

Показано, що за результатами відмов 3-5 ламп на ранній стадії випробування можна з достатньою для практики точністю оцінювати середню тривалість горіння КЛЛ. При розрахунках зроблено припущення про нормальний закон розподілу тривалості горіння окремих ламп.

УДК 621.327.534.15

Г. М. Кожушко, докт. техн. наук,
О. Ю. Басова

*Вищий навчальний заклад
Укоопспілки «Полтавський
університет економіки і торгівлі»*

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

ОЦІНЮВАННЯ СЕРЕДНЬОЇ ТРИВАЛОСТІ ГОРІННЯ КЛЛ ЗА ВІДМОВАМИ НА РАННІХ СТАДІЯХ ВИПРОБУВАНЬ

Однією із важливих проблем, яка стримує широке використання компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ) в житловому секторі є недостатня інформація окремих виробників про реальні показники якості, особливо про надійність та строк служби КЛЛ [1, 2]. Більшість виробників декларують середню тривалість горіння КЛЛ більше 10 тис. годин, а в реальних умовах часто цей показник в кілька разів менший, що викликає недовіру у споживачів. Тому актуальною проблемою для створення бар'єрів наповнення ринку неякісною продукцією є дослідження якості КЛЛ, інформування споживачів про реальні характеристики ламп та державний ринковий нагляд.

Щоб перевірити тривалість горіння КЛЛ традиційними методами необхідно кілька років, тому актуальною задачею сьогодні є використання прискорених методик, зокрема методик, які базуються на математичній статистиці.

Метою даної роботи було визначення середньої тривалості горіння КЛЛ за результатами відмові на ранніх стадіях випробувань та оцінювання можливості використання цієї прискореної методики для тестування КЛЛ з приєднаними електронними пристроями живлення.

Під надійністю джерел світла розуміють їхню властивість зберігати світловий потік протягом заданого часу у встановлених межах за певних умов експлуатації. Кількісно надійність визначається декількома імовірнісними показниками. Найбільш тісно надійність пов'язана з довговічністю, тому доцільно розглядати показники надійності й довговічності спільно, тим більше, що контроль цих показників завжди суміщають.

При фіксованих умовах випробувань вичерпною характеристикою надійності й довговічності партії однотипних джерел світла є розподіл напрацювання – тривалості горіння окремих ламп, що при цих умовах - випадкова величина. Знаючи розподіл тривалості горіння або густини цього розподілу, можна виразити через неї всі показники надійності й довговічності.

Основними кількісними показниками надійності є імовірність безвідмовної роботи, частота відмов і інтенсивність відмов [3]. Основною характеристикою довговічності є середня тривалість горіння

Іноді замість середнього арифметичного для оцінки середньої тривалості горіння застосовують тривалість горіння «середньої лампи», тобто медіану вибіркового розподілу. При цьому помилка збільшується, і для досягнення тієї ж точності обсяг вибірки повинен бути збільшений [4, 5].

Показники довговічності й надійності ламп можуть бути легко обчислені, якщо відомі характер розподілу тривалості горіння ламп і його параметри [6]. Параметри розподілу визначають на підставі випробувань вибірки обмеженого, найчастіше, невеликого обсягу. Довірчі інтервали для параметрів розподілу будуть тим ширше, чим менше кількість інформації бути використано при їхньому визначенні. Таким чином, при визначенні параметрів розподілу відмов за даними незавершених випробувань довірчі інтервали звужуються як при збільшенні числа ламп n , поставлених на випробування, так і при збільшенні числа відмов d за час випробувань. Зі збільшенням числа відмов збільшується обсяг інформації про тривалість горіння окремих ламп, і в міру завершення випробувань довірчі інтервали параметрів розподілу повинні звужуватися, наближаючись до межі, обумовленої тільки числом випробовуваних ламп.

