

С.С. Дев'яткіна, Т.І. Яремич

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

КЕРУВАННЯ СИЛОЮ СВІТЛА АЕРОДРОМНИХ СВІТЛОСИГНАЛЬНИХ ВОГНІВ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Представлено результати аналізу можливості використання подвійного запасу по силі світла, який закладений в конструкцію аеродромних світлосигнальних вогнів. Проаналізовані вимоги національних та міжнародних нормативно-технічних документів щодо критерію відмови аеродромного вогню, та залежності дальності видимості на злітно-посадковій смузі від сили світла вогнів та інших факторів. На підставі проведеного аналізу обґрунтовується можливість керування силою світла аеродромних вогнів у залежності від терміну їх експлуатації. Обґрунтовуються переваги пропонованого підходу, що полягають у збільшенні терміну служби аеродромних світлосигнальних вогнів з металогалогенними джерелами світла, економії електричної енергії, зменшення ризиків на етапі візуального пілотування повітряного судна в складних та простих метеорологічних умовах вдень та вночі.

Ключові слова: світлосигнальна система аеродрому, керування силою світла вогнів, ризики на етапі візуального пілотування, критерій відмови аеродромного вогню.

Вступ

Постановка проблеми. Кожен політ повітряного судна (ПС) містить етап візуального пілотування, на якому просторове положення ПС відносно злітно-посадкової смуги (ЗПС) визначається пілотом візуально за допомогою наземних орієнтирів.

При заході на посадку, посадці та пробігу по ЗПС пілот встановлює візуальний контакт з наземними орієнтирами і не повинен його втрачати до зарулювання на стоянку і зупинки ПС. При зльоті ПС пілот зберігає візуальний контакт з наземними орієнтирами протягом всього часу до моменту відриву носового колеса від поверхні ЗПС. Можливість встановлення необхідного візуального контакту з наземними орієнтирами та його збереження є невід'ємною умовою для забезпечення прийнятного рівня ризиків щодо безпеки польотів в будь-яких метеорологічних умовах.

Наземними орієнтирами в складних метеорологічних умовах вдень, та незалежно від метеорологічних умов в сутінках і вночі є вогні світлосигнальної системи аеродрому. Аеродромні світлосигнальні вогні надають пілоту ПС візуальну інформацію, на підставі якої він визначає положення ПС в повітрі, орієнтується в напрямку і швидкості руху та оцінює можливість здійснення безпечної посадки або зльоту.

Аеродромні вогні створюють стандартизовану світлосигнальну картину, яка відповідає правилу "4C" (candela, configuration, color, coverage),

викладеному у стандартах і рекомендованій практиці Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO) [1, с. 1, 2].

Тобто світлосигнальна картина є збалансованою по силі світла вогнів, їх конфігурації, кольору та зони розповсюдження світлового потоку. Три з цих ключових критеріїв відповідають вимогам до світлотехнічних параметрів аеродромних вогнів.

Для практичної реалізації складової правила "4C" стосовно сили світла вогнів, в нормативно-технічних документах передбачена вимога щодо можливості її дискретного регулювання [1, с. 57]. Включення підсистем або груп вогнів, що позначають різні ділянки ЗПС на певний ступінь сили світла, дозволяє максимально адаптувати світлосигнальну картину під умови видимості, що склалися в певний момент доби. В рамках концепції керування ризиками на етапі візуального пілотування вкрай важливо запобігти труднощам при встановленні візуального контакту пілотом ПС через недостатню видимість вогнів або навпаки його засліпленню через їх надмірну яскравість. Зважаючи на коротку тривалість цього етапу (в залежності від фази польоту та типу операції від десятків секунд до кількох хвилин) своєчасне встановлення та зберігання "необхідного візуального контакту з орієнтирами" (required visual references) вважається вкрай важливим [2, с. 15].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Основні вимоги до технічних характеристик

світлосигнальних вогнів та систем їх електропостачання встановлюють стандарти ІКАО [1, 3, 4] та національний нормативно-технічний документи [5]. Національні документи також регламентують правила метеорологічного обслуговування цивільної авіації [6, с. 18], що містять вимоги, зокрема, про визначення дальності видимості на ЗПС і повідомлення даних про неї у зведеннях.

