катодної й прианодної ділянок ртутного розряду низького тиску.

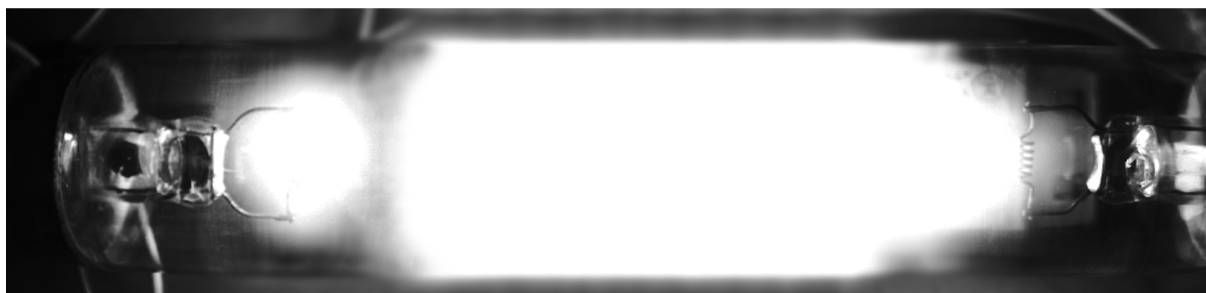


Рисунок 4. Фото дугового розряду в короткій люмінесцентній лампі, колба якої в місцях розташування електродів не покрита люмінофором, при живленні постійним струмом. Чітко видно основні області розряду

Figure 4. Picture of the arc discharge in the brief fluorescent lamp, the bulb of which is not covered by a phosphor in the locations of the electrodes by feeding constant current. The main discharge areas are clearly seen

Твердження, висловлене в [13] про те, що в прикатодній ділянці відбувається збудження й іонізація виключно атомів аргону, а не ртуті, не знайшло експериментального підтвердження. Якщо при виготовленні в лампу, внутрішня поверхня якої не покрита люмінофором, не ввести ртуть, то при пропусканні через електроди струму попереднього підігрівання, який перевищує номінальне значення навіть у два рази, катод буде мати лише світло-червоне світіння. В той час у такій самій лампі зі ртуттю завжди виникає навколоелектродний розряд синювато-зеленого кольору.

При зменшенні струму лампи, за рахунок зниження напруги мережі або збільшення опору баластного дроселя, як це відбувається при регулюванні світлового потоку, розміри від'ємного катодного світіння плавно зменшуються (при зовсім незначному зменшенні температури КП) до значень, які мало що перевищують діаметр КП. Позитивний стовп розряду стає коротшим. Завдяки цьому ФТП зростає як мінімум удвічі (рис. 5) і

навколокатодна ділянка стає тьмяною. Подальше зменшення струму призводить до погасання розряду. Підігрівання катодів від стороннього джерела напруги сприяє збільшенню розмірів і яскравості ВС, розширюючи діапазон мінімальних струмів, при яких розряд у ЛЛ ще може існувати.

Таким чином, на змінному струмі промислової частоти розміри ВС на кожному півперіоді змінюються синфазно, а розміри ФТП – протифазно миттєвим значенням струму, що й зумовлює відчутну приелектродну (периферійну) пульсацію світлового потоку ЛЛ. На високих частотах змінного струму навколоелектродні ділянки розряду у ЛЛ не покритих люмінофором також виглядають темнішими, ніж позитивний стовп розряду, але їх пульсація оком не сприймається. Нанесення люмінофору на внутрішню поверхню колби вирівнює нерівномірність яскравості в навколо електродних областях, завдяки чому ЛЛ по довжині – рівнояскрава.

У зв'язку з тим, що регулювання світлового потоку ЛЛ у схемах з ЕПРА здійснюється за рахунок зміни струму, в певний момент виникають страти. Це пояснюється тим, що на високих частотах градієнт потенціалу на півперіоді змінюється нелінійно і має максимум, в якому кількість швидких електронів помітно зростає [11,14]. В результаті, як тільки концентрація електронів в максимумі стає співрозмірною з концентрацією, зумовленою розрядним струмом, остання на окремих ділянках позитивного стовпа розряду різко зростає і виникають електронні та іонні коливання, які призводять до коливань електричного поля в плазмі та формування незатухаючих страт

