

GEOMETRIA ȘI CINEMATICA OCHIRII INSTALAȚIILOR DE ARTILERIE NAVALĂ DE CALIBRU MIC

Căpitan comandor conf. univ. dr. ing. **Georgică SLAMNOIU**

Locotenent colonel CS I dr. ing. **Gabriel VLADU**

Locotenent comandor CS III drd. ing. **Valentin MIHUȚ**

Agenția de Cercetare pentru Tehnică și Tehnologii Militare - Centrul de Cercetare Științifică pentru Forțele Navale

Rezumat

Tragerile cu artileria amplasată la bordul navelor reprezintă obiect de studiu fundamental și poate fi asimilat studiului sistemelor oscilante în cazul armamentului naval de calibru mic. Articolul prezintă studiul geometriei și cinematicii ochirii în cazul instalațiilor de artilerie navală de calibru mic considerate sisteme oscilante pentru cazul amplasării acestora la bordul navelor.

1. Generalități

Poziția necesară a axului canalului țevii în spațiul fix, o determinăm în planul orizontal, considerat în raport cu axa fixă $O_F\zeta$ prin unghiul azimutal γ , iar în planul vertical al tragerii, considerat în raport cu planul orizontal, prin unghiul de înălțare ε (fig. 1).

În sistemul de coordonate raportat la partea rotativă, axa O_1z_1 – axa ochirii în plan orizontal, este paralelă cu axa O_{Nz_N} , axele

O_1x_1 și O_1y_1 sunt paralele la planul punții, iar axa O_1x_1 compune cu axa O_{Nx_N} unghiul de ochire în plan orizontal, β .

În sistemul de coordonate legat de partea oscilantă, axa Ox este paralelă cu axa canalului țevii și compune cu axa O_1x_1 unghiul de ochire în plan vertical, α . Axa Oy este axa ochirii în plan vertical, iar axa Oz este perpendiculară pe axele Ox și Oy .

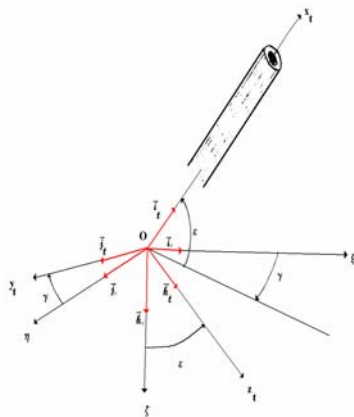


Fig. 1

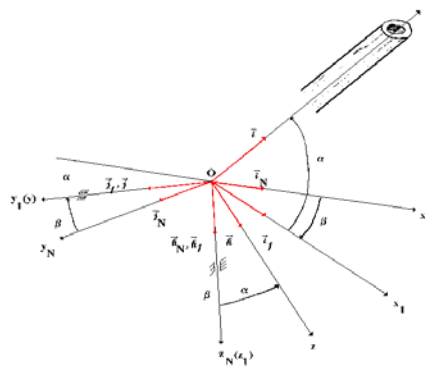


Fig. 2

În figura 2, originea coordonatelor tuturor axelor coincide, deoarece pentru determinarea unghiurilor, posibila deplasare liniară este neesențială.

Versorii axelor sistemelor de coordonate $O_1x_1y_1z_1$ ($\vec{i}_1, \vec{j}_1, \vec{k}_1$) și $Oxyz$ ($\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$) pot fi exprimați prin versorii axelor navei și unghiurile de ochire ale instalațiilor de artilerie:

$$\left. \begin{aligned} \vec{i}_1 &= \cos \beta \vec{i}_N + \sin \beta \vec{j}_N; \\ \vec{j}_1 &= -\sin \beta \vec{i}_N + \cos \beta \vec{j}_N; \\ \vec{k}_1 &= \vec{k}_N. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \vec{i} &= \cos \alpha \vec{i}_1 - \sin \alpha \vec{k}_1 = \\ &\cos \alpha \cos \beta \vec{i}_N + \cos \alpha \sin \beta \vec{j}_N - \sin \alpha \vec{k}_N; \\ \vec{j} &= \vec{j}_1 = -\sin \beta \vec{i}_N + \cos \beta \vec{j}_N; \\ \vec{k} &= \sin \alpha \vec{i}_1 + \cos \alpha \vec{k}_1 = \\ &\sin \alpha \cos \beta \vec{i}_N + \sin \alpha \sin \beta \vec{j}_N + \cos \alpha \vec{k}_N. \end{aligned} \right\} (2)$$

