

CECHY NAWIGACJI OKRĘTU I OBIEKTÓW SZYBKICH STARTUJĄCYCH (WYSTRZELIWANYCH) Z JEGO POKŁADU

Streszczenie: W artykule przedstawiono próbę ukazania cech nawigacji okrętu i obiektów szybkich startujących (wystreliwanych) z jego pokładu.

FEATURES OF THE NAVIGATION OF THE SHIP AND FAST OBJECTS STARTING (LUNCHING) FROM HER DECK

Abstract: In article a trail to appear features of the navigation of the ship and fast objects starting (lunching) from her deck is presented.

Nawigacja obiektów jest postrzegana, jako nauka i praktyka

1. Nawigacja obiektu morskiego - nosiciela między innymi OSRO (ZU-23-2M, ZU-23-2MR AK-176, AK-630, PoKPR P-21, P-22 i PoKPR RBS-15) postrzegana jako nauka

W celu wyodrębnienia nawigacji, jako nauki, istotne jest określenie jej cech konstytutywnych¹ oraz wspomagających.

Do cech konstytutywnych nawigacji, jako nauki, w opracowaniu przyjęto zaliczać:

- przedmiot poznania;
- miejsce przedmiotu w systemie wiedzy;
- cel wewnętrzny (określenie prawidłowości kierowania ruchem obiektu z punktu A do punktu B);
- cele zewnętrzne (1. Określenie efektywności procesu nawigacji w danych warunkach; 2. Określenie warunków efektywnej nawigacji).

Do cech uzupełniających:

- metody służące osiągnięciu celów zewnętrznych i wewnętrznych (analiza systemowa; sondaż diagnostyczny; modelowanie; eksperyment);
- język opisu wyników badań przedmiotu poznania i komunikowania się o nim z innymi.

Cechy konstytutywne różnią jedną dziedzinę wiedzy od drugiej, natomiast metody i język można zapożyczyć z innych dziedzin wiedzy.

Dla celów opracowania, cechy nawigacji, jako nauki, przyjęły postać: Tabela 1.

¹ Kobierski J. W.: *Kierowanie ogniem naziemnych systemów obrony powietrznej*, AMW, Gdynia 2004, s. 35 (również: Kobierski J. W.: *Praca badawcza pk. BUK, WAT*, Warszawa 2005).

Tabela 1. Przyjęta postać cech dla nawigacji, jako nauki

▪ przedmiot poznania	→	proces i warunki (środowisko ²) kierowania ruchem obiektu
▪ miejsce przedmiotu poznania w systemie wiedzy	→	geodezja i kartografia, nauka o obronie okrętu itp.
▪ cel wewnętrzny	→	określenie prawidłowości procesu i warunków nawigacji obiektu
▪ cele zewnętrzne	→	- określenie efektywności procesu nawigacji w danych warunkach - określenie warunków efektywnej nawigacji
▪ metody (techniki) służące osiągnięciu celów zewnętrznych i wewnętrznych	→	analiza systemowa (analiza literatury, analiza dokumentów, badanie opinii), modelowanie, eksperyment (myślowy, symulacyjny i rzeczywisty) itp.
▪ język opisu wyników badań poznawanego przedmiotu i komunikowania się o nim z innymi	→	okręt, PoKPR, samolot, nawigacja, nawigacja taktyczna, obiekty ruchu, otoczenie obiektów ruchu, współrzędne i czynniki ruchu, warunki realizacji procesu nawigacji, cel działania, proces, układ działań, metoda, sposób, zasób, kierowanie, sterowanie itp.)

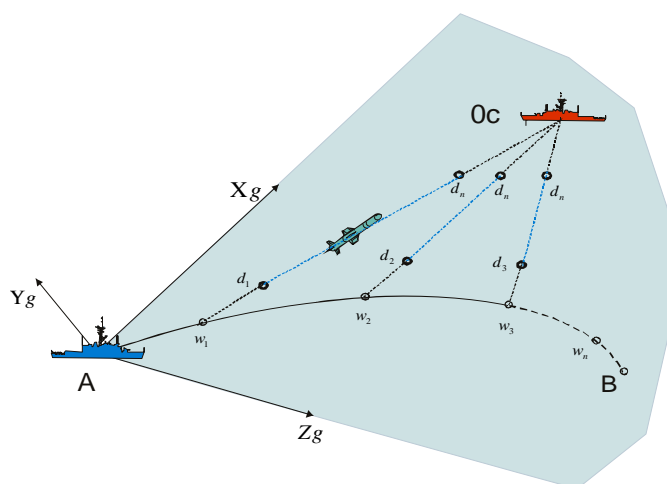
Opracowanie na podstawie [4]

Stosownie do właściwości otoczenia obiektów ruchu wyróżnia się następujące rodzaje nawigacji³:

- morską;
- lotniczą;
- lądową;
- kosmiczną.

W opracowaniu uwzględniono wyniki badań przedmiotów poznania (rys. 1) takich jak:

1. Nawigacji morskiej (taktycznej) tj. procesu i warunków kierowania ruchem okrętu (nosiela OSRO, między innymi PoKPR) po drodze (nakresie) z punktu A do B.



gdzie: AB – droga nosiciela, Oc – cel, w_1, w_2, w_3, w_n – miejsca startu PoKPR, $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ – droga lotu PoKPR, na której możemy dokonać sterowania jego parametrami

Rys. 1 Graficzna interpretacja aspektu nawigacji nosiciela i PoKPR

(Źródło: Hoppe J.: Rozprawa doktorska: *Nawigacyjne aspekty sterowania lotem przeciwskrętowych kierowanych pocisków rakietowych*, s. 30.)

