

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ДОДАТКОВОГО ІЧ-КАНАЛУ АЕРОДРОМНОЇ СВІТЛОСИГНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Отримано аналітичний вираз техніко-економічного показника ефективності променевосигнальної аеродромної системи типу сигнал/шум, нормованого на споживчу потужність джерела і представленого через інтегральні характеристики мультиплікативних складових каналу. Базуючись на сучасних досягненнях LED-технологій в одержанні конструктивних елементів комплексу, працюючого в інфрачервоному діапазоні хвиль, зпрогнозовано високу ефективність впровадження такого сигнального каналу.

Ключові слова: аеродромна світлосигнальна система, інфрачервоний діапазон хвиль, електронно-оптичні прилади, інтегральні критерії ефективності.

Вступ. Безпечність та регулярність авіатransпортних перевезень неможливі без наявності сучасного високоефективного світлосигнального обладнання (ССО), з допомогою якого екіпаж повітряного судна (ПС) виконує задачі щодо виявлення, розрізнення та ідентифікації аеродромних орієнтирів в будь-який час доби та в будь-якій ситуації. ССО, в силу природних законів поширення світла, принципово не може бути всепогодним. Для розширення функціональних можливостей аеронавігаційних світлосигнальних комплексів необхідно освоювати додаткові канали інформатизації екіпажу ПС, що пов'язано з залученням обладнання робототехнічного зору. В цьому плані запропоновано увести в дію обладнання, до складу якого входять інфрачервоні (ІЧ) прожектори, розміщені на аеродромі, з узгодженими по спектру приймачами на ПС [1].

Аналіз публікацій. В регламентуючих та контролюючих державних документах з експлуатації електровісвітлосигнальних систем аеродромів та вертодромів відображені правила та вимоги, які діяли ще в часи Радянського Союзу [2]. Проте, навіть сучасні вимоги до ССО та рекомендації ICAO (International Civil Aviation Organization) не можуть бути орієнтирами по критеріях ефективності для систем, що працюють в ІЧ-діапазоні, внаслідок фізико-технічної специфіки їх функціонування.

Перспективність використання запропонованого ІЧ-сигнального каналу базується на фізичних особливостях поширення в атмосфері ІЧ електромагнітних хвиль (ЕМХ) та технологічних досягненнях в отриманні високоефективних ІЧ-випромінюючих напівпровідникових діодів і фотоприймачів, високочутливих в різних спектральних ділянках.

Перспективність наряду пов'язане з поняттям ефективності, яке є досить ємною категорією і характеризує якість чогось матеріального або дії. У відношенні до механізму – це сукупність таких його властивостей, які є бажаними щодо виконання певних дій. Як правило, оцінка якості пристрою пов'язана з вибором критеріїв ефективності. Його визначення найбільш інформативне і лаконічне в кількісній формі; проте це не є виключно математичною задачею, а розробляється з урахуванням поставлених цілей та умов використання. Критерії можуть бути як частковими, так і узагальнюючими показниками [3]. Технічна ефективність повинна характеризувати технічну досконалість, науково-технічний рівень, закладений в реалізацію пристрою. Експлуатаційно-технічні критерії дають можливість оцінити якість функціональної готовності технічної системи виконувати певні задачі. Вибір найкращого варіанту сукупності часткових критеріїв для формування узагальнюючого критерію на сьогодні не має однозначного алгоритму і завжди пропонується як методичний варіант, оскільки покращення одного параметру, як правило, пов'язане з погіршенням іншого. В математичному плані комплексні критерії є багатовимірними векторами, а знаходження найбільш універсального – це конкретна оптимізаційна задача.

На етапі розробки та технічного впровадження аналізуються та беруться до уваги лише окремі характеристики:

- енергоефективність;
- керованість;
- довговічність;
- економічність;
- надійність (безвідмовність, ремонтоздатність);
- безпечність;
- функціональність (всепогодність, цілодобовість).

За наявності масиву даних по вище згаданим та іншим характеристикам променевосигнальної системи, очевидно, можна сформувати узагальнюючий критерій ефективності – показник успішності виконання завдання [3].

Якщо розглядати променевосигнальну систему в повному комплексі, то необхідно враховувати крім фізичних принципів приладові характеристики індикації інформації, формат кадру, кількість рядків у кадрі, градаційні характеристики та тип розгортки. На практиці при розрахунках в нормовані характеристики вводиться коефіцієнт запасу, який вибирається за експертними оцінками, і може бути досить суб'єктивним. Так, для світлосигнальних установок рекомендованою величиною коефіцієнта є 8.

Доведено, що підвищення комплексної ефективності ОЕП може бути досягнуто шляхом використання багатоканальної системи, цифрових швидкодіючих методів обробки сигналів, комплексування інформації [4]. Для оцінки ефективності таких систем на альтернативній основі пропонуються нові показники якості окремих каналів [5, 6, 7, 8, 9].

