

FEATURES OF USE OF THERMAL IMAGER ON UNMANNED AERIAL VEHICLES

The article explains the features of the use of thermal imagers for military intelligence is no longer news, and but when applying them to the unmanned aerial vehicle, there are many features, for example, the conditions of location on board, vibration from the motor, lighting, background noise. This article is devoted to the review of spheres of use of drones and recommended designs. The main initial task is to determine the design of the drone, depending on its purpose: type multicopter or glider. The actual problem is improving the output parameters of thermal imaging cameras. Special technologies will enhance the quality of the manufacture of uncooled microbolometers. To improve the physical characteristics of the camera lens, chemical compounds from several materials are used, for example, lenses from Ge-Sb-Se and enlightenment coatings. An overview of analogue devices gives reason to believe that in order to improve the minimum resolution temperature difference, it is necessary to use more light-weight lenses and to coordinate them with microbolometer matrices. The article gives a comparative description of the basic ready-made solutions of thermal imaging modules that can be used on an unmanned aerial vehicle, as well as a method of estimating the image quality by calculating the minimum effective temperature difference. **The results** show that considered analogs of thermal imaging modules suggest that in addition to matching the parameters of the microbolometric matrix and the lens plays a big role software, namely algorithms for processing the flow of frames to stabilize the image. In conclusion, the author describes the obtained physico-mathematical model of the thermal imager, which is located on an unmanned aerial vehicle, and ways of controlling the most important output parameters of thermal imagers: spatial and temperature resolution, minimum resolution of temperature difference.

Keywords: unmanned aerial vehicles; thermal imager camera; infrared camera lenses; microbolometer matrix; detection; minimum resolution temperature difference.

Надійшла до редакції
11 листопада 2019 року

Рецензовано
22 листопада 2019 року

УДК 623.4.051

ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЮ ПОЛОЖЕННЯ ЛІНІЇ ВІЗУВАННЯ ОПТИЧНОГО ПРИЦІЛУ

¹⁾Сенаторов В. М., ¹⁾Мельник О. Д., ²⁾Микитенко В. І.

¹⁾Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України, Київ, Україна

²⁾Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна
E-mail: v.senatorov1945@i.ua, v.mikitenko@nil-psf.kpi.ua

В статті розглянуто спосіб контролю положення лінії візування прицілів на основі оптико-електронних систем, що використовують сучасну елементну базу: лазерне джерело випромінювання і цифровий фотоприймач. Суть способу полягає у визначенні координат лінії візування прицілу, що контролюється, відносно лазерного променя або нормалі до дзеркала, однозначно зв'язаних з базовими елементами стрілецької зброї. Алгебраїчна різниця координат проекції лінії візування і осі лазерного променя або нормалі до дзеркала до і після стрільби визначить величину відхилення лінії візування прицілу після чергового етапу динамічних (в процесі стрільби) випробувань.

Оцінені три варіанти побудови оптико-електронних комплексів з огляду на їхню точність при контролі стабільності положення лінії візування при динамічних випробуваннях.

В першому варіанті комплекс містить колімаційно-вимірвальний блок, лазер, що однозначно базується на стволі зброї і визначає вісь каналу її ствола. Для підвищення точності наведення сітки прицілу на контрольну точку - за окуляром контрольованого прицілу встановлюється телевізійна камера.

В другому варіанті комплексу лазерне джерело є інтегрованим у конструкцію приймального каналу, а замість лазера на зброї базується знімне дзеркало, нормаль якого визначає вісь каналу ствола зброї.

У третьому варіанті комплекс містить відбиваючий елемент, виконаний у вигляді призми БС-0°. На вхідну грань призми нанесене напівпрозоре світловідбиваюче покриття, і призма споряджена пристроєм для одно-

значної орієнтації нормалі до відбиваючої площини відносно осі каналу ствола зброї. Функцію цього пристрою виконує корпус призми, виготовлений з магнітного матеріалу з можливістю контакту зі зрізом ствола зброї.

Аналіз точності варіантів показує перевагу третього варіанту.

Ключові слова: контроль; лінія візування; оптико-електронний комплекс; приціл.

Вступ

Потреби ринку в нових оптико-електронних системах прицілювання та спостереження з року в рік не зменшуються, а вимоги до характеристик цих систем стають дедалі жорсткішими [1-3]. Основною задачею, яка покладається на прицільну техніку, є наведення стрілецької зброї на ціль з заданою точністю. Технічна неможливість виконання цієї умови відповідає переходу зразка з категорії прицільних пристроїв в категорію приладів спостереження, що для прицільної техніки рівнозначне критерію відмови.