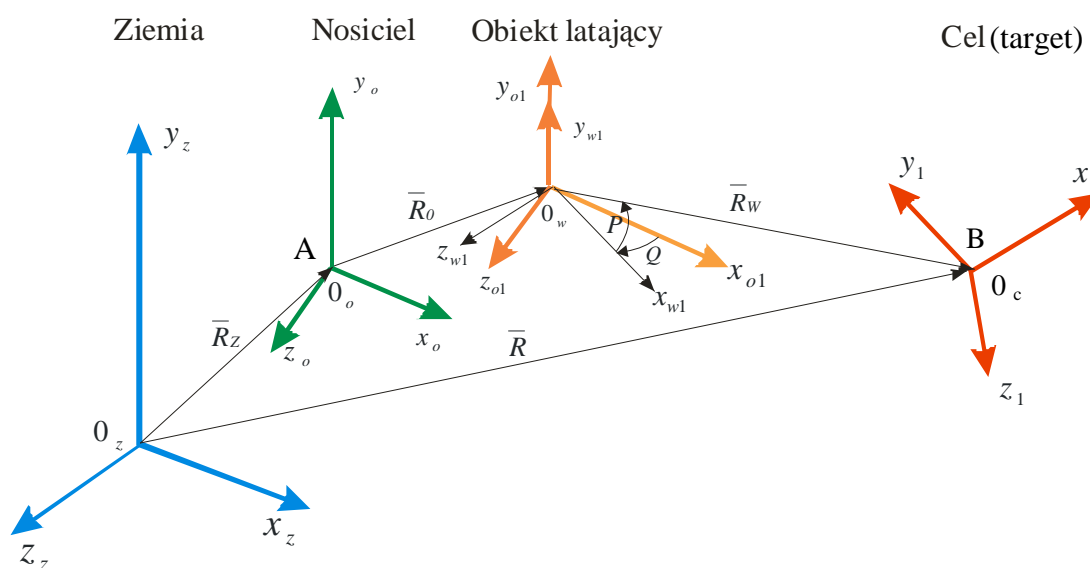
² Por. Kołaczyński S.: *Cechy nawigacji, jako dyscypliny nauk technicznych. Geodezja i kartografia*, t. XXXVI, WSMW, Gdynia 1987, s. 289.

³ Urbański J., Kopacz Z., Posiła J.: *Nawigacja morska, cz. I*, AMW, Gdynia 1995, s. 3.

2. Nawigacji lotniczej tj. procesu i warunków kierowania ruchem, między innymi PoKPR po drodze (trajektorii lotu) z punktu w_n (drogi od A do B nosiciela) do punktu d_n (drogi PoKPR od w_n do 0_C).

2. Nawigacja, jako praktyka – język opisu

- A. *Nawigowanie* to proces bezpiecznego prowadzenia okrętów (patrz pkt 1) po morzu⁴.
- B. Zasadniczą część nawigacji stanowią metody⁵ i sposoby bezpośredniego kierowania ruchem statku (okrętu).
- C. W nawigacji taktycznej (Marynarka Wojenna), dodatkowo uwzględnia się warunki dojścia okrętu na pozycje ogniową, między innymi względem przeciwnika nawodnego, w wyznaczonym czasie; manewrowanie względem innego ruchomego obiektu; krążenie po wyznaczonej trasie, itp. [10, 11]. Do nawigacji zalicza się również proces naprowadzania obiektu. Ruch (lot rakiety) wraz ze zmianą parametrów współrzędnych i czynników ruchu należy rozpatrywać również w aspekcie nawigacji stosownie do właściwości otoczenia fizyczno-geograficznego, w tym nosiciela i celu.
- D. Ruch obiektu (punktu lub układu punktów), jak wcześniej określono, to zmiana jego (ich) być może Ziemi, okręt (punkt A), satelita, pocisk raketowy i artyleryjski, cel (obiekt przeciwnika rozumiany, jako tarcza – punkt B), rys. 1, 2. Czynniki ruchu obiektu to wielkości kątowe i liniowe, których parametry (wartości) oprócz wartości współrzędnych, określają położenie wektora⁶ prędkości w przestrzeni.



Rys. 2 Układy współrzędnych i odniesienia rakiety, okrętu i celu

(Źródło: opracowanie na podstawie [1])

Do określenia położenia obiektu (punktu zaczepienia wektora prędkości) w przestrzeni stosuje się współrzędne i ich układy (np. kartezjański, sferyczny, walcowy, stożkowy itp.). *Ruch PoKPR może mieć charakter hipotetyczny lub faktycznie się odbywać, to*

⁴ Urbański J., Kopacz Z., Posiła J.: *Nawigacja morska, cz. I*, AMW, Gdynia 1995, s. 3.

⁵ Zob. również: Kobierski J. W.: *Praca naukowo badawcza pk. TORAK*, AMW, Gdynia 2004.

⁶ Wektor to para uporządkowanych punktów określających jego punkt zaczepienia, kierunek, wartość i zwrot.

nawigacja obejmuje również planowanie drogi (jej przejścia); odtwarzanie przebytej trajektorii (drogi) i rozwiązywanie zadań nawigacyjnych m.in. określających miejsce trafienia PoKPR w cel.

Istotną rolę w osiągnięciu jego celu ogrywają równania ruchu nosiciela PoKPR, (ZU-23-2MR - systemu A) oraz równania ruchu pocisków - nosiciela energii rażącej cel (system B) wystrzeliwanych z wyrzutni PoKPR (także, morskiego przeciwlotniczego zestawu rakietowo-artyleryjskiego ZU-23-2MR).

Dla okrętu nosiciela PoKPR (ZU-23-2MR)

Wektorowe równania ruchu okrętu nosiciela:

$$\frac{d\vec{P}}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{P} = \vec{F}$$

$$\frac{d\vec{K}_G}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{K}_G + \vec{V} \times \vec{P} = \vec{M}_G$$

gdzie: \vec{P} - wektor pędu układu kadłub okrętu – masa wody towarzyszącej; $\vec{\omega}$ - prędkość kątowna okrętu;

\vec{F} - wypadkowy wektor sił zewnętrznych działających na okręt; \vec{K}_G - wektor momentu pędu (okręt) względem środka masy G ; \vec{V} - wektor prędkości środka masy; \vec{M}_G - wypadkowy moment sił zewnętrznych względem środka masy.

Pęd \vec{P} i kręt \vec{K} obliczamy, jako gradienty energii kinetycznej E_k :

$$\vec{P} = \text{grad } v E_k$$

$$\vec{K} = \text{grad } \omega E_k$$

Ogólne równanie sił i momentów:

$$Mv + D(v)v + g(\eta) = \tau$$

gdzie: v - wektor prędkości liniowych i kątowych, czyli: $v = [u, v, w, p, q, r]$; M - macierz inercji (suma macierzy inercji ciała sztywnego M_{RB} i macierzy inercji mas towarzyszących M_A), czyli: $M = M_{RB} + M_A$; $D(v)$ - macierz tłumienia hydrodynamicznego; $g(\eta)$ - macierz sił przywracających (siły ciężkości P i siły wyporu B); τ - wektor sił i momentów oddziałujących na obiekt w ruchu: $\tau = [X, Y, Z, K, M, N]$.

Dla pocisku nosiciela energii

Wektorowe równania ruchu pocisku:

$$\frac{d\vec{\Pi}_0}{dt} + \vec{\Omega} \times \vec{\Pi}_0 = \vec{F}$$

$$\frac{d\vec{K}_0}{dt} + \vec{\Omega} \times \vec{K}_0 + \vec{V} \times \vec{\Pi}_0 = \vec{M}_0$$

gdzie: \vec{F} - wypadkowy wektor sił zewnętrznych działających na pocisk; \vec{M}_0 - wektor momentów pędu sił zewnętrznych; $\vec{\Pi}_0$ - składowa pędu; \vec{K}_0 - składowa krętu; \vec{V} - prędkości liniowa środka masy; $\vec{\Omega}$ - wektor chwilowej prędkości kątowej pocisku.

