

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA · MIEDZESZYN

BIULETYN

INFORMACYJNY

7(248)

1987

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

BIULETYN INFORMACYJNY

ROK 27

WARSZAWA 1987

NR 7/248/

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Biuletynu Informacyjnego

Redaktor Naczelny - dr inż. Krystyn Plewko
Z-ca Redaktora Naczelnego - dr inż. Stanisław Sołta

Redaktorzy działów:
dr inż. Alina Karwowska-Lamparska
mgr inż. Mirosław Żurawski

Adres Redakcji:
Instytut Łączności
Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej
Warszawa - Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

ISSN 0209-1046

Redaktor: mgr Krystyna Juskiewicz
Montaż tekstu: tech. Grażyna Woźnica

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 570. Wpłynęło do
Działu Wydawniczego 1987.09.23.
Druk ukończono w listopadzie 1987 r.

Andrzej Górski

PRZEGLĄD I PODSTAWOWE CHARAKTERYSTYKI
SATELITARNYCH SYSTEMÓW RADIONAWIGACYJNYCH
ORAZ SYSTEMÓW ŁĄCZNOŚCI W NIEBEZPIECZEŃSTWIE
I DLA POTRZEB BEZPIECZEŃSTWA W SŁUŻBACH MORSKICH

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wprowadzenie	1
2. Klasyczne systemy radionawigacyjne	2
2.1. System LORAN-A	2
2.2. System LORAN-C	5
2.3. System Decca	6
2.4. System Omega	6
3. Satelitarne systemy radionawigacyjne	12
3.1. System NAVSTAR	16
3.2. System TRANZYT	24
3.3. System telekomunikacyjny NAVTEX	29
4. Zastosowanie satelitarnych systemów łączności w akcjach poszukiwania obiektów będących w nie- bezpieczeństwie	32
4.1. System GRAN	35
4.2. System TWERLE	36
4.3. System ARGOS	36
4.4. System DRCS	36
4.5. System SAMSARS	37
4.6. System SARSAT	37
4.7. System COSPAS - SARSAT	38
4.8. Zastosowanie radaru w akcjach poszukiwania i ratowania na morzu /radio detection and ranging/	39
4.9. Globalny morski system łączności w niebez- pieczeństwie i dla potrzeb bezpieczeństwa - - GMDSS	41
Wykaz literatury	42



PRZEGLĄD I PODSTAWOWE CHARAKTERYSTYKI
SATELITARNYCH SYSTEMÓW RADIONAWIGACYJNYCH
ORAZ SYSTEMÓW ŁĄCZNOŚCI W NIEBEZPIECZEŃSTWIE
I DLA POTRZEB BEZPIECZEŃSTWA W SŁUŻBACH MORSKICH

1. WPROWADZENIE

Zalety satelitarnych systemów w radionawigacji są znane szeroko, a satelitarne systemy łączności w niebezpieczeństwie i dla potrzeb bezpieczeństwa na morzu będą w najbliższej przyszłości odgrywać decydującą rolę. Wymienione dziedziny systemów budzą stale wzrastające zainteresowanie armatorów statków, wojskowych służb morskich i lotniczych oraz administracji państwowych.

Podstawowe zasady budowy i eksploatacji systemów satelitarnych zostały opisane w podręcznikach [2, 3] i w licznych artykułach [1, 4, 5], stąd w niniejszym przeglądzie ograniczono się do skrótowego przedstawienia podstaw technicznych i charakterystyk systemów, z uwzględnieniem ich rozwoju oraz najnowszych osiągnięć w tej dziedzinie.

Systemy satelitarne dotychczas eksploatowane i projektowane w morskiej służbie radiokomunikacyjnej można podzielić, uwzględniając funkcje jakie one realizują, na:

- systemy łączności radiokomunikacyjnej,
- systemy radionawigacyjne,
- systemy łączności w niebezpieczeństwie i dla potrzeb bezpieczeństwa na morzu.

Pod względem strukturalnym wymienione systemy mają wiele wspólnych cech, każdy bowiem zawiera satelitę /lub konstelację satelitów/, urządzenia pokładowe, urządzenia antenowe i współpracujące stacje naziemne /SN/.

Dalszy podział systemów na systemy bierne i systemy czynne można przeprowadzić, uwzględniając kierunki przekazywania informacji. Do pierwszej grupy zalicza się systemy, w których urządzenia pokładowe statku, samolotu, są wyposażone tylko w odbiorczą część systemu, do drugiej zalicza się te, w których urządzenia pokładowe zawierają część nadawczą i odbiorczą. W ramach satelitarnego systemu radiokomunikacji morskiej wydziela się odpowiednie podsystemy, a mianowicie:

- podsystem urządzeń satelitarnych,
- podsystem urządzeń użytkownika,
- podsystem sterowania,
- podsystem stacji naziemnych.

2. KLASYCZNE SYSTEMY RADIONAWIGACYJNE

Do klasycznych systemów nawigacyjnych zalicza się obecnie systemy stosujące środki astronomiczne i środki radiowe bez wykorzystania satelitów radionawigacyjnych. Są to:

CONSOL - długofalowy system średniego i dalekiego zasięgu -
 - charakteryzujący się małą dokładnością, lecz bardzo prostą aparaturą pokładową statku /zwykły odbiornik radiokomunikacyjny/.

LORAN - /Long Range Navigation/ średniodalowy, impulsowy system średniego zasięgu /stosowany od roku 1943/ i jego modyfikacje /A, B, C, D/.

2.1. System LORAN-A

System LORAN-A jest systemem radionawigacyjnym służącym do określenia pozycji statku z dokładnością zabezpieczającą bezpieczne pływanie po otwartym morzu. Zasada pracy systemu polega na pomiarze różnicy odległości statku od dwóch stacji brzegowych nadających synchronicznie impulsy radiowe. Przy znanej prędkości rozchodzenia się fal radiowych, różnicy odległości odpowiada różnica czasu Δt pomiędzy momenta-

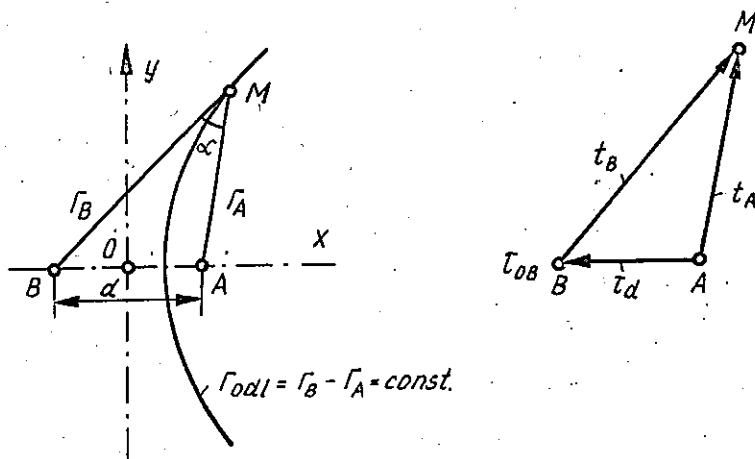
mi czasu, w których jest odbierany impuls ze stacji brzegowej. Różnica czasu Δt jest w systemie LORAN parametrem nawigacyjnym. Miejsce geometryczne punktów charakteryzujących się stałą różnicą $|\Delta t| = \text{constans}$ / odległości statku od dwóch stacji brzegowych tworzy na powierzchni ziemi izolinie w postaci hiperboli /rys. 1 i 2/. Stąd pochodzi nazwa systemu: impulsowy system hiperboliczny. System wykorzystuje częstotliwości nośne 1950 kHz, 1850 kHz, 1900 kHz; częstotliwość powtarzania impulsów wynika z zależności:

$$T_{Hx} = /300 - N/ 100 \mu s,$$

$$T_{Lx} = /400 - N/ 100 \mu s,$$

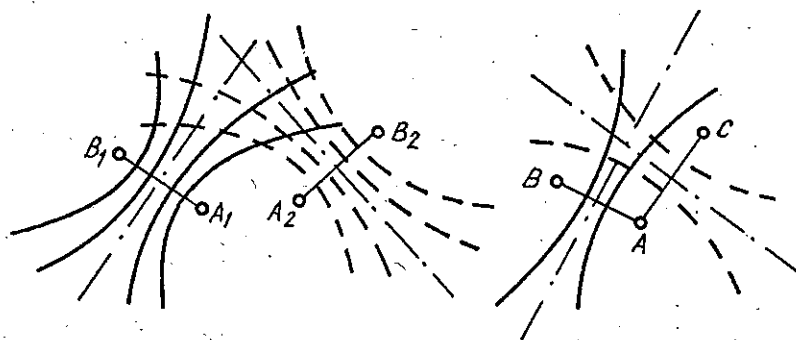
$$T_{Sx} = /500 - N/ 100 \mu s,$$

gdzie $N = 0, 1, 2 \dots, 7$.