Крім того, на сьогоднішній день багато наукових робіт присвячено дослідженням проблем виробництва, модернізації та технічної експлуатації аеродромних світлосигнальних вогнів. Зокрема проблемам контролю сили світла аеродромних вогнів в процесі експлуатації присвячені роботи [7...10]. Відомий факт, що аеродромні вогні з металогаlogenними джерелами світла мають певні проблеми, які проявляються під час їх експлуатації, про що свідчать, зокрема, повідомлення фахівців служби радіосвітлотехнічного забезпечення польотів аеродрому “Київ (Бориспіль)” та про рішення яких йдеться в роботі іноземних фахівців [11]. Незважаючи на той факт, що використання світлодіодної технології є перспективним напрямом модернізації сучасних світлосигнальних систем аеродрому, аеродромні вогні з металогаlogenними джерелами світла, досі є достатньо поширеними і потребують дослідження.

Результати наукових досліджень, що містяться в роботах [12...14], присвячені науковим принципам розробки, моделювання, автоматизації та визначення показників надійності аеродромних наземних візуальних засобів забезпечення польотів, також, свідчать про актуальність вказаної проблеми.

Метою статті є обґрунтування можливості зниження номінальних струмів в кабельній лінії для оптимізації техніко-економічних показників аеродромних вогнів галогенного типу та мінімізації ризиків щодо безпеки польотів на етапі візуального пілотування.

Виклад основного матеріалу

Світлосигнальна система аеродрому (ССА), до складу якої входять наземні електрифіковані засоби та система її керування і контролю, забезпечує руління, зліт, захід на посадку, посадку та пробіг по ЗПС повітряних суден на найбільш відповідальному етапі польоту – етапі візуального пілотування.

На висоті прийняття рішення (мінімальній висоті зниження) пілот ПС повинен мати, принаймні, орієнтовну інформацію про відстань, з якої він буде у змозі встановити необхідний візуальний контакт з наземними орієнтирами. Під “необхідним візуальним контактом” розуміється

спроможність пілота бачити та розпізнавати частину наземних орієнтирів або зони заходу на посадку протягом часу, що є достатнім для оцінки положення ПС в просторі та швидкості його зміни по відношенню до номінальної траєкторії польоту для прийняття рішення про продовження посадки або про необхідність відходу на друге коло [2, с. xiii].

В умовах обмеженої видимості вдень, сутінках і вночі зліт, захід на посадку, посадка і руління сучасних ПС, починаючи з певної висоти – висоти прийняття рішення (для тривимірних “3D” заходів на посадку,) або мінімальної висоти зниження (для двовимірних “2D” заходів на посадку) здійснюється екіпажем ПС візуально з використанням вогнів світлосигнальної системи аеродрому (Рис.1).

Таким чином, системи світлосигнального забезпечення польотів на аеродромах цивільної авіації разом з наземними радіотехнічними системами заходу на посадку в складних метеорологічних умовах безпосередньо впливають на рівні безпеки і регулярності польотів в зоні аеродрому.

Світлосигнальна система містить близько тисячі аеродромних сигнальних вогнів, розташованих, практично, на всій території льотного поля аеродрому та за його межами (всі технічні вимоги містяться в міжнародних та національних нормативних документах [1; 3...5]).

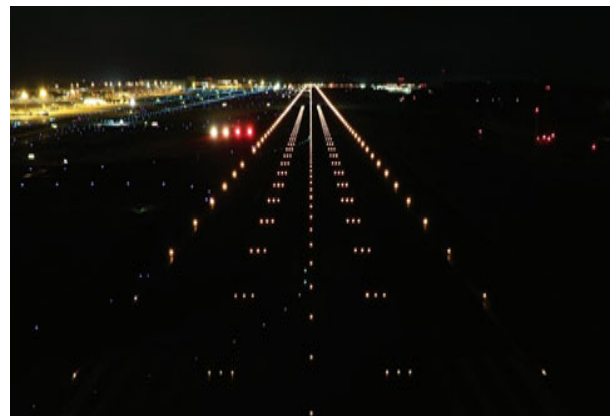


Рис. 1. Світлосигнальна система аеродрому
Джерело: [1, с. 1]

Кожен вогонь являє собою сучасний оптичний прилад з визначеними технічними характеристиками, що забезпечують його видимість в умовах туману, димки, дощу та снігу вночі і вдень. Дистанційне керування всією світлосигнальною системою і автоматичний контроль технічного стану усіх її елементів на льотному полі аеродрому здійснюється за допомогою спеціальних засобів, побудованих на базі комп'ютерних технологій.

