



**CECHY PROJEKTOWANIA SKANERA  
DLA NAHELMOWEGO SYSTEMU WYZNACZANIA CELÓW**  
***SCANNER DESIGN SPECIFICITY FOR  
HELMET-MOUNTED TARGETING SYSTEM***

Volodymyr SENATOROV

*Author's e-mail address: v.senatorov1945@i.ua, ORCID: 0000-0001-5387-5693*

Svitlana GLAZKOVA

*Author's e-mail address: s.glazkova808@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5541-2908*  
*Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine*

DOI 10.5604/01.3001.0015.2505

**Streszczenie:** Projektowanie nahałmowego systemu wyznaczania celów opiera się na następujących założeniach. Głowica wskaźnika nahałmowego zawiera dwa skanery oparte na wielopłaszczyznowych pryzmatach zwierciadlanych, tworzących wachlarzowate pola widzenia. Trzy diody LED na hełmie lotnika tworzą płaszczyznę, której normalna jest równoległa do linii widzenia wskaźnika nahałmowego. Kąty namiaru diod LED są mierzone metodą triangulacji i obliczane jest położenie kątownej linii widzenia. Dwie opcje organizacji procesu skanowania są analizowane. W pierwszej wersji jeden z pryzmatów obraca się zgodnie z ruchem wskazówek zegara, a drugi - przeciwnie do ruchu wskazówek zegara. W drugiej wersji oba pryzmaty obracają się w tym samym kierunku, na przykład zgodnie z ruchem wskazówek zegara. Wykazano, że jeśli oba pryzmaty obracają się w tym samym kierunku, to dokładność wyznaczania celu jest większa. Opracowany algorytm dotyczący dokładności wyznaczania celów może być wykorzystany przy doborze prędkości skanowania oraz parametrów geometrycznych systemu nahałmowego wyznaczania celów przy zadanej dokładności.

**Słowa kluczowe:** nahałmowy system wyznaczania celów, skaner, dokładność wyznaczania celów.

**Abstract:** Following design principles are important for helmet-mounted targeting systems. Two scanners on base of the polygonal reflector-type prisms forming the fanned field of view are fastened to head-up display. Three LEDs installed on pilot helmet form a plane, the normal of which is collinear to helmet indicator viewing line. Angles of LED bearings are measured with triangulation method and angular position of viewing line is calculated. Two options for organization of scanning process are analyzed in the paper. In the first variant, one prism rotates in clockwise and the other in counterclockwise direction. In the second variant both prisms rotate in the same direction, clockwise for example. It is shown that if the prisms rotate in the same direction the targeting accuracy is greater. The algorithm developed for determination of targeting accuracy may be used to matching the rate of scanning and geometric parameters of helmet-mounted targeting system at prescribed accuracy of targeting.

**Keywords:** helmet-mounted targeting system, scanner, targeting accuracy

## 1. Wprowadzenie

Współczesne szybko-skanujące skanery są budowane głównie na bazie wielopłaszczyznowych pryzmatów zwierciadlanych. Badania dotyczące kinematyki ich napędu rozpatrują jedynie rozogniskowanie zobrazowania spowodowane przemieszczeniem środka twarzy przy zastosowaniu takich skanerów do konwersji wiązki (Miroshnikov, 1977; Hadson, 1969) oraz zmianą bazy skanowania przy zastosowaniu dwu wielopłaszczyznowych pryzmatów zwierciadlanych w strukturze niezależnego dalmierza laserowego nahełmowego systemu wskazywania celów (HMTS - Helmet-Mounted Targeting System) opartego na zasadzie triangulacji (Senatorov, Polezhaev, 2008; Borodin, Rylskij, 1978). Jednakże badania związane z wpływem kierunku rotacji pryzmatów na dokładność wskazywania celów nie były prowadzone. Konkretnie, dwa pryzmaty wielopłaszczyznowe są stosowane w HMTS «Schel-3UM» (Senatorov, Palekhin, 2008) oraz w jego modyfikacji «SURA». W obecnym czasie, na pokładzie pojazdu lotniczego jest instalowane precyzyjne uzbrojenie wymagające wstępnego wskazania celu. Z tego względu takie badania są konieczne według opinii autorów.