Rys. 1. Linia pozycyjna wyznaczana w radionawigacyjnym systemie hiperbolicznym

x/ H - "high" - wysoki, L - "low" - niski, S - "specjal" - specjalny.



Rys. 2. Siatki hiperbol w radionawigacyjnym systemie hiperbolicznym

Możliwość rozpoznania sygnałów nadawanych przez stację wiodącą i stację podporządkowaną /tj. przez jedną parę stacji/ wynika z istnienia opóźnienia momentu czasu nadawania sygnału jednej stacji względem momentu czasu nadawania sygnału drugiej stacji /tzw. opóźnienie kodowane - ustalone/. Pokładowa aparatura odbiorcza mierzy czas opóźnienia sygnałów przychodzących ze stacji podporządkowanej względem sygnałów przychodzących ze stacji wiodącej, tj. określa wartość różnicy czasu Δt . Pomiar tej różnicy czasu odbywa się poprzez kompensację opóźnienia czasowego między impulsami przychodzącymi od dwóch stacji za pomocą układów opóźniających. Wyznaczanie pozycji w systemie hiperbolicznym opiera się na wykorzystaniu punktu przecięcia dwóch hiperboli pozycyjnych, w których każda charakteryzuje się stałą wartością różnicy odległości między jej dowolnym punktem a ogniskową hiperboli.

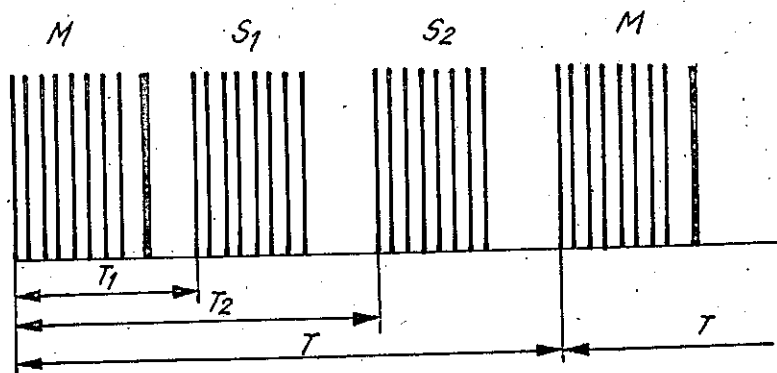
Istnieje wiele wersji pokładowych urządzeń statkowych z obsługą ręczną i automatyczną. Wszystkie wersje są przystosowane do odbioru zarówno sygnałów LORAN-A jak i LORAN-C, przy czym zasięgi stacji zależą od mocy promieniowanej, warunków hydrometeorologicznych i warunków propagacyjnych, np. dla systemu LORAN-A przy mocy promieniowanej 160 kW zasięg

użyteczny fali powierzchniowej w dzień wynosi 600 - 700 mil, a przy mocy 1 MW około 800 ÷ 900 mil.

2.2. System LORAN-C

LORAN-C jest hiperbolicznym, impulsowo-fazowym systemem, służącym do określania pozycji statku. Stacje brzegowe współpracują w zespołach, które składają się ze stacji wiodącej i kilku /od 2 do 7/ stacji podporządkowanych. Wszystkie stacje pracują na jednej częstotliwości nośnej 100 kHz i posiadają ten sam okres powtarzania impulsów $T_S = /500 - N/ 100 \mu s$, a dla drugiego zespołu $T_{SH} = /600 - N/ 100 \mu s$. Sygnały stacji podporządkowanych są dokładnie synchronizowane amplitudowo i fazowo sygnałami stacji wiodącej.

Celem zwiększenia zasięgu podwyższa się średnią moc promieniowania poprzez nadawanie serii impulsów: dla stacji podporządkowanych 8 impulsów co 1 ms, a dla stacji wiodącej 8 impulsów plus 1 impuls zwany znacznikiem /rys. 3/. Aby



Rys. 3. LORAN-C seria impulsów zespołu: stacji wiodącej /M/ i podporządkowanych /S₁, S₂/

uniknąć wpływu fali przestrzennej przy seryjnym nadawaniu impulsów wprowadzono kodowanie fazowe impulsów /faza impulsu wielkiej częstotliwości w serii zmienia się o 180° wg okre-

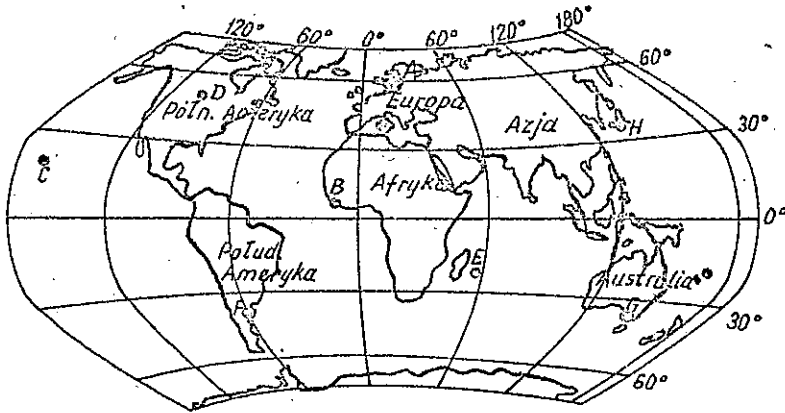
ślonego kodu/. Kodowanie takie ułatwia rozróżnianie stacji. Na rys. 3 przedstawiono rozkład w czasie jednej serii impulsów. Pokładowe urządzenia odbiorcze wydzielają sygnały stacji kierującej i podążające za nimi sygnały stacji podporządkowanych, a następnie dokonują zgrubnego i dokładnego pomiaru. Pomiar zgrubny polega na porównaniu położenia impulsów, natomiast pomiar dokładny jest dokonywany poprzez porównanie faz drgań wielkiej częstotliwości, tworzących te impulsy.

2.3. System Decca

System Decca jest długofalowym, fazowym, hiperbolicznym systemem radionawigacyjnym, przeznaczonym do określania pozycji statku na morzu /linii pozycyjnej/. System eksploatowany jest na obszarach ograniczonych, takich jak: np. Morze Bałtyckie, Morze Północne, Zatoka Biskajska, rejon Nowego Jorku, Zatoka Bengalska, północne Japonii itd. Decca jest systemem hiperbolicznym, którego zasada pracy jest oparta na pomiarze różnicy odległości statku od stacji brzegowych, nadających koherentne fale radiowe, /których długości znajdują się w stałym stosunku równym liczbie całkowitej/ w zakresie długofalowym 85 - 130 kHz.

2.4. System Omega

Omega jest superdługofalowym, hiperbolicznym o zasięgu globalnym, systemem radionawigacyjnym przeznaczonym do określania pozycji statku. Zalicza się do systemów fazowych z czasową selekcją sygnałów radiowych. Zasada pracy systemu polega na określeniu przez urządzenia pokładowe statku linii pozycyjnej na podstawie pomiarów różnicy faz sygnałów radiowych dochodzących z dwóch stacji brzegowych. Obecnie działanie systemu zapewnia 8 stałych stacji brzegowych zlokalizowanych w Norwegii, Liberii, na Wyspach Hawajskich, USA, Argentynie, Trynidadzie /rys. 4/.

