

WIZOWANIE BEZZAŁOGOWYCH PLATFORM UZBROJENIA *BORESIGHTING OF UNMANNED WEAPON PLATFORMS*

Volodymyr SENATOROV, Oleg HUSLIAKOV, Olexander MELNYK

Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine

Author's e-mail address: senatorov1945@i.ua; ORCID:0000-0002-3893-9465

DOI 10.5604/01.3001.0014.882

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę współczesnych urządzeń, za pomocą których przeprowadza się wizowanie celowników optoelektronicznych, biorąc pod uwagę specyfikę ich rozmieszczenia na bezzałogowych platformach uzbrojenia. Opisano uniwersalny kolimator lufowy, który zapewnia wizowanie celowników telewizyjnych i termowizyjnych dla różnych rodzajów bezzałogowych platform uzbrojenia.

Słowa kluczowe: wizowanie, „nabój laserowy”, urządzenie laserowe do wizowania, tuba do wizowania, kolimator lufowy, bezzałogowa platforma uzbrojenia, optyka lustrzana

1. Wstęp

Tak jak wspomniano w [1], opracowanie podstawowych składników systemów uzbrojenia na Ukrainie uwzględnia znane trendy rozwojowe uzbrojenia i sprzętu wojskowego (USW). Zastosowanie bezzałogowych platform uzbrojenia (BPU) do realizacji zadań rozpoznawczych, inżynierskich, bojowych i logistycznych należy do jednego z takich trendów [2]. W tym względzie, dokument [1] przewiduje opracowanie na Ukrainie bezzałogowych, zautomatyzowanych i zdalnie działających egzemplarzy USW dla różnych ce-

Abstract: An analysis of modern devices boresighting the optical-electronic sights and taking into consideration peculiarities of their installation on unmanned weapon platforms is given in the paper. A universal barrel collimator is described, which ensures a boresighting for television and thermal sights for different kinds of unmanned weapon platforms.

Keywords: boresighting, «laser bullet», boresighting laser device, boresighting tube, barrel collimator, unmanned weapon platform, mirror optics

1. Introduction

As it is mentioned [1], the development of basic components of armament systems in Ukraine takes into consideration the well-known trends dealing with development of armament and military equipment (AME). Using the unmanned weapon platforms (UWP) for execution of reconnaissance, engineer, battle and logistic tasks is one from these trends [2]. In this respect, document [1] foresees a development in Ukraine the unmanned, automated and distance operated AME samples for different aims and basing. Designing and production of battle modules

lowników i odstepu bazowego. Projektowanie i produkcja modułów bojowych (MB) oraz specjalnego sprzętu do montowania ich na różnych typach platform lądowych jest obecnie zadaniem dla Sił Zbrojnych Ukrainy.

Zgodnie z tym co zostało zaprezentowane na międzynarodowych wystawach IDEX-2019 w Abu-Dhabi, IDEF w Istanbule oraz «Weapon and Safety-2019» w Kijowie, Ukraina osiągnęła pewne sukcesy w tworzeniu lądowych BPU. Na tych wystawach zostały zaprezentowane takie przykłady BPU jak “Fantom”, “Piranja”, “Cherepashka”, “Myslyvets”, oraz MB jak “Ovod”, “Vij”, “Taipan”, “Duplet”, “Kastet” [3].

Większość bezzałogowych MB jest wyposażona w celowniki telewizyjne i termowizyjne, oraz kamery telewizyjne i dalmierze laserowe w celu zapewnienia przewidywanych indeksów jakościowych robotów bojowych.

Strukturalna specyfika MB polega na dużej odległości bazowej (w granicach 100...400 mm) pomiędzy okularzem wejściowym celownika a lufą uzbrojenia. Podczas testów i funkcjonowania tych MB pojawia się zadanie okresowej kontroli (tj. wykrycie i eliminacja braku zgodności pomiędzy kątowymi położeniami linii celowania celownika a osią kanału lufowego – wizowanie).

Zadaniem artykułu jest analiza zasad znanych konstrukcji przeznaczonych do wizowania oraz opracowanie uniwersalnego urządzenia do wizowania celowników elektrooptycznych (pracujących w różnych zakresach widma), dla różnych rodzajów MB (przy różnych dystansach bazowych pomiędzy celownikiem a uzbrojeniem), zainstalowanych na lądowych platformach bezzałogowych.