Для створення комфортних умов екіпажам ПС на етапі візуального пілотування сила світла

аеродромних вогнів регулюється в залежності від метеорологічних умов по 5...7 дискретним значенням в діапазоні 1 %, 3 %, 10 %, 30 % і 100 % від номінального значення. Це виключає засліплення екіпажу ПС або втрату візуального контакту в різних метеорологічних умовах.

Основні технічні вимоги до аеродромних світлосигнальних вогнів, їх кольору, сили світла, зони розповсюдження світлового потоку та схем розташування на льотному полі аеродрому нормуються основними нормативними документами [3, 5].

Більш конкретно вимоги ставляться до наступних параметрів [3, с. 257; 5, с. 270]:

- мінімальне середнє значення сили світла в основному промені;
- мінімальне значення сили світла в основному промені;
- співвідношення між середнім, мінімальним і максимальним значенням сили світла в основному промені;
- мінімальні значення сили світла на контурі двох перетинів фотометричного тіла світлосигнального вогню;
- розміри розрахункових перетинів фотометричного тіла світлосигнального вогню;
- координати кольоровості випромінювання аеродромного світлосигнального вогню;
- орієнтація в просторі світлооптичної осі світлосигнального вогню (кути сходження до напрямку на вісь ЗПС і кути піднесення над поверхнею ЗПС;
- співвідношення дискретних значень сил світла по ступенях при регулюванні сили світла світлосигнального вогню.

Основний промінь являє собою область простору в напрямку поширення випромінювання світлосигнального вогню, обмежений тілесним кутом з вершиною в центрі світлового отвору вогню. Перетин бічної поверхні тілесного кута площиною перпендикулярної до напрямку поширення випромінювання, являє собою еліпс, велика піввісь якого рівнобіжна поверхні землі (Рис. 2). Аналогічно визначаються і другорядні промені. Отже, еліпси відповідним обраним променям визначаються виразом:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1,$$

де a , b значення великої і малої півосей еліпса; x , y – поточні координати крапок еліпса в прямокутній системі координат.

Значення півосей у градусах задаються відповідними нормативними документами

[5, Додаток 2, с. 280]. Крапка з координатами (0; 0) указує на напрямок рівнобіжний вісі ЗПС.

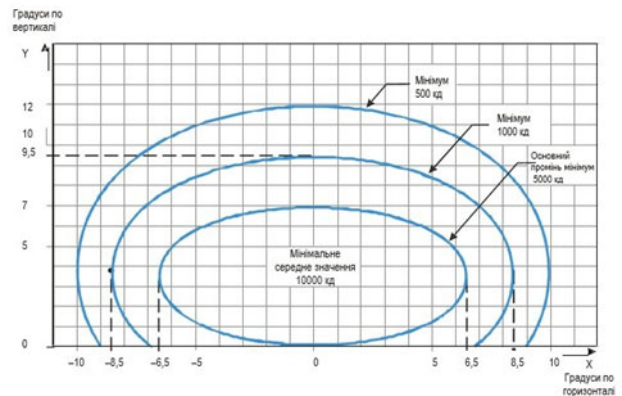


Рис. 2. Діаграма ізокандел бічних вогнів ЗПС при ширині ЗПС 60 м

Джерело: [5, Додаток 2, с. 280]

Світлосигнальні системи аеродрому розраховані на тривалу експлуатацію в умовах впливу навколишнього середовища протягом 10 років і більше. У процесі експлуатації змінюються практично всі основні характеристики світлових приладів: світлотехнічні (форма кривої сили світла, коефіцієнти та індикатриса відбивання та пропускання матеріалів, кольорні характеристики вогнів), техніко-економічні (коефіцієнт корисної дії), конструктивні (наприклад, ступінь захищеності від впливу оточуючого середовища, зручність обслуговування), електротехнічні (опір ізоляції, перехідні опори контактів) та ряд інших.

