

зультаты проверены при помощи математического моделирования. Дальнейшие исследования должны обеспечить обнаружение объектов вблизи зон раздела сред.

**Ключевые слова:** автоматическое обнаружение, вейвлет-преобразование, нелинейная фильтрация.

**V. S. Zakharchenko, V. G. Kolobrodov**

*National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine*

#### HYBRID IMAGE ENHANCEMENT ALGORITHM

A new approach to image enhancement in presence of nonuniform clutter distribution has been developed. The analysis is performed over the wavelet decomposition by applying total variation denoising method. The value of the thresholding coefficients versus background texture for small object detection has been empirically obtained. The results were tested by means of mathematical modeling. The further research must provide the detection of objects near the border of different clutters.

**Keywords:** automatic target detection, wavelet transform, nonlinear image denoising.

*Надійшла до редакції  
10 листопада 2011 року*

УДК 621.384.3

### УЗГОДЖЕННЯ ДІАМЕТРІВ ВХІДНИХ ЗІНИЦЬ ДЗЕРКАЛЬНО-ЛІНЗОВОГО ОБ'ЄКТИВУ ДВОКАНАЛЬНОЇ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

*Рибалко М. С., Микитенко В. І., Мамута О. Д.*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
м. Київ, Україна*

*В роботі запропонована методика узгодження діаметрів вхідних зіниць дзеркально-лінзового об'єктиву двоканальної оптико-електронної системи спостереження, побудованого за коаксіальною схемою. Методика ґрунтується на використанні (максимізації) показника успішності виконання задачі, що враховує як параметри і характеристики оптико-електронної системи спостереження, так і характеристики зорової системи спостерігача. За допомогою запропонованої методики проведено узгодження діаметрів вхідних зіниць оптичної системи телевізійного та тепловізійного каналів двоканальної оптико-електронної системи спостереження, розташованої на борту бронетанкової техніки, при невеликих значеннях кута поля зору.*

**Ключові слова:** оптико-електронна система спостереження, вхідна зіниця, показник успішності виконання задачі.

#### **Вступ. Постановка проблеми**

При проектуванні двоканальних оптико-електронних систем спостереження (ОЕСС) важливою задачею є вибір схеми побудови оптичної системи (ОС). Найчастіше використовуються схема з повністю автономними спектральними каналами [1, 2], схема із одноканальною ОС та з багатодіапазонним матричним приймачем випромінювання (МПВ) [1], коаксіальна схема ОС [3]. Причому останнє схемотехнічне рішення на базі дзеркально-лінзових об'єктивів, побудованих за коаксіальною схемою [3], можна віднести до найефективніших. В

цьому випадку відсутній паралакс, характерний для схеми з повністю автономними спектральними каналами, та відсутня втрата просторового розділення в короткохвильовому діапазоні, характерна для багатодіапазонного МПВ.

Зазвичай вибір дзеркального та лінзового об'єтивів для коаксіальної схеми здійснюється, виходячи з технологічних міркувань. Збільшення площі вхідної зіниці призводить до покращення енергетичних характеристик ОЕСС, але погіршує просторове розділення внаслідок зростання аберацій; дифракційне розділення при цьому збільшується.

В об'єтиві, що побудований за коаксіальною схемою, зміна одного з двох діаметрів вхідної зіниці викликає зміну іншого діаметру.

### **Постановка задачі**

Варіація діаметрів вхідних зіниць єдиного коаксіального об'єктива двоканальної ОЕСС призводить до зміщення системи з обмеженням шумами до обмежень просторовим розділенням і навпаки. Доцільно оцінити межі таких зміщень і розробити методику узгодження діаметрів вхідних зіниць.

Метою проведеного дослідження є узгодження діаметрів вхідних зіниць ОС телевізійного (ТВ) та тепловізійного (ТПВ) каналів, побудованих за коаксіальною схемою при невеликих значеннях кута поля зору (система обмежена просторовим розділенням).

Кожен із каналів досліджуваної двоканальної ОЕСС має об'єтив та МПВ, які розташовані на спільній оптичній осі. Об'єтив першого каналу (ТПВ) при цьому має центральне екранування (рис. 1). Для досягнення необхідних вихідних характеристик, в першу чергу – просторового розділення, ТПВ каналу діаметр кожного із компонентів другого оптико-електронного каналу (ТВ) не повинен перевищувати діаметр зони екранування першого.

