

dr inż. Ryszard Szalek
mgr inż. Marcin Szulc
Akademia Marynarki Wojennej

METODY WIELOKRYTERIALNEJ OCENY JAKOŚCI DANYCH NAWIGACYJNYCH W PROCESIE PROJEKTOWANIA SYSTEMU NAWIGACJI OKRĘTU PODWODNEGO

W referacie przedstawiono pewien aspekt aplikacji metod optymalizacji wielokryterialnej w problematyce doboru zestawów urządzeń nawigacyjnych na okrętach podwodnych, przeznaczonych do współpracy z nowo-projektowanym, zintegrowanym Systemem Nawigacji Okrętu Podwodnego SNOP-1.

MULTICRITERIAL ESTIMATION METHODS OF NAVIGATION DATES IN SUBMARINE NAVIGATIONAL SYSTEM PLANNING

In this paper any aspect of application multicriterial estimation methods in matter navigation equipment sets choice, destined for cooperation with designed, integrated Submarine Navigational System SNOP-1 in submarines is presented.

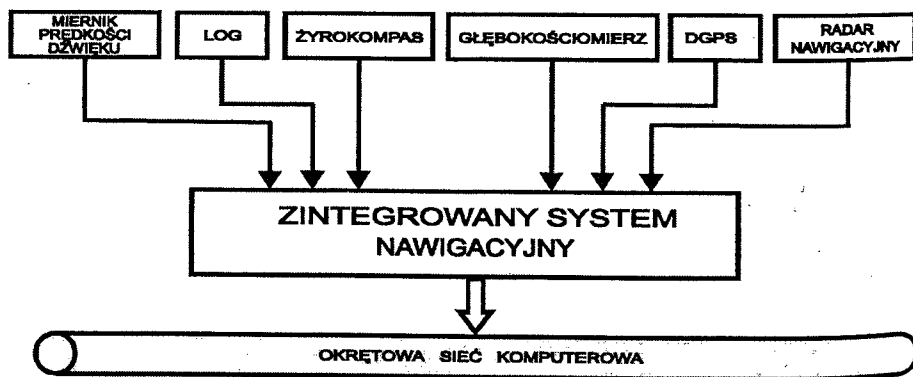
1. WPROWADZENIE

Nadrzędnym zadaniem każdego ze zautomatyzowanych, morskich systemów nawigacyjnych jest automatyczne określanie aktualnej pozycji jednostki pływającej oraz jej aktualnego wektora ruchu (realizowany kurs i prędkość okrętu) z możliwie największą dokładnością. Zintegrowany system nawigacyjny, jakim jest także przedmiotowy System Nawigacji Okrętu Podwodnego SNOP-1, poprzez integrację różnych źródeł nawodnej i podwodnej informacji nawigacyjnej, filtrację cyfrową i przetwarzanie pochodzących od nich danych, pozwala na otrzymywanie wyjściowych danych nawigacyjnych o precyzji większej, niż ta, jaką można uzyskać na podstawie odczytów z poszczególnych nawigacyjnych urządzeń pomiarowych, działających autonomicznie (rozdzielnie). Projektując i realizując taki, zintegrowany system nawigacyjny (ZSN), dąży się do jego optymalnej konfiguracji sprzętowej oraz oprogramowania, w oparciu o głęboką znajomość zjawisk, związanych z pozyskiwaniem, obiegiem i przetwarzaniem informacji nawigacyjnych oraz o matematyczno-fizyczną znajomość obiektu sterowania, jakim jest okręt podwodny. Osiągnięcie, przy powyższym założeniu, głównego celu, tj. uzyskiwanie estymowanych danych nawigacyjnych o wymaganej, wysokiej dokładności i wiarygodności, jest możliwe po dokonaniu doboru optymalnego zestawu nawigacyjnych urządzeń pomiarowych, przy uwzględnieniu istniejących, realnych uwarunkowań. Tę intuicyjnie oczywistą tezę potwierdzają także wyniki wielu prób ZSN, współpracujących z różnymi zestawami okrętowych urządzeń nawigacyjnych, w tym także zintegrowanego systemu SNOP-1. Próby tego ostatniego były prowadzone zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i podczas rejsów morskich na okrętach podwodnych Marynarki Wojennej RP w latach 2001 i 2002. Problematyka niniejszego referatu dotyczy

fazy projektowania zintegrowanego systemu nawigacyjnego okrętu podwodnego, przeznaczonego przede wszystkim do automatycznego określania estymowanego wektora stanu okrętu podwodnego podczas przejścia morzem.

