

DOI: 10.20535/1970.69(1).2025.331794

УДК 623.4.051

ПРОЄКТУВАННЯ ОПТИКО-МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ «ХОЛОДНОГО» ПРИСТРІЛЮВАННЯ*Кучеренко О. К.**Національний технічний університет України**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна**E-mail: oleg.k.kucherenko@gmail.com*

Розвиток озброєння в Україні пов'язаний з використанням дистанційно керованих засобів враження супротивника. До таких засобів відносяться, наприклад, безпілотні літальні апарати та бойові роботи (БР), які використовуються при виконанні розвідувальних, інженерних, бойових і тилових задач. Більшість з цих дистанційно керованих БР оснащені телевізійними і тепловізійними прицілами, телевізійними камерами і лазерними далекомірами для забезпечення заданих показників їхнього призначення. В зв'язку з цим постає питання побудови пристроїв «холодного» пристрілювання, за допомогою яких можна пристрілювати приціли для різних типів БР з різною базою між прицілом і зброєю.

В статті розглядаються питання побудови найбільш перспективної системи «холодного» пристрілювання на базі коліматора і дзеркальних пента-відбивачів. Проведено аналіз можливих похибок системи пов'язаних з розфокусуванням і паралактичною похибкою наведення коліматорного вузла. З використанням матричного метода визначено вплив похибки базування пента-відбивача на положення площини зображення імітатора цілі коліматора по відношенню до прицільної марки системи наведення зброї. Отримані аналітичні співвідношення, які дають можливість запропонувати методи усунення цих похибок шляхом юстування системи «холодного» пристрілювання при використанні спеціального обладнання. Розглянута в статті система «холодного» пристрілювання може бути використана для дистанційно керованих БР, що працюють у видимому і інфрачервоному діапазонах завдяки використанню дзеркальної оптики. Важливо і те, що система дозволяє налагоджувати БР із зміною в широких межах відстані між стволом зброї БР і віссю прицілу. Робота може бути корисною для фахівців, що працюють в галузі проектування і експлуатації БР.

Ключові слова: бойовий робот (БР); система «холодного» пристрілювання; похибки оптико-механічної системи; компенсація похибок шляхом юстування..

Вступ

Питанням проектування прицільних систем різного призначення присвячено багато наукових праць [1-4]. Найбільш актуальною проблемою зараз є питання розробки зброї для дистанційно керованих бойових роботів (БР).

Для первинної установки лінії візування прицілу або періодичної перевірки її положення відносно осі каналу ствола БР використовуються такі контрольно-вимірювальні пристрої: «лазерний патрон», лазерний прилад «холодного» пристрілювання, трубка «холодного» пристрілювання (ТХП) і ствольний коліматор (СК). Виходячи з призначення, вимоги до цих пристроїв такі [5]:

- мінімальна власна похибка;
- стабільність конструкції в часі та при зміні зовнішніх умов;
- відсутність необхідності переустановлень;
- відносно мала залежність результатів вимірів від кваліфікації оператора;
- простота експлуатації.

Суть процесу пристрілювання з використанням «лазерного патрона» (ЛП), або лазерного приладу «холодного» пристрілювання (ЛПХП), поля-

гає у перевірці положення перехрестя прицільної марки відносно центра лазерної плями, що відображає вісь ствола зброї на віддаленому екрані [6,7]. На моніторі оператора, який проводить пристрілювання, відображається лазерна пляма і прицільна марка. В разі незбігу зображень оператор суміщає перехрестя прицільної марки з центром лазерної плями..

Оскільки відстань між стволом БР і віссю прицілу знаходиться в межах $L \approx 100-400$ мм, то дистанція до екрану D, виходячи з допустимої похибки пристрілювання, повинна визначатися із співвідношення [5]:

$$D \geq L / [\delta L], \quad (1)$$

де $[\delta L]$ – припустима похибка пристрілювання, обумовлена впливом L.