Надійність світлосигнального приладу визначається його здатністю зберігати в процесі експлуатації регламентовані нормами значення кількісних та якісних показників, що забезпечують заданий рівень зорового сприйняття. Відмова світлосигнального вогню визначається зменшенням його сили світла на 50 % і більше, що регламентується стандартами ICAO [3, с. 240].

Що стосується довговічності вогнів, то до кінця календарного терміну експлуатації світлотехнічні параметри вогнів повинні зберегти значення, що забезпечують їхню видимість в заданих умовах при встановленій стратегії технічного обслуговування та ремонту ССА.

Для забезпечення цих умов у нормативних документах [3, 5] сила світла вогнів приведена з певним перевищенням, яке називається коефіцієнтом запасу – K_z . Значення коефіцієнта запасу визначається умовами і тривалістю експлуатації, стратегією технічного обслуговування і ремонту, конструктивних особливостей світлосигнального вогню.

Для світлотехнічних приладів промислового призначення величина K_z регламентується

документом [15, табл. 5.3] і коливається у межах 1,5...2,0, компенсуючи можливе зниження сили світла вогню через його забруднення або інші фактори. Для авіаційних світлосигнальних вогнів прийнято подвійний коефіцієнт запасу: $K_3 = 2$. Це знайшло своє відображення у відповідних авіаційних нормативних документах [3; 5], які за критерій відмови беруть зменшення середнього значення сили світла авіаційного світлосигнального вогню в основному промені у два рази, тобто:

$$I_0 = 2 \cdot I_V,$$

де I_0 – нормована нормативними документами сила світла вогню на початку експлуатації; I_V – значення середньої сили світла, що забезпечує видимість вогню в поточних метеорологічних умовах.

У процесі експлуатації відбувається поступова зміна сили світла вогню. Відмова світлосигнального вогню настає у момент часу t , коли $I_t < I_V$.

Цей факт дозволяє для календарного терміну експлуатації 10 років визначити рівняння, що описує зміну сили світла вогню з часом експлуатації у вигляді, докладно у роботі [16, с. 11]:

$$I_t = I_0 \cdot (\gamma + \beta \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}),$$

де I_0 – середня сила світла світлосигнального вогню на момент початку експлуатації; I_t – середня сила світла світлосигнального вогню на вибраний момент часу від початку експлуатації.

$\gamma = 0,3121$ та $\beta = 0,6884$ та $\tau = 7,701$ – постійні коефіцієнти для заданого типу світлосигнального вогню та умов експлуатації, отримані експериментальним шляхом. Графічно рівняння зображено на Рис. 3.

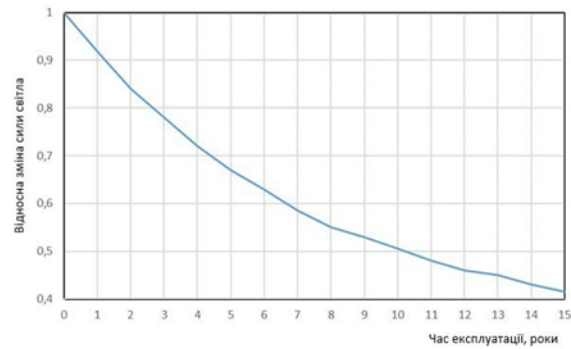


Рис. 3. Відносна зміна сили світла аеродромного вогню протягом календарного терміну експлуатації
Джерело: розроблено авторами

Дані статистики відмов аеродромних вогнів свідчать про те, що за цей період (10 років) забезпечується рівень середньої сили світла світлосигнального вогню необхідний для забезпечення його видимості за даних метеорологічних умов. Видимість вогнів визначається пороговою освітленістю на сітківці ока за законом Аларда, [1, с. 1...4]:

$$E = \frac{I \cdot \tau^R}{R^2},$$

де E – освітленість створювана світлотехнічним приладом на відстані R ; τ – питомий коефіцієнт пропускання атмосфери (коефіцієнт пропускання шару атмосфери товщиною 1 км); R – відстань між світлосигнальним приладом і спостерігачем.