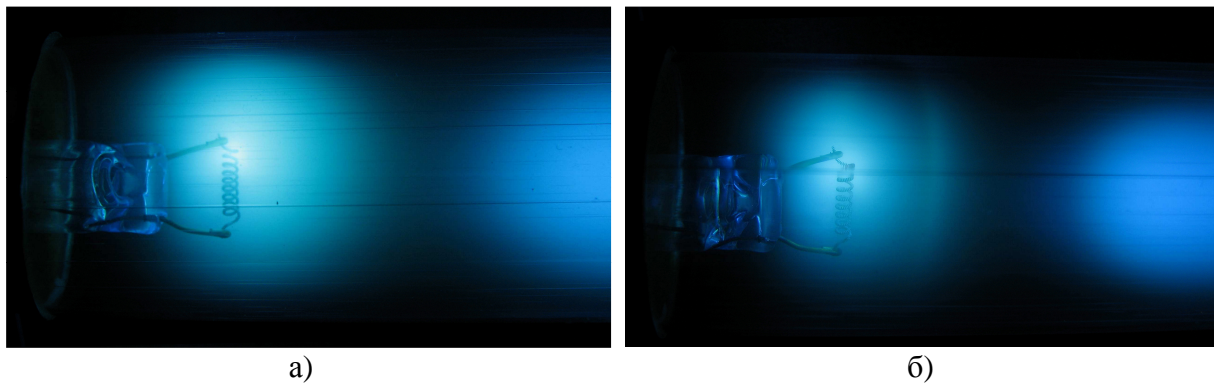
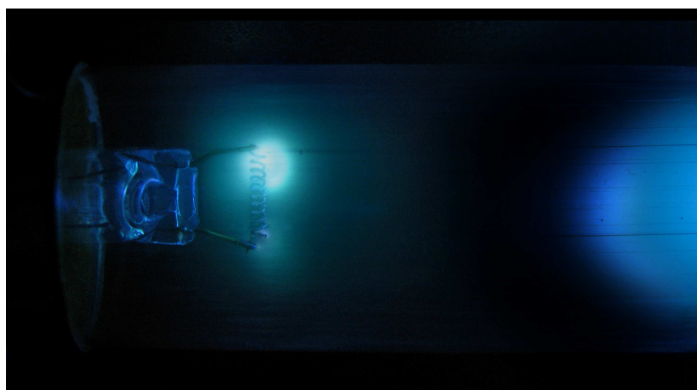


Рисунок 5. Фото навколо катодних областей бактерицидної лампи $P_{л.н.} = 15$ Вт, яка живиться однополярним пульсуючим струмом при стабілізації розряду з боку змінної напруги дроселем, для трьох різних струмів: а – $I_{Л} = 0,33$ А; б – $I_{Л} = 0,25$ А ; в – $I_{Л} = 0,08$ А

Figure 5. Picture of Peri-cathode areas of the bactericidal lamp $P_{л.н.} = 15$ W, which is powered by the unipolar pulsating current at stabilizing the discharge-side from the side of variable voltage by the throttle for three different currents: а – $I_{Л} = 0,33$ А; б – $I_{Л} = 0,25$ А; в – $I_{Л} = 0,08$ А



в)

Рисунок 5 (продовження)

Figure 5 (continuation)

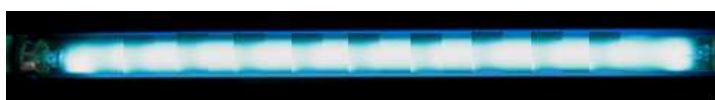


Рисунок 6. Незатухаючі страти в ЛЛ на високій частоті

Figure 6. Sustained stratas of the FL at high frequency

(рис. 6) – джерела неприпустимо великих пульсацій світлового потоку. Тому глибина регулювання світлового потоку повинна бути обмежена зменшенням струму через лампу не більше, ніж у 5 разів від номінального.

Висновки. Доведено, що утворення від'ємного катодного світіння в навколкатодній області люмінесцентних ламп зумовлено збудженням й іонізацією (в основному) атомів ртуті, а не аргону, як про це стверджується в [13].

Встановлено, що навколелектродні пульсації світлового потоку у люмінесцентних лампах зумовлені не тільки періодичною зміною полярності електродів, коли відбувається переміщення Фарадея темного простору з одного кінця лампи на другий, але й тим, що розміри від'ємного катодного світіння на кожному півперіоді змінюються синфазно, а Фарадея темного простору – протифазно миттєвими значеннями струму.

Встановлено зв'язок між швидкістю утворення темних «дифузійних плям» і густих непрозорих замкнених смуг на стінках колб у навколкатодній області, якістю ЛЛ і режимами її роботи в електричній схемі. Великі робочі й пускові струми помітно активізують цей процес. Чим вища швидкість їх утворення, тим скоріше відбувається: а) погіршення зовнішнього вигляду ламп; б) отруєння катодів, тобто зменшення їх термоемісійної заданості; в) збільшення втрат потужності в навколелектродних ділянках; г) вихід ламп з ладу.

Доведено, що при плавному зменшенні струму через ЛЛ, як це має місце при регулюванні світлового потоку ламп, температура катода й анода настільки сильно зменшується, що катод стає не в змозі емітувати достатню, для підтримання розряду, кількість електронів. Це вказує на те, що без додаткового підігрівання електродів глибина регулювання світлового потоку ЛЛ не може бути високою. А при експлуатації в мережі промислової частоти, крім того, зростає глибина пульсацій світлового потоку.