Якщо в якості $[\delta L]$ прийняти середньоквадратичне розсіювання боєприпасів 4 мрад, то згідно (1) для визначеного діапазону параметра L маємо $D \geq 25$ м. Така значна відстань є одним з недоліків використання «лазерного патрона», або лазерного приладу «холодного» пристрілювання в польових

умовах. При використанні ТХП відстань до екрану може бути знижена до 0.5 м [8].

Конструктивною особливістю ЛП, ЛПХП і ТХП є те, що їхня вихідна зіниця спрямована в простір цілей. Це передбачає обов'язкове використання екрану, вивіральної або пристрілочної мішені, що не завжди можливо в умовах бойових дій. По-друге, всі ці прилади працюють у видимій області спектру, що унеможливує пристрілювання тепловізійних прицілів.

Існуюча конструкція СК має велику вагу і не забезпечує можливість вирішення задачі «холодного» пристрілювання у всьому діапазоні відстаней L . Окрім того використання СК не передбачає пристрілювання тепловізійних прицілів [9].

В роботі [10] запропонована схема побудови коліматорної системи «холодного» прицілювання з використанням пента-відбивачів. Але в цій роботі відсутній аналіз похибок, що виникають в процесі налагодження системи і методи компенсації цих похибок при юстуванні.

Мета статті полягає в аналізі похибок, що виникають при проектуванні оптико-механічної системи «холодного» пристрілювання. На основі цього аналізу надати рекомендації що до компенсації розглянутих похибок під час юстування.

Принцип дії оптико-механічної системи (ОМС) «холодного» пристрілювання

3D модель ОМС «холодного» пристрілювання показана на рис. 1.

Система містить коліматор з напрямною для встановлення в зброю, вузол пента-відбивачів та прицільну систему.

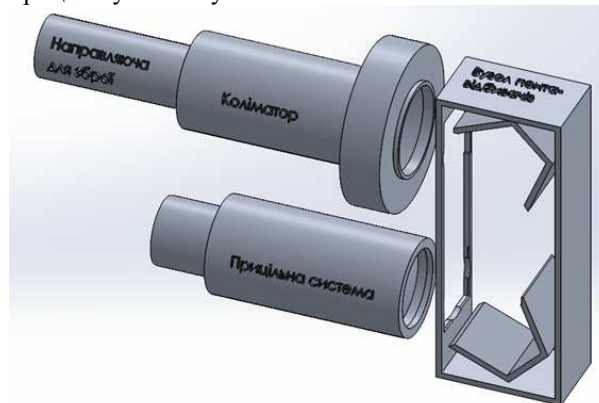


Рис. 1. 3D модель оптико-механічної системи «холодного» пристрілювання

На рис. 2 показана схема розташування основних елементів, що входять до складу ОМС «холодного» пристрілювання.

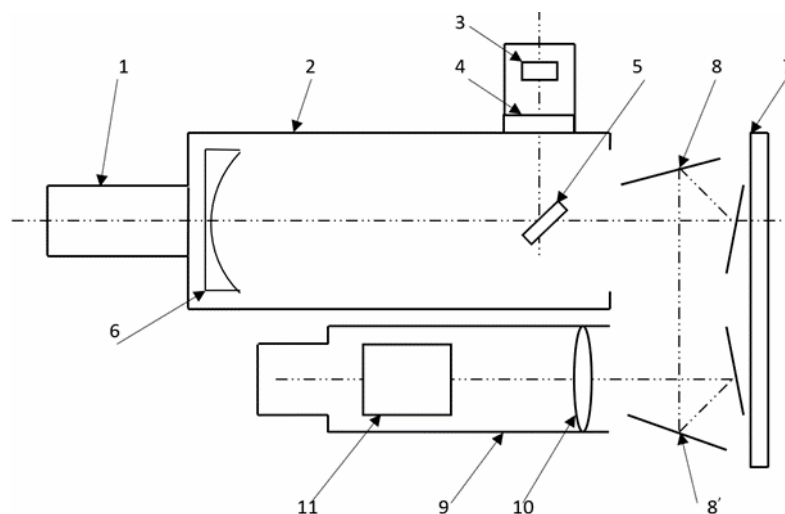


Рис. 2. Схема розташування елементів оптико-механічної системи «холодного» пристрілювання