Для сучасних тепловізорів запропоновано та розробляються нові критерії ефективності, пов'язані з мінімальною виявною різницею температур [10]. Вони є більш ефективними в порівнянні з відомим критерієм Джонсона [11]. Хоча для оцінки ефективності тепловізійного каналу використовується стандарт НАТО «STANAG 4347», об'єднуючого критерію за всіма показниками також не існує [12].

Мета роботи. Оцінити експлуатаційну ефективність використання додаткового ІЧ-каналу променевосигнальної аеродромної системи за обраним критерієм.

Виклад основного матеріалу. Досвід розробки та впровадження в експлуатацію нових зразків оптоелектронної техніки свідчить про те, що на етапі обґрунтування технічної реалізації нової ідеї функціонування сигнальної системи раціонально використовувати спрощені інженерні методи оцінок [13]. Ця задача зводиться до розрахунку порогової чутливості і дальності дії ОЕП, якщо задані конструктивні параметри системи [14]. З детального розгляду вимог до світлосигнальних комплексів аеродрому випливає, що в такій ситуації найбільш використовуваним узагальненим техніко-економічним критерієм оцінки ефективності комплексу є критерій виду (ефект/витрати) [3]. Необхідно зазначити, що в даній формулі категорії «ефект» і «витрати» можуть мати різне якісне наповнення: фізичне, економічне, технічне і т. ін. При задоволенні вимог до якості критеріїв такий тип критерію може бути єдиним. Традиційно для оцінки ефективності роботи одного каналу зв'язку першочергово оцінюються технічні та фізичні характеристики. Таким параметром ефективності є відношення сигнал/шум, який знаходиться в прямій залежності з експлуатаційною характеристикою – максимальна дальність дії ОЕП. Він також є детермінованим параметром ймовірності виявлення сигналу.

Обмежуючись режимом побудови зображення сильно віддаленого джерела, щільність спектрального розподілу сигналу $j_c(\lambda, x)$ (А/мкм) з одного пікселя матричного фотоприймача можна представити [15]:

$$j_c(\lambda, x) = G(\lambda, x) \cdot I(\lambda_{\max}) \cdot S(\lambda'_{\max}) \cdot y(\lambda) \cdot z(\lambda) \cdot \tau_{\text{атм.}}(\lambda, x), \quad (1)$$

$$\text{де } G(\lambda, x) = k \frac{\pi r^2}{x^2} \tau_{\text{ос}}(\lambda, x);$$

λ – довжина хвилі електромагнітного випромінювання, мкм;

r – радіус вхідної зіниці оптичної системи, м;

x – відстань від джерела до приймача, м;

$\tau_{oc}(\lambda)$ – коефіцієнт пропускання оптичної системи (лінзи, дзеркала, фільтри й ін.);

$I(\lambda_{\max})$ – спектральна щільність сили випромінювання джерела в максимумі спектру (для площинного $I(\lambda_{\max})=L(\lambda_{\max}) \cdot a$, $L(\lambda_{\max})$ – щільність яскравості в максимумі спектру випромінювання, де a – площа полотна), Вт/ср.мкм;

k – коефіцієнт, що враховує неідеальність оптичної системи (це може бути частка променевої потужності, що припадає на один піксель через нечіткість границь зображення);

$S(\lambda'_{\max})$ – спектральна фоточутливість приймача на довжині хвилі $\lambda'_{\max}$, А/Вт;

$\lambda'_{\max}$ – довжина хвилі в максимумі спектру фоточутливості, мкм;

$y(\lambda) = \frac{I(\lambda)}{I(\lambda_{\max})}$, $I(\lambda)$ – спектральна щільність сили випромінювання джерела, Вт/ср.мкм;

$z(\lambda) = \frac{S(\lambda)}{S(\lambda_{\max})}$, $S(\lambda')$ – спектральний розподіл фоточутливості приймача, А/Вт;

$\tau_{atm}(\lambda, x) = [H(\lambda - \lambda_1) - H(\lambda - \lambda_2)] \cdot e^{-\alpha(\lambda)x}$ – коефіцієнт пропускання атмосфери у «вікні прозорості» $[\lambda_1, \lambda_2]$;

λ_1, λ_2 ($\lambda_2 > \lambda_1$) – спектральні границі «вікна прозорості» атмосфери, мкм;

$\alpha(\lambda)$ – сумарний показник ослаблення випромінювання, 1/м;

$H(\lambda)$ – ступінчаста асиметрична одиночна функція (Хевісайда).

Спектральна щільність відношення сигнал/шум, що припадає на 1 Вт споживчої енергії $\mu(\lambda, x)$ може бути представлена:

$$\mu(\lambda, x) = \frac{G(\lambda, x) \cdot I(\lambda_{\max}) \cdot S(\lambda'_{\max}) \cdot y(\lambda) \cdot z(\lambda)}{P_{cn} \cdot \sqrt{\sum_i D_{i,u}}} \cdot e^{-\alpha(\lambda)x} \cdot [H(\lambda - \lambda_1) - H(\lambda - \lambda_2)] \quad (2)$$

де $D_{i,u}$ – дисперсія струмового відгуку фотоприймача на шум i -го виду, A^2 ;

P_{cn} – споживча енергія комплексу, Вт.