Celem niniejszej publikacji jest zbadanie wpływu kierunku rotacji pryzmatów na dokładność pomiarów przy małych odległościach porównywalnych z bazą dalmierza.

## 2. Dane początkowe

Liniowe współrzędne punktów A lub B mierzonych w procesie triangulacji (Rysunek) są określone w systemie współrzędnych XY przez wyrażenia (Senatorov, Polezhaev, 2008):

$$x_{A(B)} = k \cos \alpha_{A(B)}; \quad y_{A(B)} = k \sin \alpha_{A(B)}; \quad (1)$$

gdzie:  $k = b \sin \beta_{A(B)} / \sin(\alpha_{A(B)} + \beta_{A(B)})$ ,  $b$  – baza skanowania i  $\alpha_{A(B)}$  oraz  $\beta_{A(B)}$  – kąty

## 1. Introduction

Modern high rate scanners are constructed, as a rule, on the base of polygonal reflector-type prisms. Researches considering their driving kinematics take into account only defocusing of the image due to a displacement of face centre at application of such scanner in converging the beam (Miroshnikov, 1977; Hadson, 1969) and a change of scanning base at application of two polygonal reflector-type prisms in structure of a self-contained range finder of the helmet-mounted targeting system (HMTS) based on triangulation principle (Senatorov, Polezhaev, 2008; Borodin, Rylskij, 1978). But investigations dealing with influence of prism rotation direction on targeting accuracy were not conducted. Particularly, two polygonal prisms are used in HMTS «Schel-3UM» (Senatorov, Palekhin, 2008) and in its modification «SURA». At present moment, on board of the aerial vehicle the precision weaponry is installed, which demands a preliminary targeting. Therefore this research is necessary according to author's opinion.

The purpose of this paper is to investigate the influence of prism rotation direction on accuracy of small distance measurements comparable with the range finder base.

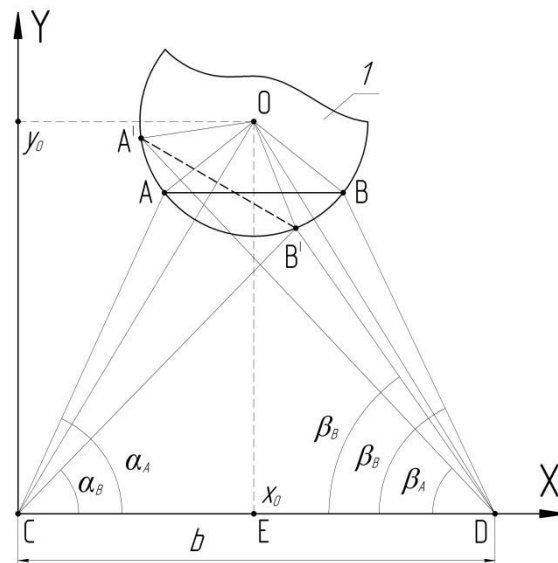
## 2. Initial data

The linear coordinates of points A or B under measurement (Figure) in triangulation process are determined in coordinate system XY by formulas (Senatorov, Polezhaev, 2008):

where:  $k = b \sin \beta_{A(B)} / \sin(\alpha_{A(B)} + \beta_{A(B)})$ ,  $b$  – scanning base and  $\alpha_{A(B)}$  and  $\beta_{A(B)}$  – lo-

położenia punktów A i B.

cation angles of points A and B.



