

ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 621.384.3

В.Г. Колобродов¹, В.І. Гордієнко², В.І. Микитенко¹, С.І. Черняк³

¹Національний технічний університет України “КПІ”, Київ, Україна

²Науково-виробничий комплекс “Фотоприлад”, Черкаси, Україна

³Державне підприємство КБ СПБ “Арсенал”, Київ, Україна

ПРОЕКТУВАННЯ ОБ’ЄКТИВА ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ ЗА КРИТЕРІЄМ МАКСИМАЛЬНОЇ ДАЛЬНОСТІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Background. The work’s background lies in the thermal imaging surveillance systems (TISS) and their input blocks analysis and synthesis.

Objective. Objective of the study is to develop a calculation method for TISS input block design, based on the assumption of specified maximum range of observation.

Method. The application of the linear systems theory to the TISS basic mathematical model, which considers basic components of signal transformation process from object to observer.

Results. A simplified method for the TISS lens synthesis was proposed on the maximum range of observation at given probability of performing visual task criterion. Some approaches from STANAG 4347, which defines TISS nominal ranger performance, were used in the method. The accuracy of calculation algorithms has been proved on the example of calculation of French thermal imaging camera Catherine-FC input unit.

Conclusions. The developed method is compatible with STANAG 4347 and also allows thermal imaging system analysis and matching characteristics of infrared lens and detector.

Keywords: synthesis of a thermal imaging system; surveillance range; infrared lens.

Вступ

Створення тепловізійних систем спостереження (ТПСС) є одним із динамічних напрямів розвитку оптико-електронного приладобудування [1–3]. З огляду на велике розмаїття об’єктів, фонів і умов спостереження неможливо створити універсальну апаратуру, параметри і характеристики якої найкращим чином задовольняли б будь-яких споживачів кінцевої інформації, тим більше, що такими споживачами, як правило, є спостерігачі, а їх оцінки якості інформації є суб’єктивними. З іншого боку, є очевидним, що для вузького класу задач можна оптимізувати основні характеристики блоків ТПСС, якщо існують засоби об’єктивних оцінок таких характеристик. Для ТПСС військового призначення однією з основних споживчих оцінок якості функціонування є дальність спостереження при заданій ймовірності виконання зорової задачі [4]. Математичне моделювання для визначення дальності спостереження є складною багатопараметричною задачею [5, 6], і його використання доцільне при оптимізації вже вибраного технічного рішення. На етапі обґрунтування технічного рішення необхідно використовувати спрощені інженерні методи. З огляду на постійне вдосконалення елементної бази ТПСС і підвищення вимог до них відомі методики синтезу ТПСС [7, 8] потребують удосконалення.

Постановка задачі

Метою роботи є створення методу синтезу основних параметрів об’єктива ТПСС, який забезпечує задану дальність спостереження, із врахуванням усіх ланок проходження сигналу від об’єкта до спостерігача.

Метод синтезу

Задачами зорового спостереження у військовій галузі є виявлення, розпізнавання та ідентифікація об’єктів певного класу. Загальновідомо, що характеристики ТПСС головним чином визначаються тепловізійною камерою. Тому під синтезом ТПСС будемо розуміти розрахунок основних оптико-електронних характеристик інфрачервоного об’єктива і приймача випромінювання тепловізійної камери, яка забезпечує задані максимальні дальності виявлення, розпізнавання та ідентифікації.

Синтез ТПСС базується на рівнянні (4.165), яке було отримано в [4]:

$$\Delta T_0 \exp(\kappa_a R) = 0,66 \cdot SNR(P_r) \cdot NETD \frac{v_x}{M_s(v_x)} \sqrt{\frac{\alpha_D \beta_D}{\Delta f \cdot t_o f_f t_E}}, \quad (1)$$

де κ_a – показник ослаблення атмосфери; ΔT_0 – мінімальна роздільна різниця температур (MRPT);

ν_x – просторова частота; R – задане значення максимальної дальності дії (дальності виявлення R_d , розпізнавання R_r або ідентифікації R_i залежно від поточної задачі); $M_s(\nu_x)$ – модуляційна передавальна функція (МПФ) ТПСС; Δf – ефективна шумова смуга; t_o – час формування одного елемента розкладу зображення; α_D, β_D – кутовий розмір пікселя; $NETD$ – еквівалентна шуму різниця температур; $t_E = 0,2$ с – стала часу зорової системи; SNR – відношення сигнал/шум для забезпечення заданої ймовірності розпізнавання P_r .