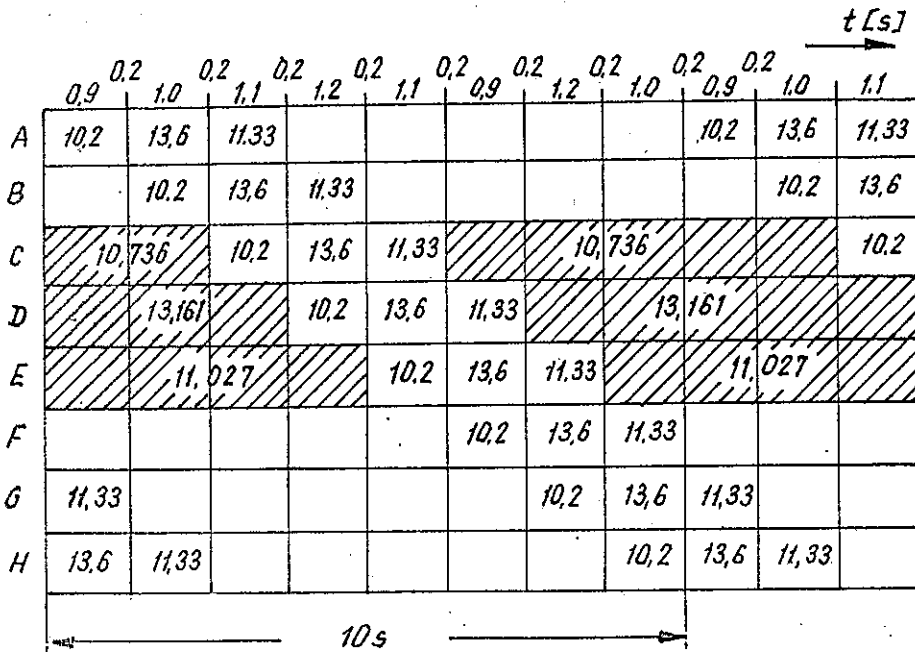


Rys. 4. Lokalizacja stacji nadawczych systemu OMEGA

Podstawowe charakterystyki systemu podano w tabelicy 1. Każda stacja brzegowa nadaje na następujących częstotliwościach: 10,2 kHz, 11,33 kHz, 13,6 kHz /11,05 kHz/. Rozpoznanie stacji brzegowych przez urządzenia pokładowe statku jest możliwe dzięki ustalonymu czasowemu diagramowi nadawania. Ustalono czas trwania sygnału i kolejność nadawania /por. rys. 5/. Pozwala to na dokładne określenie, z której stacji w danym momencie dociera sygnał. Pomiar różnicy faz przeprowadza się na częstotliwości 10,2 kHz, a pozostałe częstotliwości służą do usunięcia niejednoznaczności odczytu, również przez pomiar różnicy faz. Oprócz wymienionych częstotliwości pracy, każda ze stacji posiada własną indywidualną częstotliwość roboczą /unique frequency/ położoną w zakresie 11,8 - 13,1 kHz.

Te dodatkowe częstotliwości są wykorzystywane do następujących celów:

- rozpoznania stacji,
- określenia pozycji statku,
- synchronizacji komutatora pokładowego,
- zgrubnego określenia pozycji,



Rys. 5. Diagram nadawanych sygnałów OMEGA /częstotliwości kHz 0,2 s - przerwa/

- nadawania sterujących sygnałów w sieci stacji systemu,
- powiązania czasu systemowego z czasem uniwersalnym.

Stacje brzegowe są synchronizowane z czasem uniwersalnym dzięki stosowaniu wysokostabilnych generatorów atomowych / 10^{-14} /. Dokładna synchronizacja umożliwia stosowanie sygnałów tych stacji jako wzorca czasu dla systemu, jak również do celów ogólnych. Na stacjach pokładowych są stosowane generatory kwarcowe / 10^{-8} / dodatkowo synchronizowane z wzorcem czasu, co umożliwia dokładne pomiary fazy.

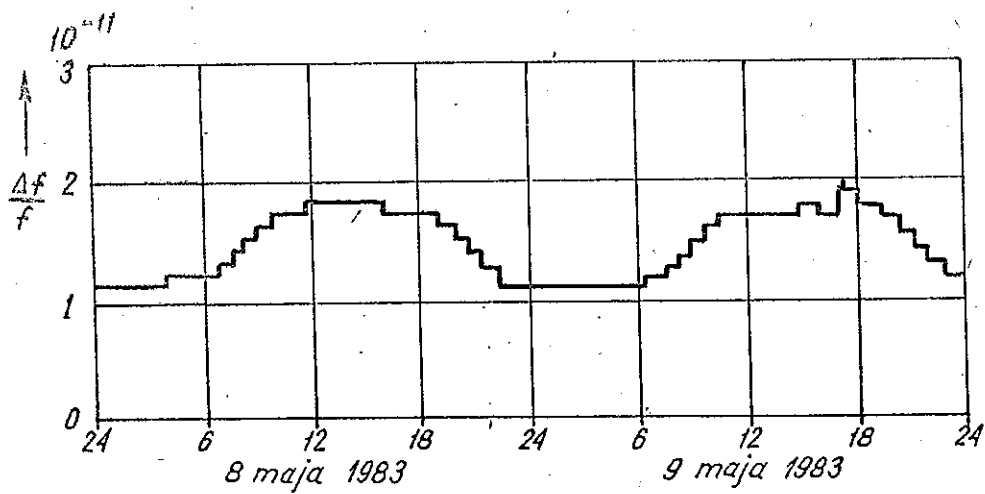
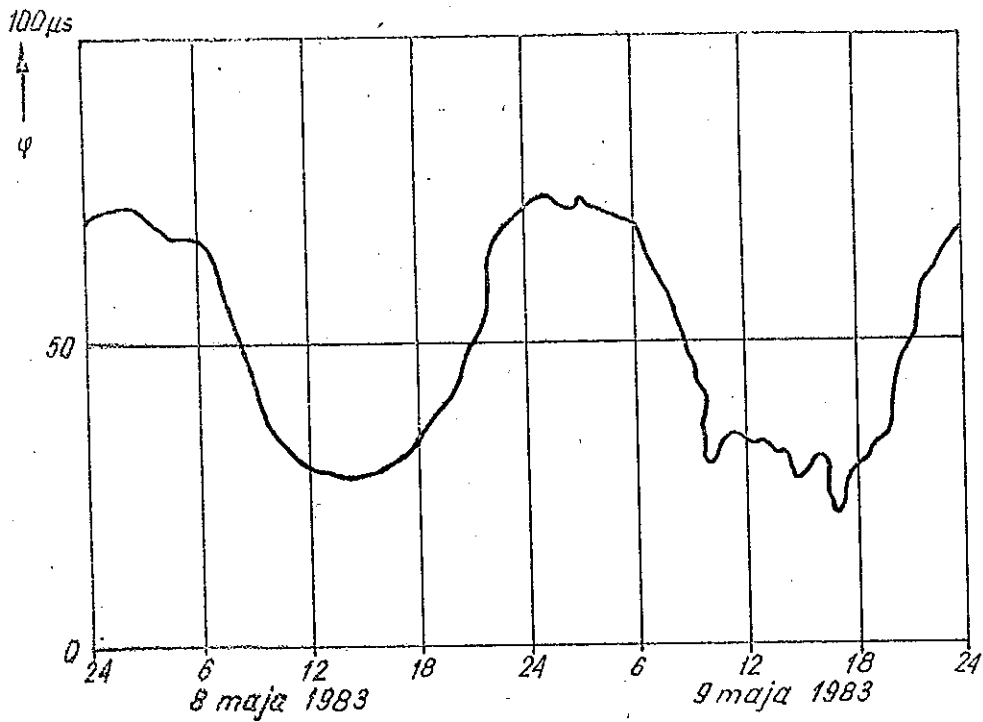
W systemie Omega stacje brzegowe oprócz podstawowej częstotliwości 10,2 kHz wykorzystują także dodatkowe częstotliwości 11,33 kHz i 13,6 kHz. Urządzenia pokładowe statku przeprowadzają pomiary fazowe na częstotliwości różnicowej 3,4 kHz /13,6-10,2 kHz/ lub na częstotliwości 1,133 kHz /11,3-10,2 kHz/. Określona różnica faz /odpowiadająca róż-

Ogólne charakterystyki systemów nawigacyjnych

Nazwa systemu	Dokładność mil	Wymagany czas obserwacji	Zasięg działania
Astronomiczny	1 - 8	15 min	nieograniczony
LORAN-A	1 - 5 zależy od położenia odbiornika względem stacji	1 s	maksimum 2500 mil na półkuli północnej
LORAN-C	1 - 2	1 s	1200 mil na półkuli północnej
Decca	0,01 - 2 w zależności od odległości	1 s	1200 mil dla ograniczonych obszarów
Omega	1 - 2	1 s	5000 mil