На практиці випробування на тривалість горіння ніколи не проводяться до повного завершення, а припиняються після заздалегідь установленого часу. Лампи, що догоріли до кінця випробувань, умовно вважаються такими, тривалість горіння яких рівна тривалості випробувань. Нерідко всі або майже всі лампи догорають до закінчення випробувань. По протоколах таких випробувань можна лише зробити висновок, що середня тривалість горіння ламп перевищує тривалість випробувань. Цього досить, щоб довести, що лампи відповідають технічним вимогам. Але для дослідження стабільності якості ламп (характеристик довговічності) необхідні більше точні дані про дійсні значення параметрів розподілу. Найпростіший шлях до цього – продовження випробувань до повного перегорання всіх ламп (або переважної більшості з них) - не завжди прийнятний через обмежені можливості в часі або з економічних міркувань. Застосування статистичних методів ранньої оцінки параметрів розподілу в цих випадках дозволяє зробити потрібні висновки, щоправда, із меншою точністю, ніж при закінчених випробуваннях.

Метод ранньої оцінки параметрів розподілу тривалості горіння окремих ламп може бути застосований, якщо відомо вид розподілу. Для джерел світла найбільш правдоподібним є припущення про нормальний розподіл. Численні експерименти показують, що у всіх випадках спостерігається цілком достатня для практичного застосування близькість спостережуваного розподілу до нормального [6].

Однак іноді виникають сумніви в тім, що окремі значення належать до того ж розподілу, що й вся вибірка. Це відноситься головним чином до перших відмов, причиною яких можуть бути технологічні дефекти, що різко знижують тривалість горіння ламп. Виділення таких ламп - досить складне завдання, особливо й умовах незавершених випробувань, коли параметри основного розподілу не визначені.

Єдина цілком надійна підстава для неприйняття окремих значень тривалості горіння може дати вивчення умов і причин виходу лампи з ладу. Якщо виявлено, що лампа вийшла з ладу через дефект технологічного характеру, наприклад, відхилення електричних і світлових характеристик або випадкового відхилення умов випробувань від норми, то такий результат повинен бути виключений з розгляду незалежно від його величини.

Для кожного із проміжків часу t_i протягом якого вийшло з ладу d ламп і ймовірність відмови становила Q_i можна за таблицями нормального розподілу знайти квантиль u_{Q_i} , що відповідає цій частці

$$u_{Q_i} = \frac{t_i - T}{\sigma} \quad (1)$$

де u_{Q_i} - квантиль нормального розподілу;

t_i - час від початку випробувань, за який ймовірність відмови становить Q_i , а число відмов — d_i ;

T - середня тривалість горіння;

σ - середнє квадратичне відхилення тривалості горіння.

На підставі формули (1) можна скласти систему вихідних рівнянь, використовуючи тривалість горіння кожної з ламп, що вийшли з ладу:

$$t_i = T + \sigma u_{Q_i}; i = 1, 2, 3 \dots n \quad (2)$$

Рішення системи (2) методом найменших квадратів (що згладжує випадкові коливання тривалості горіння, які викликані випадками при відборі зразків для випробувань) полягає в складанні по вихідних рівняннях системи двох нормальних рівнянь:

$$mT + \sigma \sum_{i=1}^m u_{Q_i} = \sum_{i=1}^m t_i \quad (3)$$

$$T \sum_{i=1}^m u_{Q_i} + \sigma \sum_{i=1}^m u_{Q_i}^2 = \sum_{i=1}^m t_i u_{Q_i} \quad (4)$$

Рівняння (3) виходить при додаванні всіх вихідних рівнянь, рівняння (4) – при додаванні вихідних рівнянь, обидві частини кожного з яких попередньо помножені на коефіцієнт при σ .

Вирішуючи спільно рівняння (3) і (4), одержимо

$$T = \frac{\sum t_i \sum u_{Q_i} - \sum u_{Q_i} \sum t_i u_{Q_i}}{m \sum u_{Q_i}^2 - (\sum u_{Q_i})^2} \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{\sum t_i - T}{\sum u_{Q_i}} \quad (6)$$

Застосування методу ранньої оцінки дозволяє з достатньою для практики точністю визначити середні тривалості горіння джерел світла, причому оцінки параметрів розподілу можуть послідовно уточнюватися в процесі випробувань.

