

Запропоновано методика  
періодичного контролю сили світла в  
основному промені наземних вогнів  
ЗПС.

УДК 656.71.057:629.735.(045)

**В. І. Степура**, канд. техн. наук  
Національний авіаційний університет.  
Інститут електроніки і систем  
управління

## ПЕРІОДИЧНИЙ КОНТРОЛЬ СИЛИ СВІТЛА БІЧНИХ ВОГНІВ ШЗПС

**Вступ.** Увесь період експлуатації, світлотехнічне обладнання аеродрому перебуває під шкідливим впливом факторів зовнішнього середовища. Досвід експлуатації світлосигнального обладнання аеродромів вказує, що підтримка працездатного стану вогнів системи в повному обсязі вимог стандарту [1] не може бути забезпечений тільки одним оглядом і виконанням регламентних робіт. Такий спосіб обслуговування, у найкращому разі, дозволяє виявити лампи, що відмовили, сильні відхилення від необхідного положення і механічні пошкодження вогнів. обов'язкові періодичні вимірювання світлотехнічних параметрів вогнів, які необхідно виконувати для заглиблених вогнів ЗПС не рідше два рази на рік і не рідше одного разу на рік для інших вогнів.

**Аналіз досліджень і публікацій** [1-3,5] присвячених розв'язку проблеми періодичного контролю світлотехнічних характеристик аеродромних вогнів під час експлуатації вказує на незадовільність її вирішення. Винятком не може вважатися опис штатного мобільного комплексу для контролю світлотехнічних параметрів вогнів ЗПС лише заглибленого типу наведений у [2]. Комплекс забезпечує запис і побудову діаграми рівної освітленості, контроль спрямованості й кольору променів кожного вогню. Контроль вогнів наземного типу рекомендовано здійснювати в умовах спеціалізованої лабораторії за допомогою стандартних гоніофотометричних методів при номінальних електричних параметрах живлення джерел світла, за дистанції вимірювання не меншій за 20 м [2]. Середня сила світла визначаються за результатами вимірювань просторового розподілу сили світла з кроком  $0,5^\circ$ , як середнє арифметичне за кількістю точок вимірювань  $n$  охоплених у просторі межами основного променя:

$$I_{\text{сеп}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(\alpha, \beta) = \frac{l^2}{n} \sum_{i=1}^n E(\alpha, \beta),$$

де  $n$  – кількість точок вимірювань;  $I(\alpha, \beta)$  – сила світла в у напрямку точки простору з кутовими координатами у горизонтальній площині  $\alpha$  і вертикальній –  $\beta$ , кд;  $E(\alpha, \beta)$  – освітленість створювана досліджуванним вогнем на відстані  $l$  у напрямку  $\alpha, \beta$ .

Метод технічного діагностування систем аеродромних світлосигнальних вогнів у процесі експлуатації описаний у [3] знайшов своє застосування лише при проведенні НДР пов'язаних з подовженням терміну служби світлотехнічного обладнання, вимірюванням середньої сили світла підсистеми бічних вогнів ЗПС для визначення дальності видимості на ЗПС (RVR).

**Постановка задачі.** Вимоги безпеки польотів ставлять перед системою профілактичного технічного обслуговування світлосигнальної системи аеродрому завдання, яке полягає в тому, щоб у будь-який час виконання польотів був працездатний певний, нормований у [1] відсоток вогнів у кожній з підсистем. Для забезпечення згаданого необхідно, щоб експлуатуючі служби мали відповідне не складне вимірювальне обладнання й відповідну методику розраховану на середній рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу.

**Результати роботи.** Узагальнений досвід проведення польових робіт окреслив ряд конкретних задач які необхідно було розв'язати, а саме:

1. Методика повинна передбачити виконання вимірювання в денний час доби;
2. Методика повинна передбачити проведення вимірювання в безпосередній близькості від вогнів;
3. Вимірювання повинні виконуватися параметрах електроживлення джерел світла нижчих за номінальні, бо фотоприймач повинен працювати в режимах лінійної ділянки люкс-амперної характеристики, а також щоб уникнути ефекту інфрачервоного гасіння фотоструму і теплового пошкодження самого детектора.

