

### Литература

1. Глущенко А. Р., Танковые ночные системы и приборы наблюдения / А. Р. Глущенко, В. И. Гордиенко, А. В. Бурак, А. Ю. Денисенко. – Черкассы: ПП Чабаненко Ю. А., 2007. – 442 с.
2. Филатов Г. Развитие подвижных наземных комплексов оптико-электронных средств разведки СВ за рубежом / Г. Филатов, С. Якобсон, Н. Беглова // Зарубежное военное обозрение. – 2002. – № 1. – С. 17 – 19.
3. Колобродов В. Г. Проектування тепловізійних і телевізійних систем спостереження: Підручник / В. Г. Колобродов, М. І. Лихоліт. – К.: НТУУ “КПІ”, 2007. – 364 с.
4. Справочник конструктора оптико-механических приборов В. А. Панов, М.Я. Кругер, В. В. Кулагин и др. Под общ. ред. В. А. Панова. – Л.: Машиностроение, 1980. – 742 с.
5. Вычислительная оптика: Справочник // М. М. Русинов, А. П. Грамматин, П. Д. Иванов и др. / Под. общ. ред. М. М. Русинова. – Л.: Машиностроение, 1984. – 423 с.

*Надійшла до редакції  
27 вересня 2014 року*

© Гордієнко В. І., 2014

УДК 621.384.3

## КОМПЛЕКСУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ У ЦІЛОДОБОВИХ ДВОКАНАЛЬНИХ СИСТЕМАХ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

*Микитенко В. І., Балтабаєв М. М., Пономаренко О. А.*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
м. Київ, Україна  
[v.mikitenko@nil-psf.kpi.ua](mailto:v.mikitenko@nil-psf.kpi.ua)*

*На сучасному етапі розвитку оптико-електронного приладобудування найбільш актуальними є двоканальні оптико-електронні системи спостереження (ОЕСС) у складі ТВ та ТПВ каналів, в яких для об'єднання інформації обох каналів використовують різні методи комплексування. Наразі недостатньо дослідженою є ефективність запропонованих методів комплексування для однієї й тієї ж ОЕСС за різних умов функціонування. Більшість методів комплексування зовсім або частково не враховують поточну задачу спостереження, зовнішні умови функціонування чи характеристики кінцевого споживача інформації – оператора. Метою даної роботи є аналіз умов функціонування для визначення визначити можливості використання однакових методів комплексування зображень за різних умов в одній і тій самій системі, та для розробки рекомендацій щодо комбінування різних методів комплексування в ОЕСС залежно від зовнішніх умов функціонування ОЕСС. Були розраховані параметри вхідних сигналів ТВ і ТПВ каналів ОЕСС для моделі спостереження алюмінієвої пластини на фоні піску за різних умов функціонування. Показано, що при майже незмінних контрастах в ТВ каналі, контраст в ТПВ сигналі може зазнавати різких змін, що потребує зміни алгоритмів комплексування при різних зовнішніх умовах.*

***Ключові слова:** комплексування зображень, діапазон вхідних сигналів, телевізійний та тепловізійний канал.*

### Вступ

Дистанційні спостереження в умовах низької освітленості та у повній темряві є одним з найважливіших напрямів оптико-електронного приладобудування

ня. Наукові дослідження в цій сфері постійно стимулюються потребами як військової діяльності, так і нових галузей народного господарства. Досягнення у сфері розвитку оптоелектроніки, особливо в останні десятиріччя, сприяли появі сучасних багатоканальних приладів спостереження, які містять кілька різних інформаційних каналів (як мінімум телевізійний (ТВ) і тепловізійний (ТПВ)). Для об'єднання інформації з різних каналів у цих приладах застосовують комплексування сигналів.

В останні роки дослідження комплексування (об'єднання каналів видимого і теплового діапазонів зі спостереженням на одному загальному екрані) та комбінування (об'єднання каналів на одній платформі, але з виводом кожного з каналів на окремий монітор) показали істотну якісну і кількісну вигоду у вирішенні задач виявлення, розрізнення, розпізнавання, стеження та цілевказання при роботі по об'єктам спостереження [1]. Комплексування підвищує інформативність результуючого зображення порівняно із зображеннями, отриманими в окремих каналах системи. Це значно покращує усвідомлення ситуації оператором і збільшує ефективність системи в цілому.

Водночас, важливу роль відіграють умови в яких працює система спостереження. Оскільки, різні умови роботи системи створюють різні сигнали на вході в систему, є не очевидним можливість використання одного й того ж метода комплексування за різних умов.