Наочне уявлення про характер розподілу дає графік накопичених частот відмов, виконаний в імовірнісному масштабі. Принцип побудови імовірнісного масштабу аналогічний принципу побудови логарифмічної шкали; по осі (ординат у нашому випадку) відкладають квантілі нормального розподілу й надписують відповідні їм частоти. У цих координатах крива накопичених частот відмов звертається в пряму, що перетинає ординату 0,5 при T , і ординату 0,841 при $T + \sigma$, звідки легко визначити обидва ці параметра розподілу. Крім того, пряму легко провести за експериментальними даними навіть при невеликому їхньому числі па початковій ділянці.

Щоб теоретична пряма на графіку ймовірності відмов щонайкраще узгоджувалась із експериментальними даними, доцільно скористатися методом найменших квадратів. По цьому методі 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 невеликим числом точок початкової ділянки, отриманих у результаті незавершених випробувань. У цьому є найпростіша методика ранньої оцінки параметрів розподілу [6].

Перевірку гіпотези про можливість використання методики прискореної оцінки середньої тривалості горіння за результатами відмов на ранніх стадіях випробування (при кількох відмовах) проводили на лампах потужністю 20 Вт торговельної марки «Люмакс», які виготовлені за ТУ У 31.5-32745197-004:2005.

Вибірка із партії складала 20 шт., випробування проводились відповідно з вимогами ТУ У 31.5-32745197-004:2005 [7] при номінальній напрузі живлення 220 В в режимі : 8 годин горіння, 10 хв. – перерва між циклами горіння.

Результати випробувань до виходу із ладу 50 % ламп наведені в табл. 1. Вихідні дані для оцінювання T та σ за результатами виходу з ладу 3-х, 5-ти та 10-ти ламп наведені у таблиці 2. Розраховані за формулами (5) і (6) оціночні значення T та σ для різних стадій випробувань (після виходу із ладу 3-х, 5-ти та 10-ти ламп) наведені в табл. 3

Таблиця 1

Тривалість горіння окремих ламп в 8-ми годинному режимі випробувань

Порядковий номер відмов	Тривалість горіння i -ї лампи до відмови	Порядковий номер відмов	Тривалість горіння i -ї лампи до відмови
1	6080	6	11902
2	9105	7	12231
3	9292	8	13810
4	10101	9	14496
5	11497	10	15548

Графік накопичення частот за даними табл. 1 наведений на рис. 1.