2. Analiza teoretyczna

Następujące urządzenia kontrolno-pomiarowe są obecnie stosowane do podstawowego justowania linii obserwacyjnej celownika lub podczas okresowej inspekcji jej położenia,

(BM) and special equipment for its mounting on different types of land platforms is actual task for Armed Forces of Ukraine.

As it has been demonstrated on International exhibitions IDEX-2019 in Abu-Dhabi, IDEF in Istanbul and «Weapon and Safety-2019» in Kyiv, Ukraine has achieved some successes in creation of land UWP. Examples of UWP “Fantom”, “Piranja”, “Cherepashka”, “Myslyvets” and BM “Ovod”, “Vij”, “Taipan”, “Duplet”, “Kastet” were presented on these exhibitions [3].

Most of unmanned BM are equipped with television and thermal sights, television cameras and laser range finders for ensuring prescribed quality indexes of battle robots.

Structural peculiarity of the BM is a big (within limits 100...400 mm) base distance between sights entrance pupils and weapon barrel. Task on periodic control (i.e. detection and elimination of unalignment between angular position of sights viewing line and axis of barrel channel – “boresighting”) is appearing during tests and operation of these BM.

Purpose of the paper is to analyze principles of known designs for boresighting and to develop a universal device for boresighting the optical-electronic sights (which work in different spectral diapasons) for different BM types (with different base distance between sight and weapon) installed on land unmanned platforms.

2. Theoretical Research

The following checking-measuring devices are used today for primary alignment of sight viewing line or during periodic inspection of it position relatively to axis of

względem osi przewodu lufy uzbrojenia podczas pracy: «pocisk laserowy», laserowe urządzenie do wizowania, tuba do wizowania oraz kolimator lufowy. Następujące wymagania stawiane są tym urządzeniom bazując na ich przeznaczeniu:

- minimalny błąd własny;
- strukturalna stabilność w czasie i podczas zmiany warunków zewnętrznych;
- brak konieczności demontażu;
- względnie mała zależność wyników pomiarów od kwalifikacji operatora;
- prostota funkcjonalna.

«**pocisk laserowy**» (PL) [4, 5] reprezentuje urządzenie podobne do pocisku, posiadające wbudowany laser, o kalibrze odpowiadającym lądowemu MB BPU. Promień lasera jest kolinearny z osią cylindrycznej powierzchni pocisku i jest skierowany na powierzchnię tarczy.

Zasada wizowania jest oparta na sprawdzeniu położenia znacznikowych nitek krzyżowych celownika względem plamki laserowej, zobrazowującej oś lufy uzbrojenia na oddalonym ekranie. Zarówno plamka lasera jak i znacznik celownika są zobrazowane na monitorze operatora wykorzystywanym do wizowania. Operator ustawia znacznikowe nitki krzyżowe celownika na środek plamki w razie rozbieżności tych obrazów.

Dystans D do ekranu powinien być określony zależnością:

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

w celu minimalizacji wpływu bazowego dystansu L pomiędzy celownikiem i bronią na błąd wizowania, gdzie $[\delta_L]$ – dozwolony błąd spowodowany wpływem L .

Jeśli dyspersja kwadratowa broni jest przyjęta jako $[\delta_L] = 4$ mrad, wówczas zgodnie z (1) $D \geq 25$ m dla wspomnianego zakresu parametru L .

weapon barrel channel during operation: «laser bullet», boresighting laser device, boresighting tube and barrel collimator. The following requirements are specified to these devices basing on their purpose:

- minimal intrinsic error;
- structural stability in time and during change of external conditions;
- absence of necessity for re-installation;
- relatively small dependence of the measuring results on operator's qualification;
- operational simplicity.

«**Laser bullet**» (LB) [4, 5] represents a device similar to the bullet, having an integrated laser, with caliber corresponding to the caliber of land UWP BM. A laser beam is collinear to axis of bullet cylindrical surface and is directed to a target surface.

Boresighting essence is based on checking the sight mark cross hairs position relatively to the laser dot imaging the axis of weapon barrel on remote screen. Both laser dot and sight mark are indicated on operator's monitor used for boresighting. Operator adjusts sight mark cross hairs with dot center in case of misalignment of the images.