Якщо освітленість сітківки ока дорівнює пороговій освітленості, то даний світлосигнальний вогонь можна побачити на відстані R , яка є візуальною дальністю видимості цього світлосигнального вогню. Значення мінімальної освітленості (порогової освітленості) для визначення візуальної дальності наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Значення порогової освітленості для розрахунків візуальної дальності видимості

Умови спостереження	Порогова освітленість	
	лк	кд/км ²
Ніч	$8 \cdot 10^{-7}$	0,8
Проміжне значення	$8 \cdot 10^{-5}$	10
Нормальний день	$8 \cdot 10^{-4}$	100
День (сонце в димці)	$8 \cdot 10^{-3}$	1000

Джерело: [4, с. 1...4]

Для визначення сили світла світлосигнального вогню, необхідної для виконання умови його спостереження на відстані R та прозорості атмосфери з питомим коефіцієнтом τ попередній вираз застосовують у вигляді:

$$I = E \cdot R^2 \cdot \tau^{-R}.$$

При розрахунках використовують значення питомого коефіцієнта пропускання, що змінюється у широких межах від 0,9 до 10^{-50} , а значення відстані спостереження коливається від 0,1 км до 10

км. Для зручності розрахунків результати обчислень подають у вигляді графіків. Таке подання результатів зручне для розв'язання оберненої задачі, тобто знаходження дальності візуальної видимості за відомою силою світла світлосигнального вогню. Аналітичний розв'язок цього виразу відносно R досить громіздкий.

Якщо у вищенаведеному виразі за значення сили світла I підставити значення сили світла бічних вогнів ЗПС (за рекомендацією ICAO для ССА I-III категорій це 10000 кд), то значення R визначатиме дальність видимості на ЗПС (Runway Visual Range – RVR). У свою чергу, згідно з європейським нормативним документом [17, с. L 254/74] значення RVR визначається, в основному, складом ССА та силою світла її вогнів і, зокрема, наявністю і довжиною підсистеми вогнів наближення до ЗПС.

Виходячи з вищевказаного, для заданої RVR і реальної сили світла бічних вогнів ЗПС для чотирьох значень порогової освітленості ока, що відповідають значенням яскравості фону (Табл. 1) існують чотири критичні значення питомого коефіцієнта пропускання атмосфери τ , які вимірюються спеціальними приладами – трансмісметрами та/або вимірювачами прямого розсіювання, [6, с. 16]. Перевищення цих критичних значень означає, що на дистанції спостереження, яка дорівнює R , бічні вогні ЗПС не будуть спостерігатися. Отже за даних погодних умов ССА не буде виконувати свої функції.

Для знаходження критичних значень питомого коефіцієнта пропускання атмосфери, наведений вираз розв'язують відносно τ , тобто:

$$\tau = R \sqrt{\frac{E_{\text{ПОР}} \cdot R^2}{I_{\text{ЗПС}}}},$$

де τ – значення питомого коефіцієнта пропускання атмосфери; R – значення дальності видимості на ЗПС; $E_{\text{пор}}$ – значення порогової освітленості на сітківці ока спостерігача (пілота ПС); $I_{\text{ЗПС}}$ – значення сили світла бічних вогнів ЗПС.

У зв'язку з поступовою зміною сили світла аеродромних світлосигнальних вогнів в процесі експлуатації, на борт ПС передається значення дальності видимості на ЗПС (R), розраховане для бічних вогнів ЗПС, що мають номінальне значення середньої сили світла 10000 кд, хоча реальне значення сили світла вогнів може відрізнятися від номінального у майже у два рази, при збереженні працездатного стану вогню. Тим не менш, зменшене значення сили світла вогнів ССА забезпечує видимість вогнів за даних метеорологічних умов за рахунок існування коефіцієнту запасу по силі світла K_s .