În cazul ochirii precise a instalației de artilerie, direcția reală a axului canalului țevii, determinată de versorul \vec{i} , trebuie să coincidă cu direcția necesară, determinată de versorul \vec{i}_t . Astfel, condiția ochirii precise a instalației de artilerie se poate scrie sub forma:

$$\vec{i} = \vec{i}_t \quad (3)$$

sau, utilizând relațiile (1) și (2):

$$\begin{aligned} \cos \alpha \cos \beta \vec{i}_N + \cos \alpha \sin \beta \vec{j}_N - \sin \alpha \vec{k}_N = \\ \cos \varepsilon \cos \gamma \vec{i}_0 + \cos \varepsilon \sin \gamma \vec{j}_0 - \sin \varepsilon \vec{k}_0 \end{aligned} \quad (4)$$

Înmulțind scalar ambele părți ale ecuației (4) cu \vec{k}_N , obținem:

$$\begin{aligned} -\sin \alpha &= \cos \varepsilon \cdot \cos \gamma (\vec{i}_0 \cdot \vec{k}_N) + \\ &\cos \varepsilon \cdot \sin \gamma (\vec{j}_0 \cdot \vec{k}_N) - \sin \varepsilon (\vec{k}_0 \cdot \vec{k}_N) \end{aligned}$$

Produsul scalar al versorilor, reprezintă chiar cosinusurile directe corespunzătoare. Astfel,

$$\sin \alpha = a_{33} \sin \varepsilon - a_{31} \cos \varepsilon \cos \gamma - a_{32} \cos \varepsilon \sin \gamma \quad (5)$$

Înmulțind succesiv, scalar, ambele părți ale ecuației (5) cu \vec{j}_N și \vec{i}_N și împărțind prima expresie astfel obținută la cea de a doua, obținem:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{a_{21} \cos \varepsilon \cos \gamma + a_{22} \cos \varepsilon \sin \gamma - a_{23} \sin \varepsilon}{a_{11} \cos \varepsilon \cos \gamma + a_{12} \cos \varepsilon \sin \gamma - a_{13} \sin \varepsilon} \quad (6)$$

Relațiile (5) și (6), permit determinarea unghiurilor de ochire a instalației de artilerie navală în plan vertical și în plan orizontal, în cazul unghiurilor ε și γ , în poziția dată a

navei, pe timpul balansului, la tragerea asupra țintelor fixe și mobile.

2. Viteza unghiulară instantanee de mișcare a țintei

În cazul tragerii asupra unei ținte mobile, unghiurile ε și γ variază în timp. Vitezele unghiulare de variație a acestor unghiuri, pot fi prezentate sub formă de vectori, orientați respectiv după axele Oy_t și Oz (fig.2).

Viteza unghiulară instantanee a unei ținte mobile $\vec{\omega}'$, se determină ca sumă a vectorilor vitezelor unghiulare:

$$\vec{\omega}' = \vec{\varepsilon} + \vec{\gamma} \quad (7)$$

Această valoare, este valoarea vitezei unghiulare cu care se va roti în spațiul fix versorul \vec{i}_t , determinând poziția ochirii precise a instalației de artilerie.

Proiecțiile vitezei unghiulare instantanee a țintei mobile pe axele sistemului de coordonate fix, sunt:

$$\left. \begin{aligned} \omega'_\xi &= -\dot{\varepsilon} \sin \gamma; \\ \omega'_\eta &= \dot{\varepsilon} \cos \gamma; \\ \omega'_\zeta &= \dot{\gamma}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Vectorul $\vec{\omega}'$, poate fi scris și sub forma:

$$\vec{\omega}' = \omega'_\xi \vec{i}_0 + \omega'_\eta \vec{j}_0 + \omega'_\zeta \vec{k}_0 \quad (9)$$