Distance D to the screen should be determined by dependence:

for minimization of influence of base distance L between sight and weapon on boresighting error, where $[\delta_L]$ – permissible error due to L influence.

If a square-root dispersion of weapon is accepted as $[\delta_L] = 4$ mrad, then in accordance with (1) $D \geq 25$ m for mentioned diapason of L parameter.

Rozważmy następujące dane do określenia błędu wizowania, spowodowanego niewłaściwym pokryciem znacznika celownika z plamką laserową na monitorze, dla zdalnego kierowania lądową BPU. Średnica plamki laserowej na ekranie dochodzi do 50 mm kiedy $D = 100$ m, to jest ona scharakteryzowana poprzez wartość kątową $\gamma = 0,5$ mrad zgodnie z [5]. Średnica d obrazu tej plamki na monitorze jest określona wyrażeniem:

$$d = \gamma f' M_{el} \quad (2)$$

gdzie: f' – długość ogniskowej optyki celownika, i M_{el} – elektroniczne powiększenie systemu, które jest określone jako stosunek przekątnej monitora do przekątnej cyfrowego detektora optycznego celownika.

Uwzględniając, że wartość kąta γ jest mała można przyjąć, że plamka lasera jest zobrazowana na ekranie monitora jako krąg o niewielkiej średnicy. Zgodnie z [6], błąd zestrojenia okręgu o niewielkiej średnicy ze znacznikowymi nitkami krzyżowymi celownika wynosi 0,3 mrad (lub 0,075 mm dla odległości najlepszego ludzkiego widzenia) dla nieuzbrojonego oka. Zatem błąd wizowania δ_{bor} , spowodowany niedokładnością justowania znacznikowych nitek krzyżowych celownika z plamką laserową, jest określony wyrażeniem:

$$\delta_{bor} = 0,075 / f' M_{el}. \quad (3)$$

Można przyjąć, że błąd δ_{bor} jest mniejszy niż $[\delta_L]$, jeśli uwzględnić rozmiary monitora i cyfrowych detektorów optycznych stosowanych w platformach uzbrojenia.

Niemożliwość wizowania celowników termowizyjnych oraz potrzeba wolnej przestrzeni powyżej 25 m pomiędzy PL i ekranem do kontroli plamki laserowej należą do wad wizowania z wykorzystaniem PL.

Let's consider following data at determination of boresighting error due to mistake of adjustment of sight mark with laser dot on monitor for remote control of land UWP. Diameter of laser dot on screen comes to 50 mm when $D = 100$ m, i.e. it is characterized by angular value $\gamma = 0.5$ mrad in accordance with [5]. Diameter d of that dot image on monitor is determined by formula:

where: f' – focal distance of sight optics, and M_{el} – system electronic magnification, which is determined as a relation of monitor diagonal and sight digital optical detector diagonal.

Taking into account that value of angle γ is small we can conclude that laser dot can be imaged on the monitor as a little diameter circle. In accordance with [6], a mistake of adjustment of the little diameter circle with sight mark cross hairs is 0.3 mrad (or 0.075 mm for the distance of human best vision) for a naked eye. Therefore boresighting error δ_{bor} due to mistake of adjustment of sight mark cross hairs with laser dot is determined by formula:

We can conclude that error δ_{bor} is smaller than $[\delta_L]$ if we consider the dimensions of monitors and digital optical detectors used for weapon platforms.

Impossibility of thermal sights boresighting and necessity of free space more than 25 m between LB and screen for laser dot control are the disadvantages of boresighting with application of LB.

Laserowe urządzenie do wizowania (LUW) posiada pewne zalety z tego punktu widzenia [7, 8]. Jest ono wytwarzane w dwóch opcjach. W pierwszym wariantcie LUW reprezentuje pelengacyjny sprawdzian prętowy z dołączonym laserem [7]. Wiązka laserowa jest kolinearna z osią pelengacyjnego sprawdzianu prętowego i jest skierowana w kierunku tarczy. Pelengacyjny sprawdzian prętowy posiada fluoroplastyczne prążki dla zapewnienia stabilnej instalacji w przewodzie lufy uzbrojenia.

Zasada wizowania jest taka sama jak dla wspomnianej wyżej technologii z PL, więc wady są także identyczne.

