
ІV. ЯКІСТЬ І БЕЗПЕКА ПРОМИСЛОВИХ ТОВАРІВ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, МЕТРОЛОГІЯ, СЕРТИФІКАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

УДК 621.32:006.015.5

ПРОГНОЗУВАННЯ СТРОКУ СЛУЖБИ КОМПАКТНИХ ЛЮМІНЕСЦЕНТНИХ ЛАМП ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЇХ ВИПРОБУВАНЬ У РЕЖИМІ ЧАСТИХ ВМИКАНЬ

Г. М. Кожушко, доктор технічних наук, професор;

Ю. О. Басова, кандидат технічних наук, доцент;

Л. М. Губа, кандидат технічних наук, доцент

(Вищий навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі»);

С. Г. Кислиця, кандидат технічних наук, доцент

(Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка)

Анотація. Метою даної роботи є розроблення методики прискореної оцінки середньої тривалості горіння ламп у форсованому режимі на основі визначення середньої кількості вмикань та оцінка середньої тривалості горіння КЛЛ різних виробників. **Методика дослідження.** Для прискореної оцінки ресурсних характеристик КЛЛ розглядалась модель функціонування ламп у режимах частих вмикань, так як їх тривалість горіння визначається, головним чином, швидкістю витрачання емісійного матеріалу катодів, яка найбільш інтенсивною є під час вмикання ламп. **Результати.** Для скорочення терміну випробування під час оцінки середнього ресурсу вмикання ламп застосовувались статистичні методи ранньої оцінки розподілу частоти відмов із використанням графічного методу в координатах «кількість вмикань – ймовірність відмов». З використанням запропонованої методики проведено випробування шести партій КЛЛ на середній ресурс вмикання та зроблено прогноз щодо середнього строку служби ламп за їх звичайного функціонування. **Висновки.** Показано, що в п'ятьох досліджених партіях середній строк служби є не нижчим, ніж задекларований виробниками. Розглянуто напрями продовження даних досліджень.

Ключові слова: компактна люмінесцентна лампа, прогнозування, строк служби, кількість вмикань.

Постановка проблеми в загальному вигляді та зв'язок із найважливішими науковими чи практичними завданнями. Енергоекономічні КЛЛ знаходять широке за-

стосування в усіх сферах освітлення. Вони мають високу світлову віддачу (50-70 лм/Вт), хорошу якість кольоропередачі (загальний індекс кольоропередачі (Ra), зазвичай, перевищує значення 80 одиниць), значний ресурс горіння (8-15 тис. год). За останні роки якість КЛЛ суттєво підвищилась, хоч у багатьох випадках лампи ще не відповідають бажанням споживачів і задекларованим виробниками даним [1-4], особливо це стосується ресурсних параметрів, стабільності світлових і колірних параметрів цих ламп у процесі строку служби.

Для підвищення якості та надійності КЛЛ Регламентом Комісії ЄС [5-6] введені обов'язкові вимоги до функціональності ламп побутового та аналогічного призначення, зокрема, відсотка виживання ламп до 6 000 год, стабільності світлового потоку у процесі строку служби, кількості вмикань ламп до відказу, частоти передчасного відказу та ін. У табл. 1

зведені функціональні вимоги до надійності КЛЛ та їх світлових і колірних параметрів у процесі строку служби.

Технічні регламенти на основі європейських плануються до впровадження і в Україні, тому актуальними питаннями є дослідження ламп на відповідність цим вимогам та інформування про результати досліджень споживачів. Ураховуючи, що значна частина споживачів не задоволені невідповідністю строку служби задекларованими виробниками даним [3, 7] і що цей параметр складно перевіряти (строк служби вказується переважно більше 10 тис. год і для випробувань потрібно кілька років), актуальним питанням є також розроблення методик прискореної оцінки ресурсних параметрів КЛЛ, за допомогою яких можна за відносно короткий період установити відповідність ламп установленим вимогам або виявити інформаційну фальсифікацію.