Інтегральна по спектру величина $M(x)$:

$$M(x) = \frac{I(\lambda_{\max}) \cdot S(\lambda'_{\max})}{P_{cn} \cdot \sqrt{\sum_i D_{i,u}}} \cdot \int_0^{\infty} G(\lambda, x) \cdot y(\lambda) \cdot z(\lambda) \cdot e^{-\alpha(\lambda)x} \cdot [H(\lambda - \lambda_1) - H(\lambda - \lambda_2)] d\lambda \quad (3)$$

У випадку є монохроматичного джерела, тобто $y = \delta(\lambda - \lambda_{\max})$, де $\lambda_{\max}$ – робоча довжина хвилі випромінювання, $\lambda_1 \leq \lambda_{\max} \leq \lambda_2$; $\delta(\lambda)$ – дельта-функція Дірака. Тоді маємо:

$$\mu(\lambda_{\max}, x) = \frac{I(\lambda_{\max}) \cdot S(\lambda'_{\max}) \cdot G(\lambda_{\max}, x) \cdot z(\lambda_{\max}) \cdot e^{-\alpha(\lambda_{\max})x}}{P_{cn} \cdot \sqrt{\sum_i D_{i,u}}} ; (B^{-1}) \quad (4)$$

Представимо критерій (4) через інтегральні характеристики мультиплікативних впливів складових сигнального каналу.

Коефіцієнт використання фотоприймачем випромінювання на спектральному сегменті «вікна прозорості» атмосфери $[\lambda_1, \lambda_2]$ за означенням визначається:

$$K_{вик}[\lambda_1, \lambda_2] = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} G(\lambda, x) \cdot y(\lambda) \cdot z(\lambda) \cdot e^{-\alpha(\lambda)x} \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} G(\lambda, x) \cdot y(\lambda) \cdot e^{-\alpha(\lambda)x} \cdot d\lambda}, \quad (5)$$

Тоді (4) матиме вигляд:

$$M(x) = \frac{I(\lambda_{\max}) \cdot S(\lambda'_{\max}) \cdot K_{\text{вук}}[\lambda_1, \lambda_2]}{P_{\text{сн}} \cdot \sqrt{\sum_i D_{i,u}}} \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} G(\lambda, x) \cdot y(\lambda) \cdot e^{-\alpha(\lambda)x} \cdot d\lambda. \quad (6)$$

Формулу (6) можна спростити, припустивши, що:

- спектр випромінювання, або «вікно прозорості» атмосфери досить вузькі, щоб в їх межах зміна величини $G(\lambda, x)$ або $\alpha(\lambda)$ була незначною;
 - досить мутне середовище (туман, густий серпанок), так що $\alpha(\lambda)$ – слабка функція від λ ;
 - параметри оптичної системи незмінні в широкому спектральному діапазоні $G(\lambda) = C_{\text{const}}$.
- Тоді:

$$M(x) \cong \frac{I(\lambda_{\max}) \cdot S(\lambda'_{\max}) \cdot K_{\text{вук}}[\lambda_1, \lambda_2] \cdot \bar{G}(x) \cdot e^{-\bar{\alpha} \cdot x}}{P_{\text{сн}} \cdot \sqrt{\sum_i D_{i,u}}} \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} y(\lambda) \cdot d\lambda, \quad (7)$$

де $\bar{G}(x), \bar{\alpha}$ – усереднені по спектральному сегменту $[\lambda_1, \lambda_2]$ величини $G(\lambda, x) \cdot \alpha(\lambda)$.

Споживча потужність комплексу, практично вся, визначається енергозатратами на живлення джерела, тоді, ввівши коефіцієнти одержимо:

$$K_{\text{ен}}[\lambda_1, \lambda_2] = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} y(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\lambda_2} y(\lambda) d\lambda} - \text{енергетичний коефіцієнт корисної дії в діапазоні хвиль } [\lambda_1, \lambda_2];$$

$$K_{\text{еф}} = \frac{I(\lambda_{\max}) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} y(\lambda) d\lambda}{P_{\text{сн}}} - \text{енергетична ефективність джерела.}$$

$$M(x) = \frac{\bar{G}(x) \cdot e^{-\bar{\alpha} \cdot x} \cdot S(\lambda'_{\max}) \cdot K_{\text{вук}}[\lambda_1, \lambda_2] \cdot K_{\text{ен}}[\lambda_1, \lambda_2] \cdot K_{\text{еф}}}{\sqrt{\sum_i D_{i,u}}}. \quad (8)$$