Proiecțiile $\vec{\omega}'$ pe axele navei, se află înmulțind scalar ecuația (9) cu \vec{i}_N , \vec{j}_N , \vec{k}_N :

$$\left. \begin{aligned} \omega'_{x_N} &= a_{11} \omega'_\xi + a_{12} \omega'_\eta + a_{13} \omega'_\zeta; \\ \omega'_{y_N} &= a_{21} \omega'_\xi + a_{22} \omega'_\eta + a_{23} \omega'_\zeta; \\ \omega'_{z_N} &= a_{31} \omega'_\xi + a_{32} \omega'_\eta + a_{33} \omega'_\zeta. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Vectorul $\vec{\omega}'$ poate fi, de asemenea, prezentat și sub forma:

$$\vec{\omega}' = \omega'_{x_N} \vec{i}_N + \omega'_{y_N} \vec{j}_N + \omega'_{z_N} \vec{k}_N.$$

Proiecțiile vitezei unghiulare instantanee $\vec{\omega}'$ pe axele sistemului de referință, raportat la partea rotativă a instalației de artilerie, se

află înmulțind scalar $\vec{\omega}'$ cu versorii $\vec{i}_1, \vec{j}_1, \vec{k}_1$ (1):

$$\left. \begin{aligned} \omega'_{x_1} &= \omega'_{x_N} \cos \beta + \omega'_{y_N} \sin \beta; \\ \omega'_{y_1} &= -\omega'_{x_N} \sin \beta + \omega'_{y_N} \cos \beta; \\ \omega'_{z_1} &= \omega'_{z_N} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

3. Viteza unghiulară de ochire a instalațiilor de artilerie navală de calibru mic, cu sistem de ochire obișnuit

În cazul ochirii instalației de artilerie pe timpul balansului navei, partea oscilantă se rotește în spațiul fix cu viteza unghiulară instantanee absolută $\vec{\Omega}$, egală cu suma vectorială dintre viteza unghiulară instantanee a balansului și vitezele unghiulare ale ochirii în planurile vertical și orizontal:

$$\vec{\Omega} = \vec{\omega} + \vec{\alpha} + \vec{\beta} \quad (12)$$

Proiecțiile $\vec{\Omega}$ pe axele de coordonate legate de partea rotativă a instalației de artilerie, sunt:

$$\left. \begin{aligned} \Omega_{x_1} &= \omega_{x_1}; \\ \Omega_{y_1} &= \omega_{y_1} + \dot{\alpha}; \\ \Omega_{z_1} &= \omega_{z_1} + \dot{\beta}. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

unde proiecțiile vitezei unghiulare instantanee a balansului pe axele legate de partea rotativă, sunt:

$$\left. \begin{aligned} \omega_{x_1} &= \omega_{x_N} \cos \beta + \omega_{y_N} \sin \beta; \\ \omega_{y_1} &= -\omega_{x_N} \sin \beta + \omega_{y_N} \cos \beta; \\ \omega_{z_1} &= \omega_{z_N}. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Vectorul \vec{i} , care determină poziția reală a axului canalului țevii, se rotește în spațiul fix cu viteza unghiulară instantanee $\vec{\Omega}$.

Pentru asigurarea ochirii continue, precise a instalației de artilerie, este necesar să fie îndeplinite simultan condițiile:

$$\vec{i} = \vec{i}_t; \quad \frac{d\vec{i}}{dt} = \frac{d\vec{i}_t}{dt} \quad (15)$$

Cea de a doua condiție poate fi numită condiția de urmărire continuă a țintei. Considerând că:

$$\frac{d\vec{i}}{dt} = \vec{\Omega} \times \vec{i} \quad \text{și} \quad \frac{d\vec{i}_t}{dt} = \vec{\omega}' \times \vec{i}_t,$$