Таблиця 1

Функціональні вимоги до КЛЛ

| Функціональний параметр | Величина параметра |
|--|--|
| Коефіцієнт збереження придатних ламп після 6 000 год | $\geq 0,70$ |
| Коефіцієнт збереження світлового потоку | Після 2 000 год: $\geq 88 \%$ ($\geq 83 \%$ щодо ламп із зовнішньою колбою). Після 6 000 год: $\geq 70 \%$ |
| Кількість циклів вмикання до відказу | \geq половина строку служби ламп, у год $\geq 30\,000$, якщо час вмикання лампи $> 0,3$ с |
| Час вмикання | $< 1,5$ с, якщо $P < 10$ Вт $< 1,0$ с, якщо $P \geq 10$ Вт |
| Час розігріву лампи до 60 % номінального світлового потоку | < 40 с або < 100 с щодо ламп, які містять ртуть в амальгамній формі |
| Початковий рівень відказів | $\leq 2,0 \%$ за 400 год |
| Загальний індекс кольоропередачі | ≥ 80 |

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню якості КЛЛ14Л присвячена велика кількість робіт. У [1] наведено дані щодо надійності КЛЛ різних виробників. Показано, що число відмов ламп до 40 % нормованого строку служби знаходиться в межах 5-14 %. У [4] зазначено, що середній ресурс КЛЛ, які надходять на ринок України, за кількістю витриманих вмикань для різних торговельних марок дуже відрізняються: від 3 тис. до 30 тис. У [8, 9] наведено дані про тривалість горіння

ламп залежно від кількості циклів вмикань: за 12-годинного циклу горіння ламп (лампи вмикаються один раз на 12 год горіння) лампи мають строк служби 23 тис. год; за 8-годинного циклу – 22 тис. год; за 3-годинного – 20 тис. год, а за 1-годинного – 16 тис. год.

Середня тривалість горіння КЛЛ визначається як час функціонування до відмови 50 % ламп (за 8-разового вмикання ламп на добу) [10].

Прискорених методів оцінки ресурсу тривалості горіння КЛЛ нормативними документа-

ми не передбачено. У [5–6] нормуються тільки початковий рівень відмов за 400 год, кількість циклів вмикань до відмов та коефіцієнт збереження придатних для експлуатації ламп після 6 тис. год горіння. Середня тривалість горіння КЛЛ не нормується директивними документами, але вона вказується всіма виробниками в технічних умовах, на упаковці ламп та в каталогах.

Основні принципи прискорення випробувань на надійність сформульовані в [11]. Прискорення випробувань на надійність повинно забезпечити максимально можливе скорочення тривалості випробувань із відтворенням відмов у послідовності, характерній для нормальних умов випробувань. Вимоги до розробки методів прискорених випробувань, зазвичай, ґрунтуються на використанні апріорних відомостей про надійність об'єкта випробування. Для отримання цих відомостей необхідно провести попередні дослідження, які містять такі етапи:

- дослідження умов функціонування виробу;
- дослідження надійності виробу за функціонування в реальних умовах експлуатації;
- вивчення характеру та причин відмов;
- вибір принципів прискорення випробувань, умов і режимів випробувань;
- проведення прискорених випробувань;
- аналіз результатів досліджень, розробка моделей відмов і визначення функції (коефіцієнта), перерахунку на нормальні умови.

Прискорені випробування можуть здійснюватися у нормальному та форсованому режимах. Випробування в нормальному режимі досягають ущільненням робочих циклів або екстраполяцією з напрацювання [12]. Прискорені випробування в форсованому режимі досягаються інтенсифікацією деградаційних процесів. Необхідно виділити дві групи принципів форсування випробувань, які відрізняються способом перерахунку їх результатів на нормальні умови: 1) які потребують попереднього визначення коефіцієнта перерахунку; 2) які дозволяють оцінювати результати випробувань без попереднього визначення коефіцієнта перерахунку. До першої групи зараховують:

- обмеження спектра навантажень;
- підвищення швидкості прикладання навантажень;
- принцип порівняння.

Обмеження спектра навантажень полягає в тому, що частина навантажень, які не суттєво впливають на швидкість витрачання ресурсу, під час випробувань не використовують. Це призводить до підвищення середнього рівня навантаження і відповідно до більш швидких відмов. Принцип порівняння базується на використанні даних про аналогічні вироби. Залежно від наявної інформації оцінка надійності виробів здійснюється так:

- порівнянням показників надійності двох виробів за результатами тільки форсованих випробувань;
- порівнянням показників надійності виробу у форсованому режимі з результатами випробування аналогічного виробу в нормальному режимі;
- перерахунком результатів випробування в форсованому режимі до нормального режиму за визначеною залежністю показника надійності від рівня навантаження.