Якщо внутрішні шуми фотоприймача переважають, тоді відношення сигнал/шум, нормоване на споживчу потужність, можна представити:

$$M(x) = \frac{\bar{G}(x) \cdot S(\lambda'_{\max}) \cdot e^{-\bar{\alpha} \cdot x} \cdot K_{\text{вук}}[\lambda_1, \lambda_2] \cdot K_{\text{ен}}[\lambda_1, \lambda_2] \cdot K_{\text{еф}}}{\sqrt{i_{\text{ш}}^2}}, \quad (9)$$

де $\sqrt{i_{\text{ш}}^2}$ – середнє квадратичне значення амплітуди внутрішніх шумів приймача

Формули (4) і (9) можна виразити через питому виявну здатність фотоприймача в максимумі спектру fotocутливості $D^*(\lambda'_{\max})$, відповідно:

$$\mu(\lambda_{\max}, x) = \frac{G(\lambda_{\max}, x) \cdot e^{-\alpha(\lambda_{\max})x} \cdot I(\lambda_{\max}) \cdot z(\lambda_{\max}) D^*(\lambda'_{\max})}{P_{\text{сн}} \cdot \sqrt{A \cdot \Delta f}}; \quad (10)$$

$$M(x) = \frac{\bar{G}(x) \cdot D^*(\lambda'_{\max}) \cdot e^{-\bar{\alpha} \cdot x}}{\sqrt{A \cdot \Delta f}} \cdot K_{\text{вук}}[\lambda_1, \lambda_2] \cdot K_{\text{ен}}[\lambda_1, \lambda_2] \cdot K_{\text{еф}}, \quad (11)$$

де Δf – ефективна спектральна смуга пропускання;

A – площа чутливого шару фотоприймача.

Представленими оцінками (4), (9), (10), (11) можна порівнювати ефективності різних сигнальних систем з однаковою мультиплікативністю складових каналу зв'язку. Виходячи зі

співвідношень (10) та (11) для максимізації критерію ефективності при фіксованій $x = x_0$, впливають вимоги до складових системи:

- 1) оптимізація оптичних конструктивних складових $\bar{G}(x_0) \rightarrow \max$;
- 2) використання фотоприймача з максимальною $D^*(\lambda'_{\max})$;
- 3) максимізація $K_{вук}[\lambda_1, \lambda_2] i K_{ен}[\lambda_1, \lambda_2]$, що означає узгодження спектру випромінювання джерела зі спектром фоточутливості приймача та «вікон прозорості» атмосфери (рис.1(a));
- 4) $K_{эф.} \rightarrow 1$, тобто вибір джерела випромінювання з максимальною енергетичною ефективністю;

5) максимізація питомої прозорості атмосфери $e^{-\bar{\alpha}}$ в межах смуги $[\lambda_1, \lambda_2]$ можливо за умови $\bar{\alpha} = \alpha(\lambda_2)$, оскільки у «вікнах прозорості» атмосфери поглинанням можна знехтувати і показник ослаблення $\alpha(\lambda)$ буде повністю визначатись об'ємним коефіцієнтом розсіювання, який обернено пропорційний довжині хвилі λ , а саме $\alpha(\lambda) \sim \frac{1}{\lambda^n}$, де $n = 4$ при молекулярному розсіюванні (чиста атмосфера).

При збільшенні мутності атмосфери n зменшується до нуля за умови збільшення розмірів аерозольних розсіюючих частинок.

Остання умова може бути виконана лише теоретично для монохроматичного випромінювання (рис. 1,б).

Зазначені вимоги для одержання ідеалізованого каналу зв'язку майже в повній мірі можуть бути виконані в запропонованій променевосигнальній системі. Так, параметр D^* вже на сьогодні в різних діапазонах ІЧ-хвиль досягає майже теоретичної границі. [19-23].

Наявність напівпровідникових діодів з $\lambda_{\max}$ в різних ділянках ІЧ-діапазону дозволить підібрати робочі довжини хвиль з теоретично граничним $K_{вук}[\lambda_1, \lambda_2] \approx 1$.

Темпи розвитку LED-технологій дозволяють спрогнозувати, що в найближчому майбутньому буде створено напівпровідникові електролюмінесцентні випромінювачі в діапазоні хвиль $10 \div 14$ мкм. Це дозволить запропонованій променевосигнальній системі працювати практично за будь-яких погодних умов, з низькою візуальною видимістю, при будь-яких туманах та серпанках.