și, de asemenea, că $\vec{i} = \vec{i}_t$, putem pune a doua condiție (15) sub forma:

$$\vec{\Omega} \times \vec{i} = \vec{\omega}' \times \vec{i} \quad (16)$$

Este evident că, poate fi îndeplinită condiția (16), dacă $\vec{\Omega} = \vec{\omega}'$, adică viteza unghiulară instantanee de mișcare a părții oscilante este egală cu viteza unghiulară instantanee de mișcare a țintei. Totuși, în cazul sistemului obișnuit de ochire, aceasta nu este posibil. Pentru a realiza egalitatea acestor doi vectori, este necesar ca proiecțiile lor pe axele cu același nume să fie egale. Examinând proiecțiile pe axele legate de partea rotativă a instalației, se poate vedea că egalitățile $\Omega_{y_1} = \omega'_{y_1}$ și $\Omega_{z_1} = \omega'_{z_1}$ pot fi îndeplinite pe baza mărimilor corespunzătoare ale vitezelor de ochire $\dot{\alpha}$ și $\dot{\beta}$, dar îndeplinirea egalității $\Omega_{x_1} = \omega'_{x_1}$, la prima vedere, este în principiu imposibilă. Cu toate acestea, egalitatea (16), poate fi îndeplinită. Exprimând vectorii $\vec{\Omega}$ și $\vec{\omega}'$ prin proiecțiile pe axele legate de partea rotativă și utilizând relația (2), putem reprezenta egalitatea (16) sub forma:

$$\begin{aligned} & (\Omega_{x_1} \vec{i}_1 + \Omega_{y_1} \vec{j}_1 + \Omega_{z_1} \vec{k}_1) \times (\cos \alpha \vec{i}_1 - \sin \alpha \vec{k}_1) = \\ & (\omega'_{x_1} \vec{i}_1 + \omega'_{y_1} \vec{j}_1 + \omega'_{z_1} \vec{k}_1) \times (\cos \alpha \vec{i}_1 - \sin \alpha \vec{j}_1) \end{aligned}$$

Executând înmulțirea și substituind proiecțiile $\vec{\Omega}$ din relația (13), obținem:

$$\begin{aligned} & -(\omega_{y_1} + \dot{\alpha}) \sin \alpha \vec{i}_1 + [(\omega_{z_1} + \dot{\beta}) \cos \alpha + \omega_{x_1} \sin \alpha] \vec{j}_1 - \\ & (\omega_{y_1} + \dot{\alpha}) \cos \alpha \vec{k}_1 = \\ & = -\omega'_{y_1} \sin \alpha \vec{i}_1 + (\omega'_{x_1} \cos \alpha + \omega'_{z_1} \sin \alpha) \vec{j}_1 - \omega'_{z_1} \cos \alpha \vec{k}_1. \end{aligned}$$

Egalitatea vectorială obținută, este echivalentă cu următoarele trei expresii scalare:

$$\begin{aligned} & -(\omega_{y_1} + \dot{\alpha}) \sin \alpha = -\omega'_{y_1} \sin \alpha; \\ & (\omega_{z_1} + \dot{\beta}) \cos \alpha + \omega_{x_1} \sin \alpha = \omega'_{z_1} \cos \alpha + \omega'_{x_1} \sin \alpha; \\ & -(\omega_{y_1} + \dot{\alpha}) \cos \alpha = -\omega'_{z_1} \cos \alpha \end{aligned}$$

de unde rezultă relațiile pentru vitezele unghiulare ale ochirii instalației de artilerie cu sistem de ochire obișnuit:

$$\dot{\alpha} = \omega'_{y_1} - \omega_{y_1} \quad (17)$$

$$\dot{\beta} = (\omega'_{x_1} - \omega_{x_1}) \operatorname{tg} \alpha + \omega'_{z_1} - \omega_{z_1} \quad (18)$$

Vitezele de ochire a instalației de artilerie, determinate prin relațiile (17) și (18), asigură o urmărire continuă a țintei mobile, în situație de balans.

Relațiile concrete $\dot{\alpha}(t)$ și $\dot{\beta}(t)$ se vor determina în fiecare caz în parte, în funcție de caracterul mișcării țintei și parametrii balansului.

4. Unghiurile de ochire ale instalației de artilerie navală de calibru mic cu axa umerilor stabilizată în plan orizontal

Se introduce sistemul suplimentar de coordonate $O_2x_2y_2z_2$, legat de partea stabilizată a instalației de artilerie navală, după cum urmează:

- axa O_2x_2 paralelă cu axa O_1x_1 – axa de stabilizare;
- axa O_2y_2 – axa ochirii în plan vertical, care compune cu axa O_1y_1 unghiul de stabilizare τ ;
- axa O_2z_2 – perpendiculară pe axele O_2x_2 și O_2y_2 .