ОМС «холодного» пристрілювання працює наступним чином. Напрямна 1, калібр якої відповідає калібру зброї БМ, встановлюється в отвір зброї. З напрямною жорстко зв'язаний корпус коліматора 2. Джерело випромінювання 3 підсвічує діафрагму 4, що імітує ціль. Плоске дзеркало 5 спрямовує пучок променів на дзеркальний об'єктив коліматора 6. Об'єктив формує паралельний пучок променів і направляє його на вузол 7, де встановлений перший пента-відбивач 8. Цей пента-відбивач змінює орієнтацію пучка променів на

кут 90° і спрямовує його на другий пента-відбивач $8'$. Другий пента-відбивач направляє пучок променів у вхідну зіницю прицільної системи 9. Об'єктив прицільної системи 10 фокусує зображення діафрагми коліматора на фотоприймальний пристрій 11, де згенероване зображення перехрестя марки прицілу.

Суть процесу «холодного» пристрілювання полягає у визначенні положення перехрестя марки прицілу відносно зображення діафрагми коліматора. Зображення марки і діафрагми відображаються

на моніторі оператора. Якщо відстань незбігу зображень перевищує припустиме значення, оператор суміщає їх переміщенням марки прицілу.

Використання дзеркальної оптики в оптико-механічній системі дає можливість вирішувати питання «холодного» пристрілювання для систем наведення БР, що працюють як у видимій, так і інфрачервоній частинах спектру. Для налагодження систем з різними значеннями відстаней L пента-відбивач 9 можна пересувати в напрямку розповсюдження паралельного пучка променів.

Паралакс оптико-механічної системи «холодного» пристрілювання

Причиною паралаксу оптичної системи «холодного» пристрілювання є неспівпадіння площини діафрагми коліматора з його фокальною площиною. Як наслідок, на виході коліматора отримаємо пучок променів, що сходиться або розходиться залежно від напрямку розфокусування.

Для отримання різкого зображення діафрагми коліматора на фотоприймальному пристрої оператора необхідно буде пересунути його в положення, яке не відповідає реальній операції пристрілювання.

Зв'язок між величиною розфокусування коліматора Δz_k і фотоприймального пристрою Δz_ϕ визначається співвідношенням:

$$\Delta z_\phi = \frac{\Delta z_k (f'_{11})^2}{(f'_6)^2},$$

де f'_6, f'_{11} – фокусні відстані об'єктивів коліматора і фотоприймального пристроїв відповідно.

Якщо розфокусування Δz_ϕ буде відбуватися в межах глибини різкості об'єктива фотоприймальної системи, то оператор жодних незручностей спостерігати не буде. Тим не менше виникає похибка пристрілювання, природу якої пояснює рис. 3.

Якщо при знятті відліку око оператора зрушиться в поперечному напрямку по відношенню

до осі пристрілювання на відстань t , то виникає помилка відліку p , яка дорівнює:

$$p = t \cdot \Delta z / \alpha. \quad (1)$$

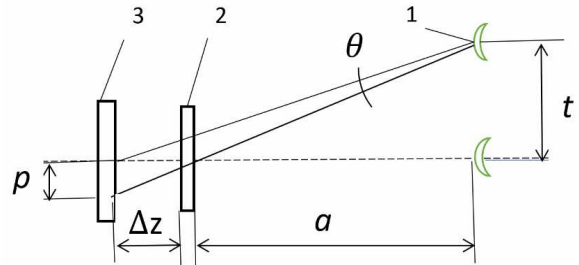


Рис. 3. Паралакс прицільної системи: 1 – око оператора; 2 – зображення діафрагми коліматора; 3 – площина, в якій згенеровано зображення перехрестя марки прицілу

З формули (1) випливає, що помилку відліку за рахунок паралакса можна зменшити, скорочуючи проміжок Δz між центром зображення діафрагми 2 і приймачем фотоприймального пристрою. Чутливість ока до паралаксу визначається кутом θ , укладеним між головними променями, один з яких спрямований на центр зображення діафрагми коліматора, а інший на приймач фотоприймального пристрою.