Запропонована модель променевосигнальної системи повністю розрахована на конструктивні елементи LED-технологій, яка, поза сумнівом, має багато інших переваг з точки зору енергоефективності, електробезпечності, довговічності, надійності. Так, наприклад, експлуатаційними характеристиками, що визначають економічні показники джерел світла, є світловіддача та строк служби. Світловіддача ламп розжарювання знаходиться в межах $7 \div 20$ лм/Вт, галогенних ламп $10 \div 24$ лм/Вт в той час, коли світлодіоди видають $60 \div 120$ лм/Вт. Строк служби ламп розжарювання 1000 год., світлодіодів – від 50000 до 100000 год. На сьогодні енергетичний КПД напівпровідникових діодів досягає 30-40 % у порівнянні з 7-12 % ламп розжарювання. Напівпровідникові ІЧ-джерела, працюючи у вузькому діапазоні ЕМХ не будуть потребувати встановлення фільтрів, які значно понижують $G(\lambda, x)$. Використання ІЧ-діодів в якості променевосигнальних джерел веде до зниження навантаження на кабелі живлення, що підводяться до системи, що позитивно впливає на зниження перерізу силових ліній та веде до економії використання кольорових металів у виробництві. Оскільки ІЧ-діоди є струмовими приладами, то інтенсивність випромінювання досить просто регулювати на дистанціях різної довжини, одні й ті ж стабілізатори струму використовуються на різні напруги, їх характеризує конструктивна простота. Простота резервного живлення, малогабаритність, невелика вага – це не останні позитивні характеристики джерел LED-технологій. До цього треба додати можливість працювати й обслуговувати обладнання при низьких напругах, що є фактором електробезпечності.

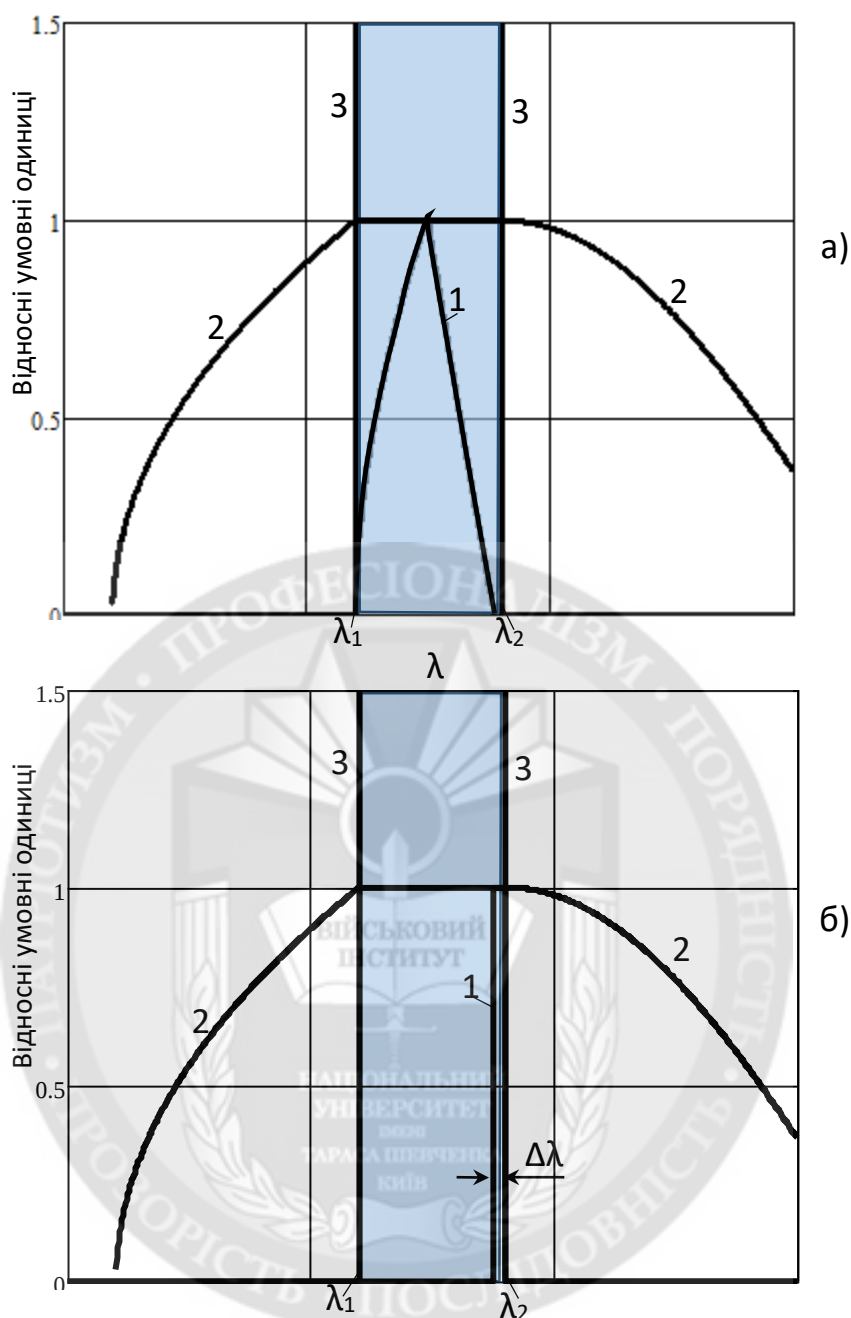


Рисунок 1 – Схематичне зображення максимізації коефіцієнтів:

а) $K_{вик}[\lambda_1, \lambda_2]$ – криві: 1 – спектр випромінювання джерела; 2 – спектр фоточутливості фотоприймача; 3 – межі «вікна прозорості» атмосфери;

б) ідеалізований випадок максимізації коефіцієнтів $\Delta\lambda \rightarrow 0$

Запропонована модель ІЧ-променевої сигнальної системи в LED-виконанні передбачає можливість управління нею з борту ПС, а також повну її автоматизацію. В такій реалізації вона повністю відповідає запитам екологічності та можливості безвідмовно працювати у відносно складних умовах експлуатації.