Процес наведення зброї полягає в суміщенні лінії візування (ЛВ) прицілу з точкою прицілювання в площині цілі. Отже, точність наведення зброї визначається головним чином точністю суміщення прицільної сітки з точкою на цілі та точністю кутового положення самої ЛВ відносно осі каналу ствола зброї.

Точність суміщення прицільної сітки з ціллю визначається і похибками стрілка, і конструктивними параметрами прицілу, а також якістю його складання і можливим роз'юстуванням в процесі експлуатації в умовах постійних динамічних навантажень [4].

Здебільшого кутове положення ЛВ визначається наступними рухомими елементами прицілу:

- пристроєм вводу кутів прицілювання, яке забезпечує задане положення сітки згідно до відстані до цілі;
- обертальною системою при зміні кратності телескопічного прицілу;
- окуляром при діоптрійному наведенні;
- посадочним кронштейном при переустановленні прицілу на посадочному місці зброї.

Будь-які нештатні зміни в роботі кожного з перелічених вище елементів прицілу приведуть до зміни кутового положення ЛВ, що, в свою чергу, призведе до зниження точності виконання основної функції прицілу – наведення осі каналу ствола зброї на ціль.

До показників якості прицільної техніки, пов'язаних з визначенням положення ЛВ, відносяться [5]:

- стабільність положення лінії прицілювання відносно первинного положення в процесі динамічних і статичних перевірок;
- похибка вводу кутів прицілювання відносно табличних значень;
- фактична дискретність механізмів вивірки;
- вводи лінії прицілювання в напрямках, що відрізняються від істинного напрямку при вивірці прицілу і введенні кутів прицілювання;

- похибка положення ЛВ при переустановленні прицілу на штатне посадочне місце.

Усі перелічені вище показники включені в перелік багатьох типів перевірок та випробувань прицільної техніки, які є найважливішими етапами практичного визначення реальних тактико-технічних характеристик об'єктів випробування.

Стабільність положення ЛВ при дії ударних навантажень, що є запорукою для досягнення максимально високих значень таких важливих показників стрільби як точність, купчастість і бойова ефективність, є одним із важливих показників якості прицільної техніки.

В [6, 7] було показано, що способи контролю положення ЛВ, які існують при «холодній пристрілці» і проведенні випробувань прицільної техніки, не дозволяють зробити однозначний висновок про показники якості прицілів, що контролюються. Це обумовлене тим, що похибки, які допущені в ході контролю, можуть значно перевищити встановлені допуски на стабільність положення ЛВ. Особливо це стосується сучасних високоточних прицілів, де сумарні похибки установки ЛВ становлять одиниці кутових секунд.

Мета даної статті полягає в тому, щоб оцінити оптико-електронні комплекси (ОЕК) з огляду на їхню точність при контролі стабільності положення ЛВ при динамічних випробуваннях.

Контроль положення ЛВ

Розглянемо спосіб контролю положення ЛВ на основі оптико-електронної системи, що використовує сучасну елементну базу: лазерне джерело і цифровий фотоприймач (ФП).

Суть способу полягає у визначенні координат ЛВ прицілу, що контролюється, відносно лазерного променя або нормалі до дзеркала, однозначно зв'язаних з базовими елементами стрілецької зброї. Алгебраїчна різниця координат проєкцій ЛВ і осі лазерного променя або нормалі до дзеркала до і після стрільби визначить величину відхилення ЛВ прицілу після чергового етапу динамічних випробувань.

На рис. 1 зображена схема ОЕК на базі лазера [8].

ОЕК містить наступні основні елементи (рис. 1):

- колімаційно-вимірювальний блок 1, що містить об'єктив 2, світлорозподільчий кубик 3, сітку 4 з освітлювальною системою 5 і цифровий ФП 6. За допомогою опори 7 коліматорно-вимірювальний блок 1 закріплено на жорсткій підставці 8 за допомогою гвинтів 9;