W drugim wariantcie LUW posiada horyzontalny miernik odchylenia w trzonie pelengacyjnego sprawdzianu prętowego [8]. Metoda wizowania jest oparta na kontrolowaniu położenia zarówno dla znacznikowych nitek krzyżowych celownika, jak i plamki laserowej względem znaczników kontrolnych umieszczonych w płaszczyźnie sylwetki pomiarowej. W tym celu sylwetka jest montowana prostopadle w określonej odległości od MB. Taki MB zostaje spoziomowany za pomocą miernika odchylenia i laser jest przełączany. Pierwszy znacznik kontrolny jest pokazany na sylwetce pomiarowej w miejscu jej przecięcia z wiązką laserową. Ten znacznik kontrolny wskazuje położenie osi kanału lufy uzbrojenia i stanowi to początek współrzędnych, podczas gdy drugi znacznik kontrolny wskazuje obliczone położenie osi optycznej celownika. Zarówno drugi znacznik kontrolny, jak i znacznik celownika są prezentowane na monitorze operatora. Operator pokrywa znacznikowe nitki krzyżowe celownika ze środkiem drugiego znacznika kontrolnego w razie przesunięcia tych zobrazowań.

Ponieważ dystans bazowy pomiędzy okularzem wejściowym celownika a lufą broni jest uwzględniony w tej metodzie wizowania, to błąd $[\delta_L]$ jest wyeliminowany. Jedynie błąd znacznikowania sylwetki pomiarowej (błąd określenia środka plamki laserowej oraz błędy

Boresighting laser device (BLD) has some advantages from that view point [7, 8]. It is produced in two options. In the first variant BLD represents a bearing rod-caliber and attached laser [7]. Laser beam is collinear to bearing rod-caliber axis and it is directed to target place. The bearing rod-caliber has fluoroplastic fascia for stable installation into weapon barrel channel.

Principle of boresighting is the same as abovementioned technology with LB, so the disadvantages are the same too.

In the second variant BLD has a horizontal clinometer in bearing rod-caliber shank [8]. Method of boresighting is based on position control of both sight mark cross hairs and laser dot relatively to the relevant benchmarks in plane of measuring silhouette. For that purpose the silhouette is mounted vertically at prescribed distance from BM. The BM is leveled by using the clinometer and laser is switching. The first benchmark is indicated on measuring silhouette in place of its crossing with the laser beam. That benchmark indicates a position of weapon barrel channel axis and it is a coordinate origin, whereas the second benchmark indicates calculated position of sight optical axis. Both the second benchmark and sight mark are presented on operator's monitor. Operator adjusts the sight mark cross hairs with the second benchmark center in case of misalignment of the images.

As the base distance between sight entrance pupil and weapon barrel is taken into account for this boresighting method, so error $[\delta_L]$ is avoided. Only error of measuring silhouette marking (error of laser dot center determination and errors of sight optical axis coordinates indication) and adjustment error of the second benchmark with sight mark on monitor screen are influencing on boresighting accuracy. If metal ruler with division value 1 mm is

wskazania współrzędnych osi optycznej celownika) oraz błąd justowania drugiego znacznika kontrolnego ze znacznikiem celownika na ekranie monitora mają wpływ na dokładność wizowania. Jeśli przymiar metalowy z podziałką 1 mm jest wykorzystywany do znacznikowania sylwetki pomiarowej, wówczas błąd wizowania jest określony jako:

$$\delta_{bor} \approx 0,002/D + 0,075/f' M_{el}. \quad (4)$$

Jak wynika z formuły (4) – dystans D do sylwetki powinien być większy niż 0,5 m, uwzględniając granicę ostrości celownika do ograniczenia δ_{bor} . Zgodnie z badaniami [9], błąd wizowania z wykorzystaniem LUW nie przekracza 0,5 mrad.

Niemożliwość wizowania celowników termowizyjnych bez dysponowania złożoną strukturą sylwetki oraz sztywnym połączeniem pomiędzy modułem bojowym i sylwetką należą do wad wizowania z wykorzystaniem LUW.