Задоволення пунктів 2 та 3 було виконано наступним чином. Перш за все маємо зауважити, що сучасні бічні вогні ЗПС – це універсальні лінзові вогні, із зовнішнім діаметром оптичної системи, що не перевищує 15-16 см. Просторові параметри основного променя бічного вогню ЗПС такі, що його перетин площиною перпендикулярною до світлооптичної осі має вигляд еліпсу з величинами півосей, що не перевищують  $6,5^0$  та  $3,5^0$ . На відстані рівній відстані від джерела до зовнішньої стінки діоптра максимальний розмір перетину основного променя не перевищує 5- 6 см. Виходячи з визначень сили світла  $I$ , освітленості  $E$ , як просторової й поверхневої густини світлового потоку відповідно, а також тілесного кута  $\Omega$  можемо записати:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}, \quad E = \frac{d\Phi}{ds}, \quad d\Omega,$$

де  $l$  - дистанція фотометрування,

З відси матимемо:

$$d\Omega = \frac{d\Phi}{El^2}$$

і, відповідно, отримаємо відомий вираз справедливий і для середнього значення сили світла в деякому просторі:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} = El^2$$

Проте, слід зауважити, що шукане середнє значення сили світла в основному промені вогню буде пропорційною фотоструму фотодетектора тільки за умови, якщо останній має фоточутливу площадку детектора близьку за розмірами зі слідом, який вирізає основний промінь у поперечній до світлооптичної осі вогню площині розташованій на відстані  $l$  від джерела світла. Зрозуміло, що весь світловий потік вогню, обмежений основним променем повинен попадати на фотодетектор.

Можливість згаданих вимірювань була підтверджена натурними випробуванням фотодетектора необхідного розміру зібраного на основі фотодіодів ФД-24К, вигляд якого зображено на рис. 1а. Принцип проведення вимірювання зрозумілий з рис. 1б.

Вимогу п 1, щодо часу проведення вимірювань, легко виконати застосуванням спеціального світлонепроникного рукава на зразок фотографічного, який надягається на вогонь перед вимірюваннями.

На практиці при проведенні натурно-польових світлотехнічних вимірюваннях, з метою визначення середньої сили світла світлосигнального вогню, зручно користуватися відносними методами вимірювання. Тобто визначати відносну зміну нормованої величини. Такий підхід дозволяю спростити процедуру метрологічного забезпечення вимірювань і звести його до звичайної повірки електровимірювального приладу і стандартних перевірок на втомлюваність фотоприймача й пропорційність системи фотоприймач – електровимірювальний прилад які виконуються за методиками наведеними в додатках до ГОСТ 17616-91.

У цьому випадку, при незмінній відстані фотометрування  $l$ , шукане значення середньої сили світла -  $I_x$  можна визначити порівнюючи освітленості фотодетектора від

нового вогню  $E_0$  взятого за взірець, з освітленістю створювану досліджуваним вогнем  $E_x$ , тобто:

$$I_x = I_0 \frac{E_x}{E_0},$$

де;  $I_0$  - середня сила світла в основному промені вогню, взятого за взірець;

Значення  $E_0$  можна визначити в умовах закритого приміщення (у лабораторних умовах), а значення  $E_x$  у польових, при тій же відстані фотометрування, яка визначається зовнішнім діаметром оптичної системи вогню і постійність якої забезпечується притисканням фотодетектора до діоптра.

Вимоги стосовно проведення вимірювань при параметрах електроживлення джерела світла нижчих за номінальні (зменшення світлового і теплового потоку випромінювання вогню) технічно легко реалізувати в польових умовах. Особливістю роботи світлосигнальної системи аеродрому є те, що при її функціонуванні передбачено ступінчасту зміну сили світла вогнів у послідовності 1, 3, 10, 30, 100 відсотків від номінального. Джерелами живлення кабельних ліній вогнів, по суті, є стабілізатори струму з точністю стабілізації, що не перевищує 1%. Робота ССА при номінальних режимах живлення джерел струму передбачена лише в складних метеоумовах.

Досвід проведення польових робіт а аеродромах показав, що оптимальними для проведення вимірювань є режими 10% і 30% сили світла. Але в цьому випадку виникає питання, а чи будуть зафіксовані зміни середньої сили світла, відносно вогню взятого за взірець, виміряні при режимах 10 і 30 відсотків від номінального, відповідати аналогічним змінам, зафіксованими при вимірюваннях у номінальних режимах? Відповідь на це питання важлива з огляду на те, що з точки зору безпеки польотів основним режимом роботи світлосигнальних вогнів є номінальний.