Ogólne równanie sił i momentów:

$$M\mathbf{v} + A(\mathbf{v})\mathbf{v} + g(\boldsymbol{\eta}) = \boldsymbol{\tau}$$

gdzie: \mathbf{v} - wektor prędkości liniowych i kątowych, czyli: $\mathbf{v} = [u, v, w, p, q, r]$; M - macierz inercji ciała sztywnego; $A(\mathbf{v})$ - macierz tłumienia aerodynamicznego; $g(\boldsymbol{\eta})$ - macierz sił przywracających (siły ciężkości P i siły nośnej R_{ya}); $\boldsymbol{\tau}$ - wektor sił i momentów oddziaływujących na obiekt w ruchu: $\boldsymbol{\tau} = [X, Y, Z, K, M, N]$.

Na podstawie danych zawartych w równaniach ruchu okrętu nosiciela PoKPR, ZU-23-2MR i pocisku nosiciela energii można wnosić, że obiekty mają podobne wielkości po stronach sił i momentów, stąd proces kierowania ruchem obu z nich z punktu A do B_n wymaga wykorzystania podobnych sił, przeciwdziałania podobnym siłom i kompensacji podobnych momentów. Można założyć twierdzenia o tożsamości nawigacji obu obiektów: okrętu nosiciela i pocisku nosiciela energii, ponieważ w obu wypadkach jest to proces kierowania ruchem obiektu z punktu A do B_n po zadanej trajektorii (różnią się jedynie częstotliwością oddziaływań kierujących).

- E. Na mapach będących modelami otoczenia i zasadniczym źródłem informacji odbywa się planowanie drogi (nakresu) obiektu i celu (okrętu przeciwnika - obiektu ataku raketowego), a przy ich pomocy realizacja planowanych przedsięwzięć.
- F. Do nawigacji nie zalicza się śledzenia i prognozowania ruchu obiektów za pomocą metod nawigacyjnych bez oddziaływania na nie.

Dla potrzeb *języka opisu* (tabela 1) istotne jest uzgodnienie treści, zakresu pojęć i sformułowań, m.in. [5]:

1. Okręt to:

- a) system działania posiadający banderę, realizujący cel działania poprzez zadania;
- b) zbiór i nosiciel⁷ zasobów;
- c) jednostka techniczna i organizacyjna zdolna do poruszania się z określoną prędkością w określonym otoczeniu.

2. System działania⁸ to obiekt rzeczywisty, w którym ludzie za pomocą różnych metod i dobranych w nich środków realizują zamierzone cele tj.:

- tworzą warunki działania sobie;
- tworzą warunki działania innym.

Trwa on (rozpatrywany system działania) w czasie, zużywa się i wymaga odnowy. Do systemu działania zaliczamy: np. instytucje, jednostki wojskowe, okręt, okrętowy system rozpoznawczo-ogniowy (artyleryjski i raketowy) itp. [2].

3. Proces to układ działań i związki między nimi.

4. Układ działań to ich rodzaj, liczba i kolejność.

⁷ Nosicielem PoKPR mogą być okręty, samoloty, śmigłowce pojazdy lądowe itp.

⁸ Konieczny J.: *Inżynieria systemów działania*, WNT, Warszawa 1983, s. 20-25.

5. Związki między działaniami mają charakter: czasowy, przestrzenny, czasowo przestrzenny, logiczny, funkcjonalny, nadrzędności, podrzędności itp.
6. Cel działania to zamierzony stan rzeczy lub zdarzeń.
7. Stan rzeczy to chwilowy układ postrzegalnych i mierzalnych cech.
8. Cecha to atrybut obiektu poznania określający, jaki on jest w danej chwili. Jest ona zmienna, jeśli jej parametry określają dwa lub większą liczbę stanów.
9. Sposób to dobrany, z zasobu, zbiór kolejno użytych elementów dla osiągnięcia celu.
10. Zasoby to dysponowany zbiór elementów między innymi takich jak:
 - układów działań;
 - ludzi do ich realizacji;
 - zbiór narzędzi (środków instrumentalizacji i automatyzacji);
 - przedziały czasu na realizację w/w układów działań;
 - dostępna przestrzeń w granicach, której można postrzec lub wywołać dane zdarzenie;
 - inne.
11. Kierowanie to oddziaływanie (informacyjne, siłowe, chemiczne itp.) w wyniku, którego obiekt oddziaływań (cały system uzbrojenia lub jego element) zachowuje się lub osiąga stan zgodnie z wolą oddziałującego.
12. Sterowanie jest to każde celowe oddziaływanie na obiekt sterowany [9].
13. Metoda to powtarzalny sposób postępowania, który prowadzi do osiągnięcia założonego celu działania.
14. Metoda rozwiązania zadania trafienia pociskiem (rakieta) w cel (zwana również metodą naprowadzania) określa trajektorię lotu rakiety. Wywiera wpływ na tak istotne wskaźniki naprowadzania jak: czas lotu do celu; normalne przeciążenia rakiety; straty energii kinetycznej; minimalny i maksymalny zasięg rażenia (istnieją ograniczenia w zakresie konstruowania urządzeń służących do realizacji metody naprowadzania).

Każda metoda formułowana w kategoriach kinematycznych winna generować tor, który ma wspólne punkty (miejsca startu i celu). Żąda się również, aby tor kinematyczny miał możliwie małą krzywiznę, szczególnie w rejonie trafienia w cel.

Obecnie w systemach zdalnego naprowadzania mają zastosowanie metody kątowe, gdzie ograniczeniu podlega wzajemne położenie kątowe celu i rakiety względem punktu naprowadzania. Ze względu na liczbę określonych punktów istnieją metody dwupunktowe (PoKPR), a rozpatrywane wyżej zalicza się do trzypunktowych, w których rozróżnia się wzajemne położenie stanowiska naprowadzania pocisku raketowego i celu.

W każdej metodzie naprowadzania danymi do wypracowania sterowania (oddziaływań sterujących) rakieta są określone parametry czynników ruchu celu i rakiety. Istotne jest, aby dane mogły być wypracowane łatwo, bez zbyt wielu komplikacji konstrukcji układów pomiarowych – podsystem rozpoznania (PR) OSRO (rys. 2) i USN PoKPR (rys. 6) – i z wymaganą dokładnością mierzenia współrzędnych celu i rakiety.
15. Naprowadzanie może być realizowane przez system:
 - zdalnego sterowania (w wiązkach prowadzących, komendami I i II rodzaju);
 - samonaprowadzania (aktywny, półaktywny, pasywny);
 - mieszany.