2. STRUKTURA FUNKCJONALNA I WŁAŚCIWOŚCI SYSTEMU

Uogólnioną strukturę funkcjonalną modelu użytkowego SNOP-1 przedstawiono na rysunku 1. Projektowany system, wspomagający nawigatora na okręcie podwodnym (OP), jest specjalizowanym zestawem komputerowym, przeznaczonym do graficznego przedstawiania pozycji własnej OP oraz trajektorii jego ruchu na tle elektronicznej mapy nawigacyjnej akwenu. Na ekranie tego zestawu są również eksponowane w postaci alfanumerycznej aktualne, okrętowe dane nawigacyjne (współrzędne pozycji geograficznej, kurs, prędkość, głębokość zanurzenia OP). System zapewnia użytkownikowi możliwość bieżącej kontroli i planowania ruchu okrętu oraz bezpośredni dostęp do informacji nawigacyjno-hydrograficznej, dotyczącej zarówno aktualnego, jak i przewidywanego akwenu pływania. Nawigator uzyskuje również szereg dodatkowych informacji, m. in. takich, jak aktualny zamiar i odległość do dowolnego punktu akwenu, dane opisowe o latarniach morskich, pławach itp. Przy pływaniu nawodnym - system umożliwi śledzenie celów radarowych spośród bliskiego otoczenia własnego okrętu. Dokonuje on także zapisu i archiwizacji wybranych fragmentów albo całego rejsu własnego okrętu oraz spotkanych w położeniu nawodnym celów radarowych, z częstotliwością zapisu ustawianą przez operatora. Realizację założonych funkcji takiego systemu nawigacyjnego OP warunkuje właściwy dobór jego



Rys. 1. Struktura funkcjonalna Systemu Nawigacyjnego Okrętu Podwodnego SNOP-1

platformy sprzętowo-programowej, przy czym oprogramowanie użytkowe winno zapewnić współpracę z okrętowymi urządzeniami nawigacyjnymi. W pierwszym etapie prac badawczo-rozwojowych opracowano sprzęgi i algorytmy, umożliwiające przetwarzanie sygnałów z systemów i urządzeń okrętowych (odbiornik GPS/DGPS, radar nawigacyjny, log, żyrokompas, głębokościomierz itp.), opracowanie zasad ich przesyłania do stacji roboczej i rejestracji wybranych parametrów w okrętowej bazie danych, zgodnie z wymogami podpisanej przez Polskę rezolucji nr A.817 Międzynarodowej Organizacji Morskiej IMO (*International Maritime Organization*).

3. WEKTOR STANU I WEKTOR POMIARÓW

Wektor stanu okrętu podwodnego $\mathbf{X}(t_k)$ można najprościej przedstawić w postaci:

$$\mathbf{X}(t_k)^T = [\varphi(t_k), \lambda(t_k), V_x(t_k), V_y(t_k), \text{KDD}(t_k), z(t_k), h(t_k)], \quad (1)$$

- gdzie: φ - wartość szerokości geograficznej pozycji okrętu podwodnego,
 λ - wartość długości geograficznej pozycji OP,
 V_x - wartość składowej wzdłużnej wektora prędkości postępowej OP,
 V_y - wartość składowej poprzecznej wektora prędkości postępowej OP,
 KDD - wartość kąta drogi OP względem dna,
 z - wartość znosu OP,
 h - wartość głębokości zanurzenia okrętu.

Wektor pomiarów $\mathbf{Y}(t_k)$, odbierany w chwili t_k na wejściu urządzenia SNOP-1, celem przetworzenia na estymowany wektor stanu okrętu $\tilde{\mathbf{X}}(t_k)$, ma następującą postać:

$$\mathbf{Y}(t_k)^T = [\varphi(t_k), \lambda(t_k), D1(t_k), D2(t_k), V_x(t_k), V_y(t_k), K(t_k), h(t_k)], \quad (2)$$