У [13] показано, що, використовуючи статистичні методи оцінювання середньої тривалості горіння КЛЛ за відмовами на ранніх стадіях випробувань, [12] можна скоротити термін випробувань і робити прогноз шляхом екстраполяції після виходу з ладу 4-5 ламп. Це дозволяє скоротити термін випробування не менше як удвічі. Але це також досить тривалий період, тому потрібно продовжити дослідження за можливим скороченням терміну випробувань.

Відомо, що ресурсні характеристики (тривалість горіння, число циклів вмикань) КЛЛ залежать від багатьох факторів, зокрема від довговічності катодів. У цих лампах використовуються катоди, принцип дії та конструкція яких описані в [14]. Причини деградації емісійної спроможності катодів різні в різні періоди роботи лампи. У пусковий період руйнування оксидного шару електродів в основному пов'язане з розпиленням активної речовини іонами, прискореними у тліючому розряді. Стадія тліючого розряду завжди виникає в пусковому режимі, однак її тривалість буває різною і залежить вона, в основному, від часу нагрівання катодів до необхідної температури [15]. Чим триваліша стадія тліючого розряду, тим більше катоди піддаються бомбардуванню іонами й тим більше вони руйнуються. Період тліючого розряду найбільш тривалий під час так званого «холодного» запалювання ламп – у режимі без попереднього підігрівання катодів.

У схемі вмикання з попереднім підігріванням катодів відсутня різка зміна температури емісійного покриття, що забезпечує більшу кількість вмикань (у порівнянні з «холодним»), і, як результат, такі лампи мають більшу тривалість горіння. За даними [16] суттєва зміна струму підігрівання і, відповідно, температури катода, проходять у перші 0,5 с роботи електронного пускорегулюючого пристрою.

У нормативній документації на КЛЛ відсутні вимоги до часу підігрівання катодів КЛЛ, а нормується тільки максимальний час запалювання. Тобто лампи можуть вмикатися як без попереднього підігрівання катодів, так із попереднім підігрівання катодів. У [4] зазначено, що на ринок України надходить більша частина ламп, у яких запалювання відбувається без попереднього підігрівання катодів.

Пускові процеси суттєво зменшують довговічність катодів і, відповідно, тривалість горіння, тому вони можуть бути використані для оцінки ресурсу в режимі форсованих випробувань.

Формування цілей статті (постановка завдання). Метою даної роботи є розроблення методики прискореної оцінки середньої тривалості горіння ламп у форсованому режимі на основі визначення середньої кількості вмикань та оцінка середньої тривалості горіння КЛЛ різних виробників.

Основні завдання роботи:

1) знаходження залежності між кількістю циклів запалювання КЛЛ (кількістю вмикань) та їх середнім строком служби;

2) дослідження можливості застосування оцінки середньої кількості вмикань ламп за незавершеними випробуваннями шляхом екстраполяції, використовуючи дані перших кількох відмов;

3) оцінка середнього строку служби ламп різних торговельних марок із використанням розробленої методики.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Для оцінки ресурсних характеристик КЛЛ у [17] нами розглядалась модель функціонування ламп у форсованих режимах частих вмикань, так як їх тривалість горіння визначається, головним чином, швидкістю витрачання емісійного матеріалу катодів, яка найбільшою є під час вмикання ламп.

Середня тривалість горіння ламп $T_{\text{сер}}$ за відомої середньої кількості вмикань $n_{\text{сер}}$ (за випробувань у режимі частих вмикань) може бути визначена як

$$T_{\text{сер}} = kn_{\text{сер}}, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, який має розмірність часу, тобто це тривалість горіння, яка дорівнює одному вмиканню лампи за певних умов;

$n_{\text{сер}}$ – визначена експериментально середня кількість вмикань ламп даної конструкції.

Із метою експериментального знаходження k необхідно визначити середню тривалість горіння ламп за різної кількості вмикань, наприклад, n_1 і n_2 . Тоді k можна розрахувати за формулою:

$$k = \frac{T_1 - T_2}{n_2 - n_1}, \quad (2)$$

де T_1, T_2 – середня тривалість горіння ламп пари кількості вмикань n_1 і n_2 відповідно.

Для експериментального визначення k досліджували три партії КЛЛ потужністю 20 Вт, закуплених через роздрібну торгівлю у 2013 р. Лампи були різних торговельних марок без попереднього підігрівання катодів. Кожна партія була поділена на дві частини по 10 ламп і випробовувалася так: одна частина у стандартному режимі згідно з [10] (лампи вимикались вісім разів на добу, тобто на 1 000 год напрацювання було 333 циклів вмикання); для визначення середньої кількості вмикань до відмови інша частина партії випробовувалася у режимі частих вмикань (1 хв у ввімкненому стані, 3 хв – у вимкненому стані) згідно з [5].