Для оцінки ефективності ТВ і ТПВ каналів при зміні діаметрів вхідних зіниць має використовуватись показник, який включає в себе не тільки основні формуючі чинники кінцевого зображення, але й дозволяє оцінити сумісну якість комплектованого зображення. Одним з найадекватніших на сьогодні таких показників є показник успішності виконання задачі [4].

### **Основна частина**

Показник успішності виконання задачі дозволяє оцінити роздільну здатність ОЕСС залежно від контрасту зображення об'єкта. Даний показник не лише враховує параметри і характеристики ОЕСС (ОС, МПВ, електронний тракт, дисплей), а й характеристики зорової системи спостерігача. Він обраховується як інтеграл відношення сигналу до функції порогового контрасту (ФПК) системи в діапазоні всіх просторових частот, де ФПК не перевищує сигнал [4]:

$$TTPH = \int_{f_{\text{хн}}}^{f_{\text{хв}}} \left( \frac{C_{\text{цілі}}}{\Phi\text{ПК}_{\text{системи}}(f_x)} \right)^{1/2} df_x,$$

$$TTPV = \int_{f_{yH}}^{f_{yB}} \left( \frac{C_{цїлі}}{\Phi ПК_{системи}(f_y)} \right)^{1/2} df_y,$$

де  $f_x$  – горизонтальна просторова частота в циклах на мілірадіан (мрад<sup>-1</sup>),  $f_y$  – вертикальна просторова частота в мрад<sup>-1</sup>,  $\Phi ПК_{системи}$  – функція порогового контрасту (ФПК) системи,  $C_{цїлі}$  – перетворення Фур'є від модуляційного контрасту цїлі на дисплеї,  $TTPH$ ,  $TTPV$  – горизонтальна та вертикальна складові показника.

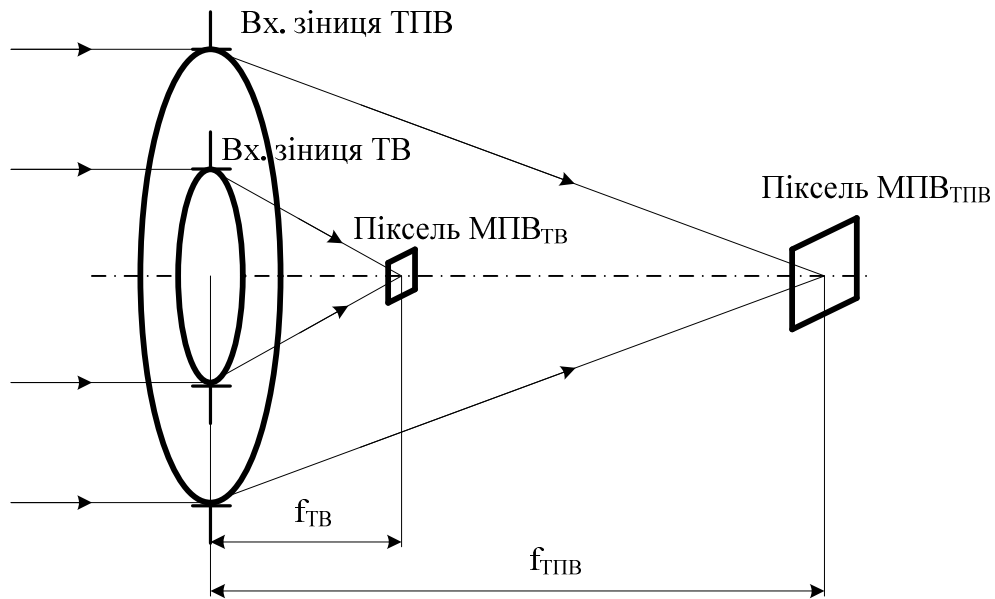


Рис. 1. Схематичне представлення ОС двоканальної ОЕСС, побудованих за коаксіальною схемою.