- gdzie:
- $\varphi(t_k), \lambda(t_k)$ - współrzędne (szerokość i długość geograficzna) pozycji okrętu, określone w pozycji nawodnej OP przez odbiornik globalnego systemu pozycyjnego GPS;
 - $D1(t_k), D2(t_k)$ - współrzędne hiperboliczne, odpowiadające aktualnej pozycji okrętu, odczytywane z jednego z odbiorników fazolokacyjnych;
 - $V_x(t_k), V_y(t_k)$ - wartości obu składowych (wzdłużnej i poprzecznej) wektora wypadkowej prędkości postępowej okrętu $V(t_k)$, wskazywane przez log (elektromagnetyczny lub hydroakustyczny);
 - $K(t_k)$ - wartość aktualnego kursu, realizowanego przez okręt, wskazywanego przez kompas żyroskopowy lub magnetyczny;
 - $h(t_k)$ - wartość aktualnej głębokości zanurzenia OP.

4. METODYKA OCENY JAKOŚCI DANYCH

Formułując funkcje kryterium oceny jakości danych wyjściowych SNOP-1, utworzono listę wskaźników jego oceny. Ze względu na istotność oraz praktyczną przydatność w zastosowanych metodach oceny jakości estymowanego wektora stanu $\tilde{\mathbf{X}}$, jako wskaźniki jego oceny przyjęto:

- chwilowe błędy cząstkowe $\delta_{x_i}(t_k)$ poszczególnych składowych estymowanego wektora stanu $\tilde{\mathbf{X}}$ w chwili t_k ,
- wariacje chwilowych błędów cząstkowych $\sigma_{x_i}^2$,
- kowariancje chwilowych błędów cząstkowych c_{ij} .

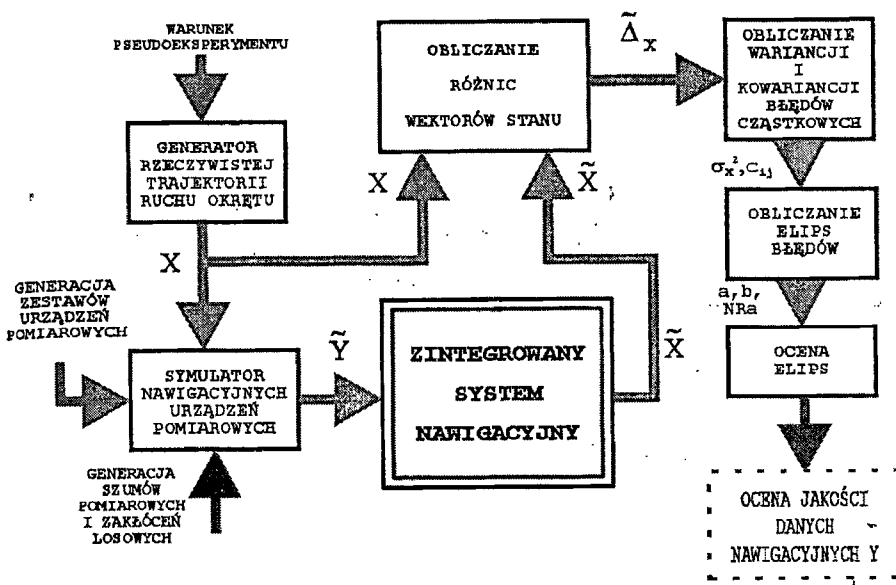
W założeniach prac projektowo-studyjnych przyjęto tezę, że ocena powinna umożliwić dobór optymalnego, w ustalonych warunkach, zestawu źródłowych urządzeń pomiarowych. W efekcie tych prac opracowano metodykę (rys. 2) oceny jakości danych nawigacyjnych, której kolejne sekwencje są następujące:

- w warunkach eksperymentu symulacyjnego dla każdego badanego zestawu urządzeń nawigacyjnych generuje się pseudo-rzeczywistą trajektorię ruchu okrętu;
- na wyjściu generatora trajektorii uzyskuje się pseudo-rzeczywisty wektor stanu $\mathbf{X}(t_k)$;
- na bazie składowych tego wektora w chwili t_k , symulator zestawu okrętowych urządzeń nawigacyjnych wytwarza wektor pomiarów $\mathbf{Y}(t_k)$, adekwatny do wektora stanu, lecz zakłócony symulowanymi szumami pomiarowymi i zakłóceniami. Symulator ten można modyfikować, poprzez generowanie różnych zestawów urządzeń nawigacyjnych, tzn., że symuluje się też różne, odpowiadające im wektory pomiarów $\mathbf{Y}(t_k)$;
- zintegrowany system nawigacyjny (SNOP-1) odczytuje kolejne sekwencje składowych wektora pomiarów $\mathbf{Y}(t_k)$, aby przetworzyć je na odpowiadające im zbiory składowych estymowanego wektora stanu $\tilde{\mathbf{X}}(t_k)$;
- rzeczywisty wektor stanu $\mathbf{X}(t_k)$ porównuje się z wektorem estymowanym $\tilde{\mathbf{X}}(t_k)$;
- następuje proces obliczania różnic poszczególnych, odpowiadających sobie, składowych obu wektorów, a więc obliczanie błędów cząstkowych $\delta_{x_j}(t_k)$;
- wytworzony z nich wektor - globalny błąd estymacji wektora stanu $\Delta\mathbf{X}(t_k)$, stanowi podstawę do oceny jakości danych nawigacyjnych w dowolnej chwili t_k .

Ocena ma oczywiście realny sens po reprezentatywnym czasie obserwacji $t = t_1, \dots, t_k, \dots, t_l$, na który składa się l chwil. Po upływie czasu obserwacji $t = t_l$, otrzyma się aż $m \times l$ wskaźników δ_{x_j} , gdzie: m - liczba składowych wektora stanu, l -

liczba pomiarów. Wobec tego, zdecydowano się na kumulację wskaźników oceny dokładności w postaci *średniej elipsy błędów*, uważanej za jedną z najlepszych miar, stosowanych do oceny dokładności pomiarów nawigacyjnych. Średnia elipsa błędów określania pozycji, w odróżnieniu od innych miar tej oceny, wskazuje także kierunki, w których pozycja jest odróżniona z większą dokładnością i kierunki, w których ta dokładność jest mniejsza. Średnią elipsę błędów charakteryzują główne półosie (a - wielka półoś elipsy, b - mała półoś elipsy) oraz kierunek wielkiej półosi - NRa . Praktycznie, wskaźnikami charakteryzującymi elipsę błędów będą wymiary jej półosi: a , b oraz kąt γ , ściśle związany z kierunkiem NRa (rys. 3). W ten sposób następuje znacząca redukcja z $(m \times l)$ wskaźników oceny do zaledwie trzech wskaźników, wyrażonych długościami obu półosi średniej elipsy błędów oraz wielkością kąta γ , zawartego między aktualną linią kursu okrętu LK, a kierunkiem wielkiej półosi tej elipsy. Dla określenia elementów średniej elipsy błędów dla czasu obserwacji $t = t_l$, uprzednio należy obliczyć odpowiednie wariancje błędów cząstkowych c_{ij} oraz kowariancje błędów cząstkowych c_{ij} , korzystając z wcześniej obliczonych błędów cząstkowych δ_{x_j} (składowych wektora

$\Delta\mathbf{X}$). Po obliczeniu elementów szeregu elips błędów, odpowiadających różnym warunkom eksperymentu i ewentualnym ich wykreśleniu, przystępuje się do oceny tych elips. Dla każdej trójki wskaźników (dla każdej elipsy błędów) rozpatrywano kilka metod tradycyjnych, bazujących na doświadczeniach nawigatorów oraz kilka metod optymalizacji wielokryterialnej.



Rys. 2. Schemat blokowo-funkcyjny metody oceny jakości danych nawigacyjnych

5. OCENA JAKOŚCI ŚREDNICH ELIPS BŁĘDÓW

5.1. Średnia elipsa błędów i wskaźniki jej oceny

Elementy średniej elipsy błędów (rys. 3): a - długość wielkiej półosi, b - długość małej półosi oraz NRa - kierunek wielkiej półosi a , będące wskaźnikami oceny średniej elipsy błędów, w zintegrowanym modelu prowadzenia nawigacji można wyznaczyć bezpośrednio z elementów macierzy kowariancji estymatora wektora stanu. Tak wyznaczone elementy elipsy błędów charakteryzują rozkład błędów prowadzenia nawigacji. Długości głównych półosi a i b średniej elipsy błędów wyznacza się z zależności:

$$\begin{aligned} a &= [1/2 (\sigma_\varphi^2 + \sigma_\lambda^2 + p)]^{1/2}, \\ b &= [1/2 (\sigma_\varphi^2 + \sigma_\lambda^2 - p)]^{1/2}, \\ p &= [(\sigma_\varphi^2 - \sigma_\lambda^2)^2 + 4c_{\varphi\lambda}]^{1/2}. \end{aligned} \quad (3)$$