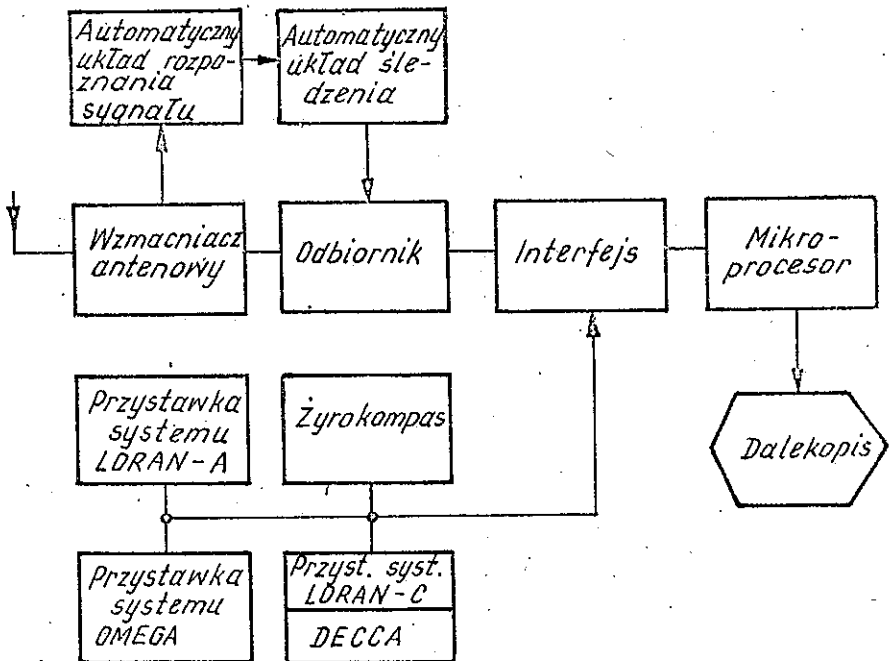
nicy odległości od stacji brzegowej/ na niskich częstotliwościach daje większe odstępy pomiędzy hiperbolami, co ułatwia usunięcie niejednoznaczności w określeniu pozycji. System Omega jest obecnie intensywnie rozwijany w związku z przewidywanym zastosowaniem systemu w radionawigacji satelitarnej.

Głównym aktualnym problemem superdługofalowej radionawigacji jest podwyższenie dokładności odczytów parametru nawigacyjnego. Opracowano wiele systemów umożliwiających uwzględnienie regularnych wariacji fazy, które przykładowo dla jednej z tras pokazano na rys. 6.



Rys. 6. Regularne zmiany fazy

Nowe warianty systemu Omega, takie jak: systemy "Różnicowa Omega", "Standard Omega", "Mikro Omega", "Cyfrowa Omega" itp., nie wykluczają się wzajemnie. W wyposażeniu statku w urządzenia pokładowe rośnie wówczas jedynie liczba przystawek systemowych /rys. 7/. Wariant różnicowy systemu Omega rozszerza możliwości systemowe. Przede wszystkim zostaje podwyższona dokładność odczytu, za pośrednictwem odpowiednich poprawek, uwzględniających regularne propagacyjne zmiany fazy fal superdługich. Robocze charakterystyki stacji nadającej poprawki w systemie "Różnicowa Omega" zostały określone w 1979 roku na sesji IMO^{x/} jako standard międzynarodowy.



Rys. 7. Blokowy schemat wyposażenia radionawigacyjnego statku

^{x/} IMO - International Maritime Organisation.

3. SATELITARNE SYSTEMY RADIONAWIGACYJNE

Satelitarne systemy radionawigacyjne posiadają wiele zalet w porównaniu z systemami klasycznymi, a mianowicie:

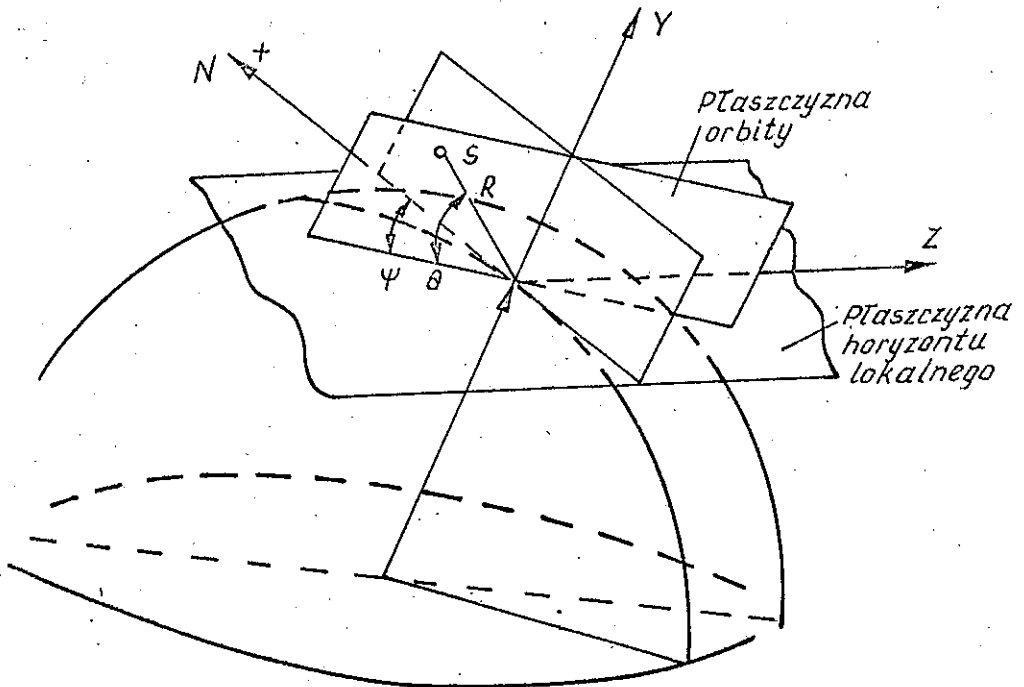
- globalność systemów - systemy klasyczne /z wyjątkiem systemu Omega/ nie zapewniają takich warunków;
- dużą /zgodną z wymaganiami IMO/ i jednakową dokładność w całym obszarze stosowalności;
- niezależność od warunków hydrometeorologicznych;
- niezależność od pory roku i doby;
- możliwość przekazywania dodatkowych informacji nie związanych z nawigacją.

Satelitarne systemy nawigacyjne są przeznaczone do określania współrzędnych pozycji statku na morzu. Współcześnie pod pojęciem nawigacji satelitarnej rozumie się - teorię, metody i środki do określania pozycji statku i jego prędkości za pośrednictwem satelitów nawigacyjnych. Określenie pozycji statku na morzu przeprowadza się epizodycznie, a w przedziałach pomiędzy obserwacjami dokonuje się "zliczanie" drogi, czyli drogę statku wykreśla się graficznie na mapie. Proces obserwacji składa się z trzech etapów /stałymi punktami nawigacyjnymi są w tym przypadku satelity nawigacyjne/, a mianowicie:

- ustalenie wzajemnego związku statku i satelity, co sprawdza się do pomiaru parametrów nawigacyjnych względem środka układu współrzędnych znajdującego się w punkcie położenia jednego z obiektów;
- określenie współrzędnych satelity w momentach wykonywania pomiarów parametrów nawigacyjnych;
- obliczanie współrzędnych statku.

Stosując sferyczno-topocentryczny układ współrzędnych, położenie satelity względem statku może być ustalone na pod-

stawie pomiarów odległości i dwóch współrzędnych kątowych - - azymutu i kątowej wysokości /rys. 8/. Odległość i współrzędne kątowe zalicza się do podstawowych parametrów nawigacyjnych /tzw. pierwotnych/. Wymienione parametry mogą być pomierzone bezpośrednio metodami radiowymi i pozwalają na jednoznaczne wyznaczenie w przestrzeni wektora R , określającego wzajemne położenie satelity i statku w momencie pomiaru. Jest oczywiste, że pozycja statku w układzie współrzędnych absolutnych może być określona tylko w przypadku, gdy znane są współrzędne absolutne satelity lub innego stałego punktu nawigacyjnego.