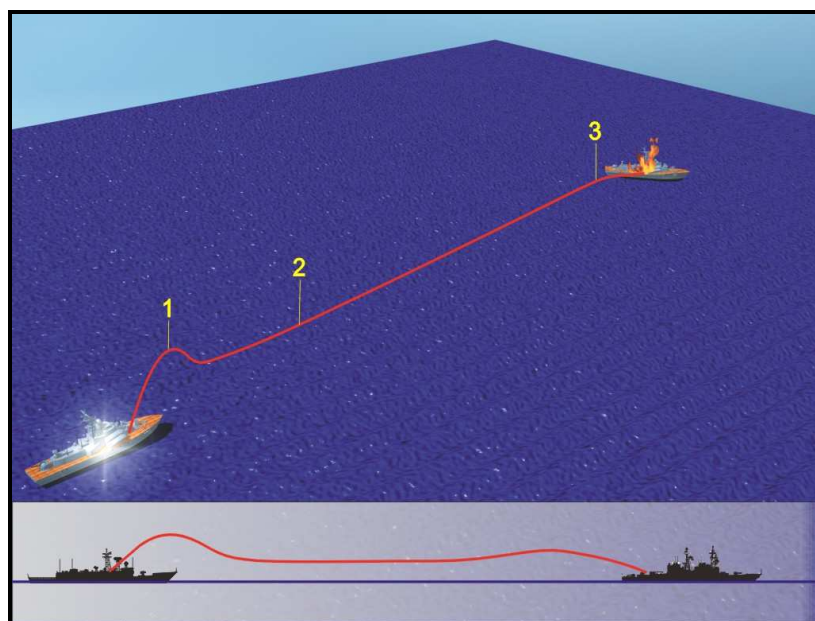
Niezbędnym elementem każdego systemu jest realizowany algorytm (metoda naprowadzania). Algorytm taki nakłada więzy na ruch pocisku. Można zatem wnosić, że po-

cisk rakietowy podąża do celu po torze (drodze) który jest konsekwencją przyjętych więzów. Metoda naprowadzania decyduje o kształcie drogi (toru) trajektorii lotu pocisku, a więc o jej krzywiźnie.

16. Zakłada się, że:

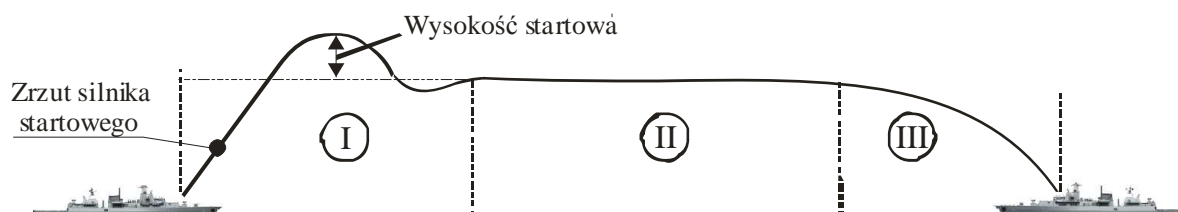
- a) przystępując do określenia prawidłowości funkcjonowania PoKPR należy zidentyfikować systemu sterowania. Musi on uwzględniać:
 - układ sterowania startem pocisku;
 - układ sterowania lotem pocisku.
 Zadaniem obu układów jest naprowadzenie rakiety na cel;
- b) istotnym jest określenie metody naprowadzania rakiety na cel (metody dwupunktowej lub trzypunktowej) i ich własny algorytm. Należy dodać, że w metodzie dwupunktowej więzami jest połączony pocisk z celem, natomiast w metodzie trzypunktowej uwzględnione jest dodatkowo stanowisko naprowadzania.

Kierowanie ruchem PoKPR w drugim etapie procesu bojowego użycia (patrz pkt 16a; rys. 3A i 3B) może odbywać się ciągle lub okresowo poprzez oddziaływanie siłowe (prowadzące do zmiany kursu), albo jednostkowo poprzez wybór miejsca, czasu i odpowiednich parametrów w ośrodku nośnym.