**Rysunek. Konfiguracja skanowania (przekrój horyzontalny): 1 – hełm ochronny**

**Figure. Scanning layout (horizontal section): 1 - protective helmet**

Współrzędne obu punktów A i B danego obiektu są określone metodą triangulacyjną, jeśli zachodzi konieczność określenia ich położenia kąowego. W takim przypadku kąt obrotu odcinka AB jest określony wzorem (Abbet, Lane, 1965):

Coordinates of both points A and B of the object are determined with triangulation method if there is a necessity to determine its angle position. In that case, the rotation angle of segment AB is determined by formula (Abbet, Lane, 1965):

$$\varphi_Z = \arctan[(x_B - x_0)/(y_0 - y_B)] - \arctan[(x_{B'} - x_0)/(y_0 - y_{B'})] \quad (2)$$

Rozpatrzmy pewien uproszczony system skanujący HMTS w systemie współrzędnych XYZ (Rysunek) obiektu lotniczego: oś Y jest kolinearne z osią konstrukcyjną kadłuba natomiast oś Z jest pionowa. Osie obrotów obu pryzmatów znajdują się w punktach C i D i są kolinearne do osi Z (Headley, 2005/2006). Mierzone punkty A i B są umieszczone na hełmie ochronnym pilota 1 w taki sposób, że długość odcinka AB jest dobrze znana i równa m. Z tego względu odcinek AB jest prostopadły do linii obserwacji wskaźnika hełmowego ( $\varphi_{Z0} = 0$ ). Pilot dokonuje obrotu głowy wraz ze wskaźnikiem hełmowym z prędkością kątową  $\omega_2$  wokół punktu O – środka geometrycznego hełmu. Współrzędne  $(x_0; y_0)$  są powszechnie znane w systemach współrzęd-

Let us consider a simplified HMTS scanning system in aerial vehicle coordinate system XYZ (fig.): axis Y is collinear to fuselage construction axis and axis Z is vertical. The rotation axes of both prisms are in points C and D and are collinear to axis Z (Headley, 2005/2006). The points A and B under measurement are installed on pilot protective helmet 1 in such way that the length of segment AB is well-known and equal to m. Because of that, segment AB is orthogonal to viewing line of helmet indicator ( $\varphi_{Z0} = 0$ ). Pilot is rotating his head with helmet indicator in targeting regime with angle velocity  $\omega_2$  around the point O – helmet geometric center. Coordinates  $(x_0; y_0)$  are well known in aerial vehicle coor-

nych obiektów latających (Cameron, Trythall, Barton, 1995). Oznaczmy promień  $r$  hełmu ochronnego oraz kątową prędkość rotacji  $\omega_1$  dla rozpatrywanych pryzmatów skanujących. Przyjmijmy dla uproszczenia analizy, że odcinek  $AB$  jest kolinearny do osi  $X$  w początkowym położeniu, to znaczy, że linia obserwacji wskaźnika hełmowego jest kolinearna do osi  $Y$  i pokrywa się z celem.

### 3. Analiza teoretyczna

Możliwe są dwie opcje przebiegu procesu skanowania. W pierwszym wariacie, jeden z pryzmatów, przykładowo pryzmat  $C$ , posiada rotację zgodną ze wskazówkami zegara a drugi pryzmat  $D$  obraca się w kierunku przeciwnym do wskazówek zegara. W drugim wariacie obydwie pryzmaty obracają się w tym samym kierunku, przykładowo zgodnie ze wskazówkami zegara. Przyjmijmy, że w obu wariantach podczas śledzenia celu pilot obraca głowę zgodnie z ruchem wskazówek zegara. Wówczas punkt  $A$  przechodzi w  $A'$ , a punkt  $B$  przechodzi na miejsce  $B'$  po czasie  $t$ . Zatem  $\angle A'OA = \angle B'OB = \omega_2 t$ . Możemy wyznaczyć te odcinki z relacji wymiarowych zawartych na rysunku.

inate systems (Cameron, Trythall, Barton, 1995). Let us denote the radius  $r$  of the protective helmet, and the angle rotation velocity  $\omega_1$  of considered scanning prisms. Let us accept for research simplicity that segment  $AB$  is collinear to axis  $X$  at initial position, i.e. the viewing line of helmet indicator is collinear to axis  $Y$  and is coincident with a target.