Rys. 8. Pomiarowy układ współrzędnych

ψ - azymut, θ - kąt pozycji, N - północ, R - odległość satelity /S/ statek, S - położenie satelity

Systemy nawigacyjne wykorzystujące pomiary jednego parametru nawigacyjnego nazywa się systemami jednoparametrycznymi, a systemy wykorzystujące wiele parametrów - systemami wieloparametrycznymi. Systemy wieloparametryczne pozwalają na określenie współrzędnych obiektu z wykorzystaniem jednego punktu nawigacyjnego o znanych współrzędnych. Systemy jednoparametryczne wymagają kilku punktów nawigacyjnych lub jednego punktu ruchomego /kolejne, określone położenia w przestrzeni satelity odpowiadają kilku nieruchomym punktom nawigacyjnym/.

Do wtórnych parametrów nawigacyjnych zalicza się, np.:

- różnicę odległości do dwóch punktów nawigacyjnych,
- sumę odległości,
- prędkość zmian odległości.

W tabelicy 2 podano zestawienia radiokomunikacyjnych systemów z określeniem głównego parametru nawigacyjnego. Np. w aktualnym systemie MARSAT parametrem nawigacyjnym jest odległość D określona równaniem:

$$D_i = CT_i - \sqrt{(X_s - X_i)^2 + (Y_s - Y_i)^2 + (Z_s - Z_i)^2}$$

gdzie:

D_i = odległość do satelity w i -tym pomiarze,
 T_i - czas przejścia sygnału od satelity do statku,

X_s, Y_s, Z_s - poszukiwane współrzędne statku,

X_i, Y_i, Z_i - /dane/ współrzędne satelity określone w kolejnym i -tym pomiarze.

W ogólnym przypadku konieczne są trzy pomiary odległości do trzech różnych satelitów lub trzy kolejne pomiary odległości do trzech różnych położenia jednego satelity.

W systemie pasywnym NAVSTAR parametrem nawigacyjnym jest quasi - odległość określona równaniem:

$$D_q = \sqrt{(X_s - X_1)^2 + (Y_s - Y_1)^2 + (Z_s - Z_1)^2} - Q_D$$

gdzie:

- D_q - quasi odległość w i-tym pomiarze,
 Q_D - systematyczny błąd pomiaru odległości $Q_D = c \Delta T_o$,
 ΔT_o - niedopasowanie skal czasu satelity i statku.

Tablica 2

Satelitarne systemy radionawigacyjne

Rodzaj systemu	Nazwa systemu	Parametr nawigacyjny
Radionawigacyjne systemy aktywne /zapytanie - odpowiedź/	PLACE MARSAT AEROSAT ASTRO-DABS	D - odległość użytkownika od satelity
Radionawigacyjne systemy pasywne /1 rodzaju/	621 - B TIMATION NAVSTAR	D_q - quasi - odległość
Radionawigacyjne systemy pasywne /2 rodzaju/	-	ΔD - różnica odległości użytkownika od dwóch kolejnych położań satelity
Dopplerowskie systemy nawigacyjne	TRANZYTT /NNS/	$N = \int_t^{t+\Delta T} f dt$ całkowanie dopplerowskiego przesunięcia częstotliwości
<p>NAVSTAR - Navigation Satellite Providing Time and Range. MARSAT - Maritime Satellite. PLACE - Position Location and Communication Equip. AEROSAT - Aeronautical Satellite System. NNS - Navi Navigation Satellite System.</p>		

Terminu quasi /pozorna/ odległość wynika z istnienia czło-
 nu Q_D powodującego niezgodność odległości D_q z odległością
 rzeczywistą. Podczas pomiaru ΔT_0 powinno mieć wartość sta-
 łą, co oznacza, że stabilność częstotliwości generatorów
 satelity i statku powinna być dostatecznie wysoka lub sieć
 satelitów powinna być zsynchronizowana. Do określania pozy-
 cji statku wymagane są cztery pomiary odległości od różnych
 satelitów.

3.1. System NAVSTAR

Radionawigacyjny system NAVSTAR, w którym są wykorzy-
 stywane satelity nawigacyjne do określania pozycji i czasu,
 powstał w 1975 r. na podstawie realizowanych przez Mini-
 sterstwo Obrony USA systemów TIMATION i 621 B. NAVSTAR jest
 przeznaczony do określania /praktycznie w sposób ciągły, nie-
 zależnie od warunków hydrometeorologicznych/ trzech współ-
 rzędnych pozycji i prędkości oraz rzeczywistego czasu użyt-
 kownika systemu /statek, samolot, rakieta, platforma itp./.
 System ten ma zasięg globalny /GPS - Global Position System/.
 System NAVSTAR po pełnym jego wprowadzeniu do eksploatacji
 wyeliminuje konieczność stosowania istniejących systemów na-
 wigacyjnych GPS, takich jak: LORAN, Omega, TUKAN, TRANSYT.

System NAVSTAR jest systemem biernym, to znaczy określe-
 nie pozycji użytkownika polega wyłącznie na pomiarze sygna-
 łów wysyłanych z satelitów, nie są wymagane natomiast sygna-
 ły zwrotne. W systemie tym wykorzystuje się, tak zwany czas
 systemowy różniący się od czasu uniwersalnego. Czas systemo-
 wy jest zsynchronizowany z czasem uniwersalnym z dokładno-
 ścią do $\pm 100 \mu s$. Wynika to z konieczności wykorzystania w
 systemie zewnętrznych informacji związanych z czasem uniwer-
 salnym. Czas ten jest przesyłany do użytkownika jako dodat-
 kowa informacja.

W zestaw systemu NAVSTAR wchodzi: podsystem urządzeń sa-
 telitarnych, podsystemy kontroli i sterowania /kompleks na-
 ziemny/ oraz podsystem urządzeń nawigacyjnych użytkownika.

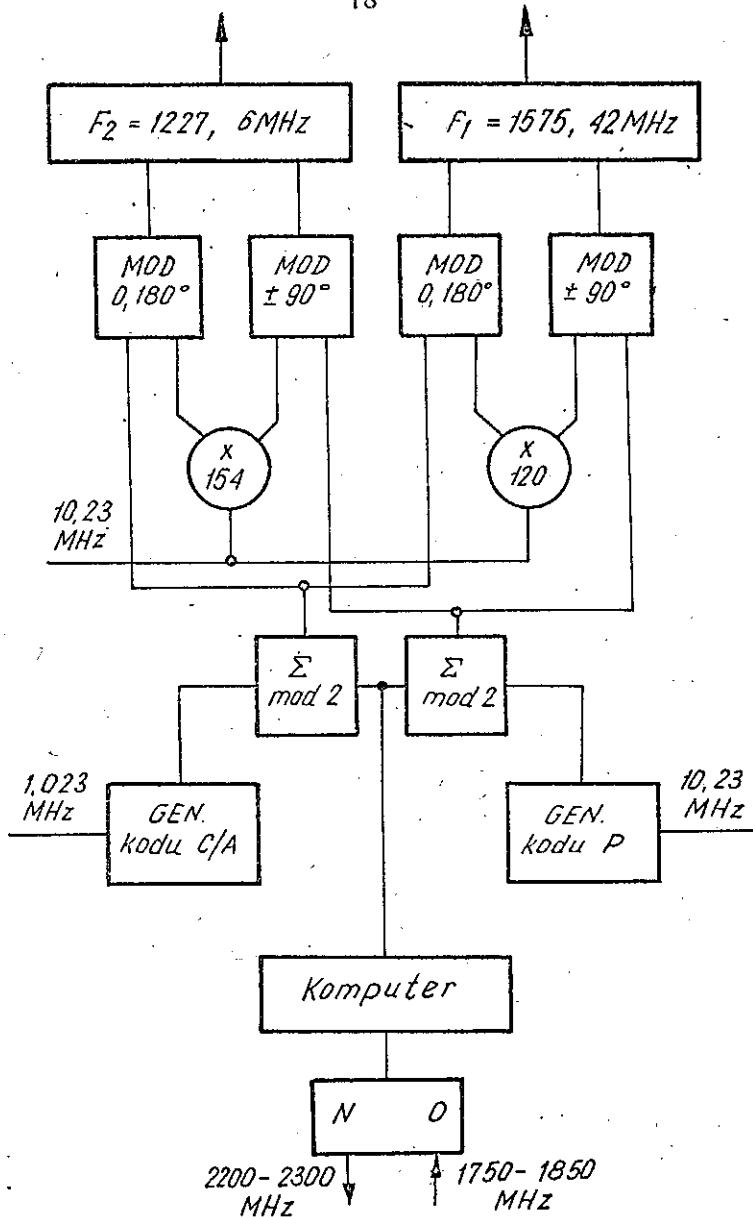
Podsystem kontroli i sterowania składa się z szeregu stacji naziemnych wyposażonych w urządzenia łączności z satelitami, urządzenia transmisji danych, wyposażenia centrum obliczeniowego, wyposażenia stacji śledzących. Generalnym zadaniem podsystemu jest kontrola i sterowanie podsystemu urządzeń satelitarnych. Łączność pomiędzy wymienionymi podsystemami została zapewniona przez linie radiowe pracujące dla kierunku do satelity w zakresie częstotliwości 1750 - 1850 MHz, a dla kierunku do stacji naziemnej w zakresie częstotliwości 2200 - 2300 MHz. Informacje nawigacyjne do stacji naziemnych mogą być także przekazywane w kanałach radionawigacyjnych przeznaczonych dla statków. Podsystem urządzeń satelitarnych przewiduje wykorzystanie konstelacji 18 /docelowo 24/ satelitów wprowadzonych na orbity kołowe o wysokości 21650 km, umieszczonych na trzech kołowych orbitach nachylnych względem równika Ziemi około 60° - 65° i przesuniętych względem długości geograficznej o 120° ; okres obrotu satelity wynosi przy tym 12 godz.