Регулювання сили світла аеродромних вогнів повинно відповідати вимогам документу [1, с. 61, рис. 5.1], а відповідні діапазони діючих значень струмів джерел світла аеродромних вогнів визначені експериментально та зведені в Таблицю 2. Вони не враховують факт наявності подвійного коефіцієнта запасу вогнів за силою світла, що призводить до надмірних витрат електроенергії на початку експлуатації та більш швидкого розходу технічного ресурсу джерел світла.

Група 1 та група 2 наводяться в якості прикладу варіантів групового керування силою світла підсистем ССА; для вогнів заглибленого типу можливий один варіант керування силою струму, що наводиться в Таблиці 2.

Таблиця 2

Діючі значення струмів регулятора яскравості (РЯ)

Номер ступеню сили світла	Діапазон струмів регулятора яскравості, А		
	Група 1	Група 2	Аеродромні вогні заглибленого типу
1	3,6 - 3,8	4,2 - 4,4	4,2 - 4,4
2	4,2 - 4,4	4,95 - 5,25	4,95 - 5,25
3	4,95 - 5,25	5,6 - 6,0	5,6 - 6,0
4	6,3 - 6,7	6,9 - 7,3	6,9 - 7,3
5	8,05 - 8,3	8,05 - 8,3	8,05 - 8,3

Джерело: розроблено авторами

Очевидно, що з метою гарантії надання достовірної інформації про поточні значення параметрів метеорологічних умов, командир ПС повинен отримувати інформацію про значення RVR , яке розраховано для усередненого вимірюваного

(реального) значення сили світла бічних вогнів ЗПС або, принаймні, для мінімального значення сили світла, що становить половину від нормованого (як для вогнів, які перебувають наприкінці гарантованого терміну експлуатації).

Ураховуючи існування подвійного коефіцієнту запасу для нових світлосигнальних вогнів на початку їх експлуатації, не виникає потреби підтримувати номінальне значення їх сили світла. Це означає, що для нових вогнів є можливість використати наявний коефіцієнт запасу по силі світла і заощадити енергетичні та матеріальні ресурси (як, наприклад, подовжити термін експлуатації джерел світла) без негативного впливу на якість візуальної інформації, що створюється вогнями. Графік залежності терміну служби металогалогенних джерел світла від струму регулятора яскравості наочно демонструє круте зменшення терміну служби ламп від струму [4, с. 113].

Для реалізації використання подвійного коефіцієнту запасу сили світла вогнів за результатами експериментальних досліджень залежності сили світла металогалогенних авіаційних ламп від струму навантаження РЯ була розрахована таблиця нових діючих значень сили струму РЯ в залежності від терміну експлуатації вогнів (Таблиця 3).

Значення цих струмів враховують наявність подвійного коефіцієнту запасу по силі світла вогнів і дозволяють його "витрачати" поступово у процесі експлуатації. Практична реалізація такого підходу не вимагає кардинальних змін у конструкції РЯ, адже сучасні пристрої дозволяють забезпечувати зміну вихідного струму на кожному ступені сили світла у діапазоні $\pm 10\%$ від номінального значення.

Таблиця 3

Значення сили струму РЯ по ступеням яскравості з урахуванням терміну експлуатації аеродромних вогнів

Номер ступеню сили світла	Поточний рік експлуатації, роки				
	2	4	6	8	10
	Струм регулятора яскравості, А				
1	4	4	4,1	4,1	4,3
2	4,6	4,7	4,7	4,8	5
3	5,3	5,4	5,5	5,6	5,8
4	6,2	6,3	6,4	6,6	6,8
5	7,5	7,6	7,8	8	8,3
Відсоток від номінального значення струму регулятора яскравості, %	90	92	94	96	100

Джерело: розроблено авторами

Можливо, також, вирішення зворотної задачі. Наприкінці встановленого терміну експлуатації, коли коефіцієнт запасу по силі світла майже використаний, сила світла аеродромних вогнів може бути недостатньою для встановлення необхідного візуального контакту екіпажу або його підтримання на етапі візуального пілотування, Рис. 3.