Величина p поперечного зсуву в площині фотоприймального пристрою є мірою лінійного паралакса, а кут θ – мірою кутового паралакса.

Для компенсації паралакса оптико-механічної системи «холодного» пристрілювання варто скористатися пента-відбивачем, який є складовою оптичної схеми, і автоколімаційною зоровою трубою.

Метод юстування пояснює рис. 4.

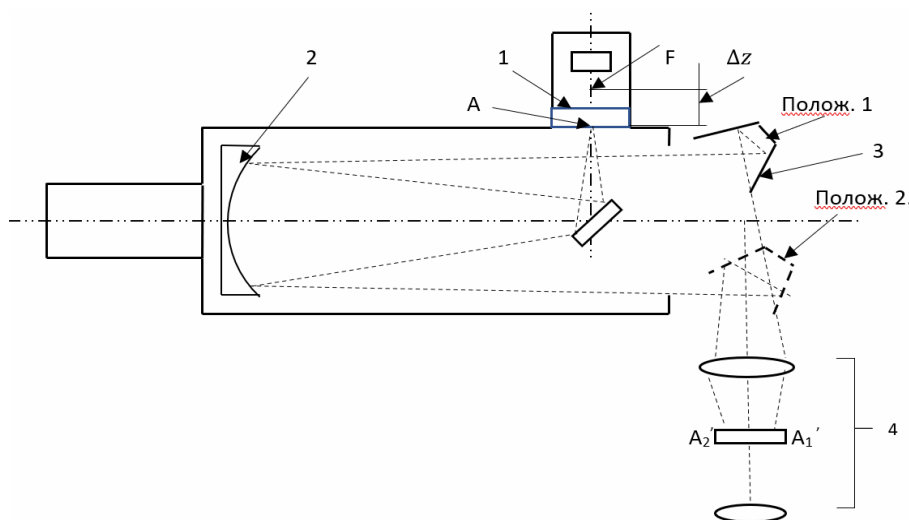


Рис. 4. Схема усунення паралаксу коліматора оптико-механічної системи за допомогою зорової труби і пента-відбивача

На рисунку показано, що діафрагма коліматора 1 оптико-механічної системи зсунута по відношенню до фокальної площини об'єктива 2 на величину Δz . В результаті на виході об'єктива коліматора отримуємо пучок променів, що розходить. Перед об'єктивом 2 перпендикулярно до його осі пересувають пента-відбивач 3 на відстань δ . Зображення сітки коліматора розглядають через зорову трубу 4, що має сітку зі шкалою, за допомогою якої можна визначити зсув Y зображення центра сітки коліматора при переміщенні пента-відбивача.

При установці пента-відбивача в положення 1 зображення центру сітки коліматора A буде проектуватися на сітку зорової труби в точці A'_1 . При установці пента-відбивача в положення 2 зображення центру сітки коліматора буде проектуватися в точку A'_2 . Відстань між цими точками Y визначається по сітці зорової труби.

Переміщення Δz діафрагми 1 або об'єктива коліматора 2 вздовж осі, необхідне для юстування і отримання паралельного пучка променів на виході коліматора, визначають по формулі [5]:

$$\Delta z = \frac{(f_{\text{об.кол.}})^2 \cdot Y}{\delta \cdot f_{\text{зор.тр.}}}, \quad (2)$$

де $f_{\text{об.кол.}}$ – фокусна відстань коліматорного об'єктива; $f_{\text{зор.тр.}}$ – фокусна відстань об'єктива автоколімаційної зорової труби; δ – лінійне переміщення

пента-відбивача; Y – зміщення зображення центру діафрагми коліматора в площині сітки автоколімаційної зорової труби.

Співвідношення (2) справедливо як для лінзового коліматора, так і для дзеркального коліматора, який використовується в оптико-механічній системі «холодного» пристрілювання. Усунення паралаксу коліматора при цьому може бути проведено у видимому діапазоні спектру.