Sistemul de coordonate este arătat în figura 4.

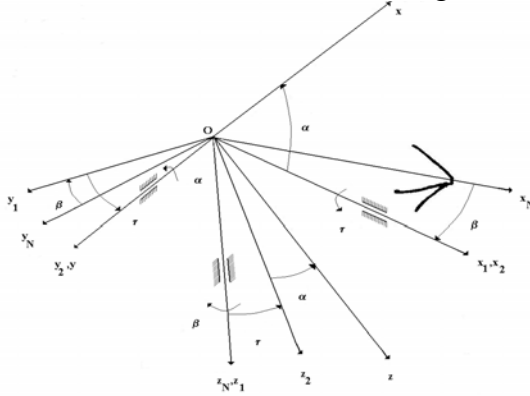


Fig. 4

Pentru determinarea unghiurilor de ochire ale instalației de artilerie navală cu axa umerilor stabilizată în planul orizontal, se pot utiliza relațiile (5) și (6), în care axa umerilor O_2y_2 se poate examina ca o axă fictivă a canalului țevii, care ochește pe direcția versorului \vec{j}_t (fig.3).

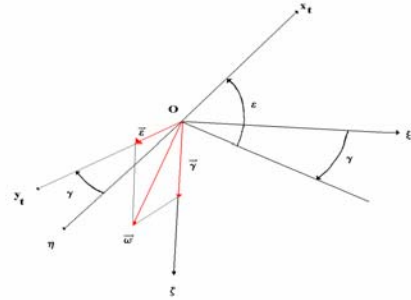


Fig. 3

Acesta este determinat de unghiurile $\epsilon' = 0$ și $\gamma' = 90^\circ + \gamma$, cu ajutorul ochirii orizontale și de stabilizare, care se poate examina ca un sistem obișnuit de ochire a țevii fictive, cu unghiurile de ochire $\beta' = 90^\circ + \beta$ și $\alpha' = -\tau$. Substituind valorile ϵ' , γ' , α' , β' în relațiile (5) și (6), obținem:

$$\sin(-\tau) = -a_{31} \cos(90^\circ + \gamma) - a_{32} \sin(90^\circ + \gamma);$$

$$\operatorname{tg}(90^\circ + \beta) = \frac{a_{21} \cos(90^\circ + \gamma) + a_{22} \sin(90^\circ + \gamma)}{a_{11} \cos(90^\circ + \gamma) + a_{12} \sin(90^\circ + \gamma)} \quad (19)$$

Axa de stabilizare O_2x_2 se poate examina, de asemenea, ca o axă fictivă a canalului țevii, care se ochește pe direcția determinată de unghiurile $\epsilon'' = \epsilon - \alpha$ și $\gamma'' = \gamma$ și are ochirea orizontală identică cu a instalației de artilerie navală, în cazul absenței ochirii în plan vertical, adică $\beta'' = \beta$ și $\alpha'' = 0$.

Prin substituirea valorilor ϵ'' , γ'' , β'' și α'' în relația (5), obținem:

$$0 = a_{33} \sin(\epsilon - \alpha) - a_{31} \cos(\epsilon - \alpha) \cos \gamma - a_{32} \cos(\epsilon - \alpha) \sin \gamma$$

Transformând relația obținută, putem afla formulele pentru determinarea unghiurilor de ochire ale instalației de artilerie navală, cu stabilizarea axului umerilor în plan orizontal:

$$\alpha = \epsilon - \operatorname{arctg} \frac{a_{31} \cos \gamma + a_{32} \sin \gamma}{a_{33}}; \quad (20)$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{a_{11} \sin \gamma - a_{12} \cos \gamma}{a_{22} \cos \gamma - a_{21} \sin \gamma}; \quad (21)$$

$$\sin \tau = a_{32} \cos \gamma - a_{31} \sin \gamma \quad (22)$$

5. Viteza unghiulară de ochire a instalației de artilerie navală de calibru mic cu axa umerilor stabilizată în plan orizontal

Viteza unghiulară instantanee a părții oscilante a instalației de artilerie este, în acest caz, egală cu suma vectorială dintre viteza unghiulară instantanee a balansului, viteza unghiulară a ochirii pe verticală, viteza unghiulară a ochirii pe orizontală și viteza unghiulară a stabilizării:

$$\vec{\Omega} = \vec{\omega} + \vec{\alpha} + \vec{\beta} + \vec{\tau} \quad (23)$$