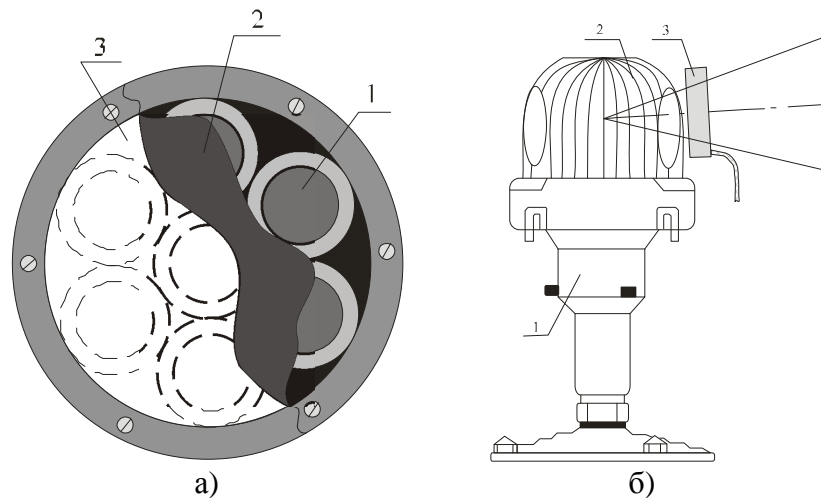


Рис. 1. а) - схема збірного фотодетектора: 1. – фотодіод, 2 – коригуючий світло-фільтр, 3 – світлорозсівне скло; б) – схема проведення вимірювання: 1 – бічний вогонь ЗПС, 2 – оптична система вогню, 3 – фотодетектор.

Експериментально така невідповідність відносних змін згаданих величин була виявлена, що цілком підтверджує вимоги [3, 4] стосовно проведення світлотехнічних вимірювань саме при номінальних режимах джерел світла.

Згадану проблему вдалося розв'язати наступним чином. Встановлено, що основною причиною відхилення значень середньої сили світла від номінальних у вогнях є відмінності світлотехнічних параметрів джерел світла, які бувають технологічними, пов'язаними з особливостями виробництва, і набутими під час експлуатації. Детально згадані причини розглянуто в [5,6]. Дослідженнями встановлено, що залежність

відносних змін світлового потоку авіаційних джерел світла від струму живлення можна з достовірністю апроксимації  $R^2 = 0,99999$  т апроксимувати поліномом третього порядку виду [3]:

$$\Phi_B = 0,01092I^3 - 0,12685I^2 + 0,50189I - 0,6709 \quad (1)$$

де  $\Phi_B = \Phi/\Phi_{\max}$  – відносна зміна світлового потоку джерела світла (світлотехнічного приладу);  $I$  – струм РЯ.

Графічно результати дослідження наведено на рис. 2.

Нехай точка А на рис. 1 відповідає джерелу світла з номінальним світловим потоком при параметрах живлення, що відповідає 30% від номінального. При переході в номінальний режим джерела світла, точка А займе положення точки В, пройшовши при цьому шлях на кривій рівний  $l_{AB}$ . Нехай джерело 2 при струмі рівному  $0,3I_n$  має світловий потік вищий за номінальний, що на діаграмі буде зображено точкою 2. Відповідно джерело 1 з меншим світловим потоком зображуватиметься точкою 1. Для того, щоб визначити світлові потоки джерел 1 і 2 при переході на номінальний режим живлення спочатку приведемо їх до джерела з стандартним світловим потоком. Тобто, щоб стандартне джерело А мало б світловий потік рівний джерелу 1, потрібно збільшити струм живлення на деяку величину. У цьому разі, джерело А займе положення  $A_2$ , а для джерела 1 матимемо, відповідно, точку  $A_1$ .