Згідно зі стандартом НАТО 4347 [9] для кожної дальності слід указувати умови пропускання атмосфери (добрі чи обмежені), поле зору системи (у градусах або мілірадіанах), а також спосіб отримання МРРТ (вимірювання або розрахунок). Залежно від типу системи може застосовуватись одна або дві з наведених вище видів дальності.

Номінальні значення статичної дальності для ТПСС визначаються на основі усередненої МРРТ за таких умов:

- розмір об'єкта – $V_t \times W_t = 2,3 \times 2,3$ м²;
- температурний контраст між об'єктом і заднім фоном (відносно температури АЧТ у 288 К) – $\Delta T_0 = 2$ К;
- коефіцієнт пропускання атмосфери в межах робочого спектрального діапазону визначається законом Бугера

$$\tau_a(R) = \exp(-\kappa_a R),$$

де R – дальність, км; $\kappa_a = 0,2$ км⁻¹ – показник ослаблення для сприятливих умов пропускання атмосфери; $\kappa_a = 1,0$ км⁻¹ – показник ослаблення для обмежених умов пропускання атмосфери;

- критерії розділення для ймовірності 50 %:
- виявлення – 1 пара ліній/об'єкт;
- розпізнавання – 3 пари ліній/об'єкт;
- ідентифікація – 6 пар ліній/об'єкт.

Еквівалентна шуму різниця температур $NETD$ визначається за формулою [4]

$$NETD = \frac{4k_{\text{eff}}^2}{\tau_o \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} D^*(\lambda) \frac{\partial M_\lambda(\lambda, T)}{\partial T} d\lambda} \sqrt{\frac{\Delta f}{A_D}}, \quad (2)$$

де k_{eff} – ефективне діафрагмове число; τ_o – інтегральний коефіцієнт пропускання інфрачервоного об'єктива; $D^*(\lambda)$ – питома виявлю-

вальна здатність приймача випромінювання; $M_\lambda(\lambda, T)$ – функція Планка; A_D – площа пікселя.

Після підстановки формули (2) в (1) отримуємо загальне рівняння для синтезу ТПСС

$$\Delta T_0 \exp(\kappa_a R) = 0,66 \cdot SNR(P_r) \frac{\nu_x}{M_s(\nu_x)} \times \sqrt{\frac{\alpha_D \beta_D}{A_D t_o f_f t_E}} \frac{4k_{\text{eff}}^2}{\tau_o \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} D^*(\lambda) \frac{\partial M_\lambda(\lambda, T)}{\partial T} d\lambda}. \quad (3)$$

Просторова частота в (3) визначається як

$$\nu_{xN} = \frac{NR_N}{V_t},$$

де $R_1 = R_d$ – максимальна дальність виявлення цілі, коли $N = 1$; $R_3 = R_r$ – максимальна дальність розпізнавання цілі, коли $N = 3$; $R_6 = R_i$ – максимальна дальність ідентифікації цілі, коли $N = 6$.

Для розв'язання задач синтезу в рівняння (3) необхідно ввести основні параметри об'єктива і приймача випромінювання, які треба оптимізувати для забезпечення заданої максимальної дальності виявлення, розпізнавання або ідентифікації. Якщо такі параметри розмістити в лівій частині, а сталі (задані) параметри – у правій, то остаточне розрахункове рівняння набуде вигляду

$$\frac{\tau_o}{k_{\text{eff}}^2} \sqrt{\frac{A_D}{\alpha_D \beta_D}} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} D^*(\lambda) \frac{\partial M_\lambda(\lambda, T)}{\partial T} d\lambda = \frac{2,64 SNR(P_r)}{\Delta T_0 \exp(\kappa_a R)} \frac{NR_N}{V_t M_s(NR_N/V_t)} \sqrt{\frac{1}{t_o f_f t_E}}. \quad (4)$$

Застосування методу синтезу ТПСС

Як приклад застосування розробленого методу синтезу параметрів об'єктива розглянемо тепловізійну камеру Catherine-FC[10]. У камері для розгортки зображення використовується паралельно-послідовний метод сканування матричним приймачем SOFRADIRIRCCD 288×4 (IDTL061-XX). Сканування відбувається горизонтально за два проходи, в результаті чого формується 288×2 = 576 рядків.