Сам же показник – середнє геометричне цих складових:

$$TTP = \sqrt{TTPH \cdot TTPV}.$$

ФПК системи при наявності шумів дисплея визначається за формулою [5]:

$$\Phi ПК_{системи}(f_x) = \frac{\Phi ПК_{ока}(f_x/\beta)}{МПФ_{дисплея}(f_x) M_{ОС}(f_x) M_{МПВ}(f_x)} \left( 1 + \frac{\alpha^2 \sigma^2 QH_{гор}(f_x) QV_{гор}}{L^2} \right)^{1/2},$$

де  $\Phi ПК_{ока}(f_x/\beta)$  – ФПК незброєного ока;  $\beta$  – збільшення системи;  $M_{ОС}(f_x)$ ,  $M_{МПВ}(f_x)$ ,  $МПФ_{дисплея}(f_x)$  – модуляційна передавальна функція ОС, МПВ та дисплея відповідно;  $QH_{гор}(f_x)$  – ширина горизонтальної смуги шумів;  $QV_{гор}$  – ширина вертикальної смуги шумів;  $\sigma$  – середнє квадратичне значення шуму дисплея;  $\alpha$  – коефіцієнт пропорційності;  $L$  – яскравість дисплея.

Узгодження діаметрів вхідних зїниць виконується максимізацією показника успішності виконання задачі, змінюючи радіус кружка Ері відносно розміру пікселя МПВ, зображеного на рис. 1 (рис. 2).

Запропонована методика дозволяє оцінювати будь-які ТВ та ТПВ канали. Для прикладу виберемо стандартні на даний час параметри каналів.

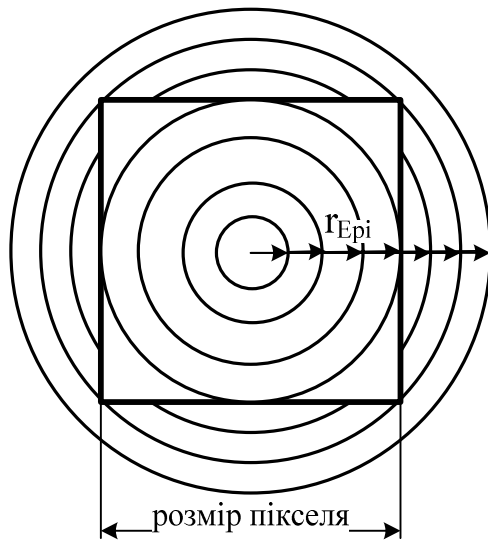


Рис. 2. Радіус кружка Ері.

Вхідними даними для розрахунків є кут поля зору (однаковий для ТВ та ТПВ каналу) – 6°; МПВ ТВ каналу – ПЗЗ матриця, розмір чутливого елементу (ЧЕ) 5,5×5,5 мкм<sup>2</sup>, формат 1920×9216; МПВ ТПВ каналу – мікроболометрична матриця, розмір ЧЕ 35×35 мкм<sup>2</sup>, формат 384×288; збільшення системи – 8; ТПВ канал працює в діапазоні спектру 8-12 мкм; діаметр вхідної зіниці ТПВ каналу не повинен перевищувати 100 мм (для бронетанкової техніки). Змінними величинами є діаметри вхідних зіниць ТВ та ТПВ каналів, причому вхідна зіниця ТВ каналу дорівнює діаметру зони екранування ТПВ

каналу. Знаючи кут поля зору та розміри МПВ, знаходимо фокусну відстань кожного каналу: для ТПВ – 128,34 мм, для ТВ – 91,67 мм. Задаємо радіус кружка Ері для ТПВ каналу (17,5 мкм). Знаходимо відносний отвір ТПВ каналу (0,74).

Враховуючи той факт, що ОС ТПВ каналу має центральне екранування, знаходимо ефективний діаметр ОС ТПВ каналу (95,59 мм).

Знаючи ефективний діаметр та діаметр (змінний) вхідної зіниці ТВ каналу при різних значеннях кружка Ері (для ТВ каналу), знаходимо діаметр вхідної зіниці ТПВ каналу (змінний діаметр) із формули:

$$D_{\text{еф}} = 2\sqrt{(D_{\text{ТПВ}}/2)^2 - (D_{\text{ТВ}}/2)^2},$$

де  $D_{\text{еф}}$  – ефективний діаметр вхідної зіниці ТПВ каналу,  $D_{\text{ТПВ}}$ ,  $D_{\text{ТВ}}$  – діаметр вхідної зіниці ТПВ і ТВ каналів відповідно.