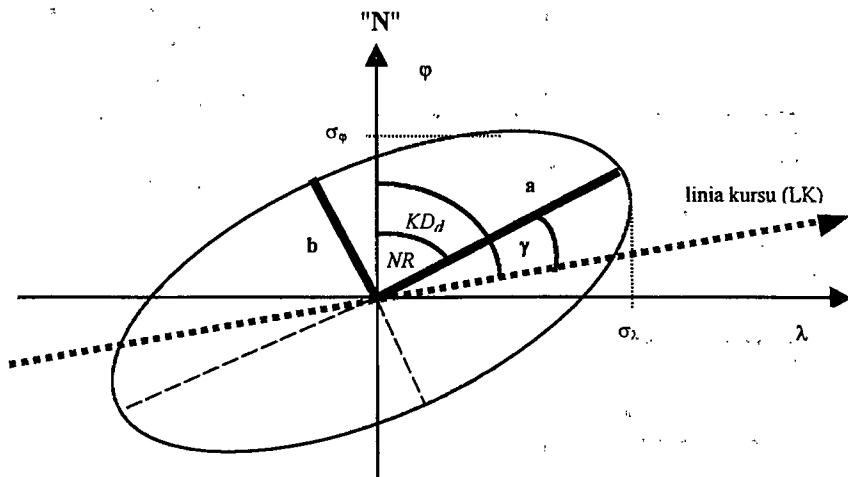
gdzie wyróżnik:

Kierunek NRa wielkiej półosi a średniej elipsy błędów, określa się wg zależności:

$$\begin{aligned} NRa &= |\psi| & \text{dla } \sigma_\varphi^2 - \sigma_\lambda^2 > 0, \quad c_{\varphi\lambda} > 0; \\ NRa &= 90^\circ - |\psi| & \text{dla } \sigma_\varphi^2 - \sigma_\lambda^2 < 0, \quad c_{\varphi\lambda} > 0; \\ NRa &= 270^\circ + |\psi| & \text{dla } \sigma_\varphi^2 - \sigma_\lambda^2 < 0, \quad c_{\varphi\lambda} < 0; \\ NRa &= 360^\circ - |\psi| & \text{dla } \sigma_\varphi^2 - \sigma_\lambda^2 > 0, \quad c_{\varphi\lambda} < 0, \end{aligned} \quad (4)$$

przy czym wartość kąta ψ , zawartego między osią rzędnych układu współrzędnych wielką półosią a wyznacza się natomiast ze wzoru:

$$\psi = 1/2 \operatorname{tg}^{-1} 2c_{\varphi\lambda} / (\sigma_\varphi^2 - \sigma_\lambda^2). \quad (5)$$



KD_d - kąt drogi okrętu (kurs) względem dna;
 NRa - kierunek półosi a średniej elipsy błędów (względem kierunku „N”);
 σ_φ - błąd średniokwadratowy określania szerokości geograficznej pozycji okrętu;
 σ_λ - błąd średniokwadratowy określania długości geograficznej pozycji okrętu.

Rys. 3. Ilustracja przyjętych kryteriów oceny średniej elipsy błędów

5.2. Tradycyjne metody oceny średnich elips błędów

Przyjęto, że do realizowanej oceny średnich elips błędów, wykorzystana się poniższe kryteria oceny, spośród tradycyjnych metod nawigatorów:

- wielkość powierzchni średniej elipsy błędów: $S_e = \pi ab \rightarrow \min$,
- wielkość błędu określania pozycji w kierunku prostopadłym do linii kursu LK:
 $\sigma_{pk} = (a^2 \sin^2 \gamma + b^2 \cos^2 \gamma)^{1/2} \rightarrow \min$,
- wielkość błędu średniego prowadzenia nawigacji: $M_n = \sqrt{Tr(C_{k/k})} \rightarrow \min$.