Якщо прийняти, що T_1 – середня тривалість горіння ламп за 8-разового вмикання ламп на добу, то за весь цей термін відбудеться n_1 циклів вмикання:

$$n_1 = \frac{T_1}{1000} \cdot 333, \quad (3)$$

а тривалість горіння в режимі частих вмикань T_2 як час, який лампа знаходиться у ввімкненому стані.

ному стані ($T_2 = 1 \text{ хв} \cdot n_2 = n_2/60$, год), то вираз (2) матиме вигляд:

$$k = \frac{T_1 - \frac{n_2}{60}}{n_2 - 0,333 \cdot T_1} \quad (4)$$

Результати дослідження середньої тривалості горіння (за 8-разового вимикання ламп на добу), середньої кількості вмикань до відмови (в режимі 1 хв – ввімкнений стан, 3 хв – вимкнений стан) та розрахованого значення k для трьох партій ламп наведено в табл. 2

Таблиця 2

Результати дослідження КЛЛ для визначення коефіцієнта k

| Номер партії | Середнє значення тривалості горіння T_1 за 8-разового вимикання ламп на добу, год | Середнє значення кількості вмикань до відмови, разів | K , год/цикл вмикання |
|------------------|---|--|-------------------------|
| 1 | 10 940 | 15 014 | 0,94 |
| 2 | 4 892 | 6 620 | 0,95 |
| 3 | 5 224 | 6 927 | 0,98 |
| Середнє значення | | | 0,96 |

Випробовуючи лампи на середню кількість вмикань, можна спрогнозувати середню тривалість їх функціонування в реальних умовах, використовуючи формулу (1).

Безумовно, така методика оцінювання ресурсу ламп за результатами випробувань у режимі частих вмикань у разі скорочує термін і витрати на випробування, але для сучасних КЛЛ, які здатні витримувати десятки тисяч циклів вмикань, це також тривалий процес. З метою зменшення витрат і суттєвого зменшення часу, необхідного для прогнозу тривалості горіння КЛЛ, була застосована методика ранньої оцінки ресурсу КЛЛ на кількість вмикань.

Метод ранньої оцінки параметрів розподілу напрацювання може бути застосований, якщо відомо вид розподілу. Для джерел світла (ДС) найбільш правдоподібним є припущення про нормальний розподіл [11].

Наочне уявлення про характер розподілу дає графік накопичених частот відмов, виконаний в імовірнісному масштабі. Принцип побудови ймовірнісного масштабу аналогічний принципу побудови логарифмічної шкали; по осі (ординат у нашому випадку) відкладають квантилі нормального розподілу й надписують відповідні їм частоти. У цих координатах крива накопичених частот відмов перетворюється у пряму, що перетинає ординату 0,5 за $n_{сер}$, і ординату 0,841 за $T_{сер} + \sigma$ (σ – серед-

ньоквадратичне відхилення), звідки легко визначити обидва ці параметра розподілу. Крім того, пряму легко провести експериментальними точками навіть у разі невеликого їхнього числа на початковій ділянці.

Щоб теоретична пряма на графіку ймовірності відмов щонайкраще узгоджувалась з експериментальними даними, доцільно скористатися методом найменших квадратів. За цим методом пряму проводять так, щоб сума квадратів відхилень експериментальних даних від теоретичної прямої була найменшою. Очевидно, що пряма може бути проведена в такий спосіб і за невеликою кількістю точок початкової ділянки, отриманих у результаті незавершених випробувань. У цьому і є найпростіша методика ранньої оцінки параметрів розподілу.

На основі експериментальних результатів дослідження відмов у процесі випробувань у режимі частих вмикань нами побудовані (в імовірнісному масштабі) залежності ймовірності відмов (Q) від кількості циклів вмикань (n). На рис. 1 наведено графік накопичення відмов від кількості циклів вмикань партії ламп торговельної марки «Maxus». З отриманих результатів видно, що залежність близька до лінійної і може бути використана для визначення середньої кількості вмикань до відмови вже за відмовами перших 4–6 ламп.