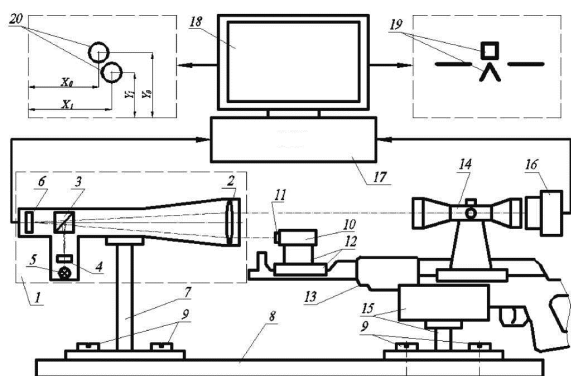


Рис. 1. Схема ОЕК для контролю положення ЛВ прицілів з використанням лазера

- лазер 10 із світлофільтром 11, що послабляє, закріплено на кронштейні 12, який однозначно базується на стволі зброї 13. Лазер 10 випромінює у видимій області спектра для можливості візуалізації лазерного променя в процесі юстування його кутового положення;
- зброя 13 встановлюється в регульованій опорі 15, яка кріпиться за допомогою гвинтів 9 на жорсткій підставці 8.

Для підвищення точності наведення сітки прицілу на контрольну точку – за окуляром контрольованого прицілу 14 встановлюється телевізійна камера 16, що фіксує суміщення зображення прицільної сітки з сіткою 4 колімаційно-вимірального блоку 1.

ЕОМ 17 з'єднано з виходом ФП 6 і з виходом телевізійної камери 16, що дозволяє спостерігати в збільшеному масштабі суміщене зображення (рис. 1) прицільної сітки (косинець) і візирного знаку 19 (квадрат), а також відобразити на екрані монітору 18 зображення лазерної плями 20 для оцінки місця її розташування при юстуванні каналів.

Опору 15 виконано з можливістю кутового та лінійного регулювання по вертикалі і горизонталі для суміщення ЛВ контрольованого прицілу 14 з контрольною точкою сітки 4, а також для спрямування випромінювання від лазера 10 в об'єктив 2 колімаційно-вимірального блоку 1.

Оскільки в ході контролю положення ЛВ немає необхідності знати абсолютне значення кута між ЛВ прицілу 14 і віссю каналу ствола зброї 13, то лазер 10 може базуватись на будь-якій частині зброї, яка має достатню стабільність кутового положення відносно посадочного місця прицілу, наприклад, на внутрішній або зовнішній поверхні каналу ствола. Однак, при установці лазера 10 в каналі ствола наявність нагару, що утворюється в ході стрільби, впливає на точність вимірювань, а теплове розширення ствола веде до зміни кутового положення лазерного випромінювача відносно первинного положення, зафіксованого до стрільби.

Колімаційно-вимірний блок 1 може мати різне конструктивне виконання: із суміщеними (описаний варіант) або з відокремленими каналами.

Варіант із суміщеними каналами є компактним, з високою надійністю завдяки відсутності взаємного зміщення каналів. Варіант з відокремленими каналами (буде розглянутий далі) є найбільш прийнятним для контролю тепловізійних прицілів.

Окрім розглянутої схеми ОЕК існує схема, де лазерне джерело інтегровано у конструкцію приймального каналу, а на зброї базується знімне дзеркало, що відбиває пучок променів від лазера в об'єктив колімаційно-вимірального блоку [9].

Варіант такої схеми представлено на рис. 2. При такій схемі неоднозначність позиціонування зброї у вертикальній і горизонтальній площинах мінімізована, що не призводить до зміщень лазерної плями в площині цифрового ФП, а отже, до помилок у вимірах.

Контроль положення ЛВ прицілів на стрілецькій зброї з використанням ОЕК із прямим випромінюванням лазера (рис. 1) здійснюється в такий спосіб.

Зброя 13 із закріпленням на ньому прицілом 14 встановлюється на регульовану опору 15 і закріплюється в ній за допомогою відповідних затискних пристроїв. На зовнішній поверхні ствола зброї 13 базується заздалегідь юстований лазер 10.

За допомогою регульованих елементів опори 15 проводиться наведення прицільної сітки контрольованого прицілу 14 у контрольну точку сітки 4 колімаційно-вимірального блоку 1. Суміщене зображення сіток фіксується телевізійною камерою 16 і передається в ЕОМ 17 з одночасним відображенням їх зображення на моніторі 18. Вмикається живлення лазера 10, лазерний промінь попадає на цифровий ФП 6 колімаційно-вимірального блоку 1. Зображення лазерної плями фіксується в пам'яті ЕОМ 17, де проводиться високоточне визначення координат лазерної плями - $(X_0; Y_0)$.