Телевізійний канал формує в просторі предметів контрасти об'єктів відносно фону за рахунок перевідбиття сонячної енергії у видимому діапазоні, що призводить до варіацій сигналу залежно від стану зовнішнього освітлення. Тепловізійний канал має незмінний сигнал, тому що сприймає власне випромінювання об'єктів відносно фону, яке змінюється дуже повільно. З іншого боку, денні та нічні умови спостереження в ТПВ каналі також можуть відрізнятися суттєво. Окрім власного випромінювання ТПВ, канал також може сприймати випромінювання модульоване коефіцієнтом відбиття, який змінюється залежно від умов освітлення об'єкту.

На сучасному етапі розвитку оптико-електронного приладобудування найбільш актуальними є двоканальні оптико-електронні системи спостереження (ОЕСС) у складі ТВ та ТПВ каналів, в яких для об'єднання інформації обох каналів використовують різні методи комплексування [2, 3]. Однак розробники методів комплексування не досліджували ефективність запропонованих методів для однієї й тієї ж ОЕСС за різних умов функціонування. Більшість методів комплексування працюють зовсім або частково не враховують поточну задачу спостереження, зовнішні умови функціонування чи характеристики кінцевого споживача інформації – оператора.

### **Постановка задачі**

Метою даної роботи є аналіз умов функціонування для того щоб визначити можливість використання однакових методів комплексування зображень за різних умов в одній і тій самій системі, та розробити рекомендації до щодо комбі-

нування різних методів комплексування в ОЕСС залежно від зовнішніх умов функціонування ОЕСС.

Розглянемо типові умови функціонування ОЕСС. Для кожного з каналів ТВ та ТПВ будуть окремо розглядатися умови функціонування удень та вночі. Денні спостереження виконуються за умов прямого сонячного освітлення та за наявності хмар.

### Розрахунок діапазону вхідних сигналів для ТВ каналу в умовах дня та ночі

ТВ канал спостереження сприймає випромінювання, яке утворюється за рахунок відбивання від об'єктів і фонів зовнішнього випромінювання (природного або штучного), в діапазоні чутливості передавальної камери.

В якості тест об'єкта використаємо алюмінієву пластину на фоні піску. За рахунок того, що коефіцієнт відбиття алюмінію ( $\rho_A = 0,6$ ) більший коефіцієнту відбиття піску ( $\rho_{\Pi} = 0,2$ ), спостерігається значна різниця контрастів.

1) Денні спостереження. У день природним джерелом освітлення є Сонце. За гарних погодних умов (відсутність хмар), та за поганих погодних умов (захмареному небі) воно створює на поверхні об'єкту і фону відповідно максимальну та мінімальну щільність освітлення  $E$ :

$$E = \frac{\Phi_c}{A}, \quad (1)$$

де  $\Phi_c$  – сонячний потік що падає на об'єкт, лм;  $A$  – площа об'єкту, або лінійного поля зору для фону,  $m^2$ .

Для об'єкта площею  $A = 1 m^2$ , за умов прямого сонячного освітлення, інтегральний потік випромінювання на рівні моря, у видимому діапазоні спектру становить приблизно  $\Phi_c = 10^5$  лм.

Так як всі розрахунки в ТВ и ТПВ каналах необхідно виконувати в однакових енергетичних величинах, доцільно потік сонячного випромінювання з люменів перевести у Вати. При умові, що заданий потік падає на площу в  $1 m^2$ , енергетична освітленість складає  $\frac{1}{683}$  Вт/ $m^2$ , що відповідає освітленості 1 лк.

Тобто за гарних погодних умов  $\Phi_c = 146,4$  Вт/ $m^2$ , а за умов хмарного неба  $\Phi_c = 29,2$  Вт/ $m^2$ .

В результаті відбиття об'єктом та фоном падаючого на них випромінювання, інтегральна поверхнева щільність випромінювання  $M$  при  $\rho_A = 0,6$  та  $\rho_{\Pi} = 0,2$  становить для алюмінію та піску відповідно:

$$M_A = \rho_A \cdot E, \quad M_{\Pi} = \rho_{\Pi} \cdot E, \quad (2)$$

В разі, якщо об'єкт є ламбертівським випромінювачем, його яскравість дорівнює

$$L_{ТВA} = \frac{M_A}{\pi}, \quad L_{ТВ\Pi} = \frac{M_{\Pi}}{\pi}. \quad (3)$$

2) Нічні спостереження. Вночі природним джерелом освітлення у видимому діапазоні спектру є місяць. За гарних та поганих погодних умов, він створює на поверхні об'єкту різну поверхневу щільність освітлення  $E$ .