Пояснено причини виникнення страт при регулюванні світлового потоку ЛЛ в електричних колах високої частоти, що дало можливість обґрунтовано встановити межі його регулювання зменшенням струму через лампу не більше, ніж в 5 разів від номінального.

Conclusions. It has been proved that the formation of the negative cathode glow in the peri-cathode space of FL is caused by the excitation and ionization (mostly) of mercury atoms and not those of argon as it is asserted in [13].

It has been found out that the peri-electrode pulsations of the luminous flux in FL are caused not only by the periodic change of the electrode polarity, when takes place the movement of Faraday dark space from one end of the lamp to another takes place, but also by the fact that dimensions of the negative cathode glow over each half-period change cophasally while the Faraday dark space change antiphasally by the instantaneous value of the current;

There has been found the relation between the rate of the dark "diffuse spots" formation and the thick opaque closed stripes on the flask walls in the peri-cathode space and the quality of FL and modes of its operating in the electric circuit. Great operating and starting currents activate this process sufficiently. The higher the rate of their formation is, the sooner take place: a) worsening of the lamps' exterior; b) poisoning of cathodes, that is reduction of their thermo emission ability; c) the increase in power losses in the peri-electrode space; d) lamps burn out.

It has been proved that under smooth current decrease through the FL, as it is in the case of the regulation of the luminous flux of lamps, the temperature of the cathode and anode reduces so much that the cathode becomes unable to emit a sufficient enough number of electrons to maintain a discharge process. It testifies that without additional heating of the electrode the regulation depth of the FL luminous flux cannot be high. Besides, while operating in the industrial frequency network, an increase of the pulsation depth of the luminous flux will take place.

There have been found the reasons of the strata's appearance in the FL luminous flux regulation in high frequency electric circuits, which made it possible to set reasonable limits of its regulation by the current decrease through the lamp in no more than 5 times of the nominal current.

Список використаної літератури

1. К вопросу о механизме пусковых процессов на электродах люминесцентных ламп [Текст] / В.С. Литвинов, С.П. Решенов, В.И. Лебедева, Е.В. Рощин // Светотехника. – 1968. – № 6. – С. 1–6.
2. Засоркин, А.Ф. Регулирование и расчет напряжения пробоя люминесцентных ламп [Текст] / А.Ф. Засоркин // Труды ВНИИИС. – 1974. – Вып. 6. – С. 172–178.
3. Прудников, В.И. О комплексном подходе к анализу нестабильности световых параметров люминесцентных ламп [Текст] / В.И. Прудников // Труды ВНИИИС. – 1976. – Вып. 8. – С. 151–155.
4. Уэймаус, Д. Газоразрядные лампы; перевод с английского под ред. Рохлина Г.Н. и Фугенфирова М.И. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.
5. Майоров, М.И. Исследование температуры катодного пятна люминесцентных ламп низкого давления по инфракрасному излучению [Текст] / М.И. Майоров, Н.В. Самородова, Г.Т. Тимкаева // Светотехника. – 1979. – № 6. – С. 11–12.
6. Майоров, М.И. Влияние электродного фактора на изменение характеристик люминесцентных ламп в течение срока службы [Текст] / М.И. Майоров, Н.В. Самородова, Г.Т. Тимкаева // Труды ВНИИИС. – 1982. – Вып. 13. – С. 86–90.
7. Федоров, В.В. Производство люминесцентных ламп. –3-е изд., переаб. и доп. [Текст] / В.В. Федоров. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 232 с.
8. Майоров, М.И. Исследование некоторых электродных характеристик люминесцентных ламп низкого давления на моделях, имитирующих начало и конец срока службы [Текст] / М.И. Майоров, Н.В. Самородова, Г.Т. Тимкаева // Светотехника. – 1983. – № 1. – С. 21.
9. Фридрихов, С.А. Физические основы электронной техники [Текст] / С.А. Фридрихов, С.М. Мовнин. – М.: Высшая школа. – 1982. – 608 с.
10. Шимони, К. Физическая электроника; пер. с немецкого [Текст] / К. Шимони – М.: Энергия, 1977. – 608 с.
11. Дадонов, В.Ф. Исследование функции распределения электронов по энергиям в положительном столбе разряда люминесцентных ламп [Текст] / В.Ф. Дадонов, В.И. Рыков // Труды ВНИИИС. – 1981. – Вып. 12. – С. 25–32.
12. Ким, С.Г. О повышении долговечности люминесцентных ламп [Текст] / С.Г. Ким, Г.К. Мамбетзина // Светотехника. – 2007. – № 1. – С. 37–38.
13. Рохлин, Г.Н. Разрядные источники света. – 2-е изд, перераб. и доп. [Текст] / Г.Н. Рохлин. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 720 с.
14. Райзер, Ю.П. Физика газового разряда [Текст] / Ю.П. Райзер – М.: Наука, 1992. – 536 с.

Отримано 17.02.2014