

Проведені розрахунки температурного поля пальників у газоповній колбі. Досліджена можливість використання моделі застійного шару газу вздовж нагрітого тіла та надані аналітичні вирази.

УДК 621.327

Кожушко Г. М., д-р техн. наук
Полтавський завод газорозрядних ламп

Кислиця С. Г., канд. техн. наук
Полтавський національний технічний
університет ім. Ю. Кондратюка

Четверікова І.М.
Харківська національна академія міського
господарства

ВПЛИВ ГАЗОВОГО НАПОВНЕННЯ ЗОВНІШНІХ КОЛЬ МГЛ НА ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ ЇХ ПАЛЬНИКІВ

Актуальність.

Одним із найбільш суттєвих параметрів, який визначає умови розряду та довговічність металогалогенних ламп (МГЛ), є температура розрядної трубки (РТ). Мінімальна температура внутрішньої поверхні РТ, з метою отримання високих світлотехнічних параметрів, має бути якомога вищою і досягати значень не менш 750-800 °С. Максимальна температура на внутрішній поверхні РТ задається виходячи із допустимих температур для матеріалу (кварцу або полі кору) щоб забезпечити необхідну довговічність МГЛ.

Виходячи із протилежних вимог до теплового режиму (забезпечення високих світлотехнічних параметрів і довговічності МГЛ) очевидно, що найбільш оптимальними конструкціями РТ є такі, які мають рівномірне теплове поле в будь-якому робочому положенні [1].

У всіх РТ циліндричної форми спостерігається спад температури в заелектродних зонах. Це пов'язано, перш за все, з меншою питомою потужністю, яка йде на нагрівання в приелектродних та заелектродних ділянках РТ і втратою тепла на вводах. Головною причиною, що викликає несиметричне нагрівання РТ симетричної конструкції є конвекційні потоки парів ртуті всередині РТ і газового наповнення в зовнішній колбі.

В [2] досліджувався вплив конвекції пару ртуті на зміну температури РТ. Показано, що з підвищенням тиску пару ртуті (відповідно, із збільшенням швидкості конвекційних потоків) температура нижньої ділянки РТ, що працює в вертикальному положенні, зменшується, а верхньої – зростає (для горизонтального положення цей ефект ще більш значний). При тиску пару ртуті 10 атм різниця температур верхньої і нижньої ділянок РТ сягає 110÷120 °С.

Так як для МГЛ дуже суттєвими є навіть незначні зміни температури РТ, то представляють практичну зацікавленість дані про те, як змінює теплове поле РТ газове наповнення зовнішньої колби.

Дослідження зміни теплового режиму РТ за рахунок теплопровідності та конвекції газу в зовнішній колбі актуальні для розробників розрядних ламп високого тиску, зокрема для розробки МГЛ з ізотермічними РТ.

Аналіз стану проблеми.

Завданням даних досліджень є експериментальна, та розрахункова оцінка впливу теплопровідностей конвекційних потоків в зовнішній колбі на теплове поле пальників ртутних та металогалогенних ламп.

Порівняльні виміри розподілу температури на поверхні пальника в вакуумі і в газі проводили термопарним методом. Під час вимірів стрічкова термопара за допомо-

гою пружинних пристосувань щільно притискалася до пальника. Вакуум в системі під час роботи пальника досягався в межах $5 \cdot 10^{-2} \div 10^{-1}$ мм.рт.ст. Точність вимірів температури в межах $\pm 5^\circ$ (термопара ХА товщиною 0,1 мм, вимірювальний прилад високоомний потенціометр МО-62).

Виміри температури проводили за умови незмінного розміщення термопари в вакуумі і повітряному середовищі. Перед кожним вимірюванням пальник стабілізувався на протязі 15 хв.

Дослідження розподілу температури проводили на пальниках різних конструкцій, працюючих в вертикальному та горизонтальному стані. За результатами цих вимірів визначена різниця температур Δt , викликана теплопровідністю та конвекційними потоками газу в зовнішній колбі, і побудовані залежності Δt по довжині пальника (рис. 1.)

З рис.1. видно, що пальники в нижній частині (за наявності газу в зовнішній колбі) охолоджуються значно більше, ніж в верхній. Це приводить до асиметрії теплового поля верхньої і нижньої областей з різницею температур $60\text{-}70^\circ\text{C}$.