За відсутності хмар потік, що падає на об'єкт та фон, складатиме  $\Phi_M = 2,9 \cdot 10^{-4}$ , Вт, а при їх наявності  $\Phi_M = 1,03 \cdot 10^{-5}$  Вт.

Всі показники щільності освітлення, випромінювання та енергетичної яскравості які розраховані за формулами (1-3), за різних умов спостереження наведені у табл. 1.

Таблиця 1. Показники щільності освітлення, випромінювання та енергетичної яскравості за різних умов

	День		Ніч	
	Сонце	Хмари	Місяць	Хмари
$E, \text{Вт/м}^2$ .	146,4	29,2	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$1,03 \cdot 10^{-5}$
$M_A, \text{Вт/м}^2$ .	87,8	17,5	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^{-6}$
$M_{\Pi}, \text{Вт/м}^2$ .	29,3	5,8	$5,8 \cdot 10^{-5}$	$2,06 \cdot 10^{-6}$
$L_A, \text{Вт/м}^2 \cdot \text{ср.}$	30	5,6	$5,7 \cdot 10^{-5}$	$1,97 \cdot 10^{-6}$
$L_{\Pi}, \text{Вт/м}^2 \cdot \text{ср.}$	9,3	1,8	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-7}$

**Розрахунок діапазону вхідних сигналів для ТПВ каналу в умовах дня та ночі**

Тепловізійний канал спостереження сприймає випромінювання від об'єктів і фонів, яке утворюється за рахунок власного випромінювання. За рахунок того, що коефіцієнт випромінювання алюмінію ( $\epsilon_A = 0,05$ ) у багато разів менший за коефіцієнт випромінювання піску ( $\epsilon_{\Pi} = 0,93$ ) зображення на екрані ТПВ каналу буде у вигляді темного квадрату на світлому фоні випромінюючого піску.

1) Нічні спостереження. Вночі погодні умови ніяк не впливають на енергетичну яскравість  $L_{\text{ТПВ}}(\lambda, T)$  та на поверхневу щільність випромінювання  $M(\lambda, T)$ :

$$M(\lambda, T) = \epsilon \cdot \frac{c_1}{\lambda^5 \left[ \exp\left(\frac{c_2}{\lambda \cdot T}\right) - 1 \right]}, \quad (4)$$

де  $\epsilon$  – коефіцієнт випромінювання об'єкта;  $c_1 = 37415 \text{ Вт} \cdot \text{с}^{-2}$ ;  $c_2 = 14388 \text{ мкм} \cdot \text{К}$  – постійні коефіцієнти;  $\lambda$  – довжина хвилі, мкм;  $T$  – температура об'єкту, К.

Оскільки спостереження ведеться вночі, то (так як об'єкт не нагрівається сонячним випромінюванням) температура об'єкту визначається температурою оточуючого повітря, наприклад,  $T = 283 \text{ К}$ .

Для об'єкту ( $\epsilon_A = 0,05$ ) та фону ( $\epsilon_{\Pi} = 0,93$ ) температура яких  $T = 275 \text{ К}$ , спостереження ведеться на довжині хвилі  $\lambda = 11 \text{ мкм}$ , їхня поверхнева щільність випромінювання розраховується за формулою (4).

Енергетична яскравість об'єкту та фону, які вважаються «сірими» ламбертівського типу,  $L_{\text{ТПВ}}$ :

$$L_{\text{ТПВ}}(T) = \varepsilon \cdot \frac{M(T)}{\pi}. \quad (5)$$

2) Денні спостереження. У день джерелом освітлення об'єкту є Сонце і погодні умови (захмареність неба) починають впливати на енергетичну яскравість  $L_{\text{ТПВ}}(\lambda, T)$  та на поверхневу щільність випромінювання  $M(\lambda, T)$ .

На протязі дня тепловий стан об'єкта та фону змінюватиметься як, при зміні загальної температури повітря, так і під дією прямого сонячного випромінювання. Підвищення температури почне впливати на показники енергетичної яскравості та поверхневої щільності випромінювання.

Для розрахунку поверхневої щільності випромінювання скористаємося формулою (4), вважаючи, що внаслідок конвекційного нагріву температура об'єкту підвищиться до 298 К для  $\lambda = 11$  мкм.