### 3. Theoretical Research

Two options for organization of scanning process are possible there. In the first variant, one from the prisms, prism  $C$  for example, is rotating clockwise and other prism  $D$  is rotating counterclockwise. In the second variant, both prisms are rotating in the same direction, clockwise for example. Let us accept, that pilot's head rotates clockwise in process of target tracking in both options. Then, point  $A$  comes in  $A'$ , and point  $B$  comes in position  $B'$  after time  $t$ . Therein  $\angle A'OA = \angle B'OB = \omega_2 t$ . We can find the segments from dimensional relationships of fig.:

$$\begin{aligned} AC = BD &= \{(x_0^2 - m/2)^2 + [y_0 - (r^2 - m^2/4)^{1/2}]^2\}^{1/2}; \\ OC = OD &= (x_0^2 + y_0^2)^{1/2} \end{aligned} \quad (3)$$

Następnie, możemy określić pomocnicze kąty:

Further, we can find the auxiliary angles:

$$\angle COE = \angle DOE = \arctan(x_0/y_0); \quad (4)$$

$$\angle BOD = \angle AOC = \arcsine(m/2) - \angle DOE; \quad (5)$$

$$\angle A'OD = \omega_2 t + \angle AOC + 2\angle COE; \quad (6)$$

$$\angle B'CO = \angle COE + \arcsine(m/2r) - \omega_2 t. \quad (7)$$

#### 3.1. Pierwszy wariant skanowania

Przyjmijmy, że wiązka skanująca pryzmatu  $C$  oraz wiązka skanująca pryzmatu  $D$  w początkowym momencie czasu znajdują się równocześnie odpowiednio w punktach  $A$  i  $B$  podczas obrotu w swoją stronę. Zatem,

#### 3.1. The first scanning variant

Let us assume that a scanning beam of prism  $C$  and a scanning beam of prism  $D$  at initial time moment simultaneously come to points  $A$  and  $B$  accordingly at rotation toward each other. Then,

$$\alpha_A = \beta_B = \arccosine[(x_O - m/2)/AC]. \quad (8)$$

W czasie  $t$  wiązka z pryzmatu  $D$  znajduje się w punkcie  $A'$ , to jest pokrywa ona  $\angle BDA'$ . Zatem  $\angle BDA' = \omega_1 t$  z jednej strony, oraz z drugiej strony mamy:

In time  $t$  a beam of prism  $D$  comes in point  $A'$ , i.e. it covers  $\angle BDA'$ . Therein  $\angle BDA' = \omega_1 t$  from the one side, and from the other side we have:

$$\angle BDA' = \angle BDO + \angle ODA'. \quad (9)$$

Zgodnie z relacjami geometrycznymi zawartymi na rysunku możemy stwierdzić  $\angle BDO$  jest równe  $\angle ACO$ :

From the geometrical relationships of fig. we can find  $\angle BDO$  equal to  $\angle ACO$ :

$$\angle BDO = \angle BDE - \angle ODE = \arctan[2(y_0 - (r^2 - m^2/4)^{1/2} / (b-m))] - \arctan(2y_0/b) \quad (10)$$

Długość odcinka  $A'D$  można znaleźć z trójkąta  $A'OD$  z twierdzenia cosinusów:

Length of segment  $A'D$  we can find from triangle  $A'OD$  by cosine theorem:

$$A'D = (r^2 + OD^2 - 2rOD \cos \angle A'OD)^{1/2} \quad (11)$$

a z twierdzenia sinusów można znaleźć  $\angle ODA'$ :

and by sine theorem we find  $\angle ODA'$ :

$$\angle ODA' = \arcsine[(r \sin \angle A'OD) / A'D] \quad (12)$$

Podstawiając do wzoru (9) wyrażenia na  $\angle BDO$  i  $\angle ODA'$  ze wzorów (10) i (12) oraz uwzględniając (3) - (6) oraz (11) otrzymujemy równanie z jedną zmienną niewiadomą  $t$ :

Substituting in formula (9) the expressions for  $\angle BDO$  and  $\angle ODA'$  from formulas (10) and (12) and taking into account (3) - (6) and (11) we get an equation with alone unknown variable  $t$ :

$$\omega_1 t = \arctan[2(y_0 - (r^2 - m^2/4)^{1/2} / (b-m))] - \arctan(2y_0/b) + \arcsine\{[r \sin(\omega_2 t + \angle AOC + 2\angle COE)] / (r^2 + OD^2 - 2rOD \cos[\sin(\omega_2 t + \angle AOC + 2\angle COE)])^{1/2}\} \quad (13)$$

Wyznamy czas  $t$  w warunkach instalacji HMTS na pokładzie obiektu powietrznego:  $b = 200$  mm,  $m = 100$  mm,  $r = 200$  mm,  $x_O = b/2 = 100$  mm,  $y_O = 500$  mm oraz przy  $\omega_1 = 200^\circ/s$  i  $\omega_2 = 20^\circ/s$  (jest to maksymalna szybkość obrotu głowy w procesie wskazywania celu dla szybko poruszającego się celu na małej odległości (Mubarakshin, Baluev, Voronov, 1973; Glushchenko, 2012)). Rozwiązując równanie (13) metodą iteracyjną znanymi parametrami możemy znaleźć  $t = 0,06619$  s. Następnie znajdujemy  $\alpha_A = \beta_B$

Let us determine time  $t$  in conditions of the HMTS installation on board of aerial vehicle:  $b = 200$  mm,  $m = 100$  mm,  $r = 200$  mm,  $x_O = b/2 = 100$  mm,  $y_O = 500$  mm and at  $\omega_1 = 200^\circ/s$  and  $\omega_2 = 20^\circ/s$  (it is maximal velocity for head rotation in process of targeting for fast-moving target on small distance (Mubarakshin, Baluev, Voronov, 1973; Glushchenko, 2012)). Solving equation (13) by iteration method with known parameters we find  $t = 0.06619$  s. Further we find  $\alpha_A = \beta_B = 83.1037^\circ$  by for-

=83,1037° ze wzoru (8). Z rysunku wynika, że  $\beta_A = \beta_B - \angle BDA' = 69,8657^\circ$ .

Ponadto w czasie  $t$  promień z pryzmatu  $C$  przechodzi w punkt  $B'$ , czyli pokrywa się z  $\angle ACB'$ . Zatem z jednej strony:  $\angle ACB' = \omega_1 t$ , oraz z drugiej strony:

$$\angle ACB' = \angle ACO + \angle OCB' \quad (14)$$

Długość odcinka  $B'C$  można znaleźć z trójkąta  $B'CO$  stosując twierdzenie cosinusów:

$$B'C = (r^2 + OC^2 - 2rOC \cos \angle B'CO)^{1/2} \quad (15)$$

a stosując twierdzenie sinusów znajdujemy  $\angle OCB'$ :

$$\angle OCB' = \arcsin[(r \sin \angle B'CO) / B'C] \quad (16)$$

Podstawiając w wyrażeniu (15) wyrażenie na  $\angle ACO$  i  $\angle OCB'$  ze wzorów (10) i (16) oraz uwzględniając (3) - (5), (7) oraz (15) otrzymujemy wyrażenie z pojedynczą zmienną niewiadomą  $t$ :

$$\omega_1 t = \arctan[2(y_0 - (r^2 - m^2/4)^{1/2}) / (b - m)] - \arctan(2y_0/b) + \arcsin\{r \sin[\angle COE + \arcsin(m/2r) - \omega_2 t]\} / [r^2 + OC^2 - 2rOC \cos(\angle COE + \arcsin(m/2r) - \omega_2 t)]^{1/2} \quad (17)$$

Rozwiązując równanie (17) metodą iteracyjną ze znanymi parametrami znajdujemy  $t = 0,0643$  s. Rysunek prowadzi do następującej relacji:  $\alpha_B = \alpha_A - \angle ACB' = 70,2437^\circ$ .