5.3. Polioptymalizacyjne metody oceny średnich elips błędów

Analiza tradycyjnych, nawigacyjnych sposobów wykorzystywania i oceny średnich elips błędów prowadzi do wniosku, że nie istnieje jeden, jednoznaczny i w pełni satysfakcjonujący sposób ich rzetelnej oceny. Każda metoda oceny, prowadząca do wyboru rozwiązania najlepszego (optymalnej realnej elipsy błędów) oraz uszeregowania pozostałych rzeczywistych rozwiązań - od najlepszego do najgorszego, stanowi pewien kompromis wobec innych kryteriów. W niniejszej metodyce, w procesie oceny uzyskanych w drodze eksperymentu laboratoryjnego średnich elips błędów postanowiono wobec tego zastosować, obok metod tradycyjnych, również kilka metod optymalizacji wielokryterialnej, będących ze swej istoty metodami rozwiązań kompromisowych. Zadaniem optymalizacji wielokryterialnej Z jest trójka uporządkowana:

$$Z: (X, F, R), \quad (6)$$

gdzie: $X \neq \emptyset$ - zbiór rozwiązań (decyzji) dopuszczalnych: $f(x) \in Y$;
 $F: X \rightarrow \mathfrak{R}^N$ - wektorowy wskaźnik jakości rozwiązań dopuszczalnych;
 $R \subset F(X) = F(X)$ - relacja dominowania: $(F(X) = \{F(X) \in \mathfrak{R}^N \mid x \in X\} = Y$,
 (zbiór Y stanowi przestrzeń kryterialną).

Korzystając z doświadczeń nawigatorów i praktyki morskiej, jako wskaźniki jakości rozwiązań dopuszczalnych F_n , gdzie: $n \in \{1, 2, 3\}$, tzn. jako kryteria tych ocen przy ocenach średnich elips błędów metodami polioptymalizacyjnymi, zdecydowano się przyjąć trzy niżej wyszczególnione parametry tych elips:

- $F_1 = a$ - wymiar wielkiej półosi średniej elipsy błędów,
- $F_2 = b$ - wymiar małej półosi średniej elipsy błędów,
- $F_3 = \gamma$ - wartość kąta, zawartego pomiędzy aktualną linią kursu okrętu LK a kierunkiem wielkiej półosi a .

Graficzną interpretację przyjętych wskaźników jakości średniej elipsy błędów przedstawiono na rys. 3. Wyboru optymalnego zestawu $x^* \in X$ zdecydowano się dokonać przy zastosowaniu metod polioptymalizacyjnych: punktu idealnego, kryterium wagowego (ważonego) i metody leksykograficznej.

5.3.1. Metoda punktu idealnego

Dla normy, określonej wzorem:

$$R_p^y(y) = \|y^* - y\|_p = \left[\sum_{n=1}^N (y_n^* - y_n)^p \right]^{1/p} \rightarrow \min, \quad (7)$$

jako punkt idealny y^* , przyjęto: $y^* = \langle a=0, b=0, \gamma=0 \rangle$.

Rozpatrzone rozwiązania kompromisowe z parametrami:

$$p=1: R_p^y = (\bar{a} + \bar{b} + \bar{\gamma}); \quad p=2: R_p^y = (\bar{a}^2 + \bar{b}^2 + \bar{\gamma}^2)^{1/2};$$

$$p=\infty: R_p^y = \max\{\bar{a}, \bar{b}, \bar{\gamma}\},$$

gdzie: $\bar{a}, \bar{b}, \bar{\gamma}$ - znormalizowane wartości elementów średniej elipsy błędów rozpatrywanego zestawu urządzeń.

5.3.2. Metoda kryterium wagowego

Jako kryterium wagowe oceny średnich elips błędów - obrazów ocenianych zestawów urządzeń nawigacyjnych, zastosowano:

$$F_w = (0,5 \bar{a} + \bar{b} + 0,3 \bar{\gamma}) \rightarrow \min. \quad (8)$$

5.3.3. Metoda leksykograficzna (hierarchiczna)

Jako kryterium oceny średnich elips błędów metodą leksykograficzną, zastosowano:

$$b \rightarrow \min., a \rightarrow \min., \gamma \rightarrow \min., \quad (9)$$

stosując przy jego egzekwowaniu tolerancję 10%, ze względu na spodziewane skupienie wyników (a, b, γ) i możliwe błędy przetwarzania (zaokrąglenia wartości).