У цьому випадку, струм регулятора яскравості може бути збільшений для компенсації використаного коефіцієнту запасу сили світла вогнів на всіх ступенях яскравості, окрім максимальної, яка на практиці використовується дуже рідко і може привести до швидкої відмови джерел світла.

Запропонований метод керування силою світла вогнів може бути особливо ефективним у тих випадках, коли використовується планово-попереджувальна стратегія технічного обслуговування візуальних засобів, тобто коли заміна джерел світла у всіх підсистемах аеродромних вогнів проводиться превентивно через

певний період часу, незалежно від технічного стану джерел світла. При цьому заміна джерел світла, що відмовили в процесі експлуатації, проводиться в штатному порядку. Така стратегія сприяє рівномірному та, практично, однаково "виробленню" коефіцієнту запасу по силі світла у всіх вогнів, що входять до складу конкретної підсистеми. Вказана стратегія досить широко використовується в системі технічної експлуатації світлосигнальних систем на європейських аеродромах.

Висновки

Проведено аналіз світлотехнічних характеристик сучасних аеродромних світлосигнальних вогнів на базі вимог національних та міжнародних нормативно-технічних документів.

Аналіз міжнародних стандартів і рекомендованої практики ІКАО продемонстрував, що в аеродромних світлосигнальних вогнях

конструктивно закладено подвійний коефіцієнт запасу по силі світла.

При визначенні R - дальності видимості на ЗПС (RVR) подвійний коефіцієнт запасу сили світла аеродромних вогнів не враховується, що призводить до збільшення енергетичних і матеріальних витрат. Ще більше занепокоєння викликає той факт, що при визначенні RVR використовується номінальне значення сили світла аеродромних вогнів, замість реального, що для вогнів, які перебувають наприкінці свого терміну експлуатації може давати завищені значення RVR , збільшуючи ризики щодо безпеки польотів на етапі візуального пілотування.

Експериментально доведений факт існування природного зниження сили світла аеродромних вогнів в залежності від терміну експлуатації.

Виведено аналітичний вираз, що ілюструє дане зниження сили світла.

Наводяться результати досліджень для реалізації можливості зниження сили струму РЯ в залежності від терміну експлуатації аеродромних світлосигнальних вогнів, які дозволять отримати зниження витрат електричної енергії та збільшення термін служби металогалогенних джерел світла.

В якості **перспективи подовження роботи** планується провести аналогічні дослідження для аеродромних вогнів зі світлодіодними джерелами світла, адже ця технологія набуває все більшої популярності у виробників аеродромного світлосигнального обладнання.

Список літератури

1. Doc 9157 Aerodrome Design Manual. Part 4. Visual Aids. ICAO International Standards and Recommended Practice, 5th edition, 2020.
2. Doc 9365. Manual of All-Weather Operations. ICAO International Standards and Recommended Practices, 4th edition, 2017. ISBN 978-92-9258-235-7.
3. Annex 14 to the Convention of International Civil Aviation. Aerodromes. Volume I. Aerodrome Design and Operations. ICAO International Standards and Recommended Practices, 9th edition, 2022, ISBN 978-92-9265-735-2.
4. Doc 9157. Aerodrome Design Manual. Part 5. Electrical systems. ICAO International Standards and Recommended Practice, 2nd edit., 2017.
5. Наказ Державної авіаційної служби України № 1841 від 24.11.2021 р. Про затвердження сертифікаційних вимог до аеродромів.
6. Авіаційні правила України "Метеорологічне обслуговування цивільної авіації". Затверджено Наказом Державної авіаційної служби України № 166 від 09.03.2017, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 05.09.2017 р. за № 1092/30960.
7. Дев'яткіна С.С., Ванецян С.Г. Контроль сили світла аеродромних вогнів в процесі експлуатації: XIV Міжнародна науково-практична конференція "Інтегровані робота - технічні комплекси", 18-19 травня 2021 – К, 2021. – С. 134 – 136.
8. **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.
9. **Степура В. І.** Періодичний контроль сили світла бічних вогнів ШЗПС: Світлотехніка та електроенергетика. Міжнародний науково-технічний журнал. – Харків, 2009. - № 3. – С. 84-89.
10. **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.
11. T. Novak, J. Dudek, V. Kolar, K. Sokansky and R. Baleja, "Solution of problems with short lifetime of airfield halogen lamps," 2017 18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), Kouty nad Desnou, Czech Republic, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/EPE.2017.7967298
12. Deviatkina S. Scientific principles of ground navigation visual aids design for civil aviation aerodromes: 2014 IEEE 3rd International Conference "Methods and systems of navigation and motion control (MSNMC) Proceedings. October 14-17, 2014, Kyiv, Ukraine, p.p.79-81.
13. Ільєнко С.С. Автоматизація, дистанційне управління та надійність світлосигнальної системи сучасних аеродромів цивільної авіації: Наукоємні технології № 2 (30), 2016. – С. 212- 215.
14. Квач Ю.М., Яремич Т.І., Шевченко В.О. Моделювання впливу факторів на видимість світлосигнальних вогнів аеродрому цивільної авіації: Моделювання – 2018 SIMULATION - 2018: 6-а Міжнар. наук. конф., 12-14 вересня 2018 р.: Зб. праць конф. – Київ, 2018. – С. 158 – 161.
15. ДБН В.2.5-28:2018 Державні будівельні норми України. Природне і штучне освітлення.