Na rys. 9 przedstawiono schemat blokowy urządzeń satelity. Liniami radiowymi pracującymi w zakresie częstotliwości 1750 - 1850 MHz wprowadza się dane do procesora satelity, gdzie zostaje ukształtowana informacja nawigacyjna. Sterowanie różnymi systemami własnymi satelity przeprowadza się liniami telemetrycznymi.

Na częstotliwościach roboczych $F_1 = 1575,42$ MHz i $F_2 = 1227,6$ MHz każdy satelita nadaje sygnały radionawigacyjne, modulowane informacją nawigacyjną przeznaczoną dla użytkowników i naziemnych stacji kontroli. Na częstotliwości F_1 są emitowane, tzw. P-sygnal /PROTECTED SIGNAL/ i C/A-sygnal /CLEAR ACQUISITION SIGNAL/, a na F_2 tylko P-sygnal.

P-sygnal jest zabezpieczony przed wykorzystaniem go przez nieupoważnionego użytkownika i służy do przeprowadzania pomiarów nawigacyjnych z dużą dokładnością.

C/A-sygnal jest ogólnie dostępny i umożliwia pomiary nawigacyjne z mniejszą dokładnością, a także jest wykorzystywany do szybkiego poszukiwania P-sygnalu. Informacja nawiga-



Rys. 9. Schemat blokowy urządzeń satelity NAVSTAR

MOD - modulator fazowy; powielacz - $\times 154$; powielacz - $\times 120$; GEN kodu C/A - generator kodu C/A w układzie rejestru przesuwonego ze sprzężeniem zwrotnym i układem logicznym skracającym cykl; N - nadajnik; O - odbiornik; $\Sigma \text{ mod } 2$ - suma cyfr liczby a modulo 2 jest resztą z dzielenia sumy cyfr liczby a przez 2 /tzn. 0 lub 1/ - jako sumę kontrolną przyjmuje się cyfrę 0, jeśli liczba jedynek /suma cyfr/ jest parzysta, cyfrę 1 - jeżeli liczba ta jest nieparzysta.

cyjna nadawana w sposób ciągły zawiera dane dotyczące parametrów orbity satelity, czas systemowy, parametry generatorów i inne dane oraz tzw. almanach, czyli zestaw danych o parametrach innych satelitów systemu.

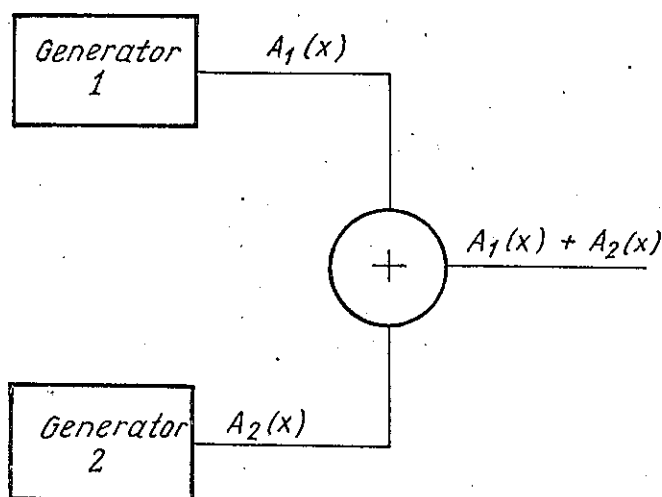
W systemie NAVSTAR stosuje się sygnały z rozszerzonym widmem /szumopodobne/ otrzymywane w wyniku przesuwu fazy sygnału nośnego. Do kluczowanego przesuwu fazy wykorzystuje się pseudoprzypadkową kolejność symboli /znaków/, których częstotliwość taktująca wielokrotnie przewyższa górną częstotliwość widma sygnału informacyjnego; tak zmodulowane sygnały pod względem swoich własności widmowo-korelacyjnych zbliżone są do szumu. Pod pseudoprzypadkową kolejnością symboli należy rozumieć kolejność wg ściśle określonej reguły, lecz charakteryzującą się własnościami przypadkowej kolejności. Kształtowanie nadawanych w sposób ciągły sygnałów C/A i P przeprowadza się, modulując z kluczowanym przesuwem fazy odpowiednio 0, 180° i $\pm 90^\circ$ częstotliwości nośne 1575,42 MHz i 1227,6 MHz. Częstotliwość taktu sygnału C/A jest równa 1,023 MHz, a sygnału P - 10,23 MHz.

Sygnał C/A jest kształtowany wg kodu Golda z okresem 1 ms. Na rys. 10 przedstawiono zasadę tworzenia kolejności symboli wg kodu Golda. W rezultacie sumowania modulo 2 wyjściowych sygnałów otrzymywanych z generatorów 1 i 2 otrzymuje się sygnał uformowany wg kodu Golda. Generatory 1 i 2 pracują w układach 10-stopniowych rejestrów przesuwanych ze sprzężeniem zwrotnym i formują ciągi $A_1/x/$ i $A_2/x/$. W wyniku sumowania układ generuje pseudoprzypadkowy ciąg o liczbie elementów $n = 2^{10} - 1/2$ i o $T_{pp} = nT = 2^{10} - 1/2 = 1$ ms, gdzie: T - okres częstotliwości taktującej.

Liczba różnych ciągów możliwych do uzyskania przez zmianę połączeń rejestrów przesuwanych jest równa 1025. Z tej liczby wybiera się 37 pseudoprzypadkowych ciągów posiadających odpowiednie funkcje korelacji wzajemnej i przyporządkowuje je poszczególnym satelitom /w tym kilka ciągów rezerwowych/.

Wykorzystywane w sygnale P pseudoprzypadkowe ciągi tworzy się przez sumowanie modulo 2 sygnałów otrzymywanych z dwóch

generatorów /24-stopniowe rejestry przesuwne/ i poprzez skrócenie okresów ich powtarzania, a także odpowiedni dobór sprzężenia zwrotnego w rejestrze, uzyskuje się ciąg kodowy z okresem powtarzania 267 dób. Ten pseudoprzypadkowy ciąg zostaje podzielony na 37 sektorów, które przyporządkowuje się poszczególnym satelitom. Każdy satelita formuje swój sektor o okresie 7 dób /zmiana cyklu o północy z soboty na niedzielę/.



$$A_1(x) = x^{10} + x^3 + 1 / \text{generator 1}$$

$$A_2(x) = x^{10} + x^9 + x^8 + x^6 + x^3 + x^2 + 1 / \text{generator 2}$$

Rys. 10. Formowanie kolejności symboli wg kodu Golda

Przekazywanie informacji nawigacyjnej odbywa się poprzez zrealizowanie tzw. modulacji informacyjnej z częstotliwością 50 bitów/s, którą dokonuje się poprzez sumowanie modulo 2 ciągów informacyjnych z ciągami pseudoprzypadkowymi. Kadr informacji nawigacyjnej zajmuje 30 s i zawiera 1500 bitów

informacyjnych, które dzieli się na podkadry i słowa. Pierwsze słowa każdego podkadru formowanego na satelicie są chronione kodem Hamminga.