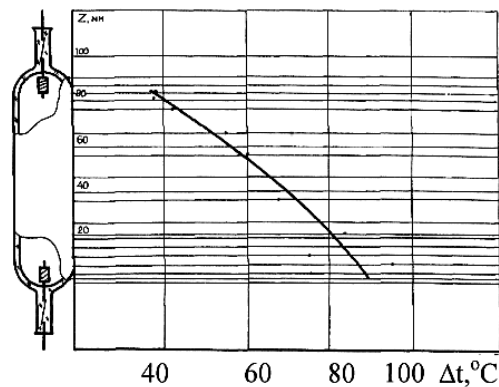


Рис.1. Зміна температури Δt (в порівнянні з вакуумом) для вертикально працюючого пальника потужністю 400 Вт в атмосфері азоту

Конвекція газу в зовнішній колбі за умови горизонтального стану лампи також суттєво змінює характер розподілу температури на пальнику. Для ртутно-кварцевих і металогалогенних пальників потужністю 250-400 Вт (діаметр 18-22 мм, міжелектродна відстань 35-70 мм) за наявності в зовнішній колбі азоту при тиску 760 мм.рт.ст. нижня частина пальника охолоджується на $60\text{-}90^\circ\text{C}$, верхня частина - на $30\text{-}40^\circ\text{C}$ (рис.2).

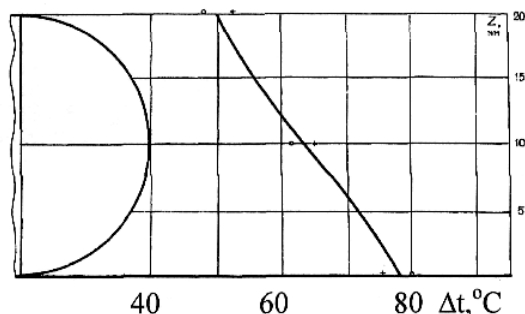


Рис.2. Зміна температури Δt (в порівнянні з вакуумом) для горизонтально працюючого пальника потужністю 400 Вт в атмосфері азоту

Нерівномірне охолодження пальників в газовому середовищі добре пояснюється, якщо скористуватись поняттям пограничного шару, через який тепло пальника передається газу шляхом теплопровідності. Мається на увазі, що при вільній конвекції за умови ламінарної течії існує застійний тепловий шар, в межах якого температура змінюється від значень рівних температурі стінки, до значень, рівних температурі газу на відстані від нагрітого тіла. Для вертикальної нагрітої площини застійний шар починається біля нижнього краю і зростає в напрямку руху потоку.

Співвідношення між товщиною пограничного шару $\delta_{n.u.}(z)$ і відстанню його від нижнього краю для плоскої ізотермічної пластини має вигляд [3]:

$$\frac{\delta_{n.u.}(z)}{z} = 3,93 \text{Pr}^{0,5} (0,952 + \text{Pr})^{0,25} (Gr)^{-0,25} \quad (1)$$

де: Pr – число Прандтля, є теплофізичною характеристикою теплоносія $\text{Pr} = \frac{\mu c_p}{\lambda}$; μ – динамічний коефіцієнт в'язкості; ρ – густина; λ – коефіцієнт теплопровідності; c_p – теплоємність за умови постійного тиску; ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості.

Для повітря та азоту $\text{Pr} \approx 0,74$.

Gr – число Грасгофа, яке характеризує відносну ефективність підйомної сили, що викликає вільний конвективний рух середовища.

$$Gr = \frac{g\beta\theta z^3}{\nu^2} \quad (2)$$

де: g – прискорення вільного падіння;
 β – температурний коефіцієнт об'ємного розширення;
 ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості;
 z – характерний розмір;
 θ – температурний натиск.

Співвідношення між $\delta_{n.u.}(z)$ і z можна виразити через число Нуссельта (Nu) що характеризує інтенсивність конвективного обміну:

$$Nu = \frac{2z}{\delta_{n.u.}(z)} = 0,508 \text{Pr}^{0,5} (0,952 + \text{Pr})^{-0,25} (Gr)^{0,25} \quad (3)$$

Пограничний шар, утворюваний вільною конвекцією, за умови певної товщини набуває турбулентного характеру. Для повітря (азоту) цей перехід має місце за умови критичного значення числа Грасгофа ($\sim 10^9$), що відповідає:

$$\text{Re}_{Gr} = \frac{U\delta}{\nu} \approx 44,5 \quad (4)$$

де: Re – число Рейнольда, яке визначає гідромеханічну подібність течій газу; U – максимальна швидкість руху газу в пограничному шарі:

$$U = 0,766\nu \left(0,952 + \frac{\nu}{a}\right)^{-0,5} \cdot \left(\frac{g\beta\theta}{\nu^2}\right)^{0,5} \cdot z^{0,5} \quad (5)$$

За умови турбулентної течії газу вздовж стінки коефіцієнти турбулентного переносу тепла можуть у багато разів перевищувати коефіцієнти переносу тепла для ламінарної течії і, відповідно, збільшувати теплові втрати.