МПФ ОС, вважаючи, що вона дифракційно обмежена, знаходимо за формулою, наведеною в [6], МПФ МПВ та дисплея – [6], МПФ ока – [4], ФПК ока – [7], ширину смуги шумів – [5], коефіцієнт пропорційності для ТПВ каналу  $\alpha = 862\sqrt{\Gamma_{\text{ц}}}$  [8], а для ТВ  $\alpha = 169,6\sqrt{\Gamma_{\text{ц}}}$  [8],  $\sigma = 0,02 \text{ с} \cdot \text{мрад}^2 \text{ кд/м}^2$  [5], яскравість дисплея – 17,131 кд/м<sup>2</sup>.

### Обговорення результатів

Показник успішності виконання задачі був розрахований при різних діаметрах вхідної зіниці та при різних коефіцієнтах екранування для ТПВ каналу і відповідно при різних діаметрах вхідної зіниці для ТВ каналу. ФПК системи зображено на рис. 3.

Результати розрахунків приведені в табл. 1. Як видно із табл. 1, показник успішності виконання задачі зменшується зі збільшенням радіуса кружка Ері і, відповідно, зменшенням діаметра вхідної зіниці; також має місце зниження по-

казника при великих значеннях коефіцієнта екранування (для ТПВ каналу). Для ТПВ каналу показник має найбільші значення у варіантах 2 – 4, проте у варіанті 2 і 3 коефіцієнт екранування перевищує 30%, а діаметр входної зіниці перевищує 100 мм, що є неприйнятним. У варіанті 4 виконуються всі умови, але екстремум знаходиться в діапазоні між варіантами 3 і 4.

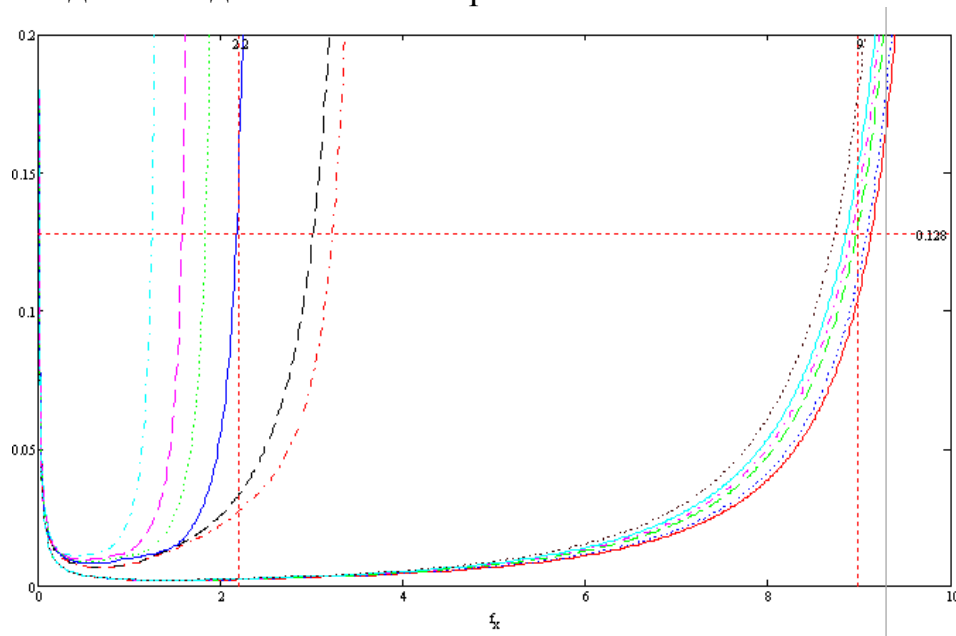


Рис. 3. ФПК для ТВ та ТПВ каналів.

Таблиця 1.

№	Радіус кружка Ері для ТПВ каналу	Радіус кружка Ері для ТВ каналу	Діаметр Вхідної зіниці ТВ каналу	Діаметр вхідної зіниці ТПВ каналу	Коефіцієнт екранування	Показник для ТПВ каналу	Показник для ТВ каналу
1	17,5	0,625	98,42	133	0,74	9,36	40,43
2	17,5	1,25	49,21	102	0,48	11,11	39,85
3	17,5	1,875	32,81	95,3	0,34	10,8	39,27
4	17,5	2,5	24,61	92,8	0,26	9,45	38,66
5	17,5	3,02	20,38	91,8	0,22	7,96	38,14
6	17,5	3,54	17,4	91,15	0,19	7,01	37,62
7	17,5	4,5	13,67	90,5	0,15	5,43	36,63

Детальне дослідження діапазону між варіантами 3 і 4 (табл. 2) показує, що показник успішності виконання задачі, при виконанні вимог щодо діаметра входної зіниці та коефіцієнта екранування, має максимальне значення у варіанті 3.