Do podstawowych zadań realizowanych przez urządzenia użytkowników można zaliczyć:

- wybór satelity,
- poszukiwanie sygnałów satelity,
- śledzenie sygnału,
- wydzielenie i dekodowanie informacji nawigacyjnej,
- wydzielenie almanachu,
- przeprowadzenie pomiarów nawigacyjnych,
- obliczanie współrzędnych w momencie pomiaru,
- indykacja wyników.

Współczesne urządzenia użytkownika dzielą się na trzy podstawowe grupy x, y, z. Urządzenia typu "x" są przeznaczone do bardzo dokładnego określania pozycji i prędkości a także czasu, w warunkach intensywnych zakłóceń. Czterokanałowy układ śledzenia częstotliwości nośnych umożliwia jednocześnie śledzenie częstotliwości nośnych czterech satelitów. Jeden kanał śledzenia kodu umożliwia kolejne śledzenie sygnałów C/A lub P z podziałem czasowym. Urządzenia typu "y" są przeznaczone dla użytkowników o małej dynamice ruchu, co pozwala uprościć urządzenia dzięki możliwości prowadzenia śledzenia częstotliwości nośnych czterech satelitów metodą kolejnych pomiarów z podziałem czasowym. Urządzenia typu "z" charakteryzują się dopuszczalnie możliwymi uproszczeniami aparatury, wykorzystują tylko sygnały C/A i metodę kolejnego śledzenia satelitów.

Urządzenia użytkownika umożliwiają pomiar następujących parametrów: quasi - odległości i delta - odległości /różnica quasi odległości otrzymywana z całkowania różnicy faz sygnałów odbieranych w określonym przedziale czasu/. Quasi odległość jest proporcjonalna do różnicy faz wysokostabilnych generatorów użytkownika i satelity z uwzględnieniem czasu przebiegu sygnału pomiędzy satelitą i użytkownikiem, tj.

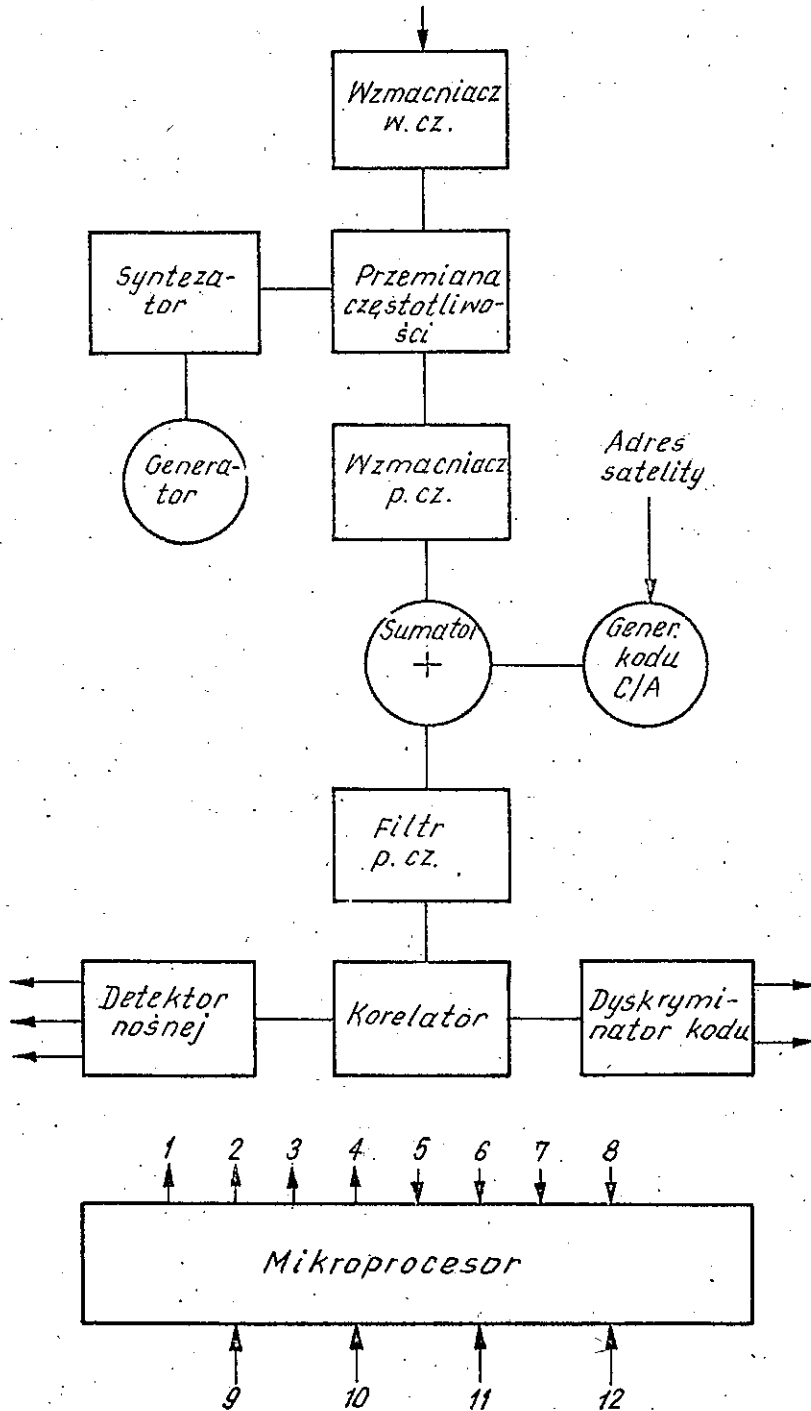
quasi odległość równa się odległości rzeczywistej, jeśli fazy i częstotliwości powyższych generatorów są równe. Delta - odległość jest proporcjonalna do dopplerowskiego quasi przesunięcia częstotliwości generatora użytkownika względem częstotliwości generatora satelity, które jest równe różnicy częstotliwości tych generatorów z uwzględnieniem przesunięcia częstotliwości wynikającego ze zjawiska Dopplera w rezultacie prędkości zmian odległości pomiędzy satelitą i użytkownikiem. Pomiar quasi - odległości wykonywany jest metodą korelacyjną.

Formowane w odbiorniku użytkownika dokładne odpowiedniki sygnału P i sygnału C/A zostają przemnożone z sygnałami odebranymi z satelity i w wyniku otrzymuje się sygnał będący funkcją korelacji wzajemnej. Funkcja ta osiąga maksimum przy dokładnej synchronizacji tych sygnałów i zbliża się do wartości zerowej przy braku synchronizacji.

Przy stosowaniu najbardziej dokładnych urządzeń użytkownika system NAVSTAR zapewnia określenie współrzędnych pozycji w płaszczyźnie poziomej z błędem mniejszym niż 12,5 m, a w płaszczyźnie pionowej z błędem mniejszym niż 15 m, prędkość obiektu może być określona z błędem mniejszym niż 0,1 m/s, natomiast czas z dokładnością do 10 ns. Czas konieczny do uzyskania współrzędnych wynosi około 15 min. od momentu włączenia odbiornika; czas ten przy pracującym już odbiorniku wynosi około 5 min., natomiast czas przy zerwaniu śledzenia i powrotu wynosi kilka sekund.

Na rys. 11 przedstawiono blokowy schemat uproszczonego urządzenia użytkownika. Zawiera ono jednokanałowy odbiornik, który kolejno dokonuje obróbki sygnału C/A każdego z czterech satelitów. Przy tym odbiornik jest wykorzystywany na przemian do następujących rodzajów pracy:

- nawigacji, podczas której co jedną sekundę ustala się pozycję i otrzymuje dane nawigacyjne;
- odbioru sygnału informacyjnego, podczas którego odbiera się dane efemeryd, poprawek czasu oraz przeprowadza się pomiary nawigacyjne co jedną minutę.