Похибки базування пента-відбивачів в оптико-механічній системі «холодного» пристрілювання

Важливою властивістю пента-відбивачів є те, що орієнтація відбитого ними променя не залежить від повороту пента-відбивача відносно осі, що паралельна до його ребра.

Кут між напрямком падаючого та відбитого променів завжди дорівнює 2σ , де σ кут при ребрі пента-відбивача, що дорівнює 45° . Тим не менше існує інша похибка базування пента-відбивача, вплив якої на орієнтацію площини зображення варто проаналізувати.

Для цього скористаємося матрицею дії кутового дзеркала, яким і є пента-відбивач.

Матриця дії має такий вигляд [11]:

$$M'' = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} [\cos 2\sigma + 2p_x^2 \sin^2 \sigma] & [-p_z \sin 2\sigma + 2p_x p_y \sin^2 \sigma] & [p_y \sin 2\sigma + 2p_x p_z \sin^2 \sigma] \\ [p_z \sin 2\sigma + 2p_x p_y \sin^2 \sigma] & [\cos 2\sigma + 2p_y^2 \sin^2 \sigma] & [-p_x \sin 2\sigma + 2p_y p_z \sin^2 \sigma] \\ [-p_y \sin 2\sigma + 2p_x p_z \sin^2 \sigma] & [p_x \sin 2\sigma + 2p_y p_z \sin^2 \sigma] & [\cos 2\sigma + 2p_z^2 \sin^2 \sigma] \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де σ – кут при ребрі кутового дзеркала; p_x, p_y, p_z – проекції орта $\vec{p}$ на пряму ребра кутового дзеркала в нерухомій системі координат XYZ (Рис. 5).

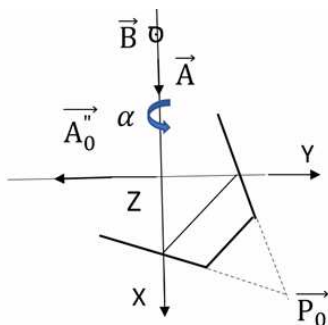


Рис. 5. Пента-відбивач в нерухомій системі координат XYZ

Визначимо напрям орта вектора променя, відбитого від пента-відбивача при його повороті на кут відносно осі OX (див. рис. 5), а також напрям орта вектора вертикалі в площині зображення при повороті пента-відбивача на той самий кут.

Як видно з рис. 5, ось OX співпадає з напрямком падаючого променя.

Скористаємося такими вихідними даними:

- кут при ребрі пента-відбивача $\sigma = 45^\circ$;
- орт вектора падаючого променя $\vec{A} = \vec{i}$;
- орт вектора ребра пента-відбивача $\vec{P}_0 = \vec{k}$;
- орт вектора вертикалі простору предметів $\vec{B} = \vec{k}$;
- кут повороту пента-відбивача α .

Для визначення напрямку відбитого променя $\vec{A}''$ та повороту площини зображення, що характеризується поворотом зображення вертикалі $\vec{B}''$ простору предметів при повороті пента-відбивача на кут α , скористаємось наступними співвідношеннями:

$$\vec{A}'' = M'' \vec{A}; \quad (4)$$

$$\vec{B}'' = M'' \vec{B}, \quad (5)$$

де $\vec{A}$ – орт вектора променя, що падає на пента-відбивач; $\vec{B}$ – орт вектора вертикалі простору предметів; M'' – матриця дії кутового дзеркала.

Поворот пента-відбивача, а значить ребра $\vec{p}$ на кут α навколо осі X, показаний на рис. 6.