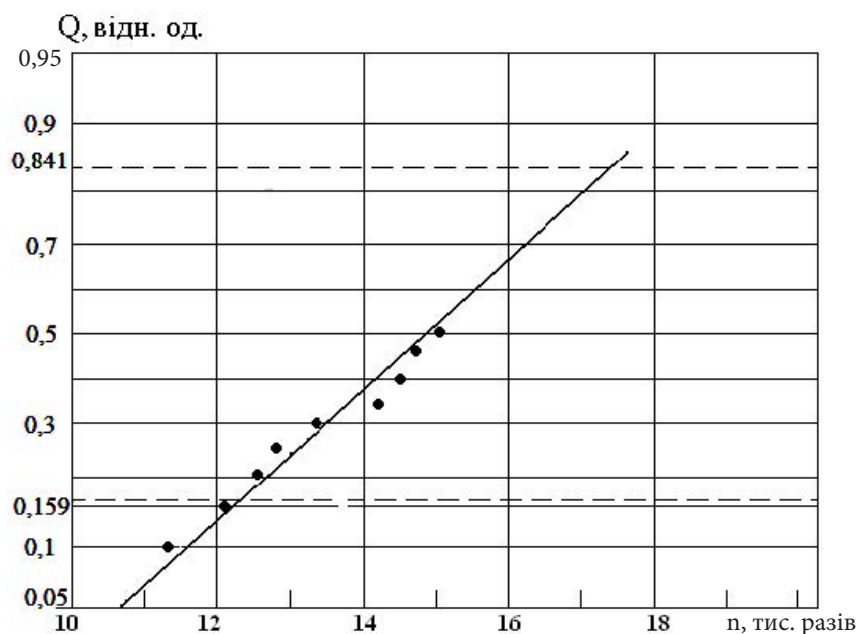


Рис. 1. Графік накопичення частоти відмов під час випробувань КЛЛ торговельної марки «Maxus» у режимі частих вмикань

За запропонованою методикою зроблено прогноз середньої тривалості горіння шести партій ламп різних торговельних марок, випробуваних у режимі частих вмикань.

Результати експериментальних випробувань та середні значення кількості вмикань, визначені шляхом графічної екстраполяції за виходом із ладу п'яти ламп, наведено в табл. 3. Різниця між прогнозними й експериментальними даними ресурсу вмикань не перевищує 8 %. У цій же таблиці наведено значення за-

декларованого виробником строку служби та оціненого на основі розробленої методики за середньою кількістю вмикань. Із шести партій ламп тільки одна партія (EuroLamp) не відповідає вимогам [5–6] за мінімальною кількістю вмикань не відповідає задекларованому строку служби. Інші п'ять партій відповідають цим вимогам і за функціонування за нормованої напруги живлення і вмикання не більше восьми разів на добу матимуть строк служби, указаний виробником.

Таблиця 3

Результати порівнянь прогнозних та експериментальних даних кількості вмикань КЛЛ різних торговельних марок

| Торговельна марка | Середня кількість циклів вмикань, оцінена за відмовами перших п'яти ламп | Середня кількість циклів вмикань, визначена експериментально (10 ламп) | Задекларований строк служби, год | Середній строк служби, оцінений за результатами середньої кількості вмикань, год |
|-------------------|--|--|----------------------------------|--|
| Maxus | 14 000 | 15 014 | 12 000 | 14 400 |
| EuroLamp | 2 700 | 2 912 | 12 000 | 2 800 |
| Uniel | 15 900 | 16 247 | 12 000 | 15 600 |
| Expert | 6 600 | 6 579 | 6 000 | 6 300 |
| Економка | 6 700 | 6 927 | 6 000 | 6 600 |
| Двадцатка | 5 900 | 6 182 | 6 000 | 5 900 |

Порівнюючи результати прогнозу з експериментальними даними, можна зробити висновки про можливість прогнозування середньої кількості вмикань КЛЛ за результатами відмов перших 5-6 ламп. При цьому необхідно користуватись графіком накопичення відмов, зображеним на рис. 1. Запропонована методика дозволяє суттєво зекономити час та електроенергію на випробування КЛЛ і виконати прогнозування середнього строку служби цих ламп протягом 1-3 міс.

Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень у поданому напрямку. Запропонована методика прогнозування середнього строку служби ламп на основі визначення середнього ресурсу кількості вмикань до відмови, суть якої в такому:

– для певного угруповання конструктивно подібних ламп експериментально визначається середня тривалість горіння (до відмови 50 % ламп) у стандартному режимі випробувань;

– визначається середній ресурс кількості вмикань у форсованому режимі;

– визначається коефіцієнт перерахунку з форсованого режиму на стандартний;

– проводяться випробування ламп у форсованому режимі й, використовуючи коефіцієнт перерахунку, оцінюється середня тривалість горіння досліджуваних ламп

Для спрощення визначення характеру розподілу частоти відмов застосований графічний метод, виконаний в імовірнісному масштабі. У цих координатах крива накопичення відмов перетворюється у пряму, яка перетинає ординату 0,5 за середнього значення числа відмов $n_{сер}$. Пряма може бути проведена за невеликою кількістю точок, отриманих у результаті незавершених випробувань.

З використанням запропонованої методики прогнозування середнього строку служби КЛЛ проведено оцінку шести партій ламп різних виробників, які були присутні на ринку України у 2013–2014 рр. Показано, що досліджені партії, крім однієї, відповідають вимогам технічних регламентів ЄС за мінімальної кількості циклів вмикання. За виконаним прогнозом ці лампи мають строк служби не менший, ніж задекларований виробниками.

Для вдосконалення методики прискореної оцінки строку служби КЛЛ на основі результатів випробувань у режимі частих вмикань до-

цільно продовжити дослідження в даному напрямку, зокрема, набрати статистику для різних потужностей та конструктивних особливостей ламп, визначити похибки й уточнити межі застосування методики, провести дослідження ламп (нових для українського ринку виробників) із метою інформування споживачів про їх якість.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гранда К. Компактные люминесцентные лампы в США – обзор рынка и технического уровня [Текст] / К. Гранда // Светотехника. – 2009. – № 6. – С. 49–58.
2. Кожушко Г. Дослідження параметрів і характеристик компактних люмінесцентних ламп та світлодіодних ламп для прямої заміни ламп розжарювання [Текст] / Г. Кожушко, Ю. Басова, В. Сорокін // Світлолюкс. – 2013. – № 1. – С. 30–36.
3. Бодарт М. Характеристика компактных люминесцентных ламп со встроенными пускорегулирующими аппаратами и их сравнение с лампами накаливания [Текст] / М. Бодарт, А. Денейер, А. Кеппенс // Светотехника. – 2010. – № 2. – С. 13–21.
4. Басова Ю. О. Дослідження світлотехнічних параметрів та надійності компактних люмінесцентних ламп різних торговельних марок [Текст] / Ю. О. Басова, Г. М. Кожушко // Товарознавчий вісник. – 2009. – № 1. – С. 22–32.
5. Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps [Electronic resource]: COMMISSION REGULATION (EC) № 244/2009 of 18 March 2009 // Official Journal of the European Union. – 24.03.2009. – L 76/3. – Available at: \www/URL: <http://gisee.ru/upload/244-2009.pdf>.
6. Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for directional

- lamps, light emitting diode lamps and related equipment [Electronic resource]: COMMISSION REGULATION (EC) № 1194/2012 of 12 December 2012 // Official Journal of the European Union. – 14.12.2012. – L 342/1. – Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32012R1194>.
7. Гюлер Ё. Исследование компактных люминесцентных ламп с учетом мнений потребителей [Текст] / Ё. Гюлер, Е. Еркин, С. Онайгил // Светотехника. – 2008. – № 3. – С. 40–43.
 8. Прамод Б. Срок службы ламп и его прогнозирование при автоматизированном управлении освещением зданий [Текст] / Бусэл Прамод // Светотехника. – 2008. – № 1. – С. 53–55.
 9. Федюкина Г. В. Международные рекомендации по эксплуатации осветительных установок внутреннего освещения. Новости светотехники : Выпуск 1 (43) / Г. В. Федюкина; под ред. Ю. Б. Айзенберга. – Москва : Дом Света, 2006. – 25 с.
 10. Лампи люмінесцентні одноцокольні. Вимоги до робочих характеристик : ДСТУ ІЕС 60901:2001 / [Чинний від 2004-07-01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2004. – IV, 193 с. – (Національний стандарт України).
 11. Методические указания. Надежность в технике. Ускоренные испытания. Основные положения [Электронный ресурс] : [РД50–424–83](датазвернення:1985-01-01). – Режим доступу: <http://docs.cntd.ru/document/1200067031>. – Назва з екрана.
 12. Левин С. И. Статистические методы контроля и анализа качества источников света / С. И. Левин. – Москва : Издательство комитета стандартов, мер и измерительных приборов, 1968. – 161 с.
 13. Кожушко Г. М. Оцінювання середньої тривалості горіння КЛЛ за відмовами на ранніх стадіях випробувань [Текст] / Г. М. Кожушко, Ю. О. Басова С. Г. Кислиця // Світлотехніка та електроенергетика. – 2013. – № 2. – С. 23–28.
 14. Рохлин Н. Г. Разрядные источники света [Текст] / Н. Г. Рохлин – Москва : Энергоиздат, 1991. – 720 с.
 15. Варфоломеев Л. П. Электронные пускорегулирующие аппараты и системы управления освещением. Новости светотехники : Выпуск 1 (36). / Л. П. Варфоломеев; под ред. Ю. Б. Айзенберга. – Москва : Дом Света, 2002. – 13 с.
 16. Влияние пускового режима на срок службы электродов мощных амальгамных ламп низкого давления [Текст] / Васильев А. И., Василяк Л. М., Костюченко С. С. и др. // Светотехника. – 2009. – № 4. – С. 4–9.
 17. Басова Ю. О. Дослідження ресурсних характеристик компактных люминесцентных ламп при форсованих режимах випробувань [Текст] / Ю. О. Басова, Г. М. Кожушко, С. Г. Кислиця // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2014. – № 6/1 (20). – С. 12–16.