Tuba do wizowania (TW) [10] zawiera teleskopowy system optyczny oraz pelengacyjny sprawdzian prętowy z miernikami odchylenia; oś optyczna okularu jest prostopadła do osi optycznej obiektywu. System optyczny jest wycelowany w kierunku osi przewodu lufy uzbrojenia na sylwetkę do wizowania i zawiera on krzyżowe nitki z podziałkami. Przykładowo, siatka urządzenia THP-1 [10] posiada wartość podziałki równą 5 minutom kątowym. Sylwetka do wizowania ma siatkę współrzędnych z wartością podziałki 1 mm.

Zasada wizowania jest oparta na poziomowaniu MB za pomocą mierników odchylenia. Sylwetka do wizowania jest ustawiana prostopadle na określonym dystansie D od modułu bojowego. Najbliższy znacznik do siatki skrzyżowanych nitek w systemie optycznym TW jest przyjmowany za początek współrzędnych w sylwetce do wizowania. Znacznik odpowiadający obliczonemu położeniu osi optycznej ce-

used for measuring silhouette marking, then boresighting error is determined as:

As it is seen from formula (4) – distance D to silhouette should be greater than 0.5 m taking into account the frontier of sight sharpness for limitation of δ_{bor} . In accordance with research [9], boresighting error with using BLD does not exceed 0.5 mrad.

Impossibility of thermal sights boresighting without complex structure of silhouette and absence of rigid contact between battle module and silhouette are the disadvantages of boresighting with application of BLD.

Boresighting tube (BT) [10] includes telescopic viewing system and bearing rod-caliber with clinometers; optical ocular axis is orthogonal to objective optical axis. Viewing system is aimed to direction of weapon barrel channel axis to boresighting silhouette and it contains the cross hairs with divisions. For example, reticle of device THP-1 [10] has division value of 5 angular minutes. Boresighting silhouette has coordinate reticle with division value 1 mm.

Boresighting principle is based on leveling the BM with clinometers application. Boresighting silhouette is set vertically at prescribed distance D from battle module. The nearest mark to BT viewing system reticle cross hairs is accepted as coordinate origin of boresighting silhouette. A mark corresponding to calculation position of sight optical axis relatively to weapon barrel channel axis is indicated on silhouette

lownika względem osi przewodu lufy uzbrojenia jest pokazany na siatce współrzędnych sylwetki. Siatka współrzędnych, wskazany znacznik i znacznik celownika są zobrazowane na monitorze operatora. Operator zestrzaja znacznikowe skrzyżowane nitki celownika ze środkiem wskazanego znacznika w przypadku rozbieżności tych zobrazowań.

Dystans D pomiędzy sylwetką do wizowania a MB jest określony w tej metodzie wyrażeniem (4), tj. powinno to być powyżej 0,5 m w celu uwzględnienia granicy ostrości celownika uzbrojenia podlegającego wizowaniu.

Wpływ na błąd wizowania podczas stosowania TW mają następujące czynniki [9]:

- niepewność zainstalowania TW w lufie (do 0,15 mrad);
- optyczny błąd podczas justowania znacznikowych nitek krzyżowych celownika z wyliczonym znacznikiem na sylwetce;
- optyczny błąd podczas justowania siatki krzyżowych nitek TW z wyliczonym punktem na sylwetce ($0,3/M_{BT}$, mrad, gdzie M_{BT} – powiększenie systemu optycznego TW);
- błąd odczytu spowodowany dyskretną siatką TW (do 0,15 mrad).

Złożoność operacji technologicznych oraz wady wizowania z wykorzystaniem LUW są także wadami wizowania z zastosowaniem TW.

Strukturalna specyfika PL, LUW i TW polega na tym, że okular wejściowy jest skierowany w kierunku płaszczyzny celów. To wymaga zastosowania ekranu, sylwetki pomiarowej lub wizującej, co jest często niemożliwe w warunkach działań bojowych. Ponadto, wszystkie te urządzenia pracują w widzialnym zakresie widma. Uniemożliwia to wizowanie celowników termowizyjnych.

Urządzenia do wizowania posiadające wejściowy okular skierowany na moduł bojowy mają z tego względu oczywiste zalety.

Kolimator lufowy (KL) [11, 12] składa się z kolimatora z maszyną obudową, do którego

coordinate reticle. Coordinate reticle, indicated mark and sight mark are imaged on operator's monitor. Operator adjusts a sight mark cross hairs with center of indicated mark in case of misalignment of the images.