Розрахуємо енергетичну яскравість за формулою (5):

$$L_{1\text{ТПВ}_A21}(T) = 3,581 \cdot 10^{-6}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{ср}}, \quad L_{1\text{ТПВ}_\Pi21}(T) = 1,239 \cdot 10^{-5}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{ср}}.$$

За гарних погодних умов, при відсутності хмар на небі, окрім власної енергетичної яскравості об'єкт почне перевипромінювати сонячне випромінювання, тобто слід враховувати і конвекційний нагрів від повітря, і радіаційний нагрів сонячним випромінюванням. В результаті такого нагріву до 330 К, наприклад, розрахуємо поверхневу щільність випромінювання об'єкту та фону при  $\lambda = 11$  мкм. Енергетичну яскравість при відсутності хмар на небі розраховуються за формулою (5).

Крім того, пряме сонячне випромінювання відбивається від об'єкта та фону. Для об'єкта та фону з дифузними характером відбиття:

$$L_{\text{ТПВ}_A22}(T) = \rho_A \cdot \frac{M_A}{\pi}, \quad L_{\text{ТПВ}_\Pi22}(T) = \rho_\Pi \cdot \frac{M_\Pi}{\pi}, \quad (6)$$

Враховуючи, що алюміній та пісок мають постійний коефіцієнт відбиття в широкому спектральному діапазоні ( $\rho_A = 0,6$ ,  $\rho_\Pi = 0,2$ ), маємо:

$$L_{1\text{ТПВ}_A22}(T) = 4,297 \cdot 10^{-4}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{ср}}, \quad L_{1\text{ТПВ}_\Pi22}(T) = 2,664 \cdot 10^{-4}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{ср}}.$$

Сумарна яскравість об'єкта становитиме суму двох вказаних складових:

$$L_{2\text{ТПВ}_A}(T) = L_{1\text{ТПВ}_A21}(T) + L_{1\text{ТПВ}_A22}(T), \quad L_{2\text{ТПВ}_A}(T) = 4,333 \cdot 10^{-4}, \text{Вт/м}^2 \cdot \text{ср}. \quad (7)$$

Аналогічно сумарна яскравість фону:

$$L_{2\text{ТПВ}_\Pi}(T) = L_{1\text{ТПВ}_\Pi21}(T) + L_{1\text{ТПВ}_\Pi22}(T), \quad L_{2\text{ТПВ}_\Pi}(T) = 3,903 \cdot 10^{-4}, \text{Вт/м}^2 \cdot \text{ср}. \quad (8)$$

Всі показники поверхневої щільності випромінювання та енергетичної яскравості для ТПВ каналу приведені у табл. 2.

Всі показники енергетичної яскравості у різних умовах спостереження наведені в табл. 3.

Таблиця 2. Показники поверхневої щільності випромінювання та енергетичної яскравості для ТПВ каналу

	День		Ніч	
	Сонце	Хмари	Місяць	Хмари
$M_A, \text{Вт/см}^2$	$2,249 \cdot 10^{-4}$	$1,46 \cdot 10^{-4}$	$1,154 \cdot 10^{-4}$	$1,154 \cdot 10^{-4}$
$M_{\Pi}, \text{Вт/см}^2$	$4,183 \cdot 10^{-4}$	$2,715 \cdot 10^{-4}$	$1,873 \cdot 10^{-3}$	$1,873 \cdot 10^{-3}$
$L_A, \text{Вт/м}^2 \cdot \text{ср.}$	$4,333 \cdot 10^{-4}$	$2,325 \cdot 10^{-6}$	$1,838 \cdot 10^{-6}$	$1,838 \cdot 10^{-6}$
$L_{\Pi}, \text{Вт/м}^2 \cdot \text{ср.}$	$3,903 \cdot 10^{-4}$	$8,041 \cdot 10^{-5}$	$5,547 \cdot 10^{-4}$	$5,547 \cdot 10^{-4}$

Таблиця 3. Показники енергетичної яскравості за різних умов спостереження

ТВ $L, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{ср.}}$		ТПВ $L, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{ср.}}$	
Ніч			
Місяць	Хмари	Місяць	Хмари
$L_{об} = 5,7 \cdot 10^{-5}$	$L_{об} = 1,97 \cdot 10^{-6}$	$L_{об} = 1,838 \cdot 10^{-6}$	$L_{об} = 1,838 \cdot 10^{-6}$
$L_{фон} = 1,8 \cdot 10^{-5}$	$L_{фон} = 6,5 \cdot 10^{-7}$	$L_{фон} = 5,547 \cdot 10^{-4}$	$L_{фон} = 5,547 \cdot 10^{-4}$
День			
Сонце	Хмари	Сонце	Хмари
$L_{об} = 30$	$L_{об} = 5,6$	$L_{об} = 4,333 \cdot 10^{-4}$	$L_{об} = 2,325 \cdot 10^{-6}$
$L_{фон} = 9,3$	$L_{фон} = 1,8$	$L_{фон} = 3,903 \cdot 10^{-4}$	$L_{фон} = 8,041 \cdot 10^{-5}$