Критерієм синтезу об'єктива, в результаті якого повинні бути визначені задня фокусна відстань f'_o , діафрагмове число k_{eff} (діаметр вхідної зіниці D_p) та кутове поле зору $2\omega_o$ об'єктива, задамо максимальну дальність розпізнавання.

Основними характеристиками тепловізора Catherine-FC, які необхідні для синтезу, є:

1) робочий спектральний діапазон 7,5–10,5 мкм (або 7,7–0,3 мкм);

2) кутове поле зору: широке поле зору (ШПЗ) $2\omega_x \times 2\omega_y = 9^\circ \times 6,7^\circ$; вузьке поле зору (ВПЗ) $2\omega_x \times 2\omega_y = 3^\circ \times 2,2^\circ$;

3) максимальна дальність спостереження за стандартом НАТО 4347 при ВПЗ: виявлення $R_d = 8,3$ км; розпізнавання $R_r = 3,3$ км; ідентифікація $R_i = 1,8$ км.

4) еквівалентна шуму різниця температур $NETD = 180$ мК;

5) модуляційна передавальна функція в центрі поля зору дорівнює: для ШПЗ – 27 %; для ВПЗ – 80 %;

6) формат кадру $p \times q = 754 \times 576$;

7) частота кадрів $f_f = 100$ Гц;

8) приймач випромінювання – лінійка SOFRADIRIRCCD 288×4 (IDTL061-XX): розмір пікселя $v_D \times w_D = 25 \times 28$ мкм; відстань між пікселями уздовж сканування $V_D = 43$ мкм.

Алгоритм синтезу такий:

1. Відомими в рівнянні (4) є: $A_D = v_D w_D = 25 \times 28 \text{ мкм}^2 = 7 \times 10^{-6} \text{ см}^{-2}$ – площа чутливої площадки пікселя; $SNR(P_r) = 4,5$ – відношення сигнал/шум для упевненого виявлення одного штриха міри Фуко на екрані дисплея [4]; $\Delta T_0 = 2 \text{ К}$ – температурний контраст між ціллю і фоном; $\kappa_a = 0,2 \text{ км}^{-1}$ – показник ослаблення для сприятливих умов пропускання атмосфери; $V_r = 230 \text{ см}$ – розмір тест-об'єкта; $f_f = 100 \text{ Гц}$ – частота кадрів; $t_E = 0,2 \text{ с}$ – стала часу зорової системи.

2. Розраховуємо інтеграл

$$I = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} D^*(\lambda) \frac{\partial M_\lambda(\lambda, T)}{\partial T} d\lambda, \quad (5)$$

де $\lambda_1 - \lambda_2 = 7,5 - 10,5$ мкм – робочий спектральний діапазон; $D^*(\lambda)$ – питома виявлю-

вальна здатність приймача випромінювання; $M_\lambda(\lambda, T)$ – функція Планка:

$$M_\lambda(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]}, \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \cdot \text{мкм}},$$

де $c_1 = 37415 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{мкм}^4$, $c_2 = 14388 \text{ мкм} \cdot \text{К}$ – сталі коефіцієнти; λ – довжина хвилі, мкм.