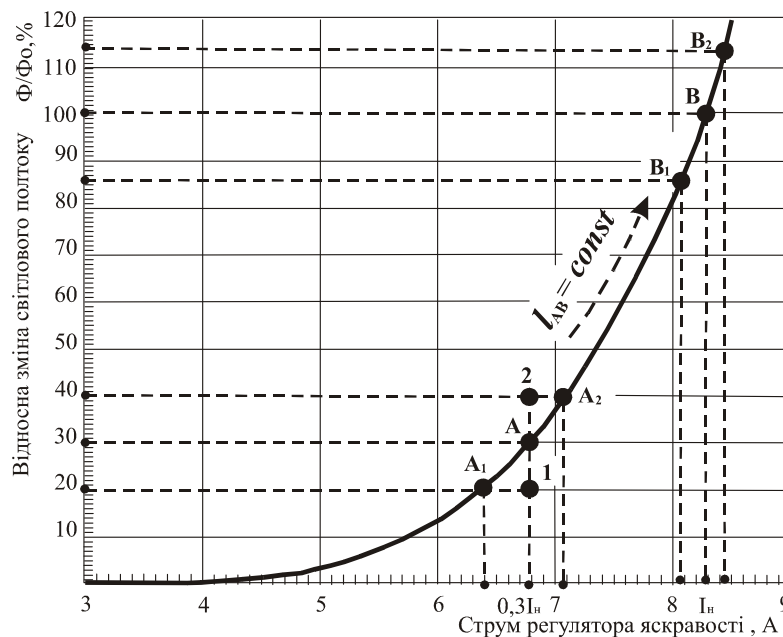


Рис. 2. Залежність світлового потоку авіаційного джерела світла від сили струму.

Виходячи з припущення, що при переході на номінальний режим живлення, точки  $A_1$ ,  $A_2$  рухаються по кривій, пройдуть той самий шлях, що і точка А, одержимо значення світлових потоків джерел 1 та 2 при номінальних режимах живлення. Тобто,  $l_{A_1B_1} = l_{A_2B_2} = l_{AB} = \text{const}$ . Це означає, що для чисельного знаходження нових світлових потоків необхідно визначити довжину кривої АВ.

Відомо, що якщо крива  $l$  – графік неперервно-диференційованої функції  $y=f(x)$  ( $x_0 \leq x \leq x_1$ ), то довжина цієї кривої обчислюється за виразом:

$$l = \int_{x_0}^{x_1} \sqrt{1 + \left[ \frac{d}{dx} f(x) \right]^2} dx \quad (2)$$

У якості функції  $f(x)$  виступає вираз (1), аргументом є значення струмів живлення джерел світла. Довжина кривої  $l_{AB}$  була визначена для режимів 10 і 30 відсотків світлового потоку від номінального для візрцевого джерела світла. Виходячи з того що

$I_{AiBi} = \text{const}$ , з виразу (2) методом підстановки були визначені аргументи  $x_2$  за відомими аргументами  $x_1$ , які визначалися приведенням досліджуваного джерела до взірцевого за допомогою виразу (1). Далі за цим же виразом визначалося нове значення світлового потоку при переході на номінальний режим живлення. За отриманими даними були побудовані графіки (рис. 3) які були апроксимовані степеневими функціями виду:

$$I_{\text{н}} = 2,66\epsilon \quad \text{та} \quad I_{\text{н}} = 2,04\epsilon$$

На рис. 4. Показані результати вимірювання сили світла бічних вогнів ЗПС на режимах 10 і 30 відсотків від номінального. Для зручності сприйняття дані були відсотковані в бік зменшення. Нижня крива - дані без корекції, середня – корекція виконана для режиму 30% від номінального, верхня суцільна – 10% від номінального.

Аналіз графіків вказаних на рис. 4 показує суттєву відмінність отриманих результатів. Проведена корекція звужує розкид даних від середнього значення, а це призвело до того, що ряд вогнів, які попередньо вважались такими, що відмовили (Відносний світловий потік менший за 50 відсотків від номінального) насправді є працездатними. Відповідно джерела світла не потребуватимуть заміни, що призведе до економії коштів. Зникли максимальні викиди світлового потоку, реальність існування яких сумнівна (джерела світла при таких режимах повинні негайно вийти з ладу).