Точний підхід не дозволяє розглядати пальник як вертикальну ізотермічну пластину. Всі приведені співвідношення можуть бути вірними для циліндрів з достатньо великими значеннями $\frac{d_2}{z}$ (d_2 – зовнішній діаметр, z – висота). В [3] приведено дані, що відхилення в розрахунках для циліндру і пластини досягають більше 5% за умови $Ra^{0,25} \frac{d}{z} > 33$ (для $Pr=1$), $Ra=GrPr$ – Критерій Релея.

Коли значення $Ra^{0,25} \frac{d}{z} < 33$, розбіжності становлять менше 5% і для циліндра можна використовувати співвідношення, одержані для пластини. Вираз для циліндра в більш широких інтервалах співвідношень d_2/z має вигляд [3]:

$$Nu = \frac{4}{3} \left(\frac{7GrPr^2}{5(20+21Pr)} \right)^{0,25} + \frac{4(272+315Pr)z}{35(64+63Pr)d_2} \quad (6)$$

Оціночні розрахунки показали, що:

1) число Gr для розмірів пальників МГЛ середньої потужності ($z < 100$ мм) і температурних натисків, що не перевищують 800°C в повітрі, азоті і аргоні, не перевищує значень 10^8 , що нижче за критичне значення числа Gr (10^9). Звідси випливає, що межовий шар по всій довжині вертикально працюючого пальника має ламінарний характер течії. Тепловідведення від пальника буде зменшуватися знизу доверху пропорційно збільшенню товщини застійного граничного шару;

2) число Ra для циліндрів діаметром $d < 25$ мм і висотою $h > 50$ мм знаходиться в межах значень до 20, що не відповідає умовам $Ra^{0,25} \frac{d}{z} > 33$, з чого випливає, що в розрахунках товщини застійного шару доцільніше користуватися співвідношенням (6).

Оцінюючі розрахунки товщини застійного шару $\delta_{z,ш.}$ зроблені по (6), показали, що його товщина змінюється для вертикально працюючих пальників ламп високого тиску середньої потужності (температура пальників $600-700^\circ\text{C}$) від 3-4 мм біля нижньої заелектродної області, до 7-8 мм біля верхньої області [4].

Локальна густина теплових потоків вздовж пальників може бути розрахована по закону Фур'є, користуючись виразом приведеним в [1] для усереднених значень всього пальника.

Безумовно, ці розрахунки громіздкі і значно зручніше при розробці ламп (визначенні розмірів колб по заданому тепловому режиму) користуватись експериментальними даними, приведеними в цій роботі.

Висновки.

За наявності газу в зовнішній колбі, внаслідок того, що в вертикальному напрямку товщина застійного шару змінюється, відбувається нерівномірне охолодження пальника. Для лампи середньої потужності, що працює в вертикальному стані, зниження температури за рахунок конвекційних втрат в газі в нижній області пальника складає

60-90°, а в верхній – 20-40°. Для ламп, що працюють в горизонтальному стані, температура пальників змінюється, відповідно, на 60-90° і 30-40°. Для оцінюючих розрахунків температурного поля пальників в газоповній колбі може бути використана модель застійного шару газу вздовж нагрітого тіла і аналітичні вирази, приведені в даній роботі.

Література

1. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. – М.: Энергоатомиздат, – 1991. 720 с.
2. Кожушко Г.М. Влияние давления паров ртути на устойчивость дуги и температурное поле газоразрядных ламп высокого давления// Коммунальное хозяйство городов. Научн.-техн. сборник. Вып.21 – К.: Техніка - 2000. С.125-129.
3. А.Дж.Ид. Свободная конвекция. – В кн.: "Успехи теплопередачи", пер. с англ. Е.Ю.Красильникова и Е.Д.Федоровича. М.: Мир, 1970.
4. Кожушко Г.М. Пути усовершенствования и разработка конструкции и технологии промышленного производства осветительных металлогалогенных ламп с улучшенными параметрами. Автореф. Дис... канд. техн. наук. М.: ВНИСИ, 1983.

ВЛИЯНИЕ ГАЗОВОГО НАПОЛНЕНИЯ ВНЕШНИХ КОЛБ МГЛ НА ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ИХ ГОРЕЛОК

Г. М. Кожушко, С. Г. Кисилица, И.М. Четверикова

Проведенные расчеты температурного поля горелок в газонаполненной колбе. Исследованная возможность использования модели застойного пласта газа вдоль нагретого тела и предоставленные аналитические выражения.

ON OUTER RETORT MHL GAS FILLING INFLUENCE ON GAS-STOVE BURNER HEAT REGULATIONS

G.M. Kozhushko, S.G. Kisilica, I.M. Chetverikova

The estimation of torches temperature field within a gas filled flask are made. Implementation opportunity of a gas stagnant layer model along the heated up body is elucidated, analytical expressions are presented.