Висновки:

1. Енергоефективність додаткового ІЧ-каналу зв'язку для орієнтації екіпажу повітряного судна можна визначити за нормованим критерієм:

$$\mu(x) = \frac{\bar{G}(x) \cdot D^*(\lambda'_{\max}) \cdot e^{-\bar{\alpha} \cdot x}}{\sqrt{A \cdot \Delta f}} \cdot K_{\text{вик}}[\lambda_1, \lambda_2] \cdot K_{\text{ен}}[\lambda_1, \lambda_2] \cdot K_{\text{эф}}.$$

2. Для максимізації енергоефективності ІЧ-каналу необхідно чітке узгодження максимуму спектру ІЧ-випромінювання прожектора з граничною довжиною електромагнітної хвилі «вікна прозорості» атмосфери, а також з довжиною хвилі максимуму питомої виявної здатності фотоприймача

ЛІТЕРАТУРА:

1. Головенський В.В. Збільшення дальності виявлення аеродромних променевих сигналів у складних метеорологічних умовах. Вісник Національного авіаційного університету. Київ: Національний авіаційний університет, 2018. Т. 74. № 1.
2. Нормы годности к эксплуатации в СССР гражданских аэродромов (НГЭА СССР): О совершенствовании требований к летным полосам гражданских аэродромов: Включены поправки к НГЭА СССР ГА с 1 по 25 (дата начала применения поправки № 25 - 01.10.05) <http://www.aviamet-szf.ru/wp-content/uploads/2014/Нормы-годности-к-эксплуатации-гражданских-аэродромов.pdf> (дата звернення 03.11.2018 р.)
3. Філінюк М.А., Багацький В.О., Ліщинська Л.Б., Войцеховська О.В. Критеріальне оцінювання ефективності інформаційних пристроїв та систем: навч. пос. Вінниця: ВНТУ, 2014. 143 с.
4. Young, S.S., Driggers, R.G., Yacobs, E.L., (2008) Signal processing and performans analysis for imaging systems, Artech House, New York, 304 p.
5. Gabarda, S &Cristybal, G., (2007) Blind image quality assessment through anistropy. G. Opt. Soc. Am., vol. 24, no 12, pp.42-51.
6. Колобродов В.Г., Микитенко І.В., Мамута М.С. Оцінка ефективності багатоканальних оптико-електронних систем спостереження з комплексуванням інформації. Наукові вісті НТУУ «КПІ». Приладобудування та інформаційно-вимірювальна техніка. Київ, 2012. № 6. С 127 – 131
7. Рибалко М.С., Микитенко В.І., Мамута М.С. Оцінка показників якості комплексованих зображень в двоканальних ОЕСС. Вісник Черкаського державного технологічного університету. Черкаси, 2011. № 4. С. 27 – 62.
8. Xydeas, C.S. &Petrovich, V., (2000) Objective Image Fusion Performance Measure. Electronics Let, vol. 36, no 4, pp. 208-309.
9. Holst, G.C., (2000) Elrctrooptical imagin system performance. Wi ter Park. Blonda YCD Publishing, 438 p.
10. Колобродов В.Г., Лихоліт М.І. Проектування тепловізійних і телевізійних систем спостереження. Київ: НТУУ «КПІ», 2017. 364 с.
11. Johnson, J., (1958) Analyses of Image Forming Systems, Proceedings of the Image Intensifier. Symposium U.S. Army Engineering Receach Development Laboratories. Fort Belvoir, Verginia, October, 6-7, 1958, 273 p. (DTIC report AD 220 160) <https://www.cis.rit.edu/~cnspci/references/johnson1958.pdf> (дата звернення 30.11. 2018)
12. Standardization Agreement Definition of Nominal Static Range Performance for Thermal Imaging Systems, Jul., 18, 1995.
13. Колобродов В.Г., Гордієнко В.І., Микитенко В.І., Черняк С.І. Проектування об'єктива тепловізійної системи за критерієм максимальної дальності спостереження. Наукові вісті НТУУ «КПІ». Приладобудування та інформаційно-вимірювальна техніка. Київ, 2015. № 6. С. 66 – 71.
14. Колобродов В.Г., Наздровецький О.О. Вплив руху об'єкта на максимальну дальність виявлення теплоізовізійної системи спостереження. Вісник НТУУ “КПІ”; Серія «Приладобудування». Київ, 2010. Вип. 40. С. 38 – 43.
15. Погорельский С.Л., Чинарев А.В., Антипов С.А. Оценка соотношения сигнал/шум для оптико-электронного прибора «смотрящего» типа. Оптико-электронные приборы и системы. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Тула : Издательство: Тульский государственный университет, 2012. № 7. С. 270 – 274. ISSN: 2071-6168.
16. Вербицкий В.Г., Вікулін І.М., Воробієнко П.П., Годованок В.М., Каток В.Б., Курмашев Ш.Д., Осінський В.І., Панфілов І.П., Рюхтін В.В., Сукач Г.О. Розробка високоефективних мікро-, нанотехнологій оптоелектроніки і комунікаційних систем на їх основі. Київ: Логос, 2009. 302 с.
17. Торшина И.П., Якушенков В.Г. Выбор приемника излучения при проектировании оптико-электронного прибора. Москва: Изд-во МИИГА и К, 2017. 57 с.