Współrzędne liniowe mierzonych punktów  $A$  i  $B$  można określić ze wzoru (1) przy znanych wartościach kątów  $\alpha_A$ ,  $\beta_A$ ,  $\alpha_B$  i  $\beta_B$ :  $x_A = 49,61$  mm,  $y_A = 410,19$  mm,  $x_B = 149,62$  mm,  $y_B = 416,57$  mm. Kątowe położenie obiektu może być określone ze wzoru (2):  $\varphi_Z = 3,65^\circ$ . W warunkach realizacji zadania mamy  $\varphi_{Z0} = 0$ , dlatego można stwierdzić, że błąd pomiaru położenia kąowego obiektu dla tego wariantu skanowania wynosi  $3,65^\circ$ .

mula (8). There is following from fig.:  $\beta_A = \beta_B - \angle BDA' = 69.8657^\circ$ .

Also in time  $t$  beam of prism  $C$  comes in point  $B'$ , i.e. it covers  $\angle ACB'$ . Therein from one side:  $\angle ACB' = \omega_1 t$ , and from other side:

The length of segment  $B'C$  we can find from triangle  $B'CO$  by cosine theorem:

and by sine theorem we find  $\angle OCB'$ :

Substituting in formula (15) the expressions for  $\angle ACO$  and  $\angle OCB'$  from formulas (10) and (16) and taking into account (3) - (5), (7) and (15) we get an equation with alone unknown variable  $t$ :

Solving equation (17) by iteration method with known parameters we find  $t = 0.0643$  s. There is following from fig.:  $\alpha_B = \alpha_A - \angle ACB' = 70.2437^\circ$ .

The linear coordinates of the points  $A$  and  $B$  under measurement would be determined by formula (1) at known values of the angles  $\alpha_A$ ,  $\beta_A$ ,  $\alpha_B$  and  $\beta_B$ :  $x_A = 49.61$  mm,  $y_A = 410.19$  mm,  $x_B = 149.62$  mm,  $y_B = 416.57$  mm. Angle position of object would be determined by formula (2):  $\varphi_Z = 3.65^\circ$ . On condition of task statement we had  $\varphi_{Z0} = 0$ , therefore we can make conclusion, that the error for measurement of object angle position in this variant of scanning equals to  $3.65^\circ$ .

### 3.2. Drugi wariant skanowania

Niech wiązka skanująca pryzmatu C i wiązka skanująca pryzmatu D w początkowym momencie czasu znajdują się jednocześnie w punkcie A przy rotacji obu pryzmatów w tym samym kierunku. Wówczas kąt  $\alpha_A$  jest określony wzorem (8) i

$$\beta_A = \arctan \{ (x_O + m/2) / [y_O - (r^2 - m^2/4)^{1/2}] \} \quad (18)$$

W czasie t wiązka z pryzmatu C znajduje się w punkcie B', czyli pokrywa się z  $\angle ACB'$ , której wartość jest określona wzorem (14).