Змінюючи радіус кружка Ері для ТПВ каналу, досліджуємо варіант 3 (табл. 3). Результати показують, що показник успішності виконання задачі (за умови виконання вимог щодо діаметра входної зіниці та коефіцієнта екранування) має найбільші значення (ТПВ канал – 10,47, ТВ канал – 39,05) при наступному співвідношенні діаметрів входних зіниць: ТПВ канал – 100 мм, ТВ канал –

29,3 мм. У даному випадку діаметр кружка Ері менший за розміри пікселя для обох каналів.

Запропонована методика дозволяє узгодити діаметри вхідних зіниць ОС ТВ та ТПВ каналів, побудованих за коаксіальною схемою, при різних значеннях кута поля зору (в тому числі відмінних значеннях для двох каналів) та різних параметрах МПВ (інший формат, розмір пікселя тощо).

**Таблиця 2.**

№	Радіус кружка Ері для ТВ каналу	Радіус кружка Ері для ТПВ каналу	Діаметр Вхідної зіниці ТВ каналу	Діаметр вхідної зіниці ТПВ каналу	Коефіцієнт екранування	Показник для ТПВ каналу	Показник для ТВ каналу
1	1,9	16,5	32,38	100,27	0,32	10,9	39,24
2	2	16,5	30,76	99,76	0,31	10,68	39,14
3	2,1	16,5	29,29	99,31	0,29	10,46	39,05
4	2,2	16,5	27,96	98,93	0,28	10,23	38,95
5	2,3	16,5	26,74	98,59	0,27	9,96	38,85
6	2,4	16,5	25,63	98,3	0,26	9,71	38,75
7	2,5	16,5	24,61	98,03	0,25	9,43	38,66

**Таблиця 3.**

№	Радіус кружка Ері для ТПВ каналу	Радіус кружка Ері для ТВ каналу	Діаметр Вхідної зіниці ТВ каналу	Діаметр вхідної зіниці ТПВ каналу	Коефіцієнт екранування	Показник для ТПВ каналу	Показник для ТВ каналу
1	16,3	2,1	29,29	100,43	0,29	10,49	39,05
2	16,4	2,1	29,29	99,87	0,29	10,47	39,05
3	16,5	2,1	29,29	99,31	0,29	10,46	39,05
4	16,6	2,1	29,29	98,77	0,3	10,44	39,05

Наприклад, для двоканальних ОЕСС з коаксіальною ОС та з обмеженнями найбільшого діаметра об'єктива (наприклад, для бронетанкової техніки) доцільно обирати діаметр вхідної зіниці ТВ каналу – 29,3 мм при заданому діаметрі вхідної зіниці ТПВ каналу – 100 мм.

### **Висновки**

Узгодження діаметрів вхідних зіниць дзеркально-лінзового об'єктиву двоканальної ОЕСС, побудованого по коаксіальній схемі – складна задача і має враховувати ряд факторів. Як показали результати розрахунків, показник успішності виконання задачі дозволяє вирішити це завдання, проте остаточні параметри об'єктиву слід обирати після узгодження отриманих даних з конструктивними та технологічними вимогами.

В подальшому планується доопрацювати запропоновану методику для отримання можливості узгодження діаметрів вхідних зіниць об'єктивів ТВ та ТПВ каналів при наявності центрального екранування в ОС обох каналів, а також ввести опцію врахування аберацій ОС.