18. Бараночников М.Л. Приемники инфракрасного излучения: Аналитический обзор. Москва, 1985. 94 с.
19. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Современные проблемы инфракрасной техники. Москва: Изд-во МИИГА и К, 2011. 84 с.
20. Андреев И.А., Серебренникова О.Ю., Соколовский Г.С., Дюделев В.В., Ильинская Н.Д., Коновалов Г.Г., Куницына Е.В., Яковлев Ю.П. Быстродействующие фотодиоды для средней инфракрасной области спектра 1,2-2,4 мкм на основе гетероструктур GaSb/GaIn AsSb/GaAlAsSb с полосой пропускания 2-5 ГГц. Т. 47. Вып. 8 «Физика и техника полупроводников». Санкт-Петербург, 2013. С. 1109-1115.

REFERENCES:

1. Holovenskyi V.V. Increase of detection range of aerodrome beam signals in adverse meteorological conditions. *Journal of the National Aviation University*. Kyiv: National Aviation University, 2018. Т. 74. No. 1
2. Standards of operational suitability in the USSR of civil aerodromes (Standards of operational suitability of the USSR): On improvement of requirements for runway strips of civil airfields: The amendments to the Standards of operational suitability of the USSR of Civil Aviation from 1 to 25 (date of amendment application No. 25, October 1, 2005) <http://www.aviamet-szf.ru/wp-content/uploads/2014/Нормы-годности-к-эксплуатации-гражданских-аэродромов.pdf> (application date: November 3, 2018)
3. Filyniuk M.A., Bahatskyi V. O., Lishchynska L. B., Voitsekhovska O. V. Criterial assessment of efficiency of information devices and systems: Manual Vinnitsa: VNTU, 2014. 143 p.
4. Young, S.S., Driggers, R.G., Yacobs, E.L., (2008) Signal processing and performans analysis for imaging systems, Artech House, New York, 304 p.
5. Gabarda, S & Cristybal, G., (2007) Blind image quality assessment through anistropy. *G. Opt. Soc. Am.*, vol. 24, no 12, pp.42-51.
6. Kolobrodov V.H., Mykytenko I.V., Mamuta M.S. Assessment of efficiency of multichannel optoelectronic observation systems with information integration. *Scientific reports of NTUU "KPI". Instrumentation and information-measuring technique*. Kyiv, 2012. No. 6. From 127 to 131.
7. Rybalko M.S., Mykytenko V.I., Mamuta M.S. Assessment of quality indicators of complex images in two-channel electrooptical observation system. *Journal of Cherkasy State Technological University*. Cherkasy, 2011, № 4, pp. 27-62
8. Xydeas, C.S. & Petrovich, V., (2000) Objective image fusion performance measure. *Electronics Let*, vol. 36, no 4, pp. 208-309
9. Holst, G.C., (2000) Elrc trooptical imagin system performance. Wi ter Park. *Blonda YCD Publishing*, 438 p.
10. Kolobrodov V.H., Lykholit M.I. Design of thermal and television observation systems. Kyiv: NTUU "KPI", 2017. 364 p.
11. Johnson, J., (1958) Analyses of Image Forming Systems, Proceedings of the Image Intensifier. *Symposium U.S. Army Engineering Receach Development Laboratories*. Fort Belvoir, Verginia, October, 6-7, 1958, 273 p. (DTIC report AD 220 160) <https://www.cis.rit.edu/~cnspci/references/johnson1958.pdf> (application date November 30, 2018)
12. Standardization Agreement Definition of Nominal Static Range Performance for Thermal Imaging Systems, Jul., 18, 1995.
13. Kolobrodov V.H., Hordienko V.I., Mykytenko V.I., Chernyak S.I. Designing of the lens of the thermal imaging system on the criterion of the maximum range of observation. *Scientific reports of NTUU "KPI". Instrumentation and information-measuring technique*. Kyiv, 2015. No. 6. S. 66-71.
14. Kolobrodov V.H., Nazdravetskyi O.O. Influence of motion of the object on the maximum detection range of the thermal imaging observation system. *Journal of NTUU "KPI"; Series "Instrumentation"*. Kyiv, 2010. Vol. 40. pp. 38-43.
15. Pohorelskiy S.L., Chynarev A.V., Antypov S.A. Assessment of signal-to-noise ratio for optoelectronic device of "onlooking" type. *Optoelectronic devices and systems. Review of the Tula State University. Technical sciences*. Tula: Publisher: Tula State University, 2012. No. 7. p. 270-274. ISSN: 2071-6168.
16. Verbytskyi V.H., Vikulin I.M., Vorobienko P.P., Hodovanok V.M., Katok V.B., Kurmashev Sh.D., Osinskyi V.I., Panfilov I.P., Riukhtin V.V., Sukach H.O. Development of highly effective micro, nanotechnologies of optoelectronics and communication systems on their basis. Kyiv: Logos, 2009. 302 p.
17. Torshyna I.P., Yakushenkov V.H. Selection of radiation receiver when designing optoelectronic instrument. Moscow: Publishing house MIIGA and K, 2017. 57 p.
18. Baranochnykov M.L. Infrared radiation receivers: Analytical review. Moscow, 1985. 94 p.