Як видно з рис. 6, в результаті повороту векторне рівняння для ребра пента-відбивача отримає вид:

$$\vec{p} = -\sin \alpha \vec{j} + \cos \alpha \vec{k}. \quad (6)$$

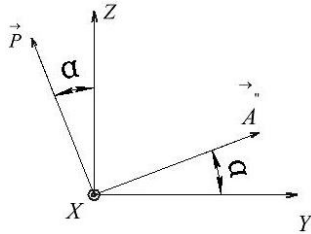


Рис. 6. Поворот пента-відбивача навколо осі X

Для орта падаючого променя $\vec{A}$ і орта вертикалі $\vec{B}$ простору предметів, виходячи з умов задачі, маємо:

$$\vec{A} = \vec{i}; \quad \vec{B} = \vec{k}.$$

Тоді для орта $\vec{A}''$ відбитого променя з урахуванням (3) – (6) знайдемо:

$$\begin{aligned} \vec{A}'' &= M'' \vec{A} = M'' \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11} \\ m_{21} \\ m_{31} \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} \cos 2\sigma \\ p_z \sin 2\sigma \\ -p_y \sin 2\sigma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ p_z \\ -p_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (7)$$

На основі (7) запишемо векторний вираз для орта відбитого променя $\vec{A}''$

$$\vec{A}'' = \cos \alpha \vec{j} + \sin \alpha \vec{k}. \quad (8)$$

Аналіз співвідношення (8) показує, що промінь, який виходить, обертається у площині YOZ разом і синхронно з обертанням пента-відбивача. Це призводить до розфокусувань зображення на краях поля зору.

Розглянемо, як при цьому змінюється орієнтування вертикалі $\vec{B}$ простору предметів, а отже, і всього зображення.

Після повороту пента-відбивача на кут α для напрямку зображення вертикалі знайдемо:

$$\begin{aligned} \vec{B}'' &= \vec{M}'' \vec{B}_0 = M'' \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{13} \\ m_{23} \\ m_{33} \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} p_y \\ 2p_y p_z \sin^2 \sigma \\ \cos 2\sigma + 2p_z^2 \sin^2 \sigma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_y \\ p_y p_z \\ p_z^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \alpha \\ -\sin \alpha \cos \alpha \\ \cos^2 \alpha \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (9)$$

З виразу (9) важко уявити напрям вертикалі в площині зображення. Необхідно перейти до площини, ортогональної напрямку відбитого променя – орту $\vec{A}''$, тобто перетворити орт $\vec{B}''$ в так звану променеву систему осей $X_n Y_n Z_n$. Для цього необхідно помножити орт $\vec{B}''$ на матрицю S_n повороту осей навколо осі X на кут α проти годинникової стрілки.

Матриця перетворення координат має вигляд:

$$S_n = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Тоді для орта зображення вертикалі отримаємо

$$\vec{B}_n'' = S_n \vec{B}'' = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -\sin \alpha \\ -\sin \alpha \cos \alpha \\ \cos^2 \alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin \alpha \\ 0 \\ \cos \alpha \end{pmatrix}. \quad (11)$$

На основі (11) запишемо векторний вираз для орта зображення вертикалі в променевій системі координат:

$$\vec{B}_n'' = -\sin \alpha \vec{i}_n + \cos \alpha \vec{k}_n. \quad (12)$$

Відповідно до (12) положення зображення вектору вертикалі $\vec{B}_{np}''$ після повороту показано на рис. 7.

Як видно з рис. 7, при повороті пента-відбивача на кут α навколо осі X зображення вертикалі, а отже і будь-якого іншого напрямку простору предметів, обертається відносно осі Y_n променевої системи координат $X_n Y_n Z_n$ за годинниковою стрілкою на той же кут α .

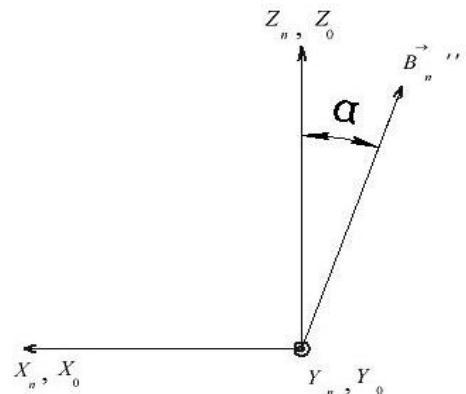


Рис. 7. Положення зображення вектору вертикалі після повороту

Такий поворот площини зображення діафрагми коліматора відносно прицільної марки системи наведення ускладнить роботу оператора при налаштуванні оптико-механічної системи «холодного» пристрілювання.