6. ZASTOSOWANIE METODYKI OCENY ZESTAWÓW

6.1. Uwarunkowania przeprowadzenia pomiarów

Dla większej wiarygodności oceny zestawów urządzeń nawigacyjnych dla systemu SNOP-1, przeprowadzono cztery serie pomiarów, przy czym każda z serii dotyczy innych, ale porównywalnych warunków ruchu OP, przy jednakowych warunkach początkowych: *Seria I*: KDd = 52°, V = 3,3 węzła; *Seria II*: KDd = 52°, V = 10 węzłów; *Seria III*: KDd = 300°, V = 3,3 w.; *Seria IV*: KDd = 300°, V = 10 węzłów. Każda seria pomiarów - przy identycznej pozycji początkowej okrętu na Zatoce Gdańskiej: ($\varphi_0 = 54^\circ 34,000' N$, $\lambda_0 = 18^\circ 34,605' E$). Dla wszystkich pomiarów utrzymywano również jednakowy, śred-

ni poziom generowanych szumów pomiarowych i stochastycznych zakłóceń zewnętrznych, w przybliżeniu odpowiadających warunkom rejsu okrętu po Zatoce Gdańskiej w pełnym wynurzeniu, w letni dzień, w godzinach przedpołudniowych (temperatura powietrza: $10 \pm 15^\circ\text{C}$), przy stanie morza $1 \pm 2^\circ\text{B}$ i wietrze o kierunkach zmiennych i sile wiatru $2 \pm 3^\circ\text{B}$. Wobec wszystkich, generowanych kolejno na Stanowisku Oceny Jakości Zestawów Urządzeń Nawigacyjnych, 21 zestawów pomiarowych urządzeń nawigacyjnych, w każdej serii pomiarów zastosowano jednakowy, półgodzinny czas pomiarów, tj: $T_n = 1800\text{s}$, więc dla każdego badanego zestawu, w każdej serii, uzyskano po $n=1800$ odpowiadających sobie próbek „rzeczywistego” i estymowanego wektora stanu okrętu).

6.2. Sposób przeprowadzenia oceny zestawów

W rezultacie pomiarów, zrealizowanych w warunkach pseudo-eksperymentu laboratoryjnego, dla każdego badanego zestawu uzyskano po 1800 adekwatnych próbek wygenerowanego - „rzeczywistego” i estymowanego wektora stanu okrętu. Na podstawie uzyskanych w ten sposób danych przystąpiono do określania średnich elips błędów dla poszczególnych zestawów, zgodnie z przyjętą koncepcją. W efekcie realizacji programu obliczania elementów średnich elips błędów i ich wykreślenia, dla każdego, spośród ocenianych zestawów, uzyskano *metrykę zestawu urządzeń nawigacyjnych*, zawierającą wszystkie niezbędne dane i wyniki obliczeń, charakteryzujące konkretny zestaw w postaci alfanumerycznej oraz w formie wykresnej (średnia elipsa błędów, przedstawiona w skali dobranej do formatu wydruku). Na podstawie wyników pomiarów i obliczeń, zawartych w *metrykach* poszczególnych zestawów z każdej serii pomiarów, uformowano odpowiednie zestawienia elementów średniej elipsy błędów i obliczonych na ich podstawie wartości tradycyjnych funkcji kryterium oceny średnich elips błędów, dla każdego ocenianych zestawów tzn. obrazów otrzymanych w każdej serii pomiarów. W oprogramowaniu tej oceny, wykorzystano tradycyjne metody oceny i metody wielokryterialne. Wobec wyników każdej z czterech serii pomiarów (4×21 metryk), przeprowadzono, ocenę jakości zestawów urządzeń pomiarowych, stosując wymienionych wyżej osiem kryteriów. Utworzono listy rankingowe jakości ocenianych zestawów w aspekcie danego kryterium. Dla każdej serii pomiarów zebrano wyniki oceny zestawów urządzeń nawigacyjnych, w postaci lokaty każdego zestawu na liście rankingowej, wg każdego z przyjętych kryteriów oceny. Uzyskane w ten sposób trójkryterialne oceny średnich elips błędów, czyli numery (lokaty) na liście kolejności, stanowią wartości kryterium cząstkowego zagadnienia polioptymalizacji ośmiokryterialnej. Powstała więc potrzeba wyboru metody oceny jakości zestawów dla tego nowego zagadnienia polioptymalizacji, którego celem jest przeprowadzenie globalnej oceny zestawów w ramach każdej serii pomiarów, poprzez ustalenie globalnej listy rankingowej dla danej serii. Jest to następny krok w procesie oceny zestawów urządzeń nawigacyjnych. Oceny jakości zestawów również na tym etapie, zdecydowano się dokonać, dbając o jej obiektywizm, przy zastosowaniu metody punktu idealnego z parametrami: $p=1$ oraz $p=2$, przyjmując, że punktem idealnym jest pozycja nr 1 na globalnej liście rankingowej. Po uzyskaniu utworzonych w ten sposób globalnych list rankingowych jakości zestawów dla każdej z czterech serii pomiarów, dokonano końcowej oceny zestawów urządzeń pomiarowych. Oceny końcowej jakości zestawów dokonano poprzez zastosowanie kryterium ważonego o równych wagach.