gdzie: 1 – faza startowa, 2 – odcinek marszowy, 3 – uderzenie pocisku w cel

Rys. 3A Trajektorja lotu pocisku PoKPR - wariant

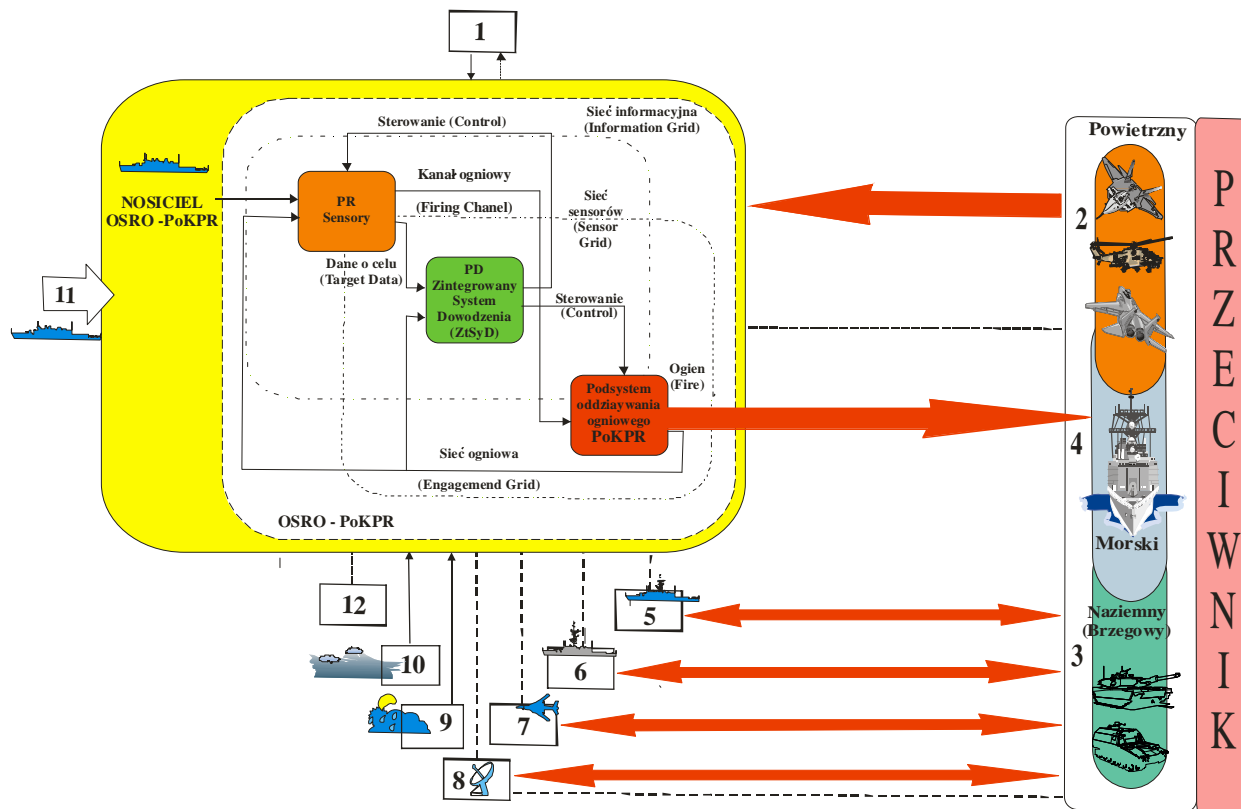


gdzie: I – strefa startu, II – strefa lotu autonomicznego, III – strefa ataku pocisku w cel (II etap procesu bojowego użycia PoKPR)

Rys. 3B Trajektorja rakiet - przykład

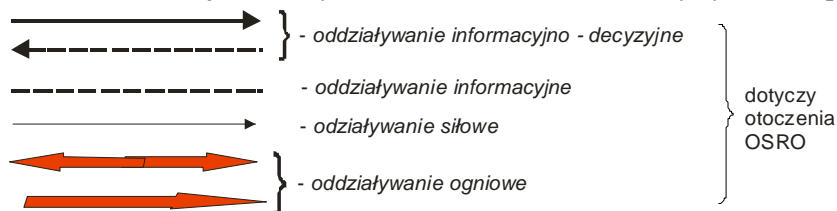
17. Warunki realizacji procesu nawigacji obiektu charakteryzują:

- czas realizacji ($T_d \geq T_r$) gdzie: T_d - czas dyspozycyjny, a T_r - czas reakcji);
- elementy otoczenia rozpatrywanego systemu (obiektu), rys. 4, tabela 2;
- elementy wnętrza rozpatrywanego systemu, rys. 4, tabela 2;
- związki między nimi.



gdzie:

- 1 – przełożony systemu; 2 – przeciwnik powietrzny; 3 – przeciwnik naziemny (brzegowy);
 4 – przeciwnik morski; 5 – obiekt osłony; 6 – sąsiedni OSRO; 7 – własne lotnictwo;
 8 – zewnętrzne źródło informacji o sytuacji w rejonie prowadzenia działań; 9 – warunki atmosferyczne (hydrometeorologiczne); 10 – warunki terenowe (brzegowe); 11 – zewnętrzne źródło zasilania w amunicje i rakiety; 12 – inne; OSRO – okrętowy system rozpoznawczo-ogniowy



Rys. 4 Czynniki charakteryzujące otoczenie okrętu realizującego zadania rozpoznawczo-ogniowe w walce

Źródło: Opracowanie na podstawie [5]

Tabela 2. Czynniki charakteryzujące otoczenie i wnętrze systemów uzbrojenia

Czynniki zewnętrzne	Czynniki wewnętrzne
<p>1. Sytuacja powietrzna:</p> <ul style="list-style-type: none"> - warunki atmosferyczne - sytuacja taktyczna: <ul style="list-style-type: none"> a) charakter działania lotnictwa własnego b) charakter działania lotnictwa przeciwnika. <p>2. Sytuacja nawodna:</p> <ul style="list-style-type: none"> - stan morza - sytuacja taktyczna <ul style="list-style-type: none"> a) charakter działania MWRP b) charakter działania MW przeciwnika <p>3. Sytuacja brzegowa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - warunki terenowe - sytuacja taktyczna <ul style="list-style-type: none"> a) charakter działania wojsk własnych b) charakter działania wojsk przeciwnika 	<p>1. Cel (zadania)</p> <p>2. Struktura organizacyjna:</p> <p>Etatowa, funkcjonalna, przestrzenna (ugrupowanie), liniowo funkcjonalna, techniczna, hierarchiczna, decyzyjna</p> <p>3. Miejsce, rola i możliwości dowódców (funkcyjnych) w strukturze przy wykorzystaniu środków instrumentalizacji, a w tym:</p> <ul style="list-style-type: none"> - informacje (nakazy, zakazy) - zasady działania - sposoby działania - wskaźniki możliwości bojowych sprzętu
<p>1. Niezmiennie.</p> <p>2. Zmienne:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) niezależne; b) zależne. 	
<ul style="list-style-type: none"> - czas - sytuacja tła - sytuacja zakłóceń 	

Opracowanie na podstawie [4]

Wyróżnione na rys. 4 elementy oraz sam proces nawigacji obiektu mogą być niezmiennie lub zmienne (zob. tabela 2). Jeśli zmienne, to zależne lub niezależne (od poszczególnych decydentów - w tym dowódcy okrętu).

W trakcie przemieszczania się PoKPR, podczas drugiego etapu bojowego użycia, zmienia się jego współrzędne, czynniki ruchu oraz otoczenie. Odpowiada to praktycznemu przejściu okrętu morzem. Zmieniają się współrzędne w relacji okręt – rakieta – cel (zob. monitoring lotu rakiety po zadanej trajektorii do celu, rys. 3).

W zmieniającym się otoczeniu utrzymywane są niezmiennie np. stałe oznakowania nawigacyjne.

3. Wymagania nawigacyjne dla nosiciela w zakresie startu obiektów szybkich

Informacją wejściową położenia nosiciela w punkcie A (rys. 1) są zadania, które wykonuje się przy wykorzystaniu okrętu za pomocą zasobów na nim zgromadzonych. Na jej podstawie realizowane jest planowanie nawigacyjne. Na wyjściu otrzymujemy wartości estymowane parametrów nawigacyjnych okrętu - współrzędne pozycji $w_1 - w_n$, wektor prędkości i inne np. odległość i czasy przejścia poszczególnych odcinków drogi np. $w_1 - w_n$ oraz odcinki lotu obiektu $w_1, w_2, w_3, w_n - d_n$, na których może być realizowane sterowanie w czasie lotu autonomicznego PoKPR.

Przy rozpatrywaniu tego zadania traktujemy:

1) okręt, jako:

- obiekt rzeczywisty;
- model matematyczny jego ruchu;

2) sterowanie, jako:

- fizyczne, celowe oddziaływanie wpływające na ruch okrętu;
- model matematyczny sterowania ruchem okrętu;

3) wymuszenie zewnętrzne (zakłócenia ruchu okrętu), jako:

- rzeczywiste oddziaływanie środowiska (falowanie, prądy morskie, itp.);
- model matematyczny zakłóceń;
- układ pomiarowy zakłóceń.