Після розрахунків координат лазерної плями лазер 10 знімається зі зброї 13, зброя знімається з опори 15 і проводиться етап перевірконої стрільби.

Після закінчення стрільби зброя 14 знову встановлюється на опору 15, лазер 10 знову базується на зброї 13, проводиться повторне наведення зброї 13 із прицілом 14 на візирний знак сітки 4 і визначаються координати зображення лазерної плями $(X_i; Y_i)$, відповідно до поточного положення ЛВ контрольованого прицілу. Використовуючи відповідне програмне забезпечення, визначається відхилення ЛВ прицільного пристрою після аналізованого етапу перевірконої стрільби.

Контроль положення ЛВ прицілів на стрілецькій зброї з використанням схеми, зображеної на рис. 2, здійснюється аналогічно вищеописаному, за винятком використання дзеркала замість лазера.

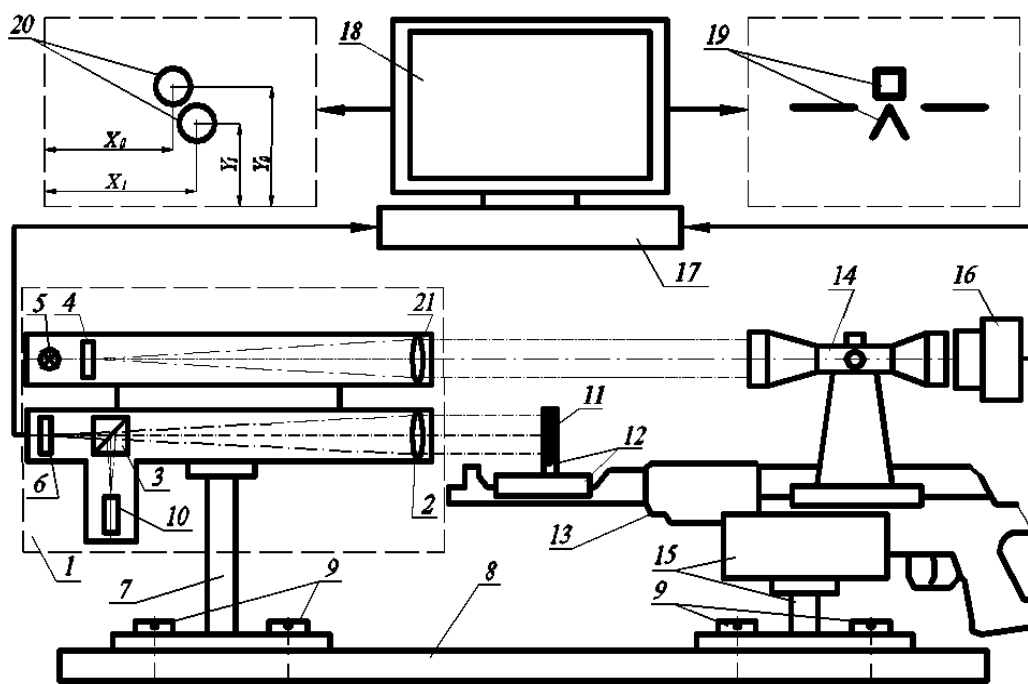


Рис. 2. Схема ОЕК для контролю положення ЛВ прицілів з використанням дзеркала із відокремленими колімаційним і приймальним каналами: 1 – колімаційно-вимірювальний блок, 7 – опора, 8 – підстава, 9 – гвинти, 10 – лазер, 11 – дзеркало, 12 – кронштейн, 13 – зброя, 14 – приціл, 15 – опора зброї, 16 – телевізійна камера, 17 – ЕОМ, 18 – монітор, 19 – зображення візирного й прицільного знаків, 20 – зображення лазерної плями

Оцінимо похибку вимірів розглянутих вище оптико-електронних систем.

При здійсненні вимірів у ході перевірконої стрільби виконуються наступні види технологічних операцій, що впливають на точність вимірів:

- установка зброї з контрольованим прицілом перед колімаційно-вимірювальним блоком;
- установка лазера або дзеркала (залежно від варіанта схеми) на базові елементи стрілецької зброї;
- суміщення прицільної сітки контрольованого прицілу із зображенням контрольної точки візирного знака колімаційного каналу;
- фіксація лазерної плями в площині цифрового ФП.