Także w czasie t wiązka z pryzmatu D znajduje się w punkcie B', czyli pokrywa się z  $\angle ADB'$ . Zatem z jednej strony:  $\angle ADB' = \omega_1 t$ , oraz z drugiej strony:

$$\angle ADB' = \angle ADO - \angle ODB' \quad (19)$$

$\angle ADO$  można określić z relacji geometrycznych na rysunku:

$$\angle ADO = 180^\circ - \angle ADO - \angle ADO = 180^\circ - \arcsine(m/2r) - \arctan(b/2y_0) - \arccosine(m/2r) - \arctan[2y_A/(b+m)] \quad (20)$$

Długość odcinka B'D można znaleźć z trójkąta B'OD stosując twierdzenie cosinusów:

$$B'D = (r^2 + OD^2 - 2rOD \cosine \angle B'OD)^{1/2} \quad (21)$$

oraz na podstawie twierdzenia sinusów znajdziemy  $\angle ODB'$ :

$$\angle ODB' = \arcsine[(r \ sine \angle B'OD) / B'D] \quad (22)$$

$\angle B'OD$  zawarty we wzorach (21) i (22) można określić z relacji geometrycznych zawartych na rysunku poprzez wzór

$$\angle B'OD = \omega_2 t - \angle BOD \quad (23)$$

Podstawiając we wzorze (19) wyrażenia na  $\angle ADO$  i  $\angle ODB'$  ze wzorów (20) i (22)

### 3.2. The second scanning variant

Let a scanning beam of prism C and scanning beam of prism D at initial time moment simultaneously come to point A at rotation of both prisms in the same direction. Then, angle  $\alpha_A$  is determined by formula (8) and

In time t a beam of prism C comes in point B', i.e. it covers  $\angle ACB'$ , which value is determined by formula (14).

Also in time t beam of prism D comes in point B', i.e. it covers  $\angle ADB'$ . Therein from one side:  $\angle ADB' = \omega_1 t$ , and from other side:

$\angle ADO$  may be found from the geometrical relationships of fig.:

Length of segment B'D we can find from triangle B'OD by cosine theorem:

and by sine theorem we find  $\angle ODB'$ :

$\angle B'OD$  included in formulas (21) and (22) is found from dimensional relationships of fig. by formula

Substituting in formula (19) the expressions for  $\angle ADO$  and  $\angle ODB'$  from formulas

oraz uwzględniając (3) - (5), (21) i (23) otrzymujemy równanie z jedną zmienną nie-  
wiadomą  $t$ :

$$\omega_1 t = 180^\circ - \arcsine(m/2r) - \arctan(b/2y_0) - \arccosine(m/2r) - \arctan[2y_A/(b+m)] - \arcsine\{(rsine(\omega_2 t - \angle BOD)/[r^2 + D^2 - 2rOD\cosine(\omega_2 t - \angle BOD)]^{1/2}\} \quad (24)$$

Rozwiązując równanie (24) metodą iteracyjną ze znanymi parametrami znajdujemy  $t = 0,0636$  s. Kąt  $\beta_A = 70,057^\circ$  jest określony ze wzoru (18). Z rysunku wynika, że  $\beta_B = \beta_A + \angle ADB' = 82,817^\circ$ .

Współrzędne liniowe mierzonych punktów  $A$  i  $B$  można określić ze wzoru (1) przy znanych wartościach kątów  $\alpha_A, \beta_A, \alpha_B$  i  $\beta_B$ :  $x_A = 50$  mm,  $y_A = 413,4$  mm,  $x_B = 148,06$  mm,  $y_B = 412,31$  mm. Kątowe położenie obiektu może być określone ze wzoru (2):  $\varphi_Z = 0,64^\circ$ . W warunkach realizacji zadania można stwierdzić, że błąd pomiaru położenia kątowego obiektu w tym wariancie skanowania wynosi  $0,64^\circ$ .

#### 4. Wnioski

Kierunek skanowania wpływa na dokładność określenia położenia kątowego obiektu. Ten fakt powinien być uwzględniony podczas projektowania systemów o dużej szybkości skanowania wykorzystującego zasadę triangulacji. W odniesieniu do HMTS zbudowanego na bazie dwóch wielopłaszczyznowych pryzmatów zwierciadlanych oznacza to, że kierunek skanowania wpływa na dokładność wskazywania celu.