Зображення об'єкту  $L_{об}$  спостерігається оператором на фоні  $L_{фон}$ , тому найважливішою характеристикою фоноцільової обстановки є контрасти. Яскраві контрасти розраховуються за формулою:

$$K = \frac{L_{об} - L_{фон}}{L_{об} + L_{фон}} \quad (9)$$

Розраховані для ТВ та ТПВ каналів контрасти, що формуються у вищесказаних випадках, наведені в табл. 4.

Таблиця 4. Значення контрастів для ТВ та ТП каналів

Умови спостереження	ТВ контрасти		ТПВ контрасти	
Ніч місячна	K1	0,52	K5	-0,993
Ніч хмарна	K2	0,504	K6	-0,993
День сонячний	K3	0,527	K7	0,052
День хмарний	K4	0,514	K8	-0,944

Порівняння результатів, що наведені в табл. 3 і 4, показує суттєву відмінність формування сигналів в каналах. У ТВ каналі за різних зовнішніх умов сильно змінюється освітленість вхідної зіниці об'єктива, але вхідний контраст залишається майже постійним. В ТПВ каналі дальнього діапазону під дією радіаційного нагріву може виникати реверс контрасту, що значно змінює картину

простору об'єктів. Очевидно, що такі умови вимагають зміни алгоритму комплексування зображень.

### **Висновки**

У цій роботі були розраховані параметри вхідних сигналів ТВ і ТПВ каналів ОЕСС для моделі спостереження алюмінієвої пластини на фоні піску за різних умов функціонування. Показано, що при майже незмінних контрастах в ТВ каналі, контраст в ТПВ сигналі може зазнавати різких змін і не можна користуватись однаковими методами комплексування при різних умовах.

У подальшому планується розробити пропозиції щодо схемотехнічних рішень вхідних блоків ТВ та ТПВ каналів, що дозволять суттєво вирівняти діапазони вхідних сигналів за різних умов функціонування двохспектральної ОЕСС і уніфікувати застосовані методи комплексування зображень.

### **Література**

1. Коротаев В. В. Основы тепловидения: Учебное пособие / В. В. Коротаев, Г. С. Мельников, С. В. Михеев. – СПб: Национальный исследовательский университет, 2012. – 109 с.
2. Тарасов В. В. Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приемниками излучения / В. В. Тарасов, Ю. Г. Якушенко. – М.: Университетская книга; Логос, 2007. – 192 с.
3. Young S. S. Signal processing and performance analysis for imaging systems / S. S. Young, R. G. Driggers, E. L. Jacobs. – Artech House Publisher, New York, 2008. – 304 p.

*Надійшла до редакції  
16 червня 2014 року*

© Микитенко В. І., Балтабаєв М. М., Пономаренко О. А., 2014

УДК 681.7.067

## **РОЗРОБКА ОБ'ЄКТИВА ЗІ ЗМІННОЮ ФОКУСНОЮ ВІДСТАННЮ, ЩО МІСТИТЬ РІДИННІ ЛІНЗИ**

*<sup>1)</sup>Сокурєнко В. М., <sup>1),2)</sup> Парпіїєв Т. А.*

*<sup>1)</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна, <sup>2)</sup>Університет Мена, Ле Ман, Франція  
[sokurenko2@meta.ua](mailto:sokurenko2@meta.ua), [parpiiev.tymur@gmail.com](mailto:parpiiev.tymur@gmail.com)*

*За допомогою спеціального програмного забезпечення в автоматизованому режимі було спроектовано малогабаритну панкратичну оптичну систему без механічних рухомих елементів з використанням рідинних лінз. Отримані абераційні характеристики цілком задовольняють вимоги до об'єктивів такого класу та дозволяють використовувати розроблену оптичну систему з існуючими матричними приймачами випромінювання.*

*Автоматизацію розрахунку було забезпечено застосуванням одного з алгоритмів глобальної оптимізації, які в цілому, є потужними інструментами, що дозволяють здійснити автоматизований параметричний синтез складних оптичних систем. Час, витрачений на проектування об'єктива, є прийнятним, оскільки не перевищує декількох годин. Ефективність синтезу значною мірою залежить від формування оціночної функції на стадії введення*