Відповідно до вищевикладеного можна визначити перелік окремих помилок, що викликають похибку визначення положення ЛВ, числові значення яких представлено в табл. 1.

Сумарна похибка виміру при використанні ОЕК в ході перевірконої стрільби $\Delta\alpha_{СТР}$ визначається з формули:

$$\Delta\alpha_{СТР} = [(\Delta\alpha_1)^2 + (\Delta\alpha_2)^2 + (\Delta\alpha_3)^2 + (\Delta\alpha_4)^2]^{1/2}. \quad (1)$$

Підставляючи дані з табл. 1 у формулу (1), одержимо наступні вирази:

- для прямого випромінювання лазера

$$\Delta\alpha^I_{СТР} = [1,5^2 + 1^2 + 1,6^2 + 6^2]^{1/2} = 6,5'';$$

- для дзеркала

$$\Delta\alpha^{II3}_{СТР} = [3^2 + 0,5^2 + 0^2 + 6^2]^{1/2} = 6,7''.$$

Враховуючи, що результат виміру кутового зміщення ЛВ утворюється дворазовим визначенням положення ЛВ:

до виконання перевірконої стрільби $(\Delta\alpha_{СТР})_i$ і після $(\Delta\alpha_{СТР})_{i+1}$, то результуюча похибка визначиться з наступних виразів:

- для прямого випромінювання лазера:

$$\begin{aligned} (\Delta\alpha^I_{СТР})_{\Sigma} &= [(\Delta\alpha^I_{СТР})_i^2 + (\Delta\alpha^I_{СТР})_{i+1}^2]^{1/2} = \\ &= [6,5^2 + 6,5^2]^{1/2} = 9,2''; \end{aligned} \quad (2)$$

- для дзеркала:

$$\begin{aligned} (\Delta\alpha^{II3}_{СТР})_{\Sigma} &= [(\Delta\alpha^{II3}_{СТР})_i^2 + (\Delta\alpha^{II3}_{СТР})_{i+1}^2]^{1/2} = \\ &= [6,7^2 + 6,7^2]^{1/2} = 9,5''. \end{aligned} \quad (3)$$

Порівняння результатів і розрахунків сумарної похибки для варіанта із прямим випромінюванням лазера (2) і варіанту з відбитим від дзеркала (3) показує, що другий варіант не забезпечує переваг перед прямим випромінюванням лазера.

Зіставлення окремих похибок показує, що похибка, викликана зміщенням зображення лазерної плями через вплив розфокусування приймального об'єктива (1,6"), менше похибки положення осі лазерного променя внаслідок неоднозначності базування дзеркала (3,0").

Таблиця 1. Значення окремих помилок, що викликають похибку виміру

Найменування похибки	Значення (кут. секунд)
Похибка положення осі лазерного променя (нормалі дзеркала) внаслідок неоднозначності базування $\Delta\alpha_1$: - лазера - дзеркала	1,5 3,0
Похибка визначення координат центру лазерної плями $\Delta\alpha_2$: - пряме випромінювання лазера - відбите від дзеркала випромінювання лазера	1,0 0,5
Похибка, викликана зміщенням зображення лазерної плями внаслідок розфокусування приймального об'єктива $\Delta\alpha_3$: - пряме випромінювання лазера - відбите від дзеркала випромінювання лазера	1,6 0
Похибка суміщення прицільної сітки з контрольною точкою $\Delta\alpha_4$	6,0

Примітка. Використано дані дослідження [10]:

1 Похибка положення осі лазерного променя внаслідок неоднозначності установки лазера (дзеркала) відносно базових елементів зброї визначалася шляхом багаторазової установки лазера (дзеркала) на ствол зброї і проведення статистичної обробки результатів виміру відповідно до вимог [11].

2 Похибка визначення координат центру лазерної плями визначалася виходячи з розміру чутливого елемента ФП – 2 мкм і значення фокусної відстані приймального об'єктива - 500 мм.

3 Похибка суміщення прицільної сітки з контрольною точкою визначалася шляхом багаторазових вимірів і проведення відповідної статистичної обробки результатів вимірів [11]. У якості прицілу використовувався приціл снайперський оптичний ПСО-1С.

Отже, для забезпечення всіх переваг схеми з відбитим випромінюванням лазера необхідно розглядати схеми, у яких дзеркало займає незмінну позицію відносно свого посадкового місця в ході всього циклу випробувань.