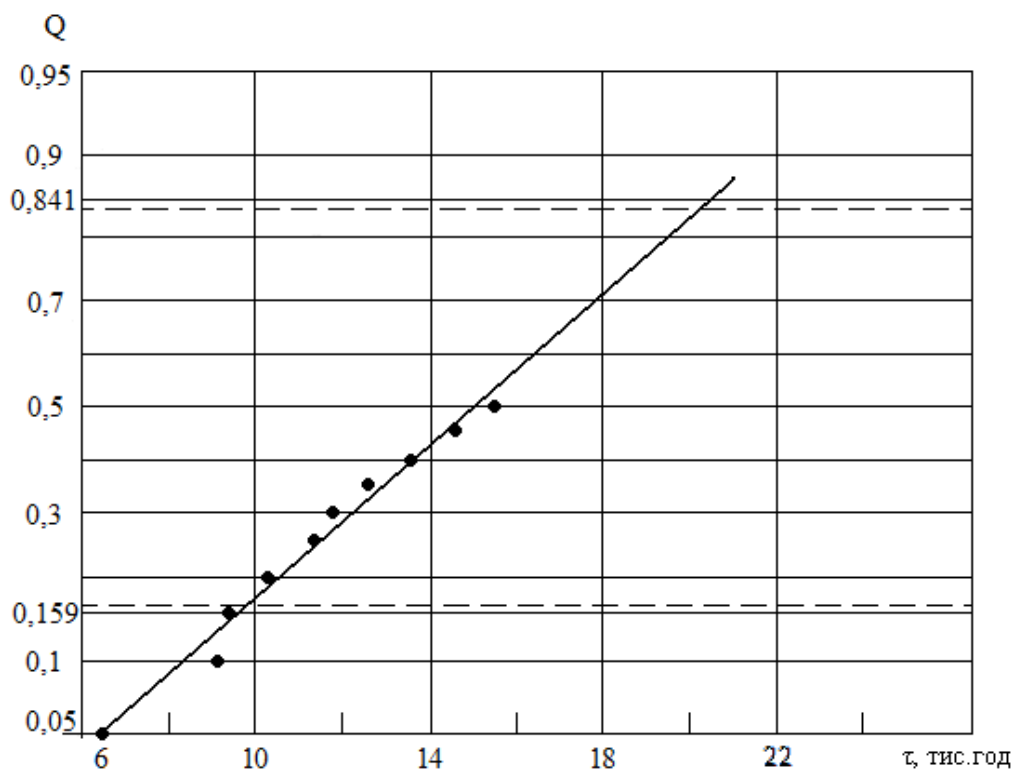


Рис. 1 – Графік накопичення частот відмов КЛЛ за даними табл. 1 і проведена за експериментальними даними функція розподілу

Таблиця 2
Вихідні дані для розрахунку T і σ за результатами відмов 3, 5 та 10 ламп при 8-ми годинному режимі випробувань

t_i	d_i	Q_i	u_{Q_i}	$t_i u_{Q_i}$
6080	1	0,05	-1,65	-10032
9105	2	0,1	-1,28	-11654,4
9292	3	0,15	-1,04	-9663,68
10101	4	0,2	-0,85	-8585,85
11497	5	0,25	-0,67	-7702,99
11902	6	0,3	-0,52	-6189,04
12231	7	0,35	-0,39	-4770,09
13810	8	0,4	-0,25	-3452,5
14496	9	0,45	-0,12	-1739,52
15548	10	0,5	0	0
Σ (3 лампи) - 21452			Σ (3 лампи) - 3,97	Σ (3 лампи) - 31350,1
Σ (5 ламп) - 46075			Σ (5 ламп) - 5,49	Σ (5 ламп) - 47638,92
Σ (10 ламп) - 114062			Σ (10 ламп) - 6,77	Σ (10 ламп) - 63790,07

Таблиця 3
Порівняння T і σ розрахованих за результатами виходу із ладу 3, 5 та 10 відмов при різних режимах роботи КЛЛ

	Середня тривалість горіння (T)	Середньо квадратичне відхилення тривалості горіння (σ)
3 лампи	15454	5512
5 ламп	14746	5038
10 ламп	14999	5308

Із отриманих результатів видно, що середня тривалість горіння (T) та середнє квадратичне відхилення (σ) за результатами розрахунків при відмовах 3-х та 5-ти ламп відрізняються від результатів при відмовах 10-ти ламп, не більше, ніж на 5 %. Безумовно, це обнадійливий результат, але його можна вважати як попередній. Для остаточних висновків щодо точності методики потрібно провести повторні дослідження на інших партіях КЛЛ.

Для оцінювання середньої тривалості та середньоквадратичного відхилення графічним методом нами (за даними табл. 2) побудований в ймовірнісному масштабі графік накопичення частот відмов (див. рис. 1). Користуючись цим графіком величину T можна приблизно оцінити в 15000 год, а σ – 5000 год. Ці дані досить добре погоджуються із розрахунковими (табл. 3).

На основі отриманих результатів можна зробити попередній висновок, що за даною методикою можна оцінювати середній строк служби ламп уже після виходу з ладу 4-5 ламп (при випробуваннях не менше 20 ламп як це рекомендовано [9]). Методика дозволяє скоротити випробування не менше як в 2 рази.