Skanowanie z obydwoma pryzmatami wirującymi w tym samym kierunku, przykładowo zgodnie ze wskazówkami zegara, powinno być stosowane w celu zwiększenia dokładności wskazywania celu.

Opracowany algorytm dotyczy określenia dokładności skanowania oraz może być wykorzystany podczas wyboru szybkości skanowania i parametrów geometrycznych HMTS przy założonej dokładności wskazywania celów.

(20) and (22) and taking into account (3) - (5), (21) and (23) we get an equation with alone unknown variable  $t$ :

Solving equation (24) by iteration method with known parameters we find  $t = 0.0636$  s. Angle  $\beta_A = 70.057^\circ$  is found by formula (18). There is following from fig.  $\beta_B = \beta_A + \angle ADB' = 82.817^\circ$ .

The linear coordinates of the points  $A$  and  $B$  under measurement would be determined by formula (1) at known values of the angles  $\alpha_A, \beta_A, \alpha_B$  and  $\beta_B$ :  $x_A = 50$  mm,  $y_A = 413.4$  mm,  $x_B = 148.06$  mm,  $y_B = 412.31$  mm. Angle position of object would be determined by formula (2):  $\varphi_Z = 0.64^\circ$ . On condition of task statement we had  $\varphi_{Z0} = 0$ , therefore we can make conclusion, that error for measurement of object angle position in this variant of scanning equals to  $0.64^\circ$ .

#### 4. Conclusions

Scanning direction influences the accuracy of object angle position determination. That fact should be taken into account when designing the high-velocity scanning systems implementing triangulation principle. Concerning to HMTS designed on base of two scanning polygonal reflector-type prisms it means that scanning direction influences the targeting accuracy.

Scanning when both prisms are rotating in same direction, clockwise for example, should be applied for increasing the targeting accuracy.

The developed algorithm deals with determination of scanning accuracy and may be used for choice of scanning velocity and geometric parameters of HMTS at prescribed targeting accuracy.



## **Literatura / Literature**

- [1] Miroshnikov M.M. (1977). Theoretical bases of the optical and electronic devices. Leningrad: «Mashinostroenie».
- [2] Hadson R.D. (1969). Infrared system engineering. New York: «Wiley-Interscience».
- [3] Senatorov V.N., Polezhaev V.V. (2008). Scanning system on base of two reflecting prisms. Journal Artillery and small arms armament. Iss. 2(27), p. 20 - 24. Kyiv: NTTs ASV.
- [4] Borodin V.T., Rylskij G.I. (1978). Piloting facility and systems for airplanes and helicopters operation. Moscow: «Mashinostroenie».
- [5] Senatorov V.N., Palekhin A.V. (2008). Helmet-mounted system for targeting. Journal Artillery and small arms armament. Iss. 4(29), p. 11 - 14. Kyiv: NTTs ASV.
- [6] Abbet R, Lane D.S. (1965). Orientation sensing means comprising photodetectors and projected fans of light. US Patent 3375375.
- [7] Headley A. (2005/2006). Head up on HUDs and helmet// Defense Helicopter. Iss. for December 2005 / January 2006, p. 29-33.
- [8] Cameron A.A., Trythal S., Barton A.M. (1995). Helmet Trackers – The Future. Helmet- and Head-Mounted Displays and Symbology Design, Requirements II, Proceedings SPIE. V.2465, p. 281-295.
- [9] Mubarakshin R.V., Baluev V.M., Voronov B.V. (1973). Sight systems for firing. Moscow: VVIA by Prof. N.E.Zhukovskiy.
- [10] Glushchenko V.T.(2012) Developing optoelectronic positioning system for helmet-mounted target acquisition and display systems. Journal of Optical Technology. Vol. 79, issue 12, p. 789-793. <https://doi.org/10.1364/jot.79.000789>.