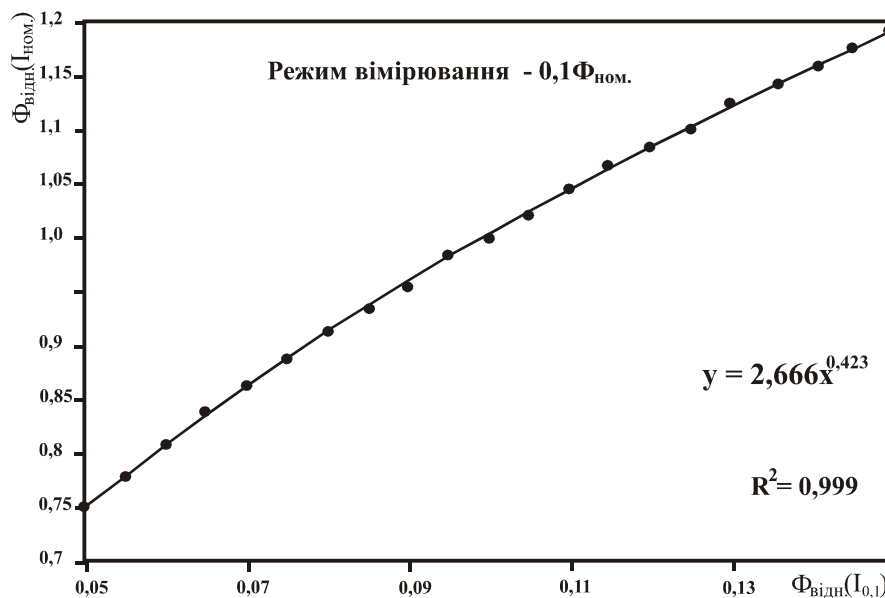


Рис. 3. Графік залежності відносних змін світлового потоку авіаційного джерела світла, що працює в номінальному режимі від відносних змін світлового потоку при режимах роботи 0,1 від номінального.

Вище згадані вимірювання рекомендовано виконувати при планових профілактичних оглядах світлосигнальної системи при підготовці її до весняно-літнього або осінньо-зимового сезону експлуатації. Тобто буде виконуватися вимога нормативних документів [1,2] стосовно періодичності контролю.

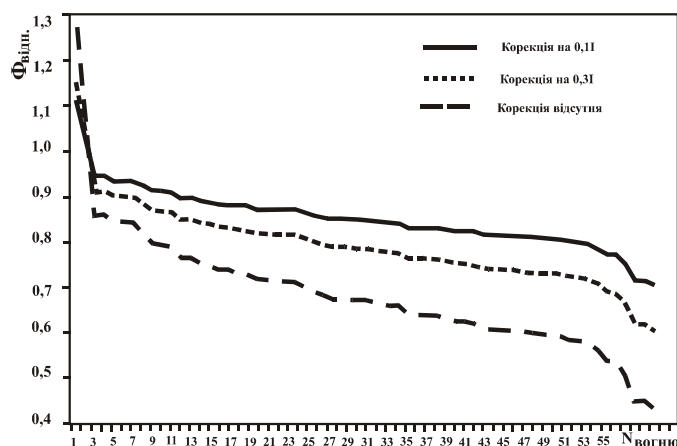


Рис. 4. Результати корекції значень виміряної сили світла бічних вогнів ЗПС. Нижня крива - дані без корекції, середня - корекція виконана для режиму 30% від номінального, верхня суцільна - 10% від номінального.

### Висновки

На аеродромах де не здійснюється контроль за світлотехнічними параметрами вогнів рекомендовано виконувати комбінований метод обслуговування вогнів, що передбачає крім візуального контролю вогнів і проведення коригувальних регулювань — масову заміну джерел світла, що пов'язане зі значними матеріальними витратами.

Впровадження описаного методу дозволить реалізувати періодичний контроль світлотехнічних параметрів вогнів ЗПС фахівцями експлуатуючих служб, що призведе до економії коштів на витратні матеріали (джерела світла) та безумовно, поліпшить безпеку польотів на аеродромах цивільної авіації.

### Список літератури

1. Аэродромы. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации: В 2 т. / 4-е изд., июль 2004. — Т. 1. Проектирование и эксплуатация аэродромов.
2. Руководство по проектированию аэродромов. Ч. 4. Визуальные средства. 4-е изд. — 2004. Doc.9157, AN/901.
3. Степура В. І. Технічне діагностування систем аеродромних світлосигнальних вогнів у процесі експлуатації: Дис. канд. техн. наук: спеціальність 05.09.07 — К., 2003. — 244 с
4. ГОСТ 17616-91 Лампы накаливания электрические. Методы измерения световых и электрических параметров.
5. Степура В. І. Вимірювання середньої сили світла підсистеми бокових та осьових вогнів ЗПС з метою визначення дальності їх видимості: Світлотехніка та електроенергетика. Міжнародний науково-технічний журнал. — Харків, 2005. - №5. с. 30-40.
6. Степура В. І. Дослідження технічного стану аеродрому після першого року експлуатації: Світлотехніка та електроенергетика. Міжнародний науково-технічний журнал. — Харків, 2007. - №2(10). с. 18-27.

### ПЕРИОДИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СИЛЫ СВЕТА БОКОВЫХ ОГНЕЙ

*В.И. Степура*

*Предложена методика периодического контроля силы света в основном луче огней ВПП.*

### THE PERIODIC MONITORING FORCE OF LIGHT OF SIDE FIRES

*V.I. Stepura*

*The methods of periodic light power control in main ray of runway lights are offered.*