На рис. 3 зображено принципову схему ОЕК, в якій дзеркало займає незмінну позицію завдяки оригінальній фіксації на зброї.

ОЕК для контролю положення ЛВ прицілу містить колімаційно-вимірювальний блок 1, до якого входять об'єктив 2, в фокальній площині якого встановлені цифровий ФП 3 і сітка 4 з контрольною точкою, яка освітлюється лазерним джерелом 5. Для суміщення сітки 4 з фокальною площиною об'єктива 2 використовується світлополітник 6 між об'єктивом 2 та ФП 3. Колімаційно-вимірювальний блок 1 закріплено на опорі 7 на жорсткій основі 8, а контрольна точка разом з світлополітником 6 та об'єктивом 2 формують його ЛВ.

На основі 8 також встановлено опору 9 для монтажу зброї 10 з прицілом 11, що контролюється.

Також в склад ОЕК входять відбиваючий елемент 12, виконаний у вигляді призми БС-0°.

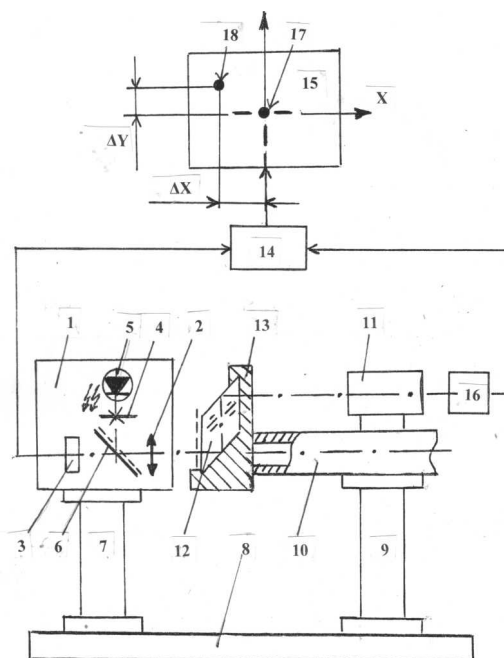


Рис. 3. Схема ОЕК для контролю положення ЛВ прицілів з використанням дзеркала

На вхідну грань призми 12 нанесене напівпрозоре світловідбиваюче покриття (на рис. 3 позначено пунктиром), і призма 12 споряджена пристроєм для однозначної орієнтації нормалі до відбиваючої площини відносно осі каналу ствола зброї 10. Функцію цього пристрою виконує корпус 13 призми 12, виготовлений з магнітного матеріалу з можливістю контакту зі зрізом ствола зброї 10.

Вихід ФП 3 з'єднано з процесором 14, вихід якого підключено до монітору 15. Зі сторони окуляру прицілу 11 встановлено телевізійну камеру 16, з'єднану з ЕОМ 14.

ОЕК для контролю положення ЛВ прицілу використовується таким чином.

На першому етапі контролер встановлює зброю 10 з прицілом 11 (телескопічним, колімаційним або телевізійним) на опорі 9. Встановлює телевізійну камеру 16 на виході прицілу 11 (у випадку телевізійного прицілу камера 16 не встановлюється, а вихід прицілу 11 підключається напряму до ЕОМ 14). Суміщає магнітний корпус 13 призми 12 зі зрізом ствола зброї 10. Водночас, площина світлоподільника на призмі 12 займає однозначне положення при багатократній перестановці на зброї: її нормаль завжди колінеарна осі каналу ствола зброї 10.

На другому етапі контролер включає лазерне джерело 5, яке підсвічує контрольну точку сітки 4. Пучки променів від контрольної точки заповнюють апертуру об'єктива 2, виходять колімованими і відбиваються світлоподільником на призмі 12 у зворотному напрямку (режим автоколімації). Об'єктив 2 створює зображення точки на ФП 3. Після опрацювання ЕОМ 14, ця точка відображається на моніторі 15 у системі координат ХУ. Якщо нормаль до світлоподільника (тобто вісь каналу ствола зброї 10) не співпадає за напрямком з ЛВ колімаційно-вимірювального блоку 1, то на екрані монітору 15 контрольна точка не співпадатиме з початком системи координат ХУ. Контролер розвертає одну з опор 7 (9) до моменту співпадіння зображення контрольної точки на моніторі 15 з початком системи координат ХУ. В результаті цього вісь каналу ствола зброї 10 співпадає за напрямком з ЛВ колімаційно-вимірювального блоку 1, сформованою контрольною точкою і об'єктивом 2.