19. Tarasov V.V., Yakushenkov Iu.H. Modern problems of infrared technology. Moscow: Publishing house MIIGA and K, 2011. 84 p.

20. Andreev I.A., Serebrennikova O.Yu., Sokolovskiy G.S., Dyudelev V.V., Ilyinskaya N.D., Konovalov G.G., Kunitsyna E.V., Yakovlev Yu.P. High-speed photodiodes for the middle infrared region of the spectrum 1.2-2.4 microns based on GaSb/GaInAsSb/GaAlAsSb heterostructures with a transmission region of 2-5 GHz. Nol. 47. Vol. 8 "Physics and technology of semiconductors". St. Petersburg, 2013, pp. 1109-1115.

**к.т.н., доц. Лисовенко В.Д., Головенский В.В., к.ф.-мат.н. Базик А.И.
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ИК-КАНАЛА
АЭРОДРОМНЫХ СВЕТОСИГНАЛЬНЫХ СИСТЕМЫ**

Получено аналитическое выражение технико-экономического показателя эффективности светосигнальной аэродромной системы типа сигнал/шум, нормированного на потребляемую мощность источника и представленного через интегральные характеристики мультипликативных составляющих канала. Основываясь на современных достижениях LED-технологий в получении конструктивных элементов комплекса, работающего в инфракрасном диапазоне волн, дан прогноз на высокую эффективность внедрения такого сигнального канала.

Ключевые слова: аэродромная светосигнальная система, инфракрасный диапазон волн, электронно-оптические приборы, интегральные критерии эффективности.

**Ph.D. Lisovenko V.D., Holovenskiy V.V., Ph.D. Bazyk O.I.
PERSPECTIVES OF USING ADDITIONAL INFRARED CHANNEL
OF THE AERODROME LIGHTING SYSTEM**

One of the ways of air transport safety improvement is enhancement of the air navigation lighting complexes. The extension of their functional characteristics is possible due to the use of additional information channels of the crew of the aircraft about the outside world, especially - about the situation on the runway. To do this, it is necessary to put into operation in addition to existing, lighting systems of communication channels, for example, which include infrared floodlights located at the aerodrome, coordinated on the spectrum of electromagnetic radiation by receivers on board the aircraft. The perspective of implementation of such channels requires an assessment of the effectiveness of their work according to different criteria.

The methodology and characteristics of the electric lighting systems, upon which the assessment of existing and developed optoelectronic systems is traditionally carried out: separate and generalized efficiency criteria, are analyzed. For the proposed in addition to the lighting channel of the aircraft crew's orientation of the infrared channel, the analytical expression of the efficiency criterion of the entire complex of the effect / expenditure type, based on the deterministic signal-to-noise ratio, calculated per unit of power consumption of the source. The efficiency criteria are calculated both for monochromatic radiation of the source and for a source of a wide spectral content, and expressed through the integral characteristics of the multiplicative constituents of the channel: transmission coefficient of the optical construction system, the specific apparent power of the matrix photodetector, the specific transparency of the atmospheric window, the coefficient of radiation use of the source, the energy efficiency factor of the source in the atmospheric transparency window of the infrared range, energy efficiency coefficient of the source.

On the basis of the analysis of the optimal normalized efficiency criterion, which is the economically-energetic and most adequate at the stage of substantiation of the technical implementation of the new idea of the functioning of the signal system, concrete ways of maximizing its operational efficiency are set out. On the basis of scientific data it is shown that due to the modern achievements in LED technology, the reception of infrared photodetectors of electromagnetic waves with near-theoretical boundary values of the specific detection capability and powerful semiconductor emitting diodes of this range, the realization of the implementation of an additional infrared signaling channel, which will meet the conditions of high electrical safety, controllability from the aircraft, all-weather and round-the-clock.

Key words: aerodrome lighting system, infrared wavelength range, electron-optical devices, integral efficiency criteria.