Sprzężenie zwrotne pomiędzy powyższymi prawidłowościami (okręt, sterowanie, zakłócenia) oraz pomiędzy obiektami (zjawisko fizyczne, jego model i układ pomiarowy) pozwalają na:

1) identyfikację parametrów modeli poszczególnych procesów nawigacji;

2) identyfikację samych modeli i procesu.

Wyróżnione prawidłowości odnoszą się do przedstawienia aspektów nawigacji nosiciela, choć nie znalazły w opracowaniu odzwierciedlenia bezpośredniego. Odzwierciedlają natomiast w pełni wymagania stawiane procesowi i warunkom nawigacji nosiciela obiektu szybkiego (PoK-PR), umożliwiając jego start i koordynację ruchu na trajektorii lotu, zgodnie z przyjętymi założeniami.

Zachowanie się obiektów manewrujących (nosiciela) względem obiektów stałych i poruszających się jest realizowane poprzez wypracowanie metod, służących uproszczeniu planowania i wykonywania takich manewrów jak: zajęcie pozycji ogniowej, uchylenie się od przeciwdziałania, podejście do rozpoznania, zmiany pozycji zajmowanej w szyku zespołu itp.

Przy określaniu wymagań nawigacyjnych, stawianych nosicielowi w zakresie tworzenia warunków startu z jego pokładu obiektów szybkich, ograniczamy się do uwzględnienia pozycji ogniowej (tabela 2). W opracowaniu pozycję ogniową (startową PoKPR) należy traktować, jako czynnik charakterystyczny nawigacji taktycznej,⁹ rozumianą jako miejsce lub rejon, w którym nosiciel OSRO tworzy warunki jego wykorzystania w walce ogniowej z obiektem nawodnym przeciwnika.

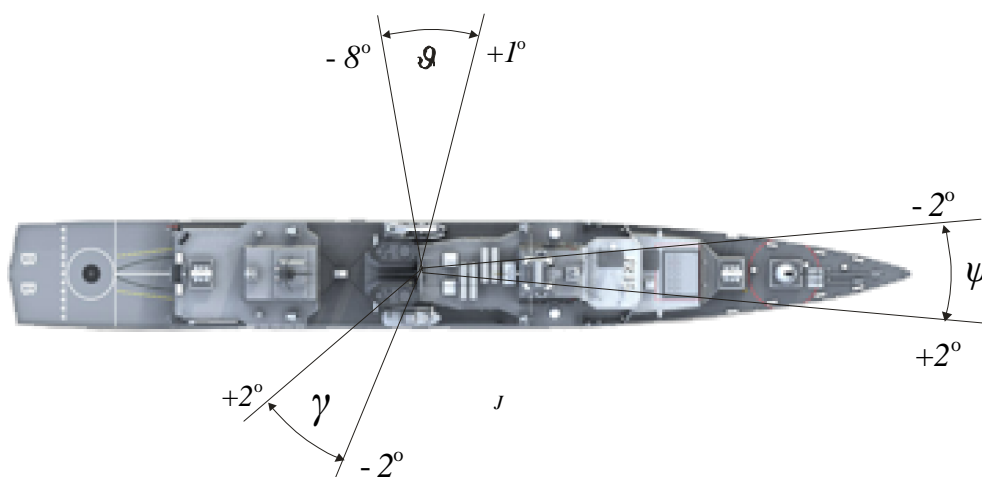
Analizując czynniki rzutujące na wykonanie zadań przez okręt na pozycji ogniowej należy rozpatrzeć:

1. Przedziały ograniczeń kątowych.
2. Warunki atmosferyczne.
3. Charakter działania przeciwnika nawodnego.
4. Stan morza.

Ad. 1. Dopuszczalne odchylenia kątowe od linii celowania

W trakcie przygotowania rakiet do bojowego użycia należy określić warunki, jakie (pod względem ograniczeń kątowych) musi spełnić nosiciel (zob. rys. 5).

⁹ Zob. s. 2.



W momencie zejści PoKPR z wyrzutni: $\vartheta, \gamma, \psi \leq 0,5$

Rys. 5 Ograniczenia kątowe dla nosiciela w czasie strzelań raketowych

(Źródło: Opracowanie własne)

Przedziały ograniczeń kątowych w poszczególnych płaszczyznach, w momencie wypracowania danych dla trajektorii lotu rakiety w wyprzedzony punkt (trafienia w cel), przedstawiają się następująco, jako wartości chwilowe (rys. 5):

- w płaszczyźnie pochylenia $-8 \leq \vartheta \leq +1$;
- w płaszczyźnie przechylenia i odchylenia $-2^\circ \leq (\gamma, \psi) \leq +2^\circ$.

Przedziały ograniczeń kątowych w poszczególnych płaszczyznach, w momencie zejścia PoKPR z wyrzutni przedstawiają się następująco, jako wartości chwilowe:

- w płaszczyźnie pochylenia $\leq 0,5^\circ$ przy przechyle bocznym $\leq 6^\circ$ (tylko przy przemieszczeniu dziobu okrętu w górę);
- w płaszczyźnie przechylenia i odchylenia $\leq 0,5^\circ$

Jak można zatem zauważyć, odchylenia nosiciela od wypracowanych wartości kątów przewidzianych do strzelania są bardzo małe. Ograniczenia te są utrzymywane przez system PKS nosiciela jedynie w czasie 20 s od momentu ich wypracowania. Po tym czasie należy ponownie dokonać korekty namiaru na cel wyprzedzony i czasu lotu PoKPR do miejsca włączenia USN.

Ad 2. Warunki atmosferyczne

Obiekt szybki - PoKPR wykorzystuje się także w warunkach odbiegających od tzw. warunków normalnych. Normalne warunki atmosferyczne są charakteryzowane za pomocą takich czynników jak:

- temperatura powietrza $+15^\circ\text{C}$;
- ciśnienie atmosferyczne 1000 hPa;
- gęstość balistyczna¹⁰ powietrza 1.206 kg/m^3 ;
- wilgotność względna powietrza 50 %;
- prędkość dźwięku 340 m/s.

Dopuszczalne odchylenia od warunków normalnych przedstawia zestawienie:

- temperatura od -40°C do $+40^\circ\text{C}$;

¹⁰ Gęstość balistyczna, to taka uśredniona gęstość powietrza, w której w wyniku oddziaływania tor lotu wystrzelonego pocisku zmienia się taka samo, jak w skutek oporu czołowego wywołanego zmienną gęstością powietrza dla warstw atmosfery, w której porusza się pocisk na torze lotu.