### **Література**

1. Тарасов В. В. Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приемниками излучения / В. В. Тарасов, Ю. Г. Якушенков. – М.: Университетская книга; Логос, 2007. – 192 с.
2. BAA2 Observation and Reconnaissance System. Проспект фирмы Carl Zeiss Optronics GmbH, Германия, 2010.
3. Двухспектральная система видеонаблюдения “Грифон”. Проспект фирмы ОАО ЦНИИ «Циклон», Россия, 2010.
4. Vollmerhausen Richard H. The Targeting Task Performance Metric A New Model for Predicting Target Acquisition Performance / Richard H. Vollmerhausen, Eddie Jacobs // Technical Report, AMSEL-NV-TR-230, 2003. – 119 p.
5. Vollmerhausen Richard H. New metric for predicting target acquisition performance / Richard H. Vollmerhausen, Eddie L. Jacobs, Ronald G. Driggers // Optical Engineering. – 2004. – Т. 43, № 11. – P. 2806-2818.
6. Holst Gerald C. Electro-optical imaging system performance / Gerald C. Holst. – 2<sup>nd</sup> ed. – Winter Park, Florida: JCD Publishing, 2000. – 438 с. – ISBN 978-0964000063.
7. Barten Peter G.J. Formula for the contrast sensitivity of the human eye / Peter G.J. Barten // Proc. SPIE. – 2004. – Т. 5294. – С. 231-238.
8. Vollmerhausen Richard H. Analysis and evaluation of sampled imaging systems / Richard H. Vollmerhausen, Donald Reago, Ronald G. Driggers. – SPIE press, 2010. – 304 с. – ISBN 978-0-8194-8077-4.

### **References**

1. Tarasov V. V. Dual and multichannel optoelectronic systems with focal plane arrays / V. V. Tarasov, Y. G. Yakushenkov. – M.: University book; Logos, 2007. – 192 p. [rus]
2. BAA2 Observation and Reconnaissance System. Data sheet of Carl Zeiss Optronics GmbH, Germany, 2010.
3. Dual Band system “Griffin”. Data sheet of Central Research Institute «Cyclone», Russia, 2010. [rus]
4. Vollmerhausen Richard H. The Targeting Task Performance Metric A New Model for Predicting Target Acquisition Performance / Richard H. Vollmerhausen, Eddie Jacobs // Technical Report, AMSEL-NV-TR-230, 2003. – 119 p.
5. Vollmerhausen Richard H. New metric for predicting target acquisition performance / Richard H. Vollmerhausen, Eddie L. Jacobs, Ronald G. Driggers // Optical Engineering. – 2004. – Vol. 43, № 11. – P. 2806-2818.
6. Holst Gerald C. Electro-optical imaging system performance / Gerald C. Holst. – 2<sup>nd</sup> ed. – Winter Park, Florida: JCD Publishing, 2000. – 438 p.
7. Barten Peter G.J. Formula for the contrast sensitivity of the human eye / Peter G.J. Barten // Proc. SPIE. – 2004. – Vol. 5294. – P. 231-238.
8. Vollmerhausen Richard H. Analysis and evaluation of sampled imaging systems / Richard H. Vollmerhausen, Donald Reago, Ronald G. Driggers. – SPIE press, 2010. – 304 p.

**М. С. Рыбалко, В. И. Микитенко, А. Д. Мамута**

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,  
г. Киев, Украина*

## СОГЛАСОВАНИЕ ДИАМЕТРОВ ВХОДНЫХ ЗРАЧКОВ ЗЕРКАЛЬНО-ЛИНЗОВОГО ОБЪЕКТИВА ДВУХКАНАЛЬНОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ

В работе предложена методика согласования диаметров входных зрачков зеркально-линзового объектива двухканальной оптико-электронной системы наблюдения, построенной по коаксиальной схеме. Методика базируется на использовании (максимизации) показателя эффективности решения задачи, который учитывает как параметры и характеристики оптико-электронной системы наблюдения, так и характеристики зрительной системы наблюдателя. С помощью предложенной методики осуществлено согласование диаметров входных зрачков оптической системы телевизионного и тепловизионного каналов двухканальной оптико-электронной системы наблюдения, расположенной на борту бронетанковой техники, при небольших значениях угла поля зрения.

**Ключевые слова:** оптико-электронная система наблюдения, входной зрачок, показатель эффективности решения задачи.

**M. S. Rybalko, V. I. Mykytenko, O. D. Mamuta**

*National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine*

## APERTURE DIAMETERS ADJUSTMENT OF CATADIOPTRIC LENS IN DUAL-CHANNEL OPTOELECTRONIC OBSERVATION SYSTEM

New strategy for aperture diameters adjustment of coaxial catadioptric lens in dual-channel optoelectronic observation system is proposed in the article. The strategy is based on the use (maximize) of targeting task performance metric. This metric takes into account parameters and characteristics of optoelectronic observation system and human visual system. Aperture diameters adjustment of optical systems in thermal and television channels of dual-channel optoelectronic observation system with small field of view have done with the help of the proposed strategy.

**Key words:** optoelectronic observation system, aperture, targeting task performance metric.

*Надійшла до редакції  
24 листопада 2011 року*