Proiecția vectorului $\vec{\Omega}$ pe axele legate de partea rotativă, sunt:

$$\left. \begin{aligned} \Omega_{x_1} &= \omega_{x_1} + \tau; \\ \Omega_{y_1} &= \omega_{y_1} + \alpha \cos \tau; \\ \Omega_{z_1} &= \omega_{z_1} + \beta + \alpha \sin \tau \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Condiția urmăririi continue a țintei (16) rămâne în vigoare și în acest caz, deși, în cazul sistemului de ochire cu stabilizarea axei umerilor în plan orizontal, apare posibilitatea îndeplinirii egalității $\vec{\Omega} = \vec{\omega}'$, adică egalitatea vitezelor unghiulare instantanee de mișcare a părții oscilante cu mișcarea țintei.

Considerând egale proiecțiile vitezelor unghiulare instantanee $\vec{\Omega}$ și $\vec{\omega}'$ pe axele de coordonate legate de partea rotativă, obținem:

$$\begin{aligned} \omega_{x_1} + \tau &= \omega'_{x_1}; \\ \omega_{y_1} + \alpha \cos \tau &= \omega'_{y_1}; \\ \omega_{z_1} + \beta + \alpha \sin \tau &= \omega'_{z_1} \end{aligned}$$

Bibliografie

- [1.] DRIMER D. și alții - „Roboți industriali și manipolatoare”, Editura Tehnică, București, 1985;
- [2.] IONESCU DAN IOAN, LAZĂR IONEL– „Mecanisme, organe de mașini și elemente de mecanică fină” Editura Academiei Tehnice Militare, București 1993;
- [3.] LAZĂR IONEL– „Analiza structurală a mecanismelor de aviație” Editura Academiei Tehnice Militare, București 1995;
- [4.] ȘTEFAN ION, ȘTEFAN STERIE – „Mecanica fluidelor” Editura Academiei Militare, București 1978;
- [5.] IONESCU D., VLADU G., CRĂCIUN C., - Utilizarea manipuloarelor în dotarea sistemelor de încărcare automată ale tunurilor navale, - Sesiunea de Comunicări științifice a Academiei Navale “Mircea cel Bătrân”, SECOMAR – 99;
- [6.] CRISTIAN PELECUDI, DEZIDERIU MAROȘ și alții - „Mecanisme” Editura Didactică și Pedagogică, București 1985;
- [7.] *** - „Teoria și exploatarea instalațiilor automate de artilerie navală”, Editura Moskva, Moscova 1977;
- [8.] VLADU GABRIEL - Considerații privind aplicarea roboților în tehnica armamentului naval – Teză de doctorat, Academia Tehnică Militară, 2000;
- [9.] GEORGICĂ SLĂMNOIU - Mecanisme și organe de mașini, Editura Ex Ponto, Constanța 2003.

Rezolvând ecuațiile în raport de vitezele unghiulare de ochire, obținem:

$$\dot{\alpha} = \frac{\omega'_{y_1} - \omega_{y_1}}{\cos \tau} \quad (25)$$

$$\dot{\beta} = -(\omega'_{y_1} - \omega_{y_1}) \operatorname{tg} \tau + \omega'_{z_1} - \omega_{z_1} \quad (26)$$

$$\dot{\tau} = \omega'_{x_1} - \omega_{x_1} \quad (27)$$

6. Concluzii

Analizând cele prezentate în lucrare, se poate concluziona că viteza unghiulară instantanee a părții oscilante a instalației de artilerie este, în cazul general al deplasării navei pe mare agitată, egală cu suma vectorială dintre viteza unghiulară instantanee a balansului, viteza unghiulară a ochirii pe verticală, viteza unghiulară a ochirii pe orizontală și viteza unghiulară a stabilizării. Studiul acestui fenomen poate crea premisele modelării matematice a studiului caracteristicilor de probabilitate ale unghiurilor și vitezelor unghiulare de ochire a instalației de artilerie navale de calibr mic, în cazul urmăririi țintei cu nava în balans.