Distance D between boresighting silhouette and BM is determining by formula (4) in this method, i.e. it should be more than 0.5 m for taking into account the frontier of weapon sight sharpness under boresighting.

There are the following factors influencing onto the boresighting error when BT is applied [9]:

- uncertainty of BT installation into barrel (up to 0.15 mrad);
- viewing error during adjusting of sight mark cross hairs with calculated mark on silhouette;
- viewing error during adjusting the BT reticle cross-hairs with calculated dot on silhouette ($0.3/M_{BT}$, mrad, where M_{BT} – magnification of BT viewing system);
- error in reading due to BT discrete reticle (up to 0.15 mrad).

The complexity of the technological operations and disadvantages of boresighting with application of BLD are also the disadvantages of boresighting with application of BT.

Structural peculiarity for LB, BLD and BT is the fact that its entrance pupil is directed to the space of targets. It predetermines obligatory application of screen, measuring or boresighting silhouette but it is often impossible in conditions of combat activity. And secondly, all these devices operate in visible spectral diapason. It makes impossible to boresight the thermal sights.

The devices for boresighting, with input pupil directed to battle module, have obvious advantages from that point of view.

Barrel collimator (BC) [11, 12] includes a collimator with a massive corbel to which

jest dołączony pelengacyjny sprawdzian prętowy. W płaszczyźnie ogniskowej obiektywu kolimatora jest umieszczona siatka z podziałkami. Dla przykładu, siatka urządzenia 1P61 [13] ma wartość podziałki 1 mrad.

Zasada wizowania jest oparta na określeniu położenia znacznikowych nitek krzyżowych celownika względem siatki krzyżowych nitek kolimatora. Zarówno zobrazowania znacznika jak i siatki są prezentowane na monitorze operatora. Jeśli odległość pomiędzy dwoma obrazami przekracza dopuszczalną wartość, wówczas operator dostraja obrazy poprzez przemieszczanie znacznika celownika.

W tym przypadku błąd wizowania jest określony przez niedokładność zainstalowania KL na lufie (do 0,3 mrad), błąd zjustowania znacznika i krzyżowych nitek siatki na ekranie monitora, tj. zgodnie z formułą (3), która stanowi bardzo małą wartość oraz przez błąd odczytu spowodowany dyskretnością siatki KL (do 0,3 mrad) [9].

Wady wizowania z wykorzystaniem KL w takiej konfiguracji są następujące. Po pierwsze, jak wspomniano powyżej, dystans bazowy pomiędzy celownikiem a lufą uzbrojenia w złożonych lądowych bezzałogowych modułach bojowych przekracza 100 mm. Prowadzi to do bardzo ciężkiej obudowy KL, co w rezultacie komplikuje zamocowanie kolimatora naprzeciwko wejściowego okularu celownika. Po drugie, KL nie może być zastosowany do niektórych systemów bezzałogowych o szerokim zakresie parametru L . Oznacza to, że to urządzenie nie jest uniwersalne.

Według naszej opinii KL powinien być skonstruowany na bazie kolimatora lustrzanego 1 (rys.) dołączonego do sprawdzianu prętowego 2, oraz układu luster 3 zawierającego dwa pentagonalne lustra 4 i 5 [14, 15]. Lustro pentagonalne 4 jest zainstalowane na osi optycznej kolimatora 1 i odbija ono oś optyczną pod kątem 0° . Lustro pentagonalne jest zainstalowane w odbitej osi optycznej i jest ono ruchome w celu zmiany bazowego odstępów L , oraz odbija

the bearing rod-caliber is attached. A reticle with divisions is installed in focal surface of collimator objective. For example, reticle of device 1P61 [13] has division value 1 mrad.

Boresighting principle is based on determination of sight mark cross-hairs position relatively to collimator reticle cross-hairs. Both mark and reticle images are imaged on operator's monitor. If distance between both images exceeds permissible value, then operator adjusts images by means of sight mark displacements.

In this case the boresighting error is determined by uncertainty of BC installation into barrel (up to 0.3 mrad), error of adjustment of mark and reticle cross-hairs on monitor screen, i.e. by formula (3), which is very small value, and error in reading due to discrete of BC reticle (up to 0.3 mrad) [9].