На третьому етапі контролер включає телевізійну камеру 16 і від'єднує ФП 3 від ЕОМ 14. Частина променів, що виходить з об'єктива 2, проходить світлоподільник і виходить з призми БС-0° колінеарним ЛВ колімаційно-вимірювального блоку 1 (режим колімації). Тобто при будь-якому довільному положенні призми 12 зберігається колінеарність осі каналу ствола зброї 10 та ЛВ колімаційно-вимірювального блоку 1 (властивість призми БС-0°). Якщо ЛВ прицілу 11 не колінеарна осі каналу ствола зброї 10, то телевізійна камера 16 фіксує цей момент, зображення сітки 17 приці-

лу 11 та зміщеної контрольної точки 18 передаються до ЕОМ 14 і відображаються на моніторі 15 в системі координат ХУ (рис. 3). Регулюючими елементами прицілу 11 контролер усуває розбіжності ΔX , ΔY (рис. 3) зображення сітки прицілу 11 із зображенням контрольної точки, контролюючи процес на моніторі. Після цього приціл 11 вважається пристріляним до зброї 10: ЛВ прицілу 11 співпадає за напрямком з віссю каналу ствола зброї 10.

На четвертому етапі зброю 10 з прицілом 11 знімається з опори 9 і переноситься до тиру. Виконують серію пострілів. Після цього зброю 10 знову встановлюється на опорі 9. Повторюються усі попередні операції.

Якщо після стрільби розбіжність між зображеннями сітки 17 прицілу 11 та контрольної точки 18 відсутня, то це свідчить про якісне збирання прицілу 11. Контроль положення ЛВ прицілу на зброї завершено.

При такій структурі ОЕК виключається похибка $\Delta\alpha$, положення нормалі до відбиваючої площини призми завдяки однозначності базування її корпусу на зброї, і сумарна похибка виміру становить:

$$\Delta\alpha_{СТР}^{ДЗ} = [0^2 + 0,5^2 + 0^2 + 6^2]^{1/2} = 6,02'',$$

а результуюча похибка $(\Delta\alpha_{СТР}^{ДЗ})_{\Sigma}$ становить лише 8,5''.

Висновок

Схема ОЕК для контролю положення ЛВ прицілів, що містить автоколімаційний, колімаційний та телевізійний канали з використанням відбиваючого елемента у вигляді призми БС-0° із світлоподільником на вхідній грані і магнітним корпусом є найбільш прийнятною для контролю високоточної прицільної техніки. Надалі є доцільним сформулювати вимоги до стендів вимірювання точності суміщення ЛВ багатоканальних систем спостереження, в тому числі таких, що містять прицільний канал.

Література

- [1] Opticoelectron. Presentation 2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.opticoel.com/wp-content/uploads/2019/10/Opticoelectron-2019-Presentation-V3.pdf>
- [2] В. І. Микитенко, М. В. Сенаторов, “Модернізація авіаційного стрілецького прицілу комплексуванням інформаційних каналів”, *Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування*, Вип. 40, С.86 – 93, 2010.
- [3] Holst Gerald C., *Electro-optical imaging system performance*. 5th ed. Winter Park, Florida: JCD Publishing, 2008.
- [4] *И. Н. Ананьев*, Основы устройства прицелов. Москва, СССР: Военное издательство Министерства Вооруженных сил Союза ССР, 1947.

- [5] Прицелы оптические и электронно-оптические для стрелкового оружия. Правила стандартизации. ПР78.01.0020-2009. Изд. МВД РФ. 2009. 25 с.
- [6] В. М. Сенаторов, А. С. Довгополий, А. В. Гурнович та ін., “«Холодне» пристрілювання оптичних приладів бойових роботизованих комплексів”, *Озброєння та військова техніка: Науково-технічний журнал*, Київ: ЦНДІ ОВТ ЗСУ, № 3(19), с. 47-51, 2018.
DOI: 10.34619/2414-0651.2018.3(19).
- [7] В. С. Айрапетян, И. С. Бутримов, М. С. Комбаров, “Основные аспекты контроля параметров прицельной техники в ходе полигонных испытаний”, на *Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «СибОптика-2013»: сб. материалов в 2-х т.*, Новосибирск, 15-26 апреля 2013 г. Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 2. с. 178-183.
- [8] “Устройство для контроля положения линии визирования прицелов на стрелковом оружии”, Пат. РФ 2535584, МПК F41G 1/54, Бюл. №35, 2014.
- [9] “Устройство для контроля положения линии визирования прицелов на стрелковом оружии”, Пат. РФ 2536570, МПК F41G 1/54, Бюл. №36, 2014.
- [10] И. С. Бутримов, “Разработка и исследование оптико-электронного комплекса для контроля положения линии визирования прицелов”, Автореферат дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук, СГУ геосистем и технологий. Новосибирск, РФ, 2016.
- [11] ГОСТ Р 8.736-2011. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.