Диференціальну спектральну енергетичну світність АЧТ, яка входить до інтеграла (5), визначають за формулою

$$\frac{\partial M_\lambda(\lambda, T)}{\partial T} \approx \frac{c_2}{\lambda T^2} M_\lambda(\lambda, T). \quad (6)$$

Приймач випромінювання SOFRADIRIRCCD 288×4 (IDTL061-XX) є фотонним приймачем, для якого питома виявлювальна здатність апроксимується функцією [4]

$$D^*(\lambda) = \begin{cases} \frac{\lambda}{\lambda_2} D_{\text{max}}^*, & \text{якщо } \lambda \leq \lambda_2; \\ 0, & \text{якщо } \lambda > \lambda_2, \end{cases} \quad (7)$$

де λ_2 – гранична довжина хвилі; $D_{\text{max}}^* = D^*(\lambda_2) = 5,5 \cdot 10^{10} \text{ см} \sqrt{\text{Гц}} / \text{Вт}$.

Підставимо (6) і (7) до інтеграла (5):

$$I = \frac{c_2 D_{\text{max}}^*}{T^2 \lambda_2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_\lambda(\lambda, T) d\lambda. \quad (8)$$

Після підстановки вихідних даних до (8) маємо

$$I = \frac{14388 \cdot 5,5 \cdot 10^{10}}{288^2 \cdot 10,5} \int_{7,5}^{10,5} M_\lambda(\lambda, T = 288 \text{ К}) d\lambda = 6,58 \cdot 10^6 \frac{\sqrt{\text{Гц}}}{\text{К} \cdot \text{см}}.$$

3. Визначимо час формування одного елемента зображення як

$$t_o = \frac{1}{2\Delta f},$$

де Δf – ефективна шумова смуга пропускання електронної системи обробки відеосигналу.

Смугу пропускання Δf для послідовно-паралельного методу сканування визначаємо за формулою [4]

$$\Delta f = \frac{2\omega_x 2\omega_y f_f}{2q_D \alpha_D \beta_D \eta_{sc}} = \frac{pqf_f}{2q_D \eta_{sc}}, \quad (9)$$

де $\eta_{sc} = 0,8$ – ефективність сканування оптико-механічної розгортки тепловізора; $p \times q = 754 \times 576 = 434304$ – число елементів розкладу в зображенні; $q_D = 288$ – число пікселів приймача у вертикальному напрямку. Після підстановки вихідних параметрів до формули (9) маємо: $\Delta f = 94250$ Гц. Тоді час формування одного елемента $t_o = 5,3 \cdot 10^{-6}$ с.

Для перевірки достовірності розрахованого параметра t_o скористаємося формулою (2) для визначення еквівалентної шуму різниці температур *NETD*. Після підстановки отриманих вище параметрів отримаємо

$$NETD = \frac{4k_{eff}^2}{\tau_o 6,58 \cdot 10^6} \sqrt{\frac{94250}{7 \cdot 10^{-6}}} = 0,07 \frac{k_{eff}^2}{\tau_o} = 0,18.$$

Звідси маємо, що діафрагмове число об'єктива тепловізора Catherine-FC становить $k_{eff} = \sqrt{2,57\tau_o}$. Якщо коефіцієнт пропускання об'єктива $\tau_o = 0,9$, то $k_{eff} = 1,52$. Такий результат підтверджує достовірність параметра t_o .

4. МПФ тепловізора апроксимуємо формулою [4]

$$M_s(v_x) = \exp(-2\pi^2 r_s^2 v_x^2),$$

де $r_s = 0,28\delta\omega_s$ – радіус зображення точкового джерела випромінювання на екрані дисплея, мрад; $\delta\omega_s$ – кутове розділення тепловізора.

Якщо кутове розділення тепловізора $\delta\omega_s$ визначається через узгодження МПФ об'єктива і приймача випромінювання на рівні 0,5, то [4]

$$\delta\omega_s = \frac{1,66V_D}{f'_o}.$$

Тоді МПФ тепловізора матиме вигляд

$$M_s(v_x) = \exp\left[-2\pi^2 \left(0,28 \frac{1,66V_D}{f'_o}\right)^2 v_x^2\right],$$

де розмір пікселя V_D вимірюється в мікрометрах, а фокусна відстань об'єктива f'_o – у міліметрах.

З урахуванням критерію синтезу “максимальна дальність розпізнавання” МПФ набуде вигляду

$$M_s(v_x) = \exp\left[-2\pi^2 \left(0,28 \frac{1,66V_D}{f'_o}\right)^2 \left(\frac{3R_r}{V_t}\right)^2\right],$$

де розмір тест-об'єкта V_t вимірюється в метрах, а дальність розпізнавання R_r – у кілометрах.