- prędkość wiatru 0÷20 m/s;
- kierunek wiatru 0÷360°;
- opady, mgła w zależności od propagacji fali elektromagnetycznej (dotyczy to w szczególności PoKPR z naprowadzaniem w podczerwieni).

Ad. 3. Charakter działania przeciwnika określa się za pomocą takich cech jak:

- skład (pojedynczy, grupowy), charakteryzowany poprzez kształt, wielkość, powierzchnię, kolor, miejsce i znaczenie w ugrupowaniu;
- typ obiektu: punktowy, liniowy, powierzchniowy, promieniujący;
- współrzędne obiektu i czynniki ruchu. Współrzędne to wielkości kątowe lub liniowe, których wartości pozwalają określać położenie punktu względem drugiego przyjętego za początkowy (odniesienia). Czynniki ruchu to również wielkości kątowe lub liniowe, których wartości pozwalają określać oprócz współrzędnych położenie wektora prędkości obiektu;
- sposób przeciwdziałania to oddziaływanie ogniowe, stosowanie zakłóceń i działanie pod osłoną zakłóceń.

Ad. 4. Stan morza. Dopuszczalny stan morza w zakresie realizowanego zadania ogranicza się dla artylerii do 3^oB; dla rakiet do max. 6^oB. Przykład stanów morza przedstawia zestawienie - tabela 3.

Tabela 3. Skala stanu morza i skala Beauforta¹¹

Stopień skali stanu morza	Przeciętna i maksymalna (w nawiasie) wysokość	Określenie słowne skali stanu morza	Wygląd powierzchni morza	Stopień skali Beauforta	Określenie stopni skali Beauforta	Ekwiwalent prędkości wiatru na wysokości 10m n.p.m	
						m/s	węzły
0		Gładź	Morze gładkie jak lustro	0	Cisza	0-0.2	1
1	0.1 (0.1)	Morze pomarszczone	Tworzą się zmarszczki o wyglądzie łusek bez żadnej piany	1	Powiew	0.3-1.5	1-3
2	0.2 (0.3)	Drobne fale	Zupełnie drobne, krótkie, lecz już wyraźniejsze fale, ich grzbiety mają wygląd szklisty, nie załamują się	2	Słaby wiatr	1.6-3.3	4-6
	0.6 (1.0)		Bardzo małe fale, ich grzbiety zaczynają się już załamywać, lecz piana ma jeszcze wygląd szklisty, sporadycznie pojawiają się białe grzbieńce	3	Łagodny wiatr	3.4-5.4	7-10
3	1 (1.5)	Mała fala	Małe fale zaczynają się wydłużać, pojawiają się sporo białych grzbieńce	4	Umiarkowany wiatr	5.5-7.9	11-15

Wyróżnione charakterystyczne elementy znajdują odzwierciedlenie w przygotowaniu wstępnym i końcowym wykonania zadań ogniowych użycia bojowego PoKPR z nosiciela.

¹¹ Zob. *Tablice nawigacyjne TN-89*, Gdynia 1989, s. 68.

Podstawowym czynnikiem wpływającym na skuteczność planowania i wykonania manewrów jest rozwiązanie konkretnego zadania za pomocą doboru metod stosowanych w nawigacji taktycznej w zależności od czynników charakteryzujących wnętrze i otoczenie obiektu (por. tab. 2).

Proces wykorzystania uzbrojenia raketowego przez okręty stawia określone wymogi nie tylko użytkownikowi uzbrojeniu, ale w szczególności nosicielowi. Wymagania te odnoszą się w szczególności do utrzymania jego pozycji, zdolności manewrowych i warunków, w jakich przebywa.

W celu minimalizacji błędów nosiciela, w trakcie użycia uzbrojenia, nakłada się na niego więzy, których jest on podporządkowany systemowi kierowania strzelaniem.

Wymagania dla uzbrojenia

Wrażliwość na wpływ zakłóceń zewnętrznych i własnych stanowi podstawowy problem podczas analizy ruchu obiektów w locie (w szczególności obiektów typu „wystrzel i zapomnij”). Wynika to z faktu, że w obiektach tych, w odróżnieniu od sterowanych obiektów latających, niwelowanie na torze lotu wpływu czynników zakłócających odbywa się jedynie za pomocą układów stabilizacji obiektu (autopilot). Stąd należy zmniejszać niekorzystne oddziaływanie tych czynników na drodze odpowiedniego doboru charakterystyk konstrukcyjnych oraz parametrów startu i lotu. W charakterze wskaźników (globalnych) oceny wpływu czynników zakłócających ruch PoKPR przyjmuje się odchyłki (błędy) startu oraz boczne odchyłki punktów włączenia USN od płaszczyzny strzelania. W przypadku sterowanych obiektów latających wskaźnikami tymi mogą być bieżące odchylenia parametrów ruchu od ich wartości uznanych za normalne, tj.:

- wpływ odchyłki masy pocisku na zmianę donośności;
- współczynniki poprawkowe uwzględniające zmianę ciśnienia i temperatury powietrza;
- odchyłki donośności wywołane stałym wiatrem podłużnym i bocznym;
- wpływ obrotu Ziemi na lot raket;
- zmiany donośności wynikające z krzywizny Ziemi.

Dla przeciwokrętowych kierowanych pocisków raketowych błędy konstrukcyjne rakiety i wyrzutni, błędy przygotowania strzelania i błędy ataku raketowego, w pewnym stopniu mogą być zniwelowane przez układy stabilizacji PoKPR. Jednak wielkość tych błędów niejednokrotnie może decydować o powodzeniu użycia uzbrojenia raketowego.

W ogólnym znaczeniu atak raketowy winien doprowadzić do weryfikacji założonych, w czasie przedstartowego przygotowania, wskaźników dotyczących prawdopodobieństwa uchwycenia i trafienia, wybranego do ataku celu. Istnieje wiele czynników mających wpływ na wartość tegoż prawdopodobieństwa. Są to, w ogólnym znaczeniu, błędy strzelania, które można scharakteryzować według różnych kryteriów.

Błędy towarzyszące strzelaniu w tym układzie można podzielić na 2 grupy¹².

- a. Błędy salwy (powtarzające się błędy), ich charakterystyki są jednakowe dla wszystkich PoKPR tej salwy. Główne źródła tych błędów to niedokładność pomiarów współrzędnych i pomiarów ruchu celu wprowadzane do przelicznika aparatury przedstartowej kontroli (AKP) i przyrządów kierowania strzelaniem (PKS);
- b. Błędy startu, charakteryzujące rozrzut techniczny każdego PoKPR. Ich źródłem są błędy rachunkowe i tolerancje produkcyjne poszczególnych elementów rakiety jak i zestawu raketowego w całości.