16. **Степура В. І.** Технічне діагностування системи аеродромних світлосигнальних вогнів в процесі експлуатації: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.07 / Степура Володимир Ілліч; Харківська державна академія міського господарства. – Харків, 2003. – 20 с.

17. Official Journal of the European Union JAR OPS JAR-OPS 1: Commercial Air Transportation (Aeroplanes).

Надійшла до редколегії 04.11.2024

Схвалена до друку 13.11.2024

Відомості про авторів:

Дев'яткіна Світлана Сергіївна

кандидат технічних наук
доцент
доцент кафедри комп'ютеризованих
електротехнічних систем та технологій
Аерокосмічного факультету
Національного авіаційного університету,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0001-9495-4213>

Яремич Тетяна

старший викладач кафедри комп'ютеризованих
електротехнічних систем та технологій
Аерокосмічного факультету
Національного авіаційного університету,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0007-3084-9231>

Information about the authors:

Svitlana Deviatkina

Candidate of Technical Sciences
Associate Professor
Associate Professor at the Computerized Electrical
Engineering Systems and Technologies Department
Aerospace Faculty
National Aviation University,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0001-9495-4213>

Tetiana Yaremich

Senior Lector at the Computerized Electrical
Engineering Systems and Technologies Department,
Aerospace Faculty
National Aviation University,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0007-3084-9231>

LIGHTS INTENSITY CONTROL OF AIRFIELD LIGHTING SYSTEM DURING OPERATION

S. Deviatkina, T. Yaremich

The paper presents the results of analysis the potential to utilize the dual light intensity reserve incorporated into the design of airfield lighting system. National and international regulatory and technical standards concerning failure criteria for airfield lights were examined, alongside the relationship between runway visibility range, light intensity, and other influencing factors. ICAO standard and recommended practices give the requirements to all parameters of airfield lights, including isocandela diagrams to different airfield lighting subsystems as well as the dependences between lights' life time and electric current in the power supply system. The analysis of these diagrams gives the possibility to come up with a conclusion about the feasibility of leveraging the dual light intensity reserve in airfield lights.

Based on the analysis, the possibility of managing the light intensity of airfield lights according to their operational life time is substantiated. The results of experimental studies on the relationship between the light intensity of airfield lights with halogen sources and their operational life time are presented, along with analytical expressions describing this dependence. Experimental findings indicate the feasibility of reducing the constant current regulator current for new airfield lights, followed by a gradual increase from 90 to 100 percent of the nominal value over an average operational period of up to 10 years. The proposed approach demonstrates advantages, including extending the life time of airfield lights with metal-halide light sources, conserving electrical energy, and reducing risks during the visual piloting phase of aircraft under adverse and normal meteorological conditions, both day and night. Future research prospects include conducting similar studies on airfield lights equipped with LED light sources.

Keywords: airfield lighting system, light intensity control, risks at the visual piloting phase, airfield light failure criterion.