The disadvantages of boresighting with application of such structure BC are following. At first, as it was mentioned above, base distance between sight and weapon barrel in complex land unmanned battle modules exceeds 100 mm. It leads to heavy weight of BC corbel and, as result, it complicates a collimator clamping oppositely to sight entrance pupil. At second, BC cannot be used for some unmanned systems with wide diapason of parameter L . It means that the device is not universal.

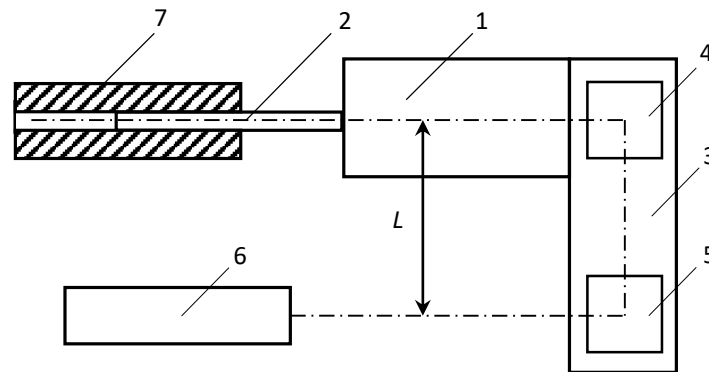
On our opinion, BC should be designed on the base of a mirror collimator 1 (Fig.), which is attached to rod-caliber 2, and mirror unit 3 including two pentagonal mirrors 4 and 5 [14, 15]. Pentagonal mirror 4 is installed in optical axis of collimator 1 and it reflects optical axis under angle 0° . Pentagonal mirror is installed in reflected optical axis, it is movable for changing the base distance L and it reflexes optical axis under angle 90° to side of the sight 6. Specificity of pentagonal mirror is following: it keeps stability of angle 90° between entrance and

ono oś optyczną pod kątem 90° w kierunku celownika 6. Specyficzność zwierciadła pentagonalnego polega na tym, że utrzymuje ono stabilność kąta 90° pomiędzy wejściowymi i wyjściowymi wiązkami niezależnie od orientacji zwierciadła względem systemu optycznego formującego wiązkę wejściową.

W taki sposób jest zabezpieczona kolinearność odbitej osi optycznej kolimatora oraz osi lufy uzbrojenia podczas przemieszczania zwierciadła pentagonalnego wzdłuż płaszczyzny bocznej.

exit beams independently of orientation of pentagonal mirror relatively to optical system forming entrance beam.

In such way, the collinearity of collimator reflected optical axis and weapon barrel axis in process of pentagonal mirror movement along its side surface is secured.



Rys. Kolimator lufowy z zespołem zwierciadła: 1 – kolimator lustrzany, 2 – sprawdzian-prętowy, 3 – zespół zwierciadła, 4, 5 – zwierciadła pentagonalne, 6 – celownik, 7 – lufa uzbrojenia

Fig. Barrel collimator with mirror unit: 1 – mirror collimator, 2 – rod-caliber, 3 – mirror unit, 4, 5 – pentagonal mirrors, 6 – sight, 7 – weapon barrel

Błąd wizowania uwarunkowany takim wykonaniem kolimatora lufowego jest określony przez błąd zjustowania nitek krzyżowych celownika oraz znacznika formowanego przez kolimator, a także przez niedokładności wykonania zwierciadeł pentagonalnych. Nowoczesne technologie optyczne pozwalają na wytwarzanie elementów optycznych z dużą precyzją i dlatego niedokładności produkcji mogą być pominięte w rozważaniach.

Zaproponowana struktura KL pozwala na wykonanie wizowania przy różnych odstępach bazowych pomiędzy bronią i celownikiem, a zastosowanie optyki zwierciadlanej pozwala na

Boresighting error under such BC execution is determined by error of adjustment of sight cross-hairs and mark formed by collimator and by errors of pentagonal mirrors production. The modern optical technologies permit to produce optical elements with high precision, therefore the production error may be excluded from consideration.

Such way, proposed structure BC permits to carry out boresighting for different base distance between weapon and sight and using of mirror optics permits to boresight the sights operation in both visible and infrared spectral diapasons.

wizowanie pracy celowników zarówno w widzialnym jak i podczerwonym zakresie widma.