При $V_D = 43$ мкм і $V_t = 2,3$ м маємо

$$M_s(v_x) = \exp\left[-1,34 \cdot 10^4 \left(\frac{R_r}{f'_o}\right)^2\right].$$

5. Визначаємо кутові розміри чутливої площадки ПВ як

$$\alpha_D = \frac{V_D}{f'_o} = \frac{22}{f'_o}, \text{ мрад};$$

$$\beta_D = \frac{W_D}{f'_o} = \frac{28}{f'_o}, \text{ мрад}.$$

6. Підставляємо наведені вище вихідні дані у формулу (4):

$$\begin{aligned} & \exp\left[1,34 \cdot 10^4 \left(\frac{R_r}{f'_o}\right)^2\right] \frac{\tau_o f'_o}{k_{eff}^2} 10^{-4} \cdot 6,58 \cdot 10^6 = \\ & = \frac{2,64 \cdot 4,5}{2 \exp(0,2R_r)} \frac{3R_r}{2,3} \sqrt{\frac{1}{5,3 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 0,2}}, \end{aligned}$$

отримаємо

$$\begin{aligned} & \exp\left[1,34 \cdot 10^4 \left(\frac{R_r}{f'_o}\right)^2\right] \frac{\tau_o f'_o}{k_{eff}^2} 658 = \\ & = 750 \frac{R_r}{\exp(0,2R_r)}. \end{aligned} \quad (10)$$

Отримане рівняння (10) дає змогу синтезувати об'єктив тепловізора за критерієм “задана максимальна дальність розпізнавання”.

Для перевірки достовірності отриманого рівняння розглянемо тепловізор Catherine-FC, який для вузького поля зору має максимальну дальність розпізнавання $R_r = 3,3$ км. Крім того, в п. 3 алгоритму синтезу об'єктива, було встановлено, що $k_{eff} = \sqrt{2,57\tau_o}$. Підставимо ці значення до рівняння (10):

$$\exp\left[-1,34 \cdot 10^4 \left(\frac{3,3}{f'_o}\right)^2\right] 0,389 \cdot 658 f'_o =$$

$$= 750 \frac{3,3}{\exp(0,2 \cdot 3,3)}.$$

Після обчислень маємо трансцендентне рівняння

$$\exp\left(-\frac{1,46 \cdot 10^5}{f'_o{}^2}\right) f'_o = 4,92. \quad (11)$$

Розв'язком цього рівняння методом послідовних наближень є $f'_o = 198$ мм.

Визначимо задню фокусну відстань f'_o із паспортних параметрів тепловізора Catherine-FC для вузького поля зору $2\omega_x \times 2\omega_y = 3^\circ \times 2,2^\circ$. Із рисунка маємо

$$\operatorname{tg} \omega_y = \frac{Y_D}{2f'_o},$$

де $Y_D = 8$ мм – розмір матричного приймача уздовж осі y .

Звідси отримаємо

$$f'_o = \frac{Y_D}{2 \operatorname{tg} \omega_y} = \frac{8}{2 \operatorname{tg} 1,1^\circ} = 208 \text{ мм}.$$

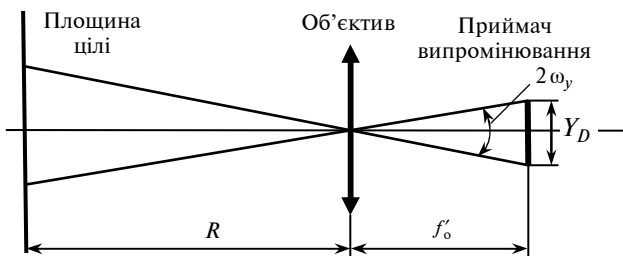


Схема для розрахунку фокусної відстані об'єктива

Деяка відмінність цього значення фокусної відстані об'єктива від отриманого за формулою (11) пояснюється завищеними значеннями спектрального діапазону роботи тепловізора та вибраним відношенням сигнал/шум $SNR(P_r) = 4,5$.