Висновки.

1. Застосування методики ранньої оцінки дозволяє з достатньою для практики точністю оцінити середню тривалість горіння КЛЛ. При обсязі вибірки 20 ламп середня тривалість горіння може бути оцінена за часом відмов 4-5 ламп.
2. Для дослідженої партії ламп різниця оцінок за відмовою 3-ї та 10-ї ламп не перевищує 5 %, але остаточні висновки щодо точності методики можна зробити при отриманні статистики, принаймні, на кількох партіях ламп.
3. Методика ранньої оцінки середньої тривалості горіння дозволить скоротити випробування не менше як в 2 рази і суттєво знизити витрати на ці випробування

Список літератури

1. Басова Ю.О. Дослідження світлотехнічних параметрів та надійності компактних люмінесцентних ламп різних торговельних марок / Ю.О. Басова, Г.М. Кожушко // Товарознавчий вісник : зб. Наук. Праць Луцького нац. Техн. ун-ту. – Луцьк, ЛНТУ, 2009. – С. 22-32
2. Кожушко Г. Дослідження надійності компактних люмінесцентних ламп / Г. Кожушко, Ю. Басова, А. Семенов // Збірник наукових праць викладачів, аспірантів, магістрантів і студентів фізико-математичного факультету. – Полтава : ТОВ „АСМГ”, 2011. – С. 146-148
3. Надійність техніки. Експериментальне оцінювання. Контроль надійності. Основні положення : ДСТУ 2864-94 / [Чинний від 01.01. 97]. – К. : Держстандарт України, 1997. – III, 35 с. – (Державний стандарт України).
4. Справочник по надежности : в 3-х томах / Под. ред. Б. Е. Бердичевского ; Том 2. – М. : «Мир», 1970. – 304 с.
5. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний : Справочник / М.Н. Степнов – М. : Машиностроение, 1985. – 232 с.
6. Левин С.И. Статистические методы контроля и анализа качества источников света // С.И. Левин. – М. : Издательство комитета стандартов мер и измерительных приборов, 1968. – 161 с.
7. Лампи люмінесцентні одноцокольні. Вимоги до робочих характеристик : ДСТУ ІЕС 60901:2001 / [Чинний від 2004-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – IV, 193 с. – (Національний стандарт України).
8. ТУ У 31.5-32745197-004 : 2005 Лампи компактні люмінесцентні КЛБ. Технічні умови. – Рівне, Рівнестандартметрологія, 2005. – 19 с. (Технічні умови)
9. Требования к экологической конструкции бытовых ламп с ненаправленным светозлучением – With regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps [Электронный ресурс] : [Директива : утврж. Европарлам. и Советом 18 марта. 2009 г. № 2005/32/ЕС]. – Режим доступа к журн. : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:076:0003:0016:en:PDF>

ОЦЕНКА СРЕДНЕЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ГОРЕНИЯ КЛЛ ПО ОТКАЗАМ НА
РАННИХ СТАДИЯХ ИСПЫТАНИЙ

Г. М. Кожушко, Ю. А. Басова, С. Г. Кислица

Показано, что по результатам отказов 3-5 ламп на начальной стадии испытания можно с достаточной для практики точностью оценивать среднюю продолжительность горения КЛЛ. При расчетах сделано предположение о нормальном законе распределения продолжительности горения отдельных ламп.

THE ESTIMATED AVERAGE DURATION OF BURNING OF THE COMPACT
FLUORESCENT LAMPS FOR FAILURES IN THE EARLY STAGES OF TESTING

G. Kozhushko, Y. Basova, S. Kislica

It is shown, that according to the results of failures 3-5 lamps at the initial stage of the test is with accuracy sufficient for practice to assess the average duration of burning fluorescent lamps for failures. In the calculations done by the assumption of normal distribution law duration of burning of individual lamps.