Wnioski

1. Analiza istniejących urządzeń do wizowania dowodzi, że nie uwzględniają one specyfiki konstrukcji i działania modułów bojowych stosowanych w lądowych bezzałogowych systemach. «Pocisk laserowy», laserowe urządzenie do wizowania i tuba do wizowania nie zapewniają wizowania celowników termowizyjnych, a przy tym mają one skomplikowaną procedurę wizowania w bojowych warunkach zastosowania systemów bezzałogowych.
2. Kolimator lufowy nie zapewnia wizowania celowników z różnymi odstępami bazowymi pomiędzy bronią a celownikiem. Wprowadzenie zespołu zwierciadeł zawierającego dwa zwierciadła pentagonalne (jedno z nich jest ruchome) na wyjściu kolimatora lufowego zapewnia wizowanie z dużą dokładnością dla różnego rodzaju celowników modułów bojowych w systemach bezzałogowych, przy różnych odstępach bazowych broni oraz w szerokim zakresie widmowym.

Conclusions

1. Analysis of existing devices for boresighting testifies – they does not take into consideration the specificity of construction and usage of battle modules of land unmanned complexes. «Laser bullet», Boresighting laser device and Boresighting tube do not ensure boresighting of the thermal sights and they have a complex boresighting procedure in conditions of battle application of the unmanned complexes.
2. Barrel collimator is not able to boresight the sights with different base distances between weapon and sight. Introduction of the mirror unit including two pentagonal mirrors (one of them is movable) into the barrel collimator exit permits to boresight different type sights of battle modules for land unmanned complexes with high accuracy, with different base distances from weapon and in wide spectral diapason.

Literatura / Literature

- [1] Basic directions of armament and military equipment development for long-term period. Decree of Cabinet of Ukraine. Dated on 14.06.2017. № 398.
- [2] Modern battle robots – battle systems for future. Electron resource <https://militaryarms.ru/voennaya-texnika/boevye-mashiny/voennye-boevye-roboty>. Access date 02/04/2020.
- [3] Battle robots in army: on what is able Ukraine. Electron resource <https://ru.slovoidilo.ua/2017/07/28>. Access date 02/04/2020.
- [4] Laser bore sight. Pat. USA №5787631A, Cl. F41G 33/02. Dated on 09.12.1996.
- [5] Boresighting bullets – «Sight». Electron resource <https://pricel.in.ua/hunt-and-weapons/boresight-weapons>. Access date 02/04/2020.
- [6] Afanasiev V.A. Optical measurements/ Afanasiev V.A.// M., «Nedra». 1981 – 232 p.
- [7] Laser device for boresighting EST LPHP-R. Electron resource https://opticdevices.ru/product_660.htm. Access date 02/04/2020.

-
- [8] Laser sighting device. Pat. RU № 2212617. Cl. F41G 33/02. Dated on 20.09.2003.
- [9] Butrimov I.S. Development and research of optical-electronic complex for control of the sights viewing line position./ Butrimov I.S.// Thesis of Diss. Siberian State Univ. of geosystems and technology. Novosibirsk. 2016. 22 p.
- [10] Boresighting tubes THP, THP-1. Electron resource https://photopribor.ck.ua/products/defense/prylady_control/thp-1. Access date 02/04/2020.
- [11] Butrimov I.S. Basic aspects of the sighting equipment parameters control during field tests/ Butrimov I.S., Airapetyan V.S., Kombarov M.C.// Collection of the materials IX Intern. Scientific Conf. «SibOptika-2013», Novosibirsk: SGGA, 2013. Vol. 2. P.178-183.
- [12] Boresighting device BSA GUNS BS 30 in case. Electron resource <https://activmarket.com.ua/catalog/oruzhie-tyuning/holodnaya-pristrelka/ustroystvo-dlya-holodnoy-pristrelki-bsa-guns-bs30-v-kejse.html>. Access date 02/04/2020.
- [13] Electron resource www.ak-info.ru/joomba/index.php/uses/10-metodik/48-1p61use. Access date 02/04/2020.
- [14] Mirror collimator. Pat. of Byelorussia № U614. Cl. G 02B 27/30. Dated on 30.09.2002.
- [15] Device for boresighting of optical-electronic sight. Pat. of Ukraine № 127980, Cl. F41G 1/54. Dated on 27.08.2018.- Bul. №16.