REFERENCES

1. Granda, K. (2009) Kompaktnyie lyuminescentnyie lampy v SShA – obzor ryinka i tehniceskogo urovnya. *Svetotekhnika*, 6, 49–58.
2. Basova, Yu. O., Kozhushko, H. M. (2009). Doslidzhennia svitlotekhnichnykh parametriv ta nadiinosti kompaktnykh liuminescentnykh lamp riznykh torhovelnykh marok. *Tovarovnavchyi visnyk*, 1, 22–32.
3. Bodart, M., Deneyer, A., Keppens, A. i [dr.]. (2010). Charakteristika kompaktnyih lyuminescentnyih lamp so vstroennyimi puskoreguliruyuschimi apparatami i ih sravnenie s lampami nakalivaniya. *Svetotekhnika*, 2, 13–21.
4. Kozhushko, H., Basova, Yu., Sorokin, V., Rybalochka, A. (2013). Doslidzhennia parametriv i kharakterystyk kompaktnykh liuminescentnykh lamp ta svitlodiodnykh lamp

- dlia priamoi zaminy lamp rozzhariuvannia. *Svitloliuks*, 1, 30–36.
5. Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps. *COMMISSION REGULATION (EC) No 244/2009 of 18 March 2009*. Available: <http://gisee.ru/upload/244-2009.pdf>.
 6. Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for directional lamps, light emitting diode lamps and related equipment. *COMMISSION REGULATION (EC) № 1194/2012 of 12 December 2012*. Available: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32012R1194>.
 7. Gyuler, Yo., Erkin, E., Onaygil, S. (2008). Issledovanie kompaktnykh lyuminestsentnykh lamp s uchetom mneniy potrebiteley. *Svetotekhnika*, 3, 40–43.
 8. Pramod, B. (2008) Srok sluzhby lamp y eho prohnozyrovanye pry avtomatyzyrovannom upravlenyy osveshchenyem zdanyy. *Svetotekhnika*, 1, 53–55.
 9. Fedyukyna, H. V. pod red. Yu. B. Ayzemberha (2006). Mezhdunarodnye rekomendatsyy po ekspluatatsyy osvetytel'nykh ustanovok vnutrenneho osveshchenyya. *Novosti svetotekhniky*. m.: Dom Sveta. 1 (43). 25.
 10. Lampy lyuminestsentni odnotsokol'ni. Vymohy do robochykh kharakterystyk: DSTU IES 60901:2001/[*Chynnyy vid 2004-07-01*]. – Kiev: *Derzhspozhyvstandart* Ukrayiny, 2004. – IV, 193.
 11. RD 50–424–83 Metodicheskiye ukazaeniye. Nadezhnost' v tekhnike. Uskorennyye uspytaniyya. Osnovnyye polozeniyya. *Data vvedenyaya 1985-01-01* Available: <http://docs.cntd.ru/document/1200067031>.
 12. Levyn, S. Y.(1968) *Statysticheskiye metody kontrolya y analiza kachestva ystochnykov sveta*. M. : Yzdatel'stvo komyteta standartov, mer y yzmytel'nykh pryborov, 161.
 13. Kozhushko, H. M., Basova, Yu. O., Kyslytsya S. H. (2013) Otsinyuvannya seredn'oyi tryvalosti horinnya KLL za vidmovamy na rannikh stadiyakh vyprobuvan'. *Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka*. 2, 23–28.
 14. Rokhlyn, N. H. (1991). *Rozriadye ystochnyky sveta*. Moskva : Enerhoizdat, 72.
 15. Vasylyev, A. Y., Vasylyak L. M., Kostyuchenko S. S., Kudryavtsev N. N., Sokolov D. V., Startsev A. Yu. (2009). Vlyyanye puskovoho rezhyma na srok sluzhby elektrodov mozhnykh amal'hamnykh lamp nyz'koho davlenyya. *Svetotekhnika*, 4, 4–9.
 16. Varfolomeev, L. P. pod red. Yu. B., Ayzemberha. (2002) Elektronnyye puskorehulyruyushchyye apparat y systemy upravlenyya osveshchenyem. *Novosti svetotekhniky*. m.: Dom Sveta, 1 (36). 13.
 17. Kozhushko, H. M., Basova, Yu. O., Kyslytsya S.H. (2014) Doslidzhennyya resursnykh kharakterystyk kompaktnykh lyuminestsentnykh lamp pry forsovanykh rezhymakh vyprobuvan'. *Tekhnolohichnyy audyt ta rezervy vyrobnytstva*. 6/1 (20). 12–16.