7. WNIOSKI

W świetle uzyskanych wyników oceny jakości wybranych zestawów, nasunęły się następujące wnioski:

- Efekty przedstawionych tu skrótowo prac badawczych dostarczają narzędzia do oceny jakości zestawów urządzeń pomiarowych, współpracujących na okrętach (nawodnych i podwodnych) Marynarki Wojennej, jak i na innych jednostkach pływających i powietrznych, wyposażonych w zintegrowane systemy nawigacyjne.
- Opracowana metoda oceny jakości zestawów urządzeń nawigacyjnych, sprowadzona do oceny średnich elips błędów i łącząca w swej istocie tradycyjne metody nawigatorów z wielokryterialnymi metodami optymalizacyjnymi, zapewnia zobiektywizowanie tej oceny, umożliwiając przy tym jej sprawdzenie i weryfikację.
- Praktyczne wykorzystanie opracowanej metody i utworzonego narzędzia programowo-sprzętowego, w postaci Stanowiska Oceny Jakości Zestawów Urządzeń Nawigacyjnych, może dotyczyć następujących obszarów:
 - modyfikacja algorytmów oprogramowania użytkowego Zintegrowanych Systemów Nawigacyjnych;
 - dostarczenie użytkownikom eksploatowanych na okrętach MW zintegrowanych systemów nawigacyjnych (np. takich jak SZOP, SNOP, ZSN-AS) opracowanych tablic oraz metryk zestawów, dopuszczalnych na danym okręcie;
 - uwzględnianie, w algorytmach nowoprojektowanych, zintegrowanych systemów nawigacyjnych, problematyki optymalnego, automatycznego wyboru nawigacyjnych urządzeń pomiarowych.

LITERATURA

- [1] Ameljańczyk A.: *Optymalizacja wielokryterialna w problemach sterowania i zarządzania*, PTC wyd. PAN, Ossolineum, Wrocław 1984;
- [2] Ameljańczyk A.: *Optymalizacja wielokryterialna*, WAT, Warszawa 1986;
- [3] Garus J., Szalek R., Żak B.: *Nawigacyjny automatyczny nakreślacz drogi*. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej nt.: "Automatyzacja - nowości i perspektywy" AUTOMATION 1998, Warszawa 1998.
- [4] Garus J., Małecki J., Szalek R.: *Okrętowy zestaw komputerowy wspomagający pracę nawigatora*. Materiały XI Konferencji Naukowo-Technicznej nt. "Rola nawigacji w zabezpieczeniu działalności ludzkiej na morzu", Gdynia 1998;
- [5] Szalek R., Szulc M.: i inni: *Automatyczny nawigacyjny nakreślacz drogi dla okrętów podwodnych NAND-OP*. Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej statutowej IEE-NANDOP. Etap 1., AMW, Gdynia 1999.
- [6] Szalek R.: *Komputerowa ocena jakości danych nawigacyjnych dla potrzeb zautomatyzowanego określania pozycji jednostki pływającej* - Rozprawa doktorska, WAT, Warszawa 1999;
- [7] Garus J., Nitner H., Szalek R., Szulc M., Szymczak Z.: *System wspomagania nawigatora na okręcie podwodnym*. Materiały VIII Sympozjum Wojskowej Techniki Morskiej, Gdynia 2001;
- [8] Szalek R., Szulc M.: *Zintegrowany system nawigacji dla okrętu podwodnego*, Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej nt.: "Automatyzacja - nowości i perspektywy" AUTOMATION 2002, Warszawa 2002.

Praca zrealizowana w ramach projektu celowego nr 148318/C-T00/2001, finansowanego przez Komitet Badań Naukowych oraz Biuro Hydrograficzne Marynarki Wojennej.