УДК 623.4.051

В. Н. Сенаторов, А. Д. Мельник, В. И. Микитенко¹⁾*Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина*²⁾*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина***ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЛИНИИ ВИЗИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПРИЦЕЛА**

В статье рассмотрен способ контроля положения линии визирования прицелов на основе оптико-электронных систем, которые используют современную элементную базу: лазерный источник излучения и цифровой фотоприемник. Суть способа заключается в определении координат линии визирования контролируемого прицела относительно луча лазера или нормали к зеркалу, однозначно связанных с базовыми элементами стрелкового оружия. Алгебраическая разница координат проекций линии визирования и оси лазерного луча или нормали к зеркалу до и после стрельбы определяют величину отклонения линии визирования прицела после очередного этапа стрельбовых испытаний.

Оценены три варианта построения оптико-электронных комплексов с точки зрения их точности при контроле стабильности положения линии визирования при стрельбовых испытаниях.

В первом варианте комплекс содержит колимационно-измерительный блок, лазер, который однозначно базируется на стволе оружия и определяет ось канала его ствола. Для повышения точности наведения сетки прицела на контрольную точку – за окуляром контролируемого прицела устанавливается телевизионная камера.

Во втором варианте комплекса лазерный источник интегрирован в конструкцию приемного канала, а вместо лазера на оружие устанавливается съемное зеркало, нормаль которого определяет ось канала его ствола.

В третьем варианте в состав комплекса входят отражающий элемент, выполненный в виде призмы БС-0°. На входную грань призмы нанесено полупрозрачный светоделитель, и призма оснащена устройством для однозначной ориентации нормали к отражающей плоскости относительно оси канала ствола оружия. Функцию этого устройства выполняет корпус призмы, изготовленный из магнитного материала для контакта со срезом ствола оружия.

Анализ точности вариантов показывает преимущество третьего.

Ключевые слова: контроль; линия визирования; оптико-электронный комплекс; прицел.

Volodymyr M. Senatorov, Oleksander D. Melnyk, Volodymyr I. Mikitenko¹⁾*Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*²⁾*National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine*

OPTICAL AND ELECTRONIC COMPLEX FOR CONTROL OF OPTICAL SIGHT VIEWING LINE POSITION

Method of the sights viewing line control on base of optical and electronic systems using the modern element base (laser source of irradiation and digital photo detector) is considered in paper. Essence of method is in determining of the viewing line coordinates of a sight under control relatively to laser beam or normal to mirror, which are connected unmistakably with base elements of small arms. Algebraic difference of the viewing line projection and laser beam axis or normal to mirror before and after shooting is determining a value of sight viewing line deviation after serial stage of shooting tests.

There are assessed three variants of the optical and electronic complexes from view point their accuracy at control of viewing line stability at shooting tests.

In the first variant, a complex includes the collimation-measuring unit and laser, which is basing unmistakably on weapon barrel and determining channel axis of it barrel. TV camera is mounting behind ocular of sight under control for increasing of accuracy of sight reticle direction to control point.

In the second variant, a laser source is integrated in receiving channel structure and dismountable mirror is mounting on weapon instead of laser. Normal of that mirror is determining the axis of weapon barrel channel.

In the third variant, a complex includes reflective element in view of rhombic prism. Semitransparent beam splitter is plotted on exit plane of prism. Besides that, a prism is equipped with special means for unmistakably orientation of it normal to reflective plane relatively to axis of weapon barrel channel. Prism body made from magnetic material for stable contact with edge of weapon barrel executes function of that means.

Analysis of there variants accuracy has shown advantage of the third variant.

Key words: control; optical and electronic complex; sight; viewing line.

*Надійшла до редакції
15 листопада 2019 року*

*Рецензовано
23 листопада 2019 року*