Як видно з рис. 7, при повороті пента-

відбивача на кут α навколо осі X зображення вертикалі, а, отже, і будь-якого іншого напрямку простору предметів, обертається відносно осі Y_{Π} променевої системи координат $X_{\Pi}Y_{\Pi}Z_{\Pi}$ за годинниковою стрілкою на той же кут α . Такий поворот площини зображення діафрагми коліматора відносно прицільної марки системи наведення ускладнить роботу оператора при налаштуванні оптико-механічної системи «холодного» пристрілювання.

Компенсація розглянутих похибок базування пента-відбивача може бути здійснена при юстуванні з використанням гоніометра ГС-5. Схема юстувального стенда показана на рис. 8.

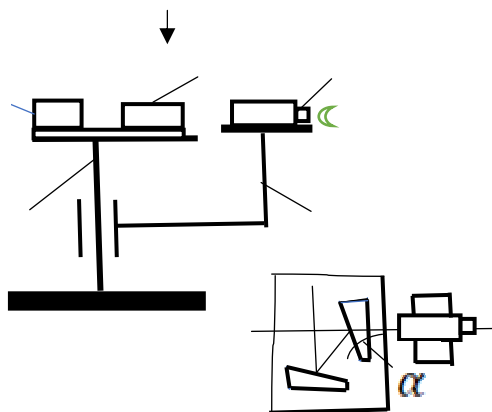


Рис. 8. Схема стенда для юстування пента-відбивача, де: 1 – гоніометр; 2 – поворотна алідада гоніометра; 3 – автоколімаційна зорова труба гоніометра; 4 – фотоприймач системи прицілювання; 5 – пента-відбивач

Юстування потрібно проводити в такій послідовності:

1. При знятому пента-відбивачі в полі зору автоколімаційної зорової труби отримати автоколімаційне зображення перехрестя сітки автоколіматора при відбитті від захисного скла фотоприймача прицільної системи і, повертаючи та нахилиючи зорову трубу, звести це зображення в центр сітки автоколімаційної зорової труби.

2. Встановити на столик гоніометра в полі зору автоколімаційної зорової труби столик пента-відбивача, який повинен складатися з двох клиновидних пластин, як показано на виді А рис. 8. Кут α , виходячи з конструкції пентапризми, повинен складати $22^{\circ} 30'$. Попередньо передня і задня грані пластин покриваються дзеркальним покриттям.

3. Привести автоколімаційне зображення перехрестя автоколіматора відбитого від грані пента-відбивача в центр сітки автоколіматора, розвертаючи і нахилиючи столик з пента-відбивачами.

4. Зафіксувати всі вузли ОМС «холодного» пристрілювання в з'юстованому положенні.

Аналогічна послідовність дій буде при юстуванні пента-відбивача 8 (див. рис. 2) по відношенню до діафрагми коліматора 4.

Висновки

Оптико-механічна система «холодного» пристрілювання з використанням дзеркального коліматора і пента-відбивачів має значні переваги порівняно з системами, які використовуються зараз. Ця система не потребує використання віддаленого екрану, може бути використана в широкому спектральному діапазоні і при різних відстанях між стволом зброї і системою дистанційного прицілювання.

Однією з похибок коліматора є паралакс сітки, що призводить до виникнення похибки пристрілювання. Для компенсації паралаксу доцільно скористатися методом, запропонованим у статті і побудованим на використанні зорової труби і пента-відбивача.

Аналіз із використанням матричного методу показав, що на похибку системи пристрілювання впливає малий поворот пента-відбивача навколо осі, що збігається з напрямком падаючого на нього променя. Запропонована компенсація цієї похибки автоколімаційним методом при використанні гоніометра ГС-5 і нанесенні дзеркального покриття на бічну поверхню пента-відбивача.