7. Діаметр входної зіниці об'єктива D_p визначимо з отриманого в п. 3 співвідношення

для розрахунку діафрагмового числа об'єктива тепловізора Catherine-FC: $f'_o/D_p = k_{\text{eff}} = \sqrt{2,57\tau_o}$:

$$D_p = \frac{f'_o}{\sqrt{2,57\tau_o}}.$$

Наприклад, якщо коефіцієнт пропускання об'єктива $\tau_o = 0,9$, то $D_p = 130$ мм.

8. Поле зору об'єктива визначається за формулою

$$2\omega_o = \sqrt{(2\omega_x)^2 + (2\omega_y)^2} = 2\sqrt{\left(\operatorname{arctg} \frac{X_D}{2f'_o}\right)^2 + \left(\operatorname{arctg} \frac{Y_D}{2f'_o}\right)^2},$$

де $X_D \times Y_D$ – розмір матричного приймача випромінювання.

Для приймача випромінювання SOFRADIRIRCCD 288x4 (IDTL061-XX) $X_D \times Y_D = 8 \times 0,38$ мм². Тоді кутове поле зору об'єктива дорівнює

$$2\omega_o = 2\sqrt{\left(\operatorname{arctg} \frac{0,38}{2 \cdot 198}\right)^2 + \left(\operatorname{arctg} \frac{8}{2 \cdot 198}\right)^2} = 2,3^\circ.$$

Висновки

Розроблено спрощений метод синтезу об'єктива ТПСС виходячи з критерію забезпечення максимальної дальності спостереження при заданій ймовірності виконання зорової задачі. Запропонований метод є сумісним зі стандартом НАТО 4347. На прикладі розрахунку об'єктива французької тепловізійної камери Catherine-FC продемонстровано достовірність розрахункових алгоритмів.

У подальших дослідженнях для забезпечення можливості використання запропонованого методу синтезу з метою узгодження об'єктива із сучасними матричними приймачами випромінювання доцільно від одновимірної моделі перейти до двовимірної.

Список літератури

1. Тарасов М.М., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы “смотрящего” типа. – М.: Логос, 2004. – 444 с.
2. Сайт фірми FLIR. Опис стану техніки в індустрії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.flir.com/uploadedFiles/Thermography/MMC/Brochures/T820147/T820147_APAC.pdf
3. Сайт фірми Raytheon. Сучасні тепловізійні технології [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.raytheon.com/news/feature/rtn14_thermal.html

4. Колобродов В.Г., Лихоліт М.І. Проектування тепловізійних і телевізійних систем спостереження. – К.: НТУУ “КПІ”, 2007. – 364 с.
5. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1983. – 696 с.
6. Якушенко Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов. – М.: Логос, 2004. – 472 с.
7. Тарасов В.В., Якушенко Ю.Г. Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы. – М.: Логос, 2007. – 192 с.
8. Leachtenauer J.C., Driggers R.G. Surveillance and Reconnaissance Systems: Modeling and Performance Prediction. – Artech House, Incorporated, 2001. – 419 p.
9. STANAG 4347. Definition of nominal static ranger performance for thermal imaging systems, 1995.
10. Танковые ночные системы и приборы наблюдения / А.Р. Глушенко, В.И. Гордиенко, А.В. Бурак, А.Ю. Денисенко. – Черкассы: ЧП Чабоненко Ю.А., 2007. – 442 с.