¹² Por. Tyszkiewicz H.: *Bojowe użycie okrętowych systemów broni raketowej i artylerii. Cz. 4. Ćwiczenia z bojowego użycia broni raketowej*, WSMW, Gdynia 1991, s. 8-11.

Ad a.

Błędy salwy w kierunku:

- określania współrzędnych miejsca celu;
- określenia wektora prędkości celu;
- uwzględniania wektora wiatru.

Błędy salwy w płaszczyźnie strzelania

Ze względu na to, że wszystkie błędy w kierunku (z wyjątkiem składowej wiatru) mają w obu płaszczyznach jednakowe wartości, możemy je zatem w płaszczyźnie strzelania traktować podobnie.

Ad b.

Błędy startu w kierunku:

- zorientowania wyrzutni i rozblokowania żyroskopu swobodnego kierunku;
- wypracowania namiaru strzelania przez przelicznik PKS;
- precesji żyroskopu kierunku pilota automatycznego;
- asymetrii siły ciągu - wektor siły ciągu nie przechodzi przez środek ciężkości PoKPR;
- przechyłu PoKPR.

Błędy startu w płaszczyźnie strzelania:

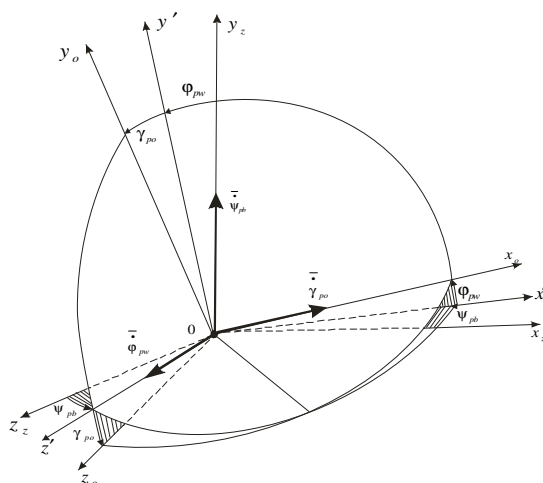
- rozrzutu prędkości PoKPR;
- odległości powodowane rozrzutem czasu włączenia USN;
- odległości powodowane niedokładnością wypracowania i wprowadzenia czasu do układów nadożnych rakiety.

Wymagania dla nosiciela

Wypracowanie danych do strzelania PoKPR odbywa się, zgodnie z graficzną interpretacją rozwiązania zadania trafienia rakieta – cel, za pomocą przyrządów kierowania strzelaniem (PKS).

Aby określić wpływ, wyszczególnionych błędów na raketę w czasie startu i na jej lot należy rozpatrzyć położenie samego nosiciela względem układu współrzędnych związanego z Ziemią, nosicielem (wraz z PoKPR) i celem (zob. rys. 2). Ze względu na to, że na manewr okrętu bezpośrednio wpływa stan morza, w takim przypadku można go rozłożyć na sześć czynników, z których 3 określają przemieszczenie się środka masy okrętu, a 3 kolejne – wpływ tego przemieszczenia na okręt względem środka jego ciężkości.

Kąty, określające położenie ziemskiego układu współrzędnych $O_1 x_1 y_1 z_1$ odnośnie układu współrzędnych związanego z okrętem $O_o x_o y_o z_o$ przedstawione są na rys. 2, natomiast kąty, określające chwilowe położenie okrętu z osiami nieruchomego układu współrzędnych, na rys. 6



Rys. 6. Kąty między układem współrzędnych związanych z Ziemią i okrętem

gdzie:

- x_z - poziomy ruch środka masy okrętu (odchylenie);
- z_z - poprzeczny ruch środka masy okrętu (przechylenie);
- y_z - pionowe przemieszczenia środka masy okrętu (pochylenie);
- ψ_{pb} - przechyły boczne (burtowe) - przechyły okrętu w płaszczyźnie poziomej odnośnie osi Oy_z przechodzącej przez środek ciężkości;
- ϕ_{pw} - przechyły wzdłużne - pochylenia okrętu w płaszczyźnie pionowej, przechodzącej przez osie Oy_z i Ox_o , prostopadle do płaszczyzny horyzontu x_zOz_z ;
- γ_{po} - odchylenia boczne - odchylenia okrętu w płaszczyźnie poziomej, przechodzącej przez osie Oy_o i Oz_o .

(Źródło: opracowanie na podstawie [11])

Literatura

- [1] Dimitriewskij A. A.: *Dwizenije raket*, MON ZSRR, Moskwa 1968.
- [2] Hoppe J.: *Rozprawa doktorska: Nawigacyjne aspekty sterowania lotem przeciwnokręto- wych kierowanych pocisków raketowych*. AMW, Gdynia 2007.
- [3] Kobierski J. W.: *Kierowanie ogniem naziemnych systemów obrony powietrznej*, AMW, Gdynia 2004.
- [4] Kobierski J. W.: *Praca naukowo-badawcza pk. NADIR*, AMW, Gdynia 2011.
- [5] Kobierski J. W.: *Praca naukowo-badawcza pk. TORAK*, AMW, Gdynia 2004.
- [6] Kobierski J. W.: *Praca badawcza pk. BUK*, WAT, Warszawa 2005.
- [7] Kołaczyński S.: *Cechy nawigacji, jako dyscypliny nauk technicznych. Geodezja i kartografia*, t. XXXVI, WSMW, Gdynia 1987.
- [8] Konieczny J.: *Inżynieria systemów działania*, WNT, Warszawa 1983.
- [9] Krasowski A., Pospielow S.: *Podstawy automatyki i cybernetyki technicznej*, GEI Moskwa 1962.
- [10] Latuchin A. N.: *Bojoweje uprawlienije raket*, MON ZSRR, Moskwa 1978.
- [11] Marynarka Wojenna: *Instrukcja opisu technicznego i zasad eksploatacji PoKPR*, zasoby AMW.
- [12] Tyszkiewicz H.: *Uzbrojenie raketowe. Część III. Wybrane zagadnienia bojowego użycia raket*, WSMW, Gdynia 1976.

- [13] Tyszkiewicz H.: *Bojowe użycie okrętowych systemów broni raketowej i artylerii. Część IV. Ćwiczenia z bojowego użycia broni raketowej*, WSMW, Gdynia 1991.
- [14] Tyszkiewicz H., Pietras J.: *Uzbrojenie raketowe. Część II. Systemy kierowania i ich elementy*, WSMW, Gdynia 1976.
- [15] Urbański J., Kopacz Z., Posiła J.: *Nawigacja morska, cz. I*, AMW, Gdynia 1995.