Література

- [1] О. К. Кучеренко, М. В. Сенаторов. «Однолінзовий коліматорний прицільний пристрій», *Journal of Optical Technology*, vol. 64, p.1034-1035, 1997.
- [2] Opticoelectron. Presentation 2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.opticoel.com/wp-content/uploads/2019/10/Opticoelectron-2019-Presentation V3.pdf>
- [3] В. І. Микитенко, М. В. Сенаторов, «Модернізація авіаційного стрілецького прицілу комплексування інформаційних каналів», *Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування*, Вип. 40, с. 86 – 93, 2010.
- [4] О. К. Кучеренко, Е. В. Бойкова. «Про неузгодженість візирної та локаційної осей лазерного далекоміра прицілу», *Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування*, Вип. 33, с. 48 – 54, 2007.
- [5] М. В. Сенаторов, А. С. Довгополий, А. В. Гурнович та ін. «Холодне» пристрілювання оптичних прицілів бойових роботизованих комплексів. *Озброєння та військова техніка*, Київ: ЦНДІ ОВТЗСУ, № 3(19), с. 47-51, 2018.
- [6] Трубки холодного пристрілювання ТХП, ТХП-1. [Електронний ресурс]. Доступно: https://hotopribor.ck.ua/products/defense/prylady_control/thp-1. 05/09/2024. pdf.
- [7] Laser bore sight. Патент США №5787631А, МПК F41G, 33/02, 2014.
- [8] Патрони «холодної» пристрілки. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://prisel.in.ua/hunt-and-weapons/boresight-weapons>. 02/04/2018. pdf.

- [9] Пристрій для «холодного» пристрілювання BSA GUNS BS 30. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://activmarket.com.ua/catalog/oruzhie-tyuning/xolodnaya-prostrelka/ustroystvo-dlya-xolodnoy-pristrelki-bsa-guns-bs30-v-kejse.html>. 02/04/2018. pdf.
- [10] Пристрій для «холодної» пристрілки оптико-електронного прицілу. Патент на корисну модель України № U127980. Бюл. №16, 2019.
- [11] О. К. Кучеренко. *Розрахунок і конструювання оптичних приладів. Частина 1. «Принципи конструювання і точність оптичних приладів»* Підручник. «КПІ ім. Ігоря Сікорського». 2018. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/24398>

UDC 623.4.051

Oleg K. Kucherenko*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine***DESIGNING AN OPTICAL AND MECHANICAL COLD-FIRING SYSTEM**

The development of armaments in Ukraine is associated with the use of remotely controlled means of striking the enemy. Such means include, for example, unmanned aerial vehicles and combat robots (CRs) used in reconnaissance, engineering, combat and logistics tasks. Most of these remote-controlled UAVs are equipped with television and thermal imaging sights, television cameras and laser rangefinders to ensure the specified performance of their intended purpose. This raises the issue of building cold-loading devices that can be used to adjust the sights for different types of BRs with different bases between the sight and the weapon.

The article deals with the construction of the most promising cold sighting system based on a collimator and mirror penta-reflectors. The analysis of possible errors of the system associated with defocusing and parallax error of the collimator assembly is carried out.

The influence of the penta-reflector basing error on the position of the image plane of the collimator grid in relation to the aiming grid of the weapon guidance system is determined using the matrix method. Analytical relations have been obtained, which make it possible to propose methods for eliminating these errors by adjusting the cold-firing system using special equipment. The cold firing system considered in this article can be used for remotely controlled ballistic missiles operating in the visible and infrared ranges due to the use of mirror optics. It is also important that the system allows for the adjustment of the BR with a wide range of changes in the distance between the BR barrel and the sight axis.

The work may be useful for specialists working in the field of design and operation of combat vehicles.

Keywords: combat robot (CR); cold-firing system; errors of the optical-mechanical system; error compensation by adjustment.

*Надійшла до редакції
17 грудня 2024 року*

*Рецензовано
05 квітня 2025 року*



© 2025 Copyright for this paper by its authors.
Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).