References

1. M.M.Tarasov and Yu.G. Yakushenkov, *Forward Looking Infrared Systems*. Moscow, Russia: Logos, 2004, 444 p. (in Russian).
2. FLIR Website. Description of the Industry’s Technology [Online]. Available: http://www.flir.com/uploadedFiles/Thermography/MMC/Brochures/T820147/T820147_APAC.pdf
3. Raytheon website. Modern thermal imaging technology [Online]. Available: http://www.raytheon.com/news/feature/rtn14_thermal.html
4. V.G. Kolobrodov and N.I. Liholit, *Development of Thermovision and Television Systems*. Kyiv, Ukraine: NTUU “KPI”, 2007, 364 p. (in Ukrainian).
5. M.M. Miroshnikov, *Theoretical Foundation for Optoelectronic Devices*. Leningrad, USSR: Mashinostroenie, 1983, 696 p. (in Russian).
6. Yu.G. Yakushenkov, *Theory and Calculation of Optoelectronic Instruments*. Moscow, Russia: Logos, 2004, 472 p. (in Russian).
7. M.M. Tarasov and Yu.G. Yakushenkov, *Two- and Multispectral Optoelectronic Systems*. Moscow, Russia: Logos, 2007, 192 p. (in Russian).
8. J.C. Leachtenauer and R.G. Driggers, *Surveillance and Reconnaissance Systems: Modeling and Performance Prediction*. Artech House, Incorporated, 2001, 419 p.
9. *Definition of Nominal Static Ranger Performance for Thermal Imaging Systems*, STANAG 4347, 1995.
10. A.R. Gluschenko *et al.*, *Tank Systems and Nightvision Devices*. Cherkasy, Ukraine: Chabonenko Yu.A. Private Company, 2007, 442 p. (in Russian).

В.Г. Колобродов, В.І. Гордієнко, В.І. Микитенко, С.І. Черняк

ПРОЕКТУВАННЯ ОБ’ЄКТИВА ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ ЗА КРИТЕРІЄМ МАКСИМАЛЬНОЇ ДАЛЬНОСТІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Проблематика. Створення методів аналізу і синтезу тепловізійних систем спостереження (ТПСС) та їх вхідних блоків.

Мета дослідження. Мета роботи – розробити розрахунковий метод проектування вхідного блока ТПСС виходячи із заданої максимальної дальності спостереження.

Методика реалізації. Застосування теорії лінійних систем до базової математичної моделі ТПСС, яка враховує основні складові процесу перетворення сигналів при проходженні від об’єкта до спостерігача.

Результати дослідження. Розроблено спрощений метод синтезу об’єктива ТПСС виходячи з критерію забезпечення максимальної дальності спостереження при заданій ймовірності виконання зорової задачі. В методі використано підходи, які лежать в основі стандарту НАТО 4347 з визначення дальності спостереження з допомогою ТПСС. На прикладі розрахунку вхідного блока французької тепловізійної камери Catherine-FC підтверджено достовірність розрахункових алгоритмів.

Висновки. Запропонований метод є сумісним зі стандартом НАТО 4347 і дає змогу здійснювати аналіз ТПСС та узгодження характеристик об’єктива і приймача випромінювання.

Ключові слова: синтез тепловізійної системи; дальність спостереження; інфрачервоний об’єктив.

В.Г. Колобродов, В.И. Гордиенко, В.И. Микитенко, С.И. Черняк

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТИВА ТЕПЛОВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМАЛЬНОЙ ДАЛЬНОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ

Проблематика. Создание методов анализа и синтеза тепловизионных систем наблюдения (ТПСН) и их входных блоков.

Цель исследования. Цель работы – разработать расчетный метод проектирования входного блока ТПСН исходя из заданной максимальной дальности наблюдения.

Методика реалізації. Применение теории линейных систем к базовой математической модели ТПСН, которая учитывает основные составляющие процесса преобразования сигналов при прохождении от объекта до наблюдателя.

Результаты исследования. Разработан упрощенный метод синтеза объектива ТПСН исходя из критерия обеспечения максимальной дальности наблюдения при заданной вероятности выполнения зрительной задачи. В методе использованы подходы, которые лежат в основе стандарта НАТО 4347 по определению дальности наблюдения с помощью ТПСН. На примере расчетов входного блока французской тепловизионной камеры Catherine-FC подтверждена достоверность расчетных алгоритмов.

Выводы. Предложенный метод совместим со стандартом НАТО 4347 и позволяет осуществлять анализ ТПСН и согласование характеристик объектива и приемника излучения.

Ключевые слова: синтез тепловизионной системы; дальность наблюдения; инфракрасный объектив.

Рекомендована Радою
приладобудівного факультету
НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції
2 лютого 2015 року