Г. М. Кожушко, доктор технических наук, профессор; **Ю. А. Басова**, кандидат технических наук, доцент; **Л. Н. Губа**, кандидат технических наук, доцент (Высшее учебное заведение Укоопсоюза «Полтавский университет экономики и торговли»); **С. Г. Кислиця**, кандидат технических наук, доцент (Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка). **Прогнозирование срока службы компактных люминесцентных ламп по результатам их испытаний в режиме частых включений.**

Аннотация. Целью данной работы является разработка методики ускоренной оценки средней продолжительности горения ламп в форсированном режиме на основе определения среднего количества включений и оценка средней продолжительности горения КЛЛ различных производителей. **Методика исследования.** Для ускоренной оценки ресурсных характеристик компактных люминесцентных ламп (КЛЛ) рассматривалась модель функ-

ціонирования ламп в режимах частых включений, так как их продолжительность горения определяется, главным образом, скоростью расходования эмиссионного материала катодов, которая наиболее интенсивно проявляется при включении ламп. **Результаты.** Для сокращения срока испытания при оценке среднего ресурса включений ламп применялись статистические методы ранней оценки распределения частоты отказов с использованием графического метода в координатах «количество включений – вероятность отказов». С использованием предложенной методики проведены испытания шести партий КЛЛ на средний ресурс включения и сделан прогноз относительно среднего срока службы ламп при их обычном функционировании. **Выводы.** Показано, что в пяти исследованных партиях средний срок службы является не ниже, чем задекларированный производителями. Рассмотрены направления продолжения данных исследований.

Ключевые слова: компактная люминесцентная лампа, уровень качества, комплексный показатель качества

G. Kozhushko, Doctor of Technical Sciences, Professor; **Y. Basova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; **L. Guba**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (Poltava University of Economics and Trade); **S. Kyslytsia**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University). **Forecasting of compact fluorescent lamps lifetime on the results of their test mode of frequent switching on.**

Purpose. The work shows the possibility of estimation the average lifetime of compact fluorescent lamps based on the average resource of turning on lamps to failure. **Methods.** For accelerated evaluation of resource characteristics CFLs was considered a model of lamps in modes of frequent inclusions, as the duration of combustion is determined mainly by the speed of spending emission cathode material, which is most intense when the lamps are turned on. **Results.** To shorten the test term when assessing the average resource of lamps switching on statistical methods of early assessment of the distribution failure rate were applied by using graphical method coordinates “the number of inclusions – the probability of failures”. In these coordinates the probability of failure rate (for normal distribution) looks like a straight line, which allows to determine the average value of inclusions at the unfinished lamps tests by means of small number of experimental points of starting area. Using the proposed method six parties of CFLs were tested on the average resource of switching on and a forecast was made about the average lifetime of lamps in their normal functioning. **Conclusions.** It is shown that in five parties investigation the average lifetime is not lower than that declared by producers. Continuation directions of these studies are considered.

Keywords: compact fluorescent lamp, the level of quality, a comprehensive indicator of quality.

Надійшло 20.08.2016

Надійшло в переробленому вигляді 20.09.2016

Прийнято 25.09.2016