Rys. 11. Schemat blokowy urządzenia użytkownika

Odebrany sygnał w.cz. po wzmocnieniu i przemianie częstotliwości poddany zostaje obróbce korelacyjnej z sygnałem generatora lokalnego kodu C/A. W układzie wykorzystano jeden korelator pracujący w pasmie częstotliwości modulujących.

Mikroprocesor służy do obsługi odbiornika i do wykonania obliczeń nawigacyjnych. Przed rozpoczęciem pracy operator urządzenia wprowadza przybliżone dane o pozycji obiektu i czasie lokalnym; mikroprocesor przeprowadza wybór satelitów, określa ich adres - czyli dane kodu C/A i oblicza przesunięcie częstotliwości wynikające ze zjawiska Dopplera dla każdego satelity, a także quasi odległość, którą określa się mierząc czas przyjęcia sygnału od każdego satelity względem lokalnego generatora znaczników czasu.

System NAVSTAR jest stale rozbudowywany i unowocześniany, a nakłady finansowe na rozbudowę bazy technicznej i badania naukowe wynoszą wiele miliardów dolarów. Z konieczności w niniejszym przeglądzie podano jedynie zarys opisu systemu NAVSTAR, należy jednak sądzić, że pojawi się wiele opracowań, gdyż system tworzy nową jakość w radionawigacji.

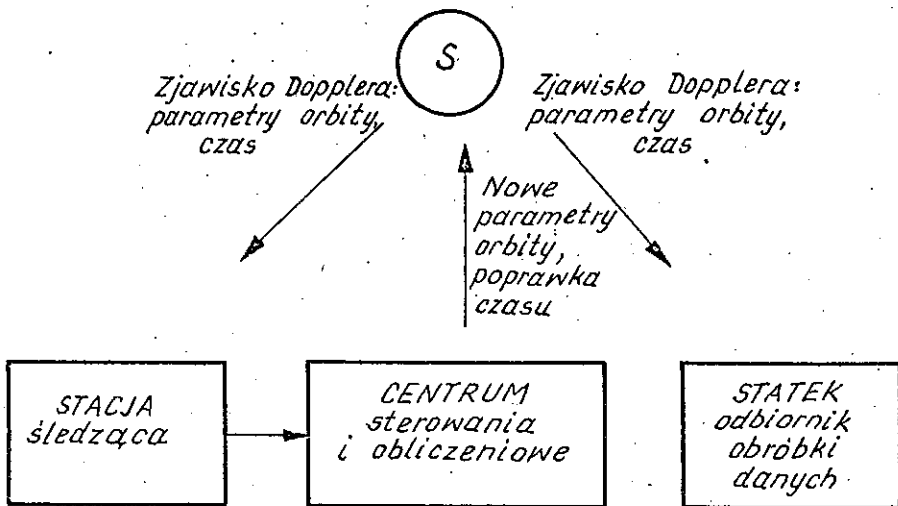
3.2. System TRANZYT

Morski radionawigacyjny system satelitarny o nazwie TRANZYT jest systemem globalnym i służy do dokładnego określenia pozycji statku na morzu. W systemie tym rozróżnia się trzy podsystemy:

- podsystem ziemia - satelita,
- podsystem satelitów,
- podsystem satelita - statek.

System tak zaprojektowano, że satelita systemu jest samodzielnym źródłem informacji nawigacyjnych, pracującym w układzie pasywnym /nie jest wymagane nadawanie sygnałów przez użytkownika tzn. statek/. W zestawie kompleksu naziemnego znajdują się cztery stacje śledzące, dwie stacje wprowadzające dane, obserwatorium służby czasu oraz centrum obliczeniowe. Stacje śledzące systemu mają za zadanie odbiór sygna-

łów satelity znajdującego się w polu widzenia stacji, a także gromadzenie danych z odczytów charakteryzujących orbitę satelity na podstawie zjawiska Dopplera. Dane te wraz z danymi o czasie zostają przekazane lądowymi liniami telekomunikacyjnymi do centrum obliczeniowego i do centrum sterowania /rys. 12/. Po obróbie danych określa się orbitę satelity na następne 12 godz.; dane te zostają przekazane do satelity.



Rys. 12. Blok systemu TRANZYT

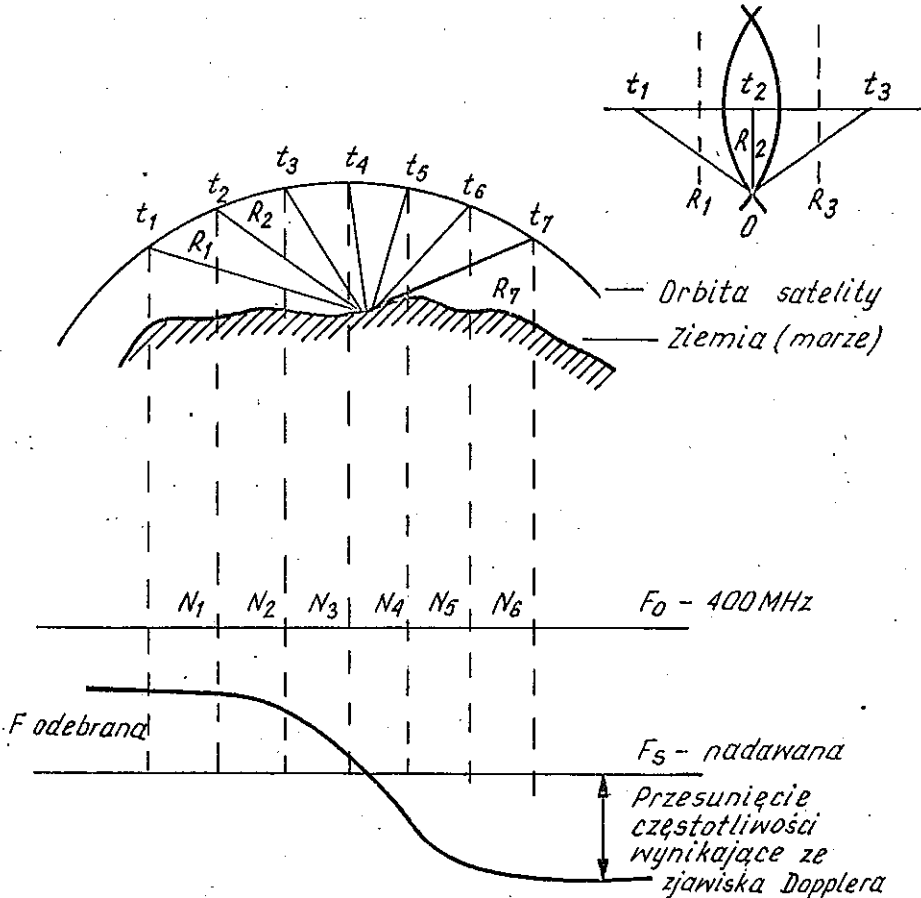
Podsystem satelitów składa się z 6 satelitów wprowadzonych na kołowe orbity biegunowe /1100 km/. Konfiguracja orbit umożliwia pomiar pozycji średnio co około 1,5 godz. /na równiku/. Satelita emituje dwa sygnały radionawigacyjne z wysokostabilnymi częstotliwościami nośnymi 149,988 MHz i 399,968 MHz, modulowane z kłuczowanym przesuwem fazy.

W systemie TRANZYT przyjęto do wykorzystania przez użytkowników następujący schemat określania współrzędnych satelity:

- 1/ stacje naziemne wykonują pomiary trajektorii;
- 2/ w naziemnym centrum obliczeniowym zostaje dokonana obróbka danych otrzymanych z pomiarów trajektorii i prognozuje się elementy orbit każdego satelity systemu;
- 3/ naziemna stacja wprowadzająca /dwukrotnie w ciągu doby/ dostarcza do układów pamięci satelity informacje dotyczące przyszłego przebiegu satelity /efemeryd/; podstawę obliczeń efemeryd stanowi znajomość elementów orbity satelity, a także innych liczbowych charakterystyk ruchu satelity pozwalających przewidywać jego przebieg;
- 4/ każdy satelita, w sposób ciągły, nadaje do użytkowników informację o efemerydach /dane przebiegu przyszłego/, powtarzając je w cyklu dwuminutowym;
- 5/ w komputerze statku określa się na podstawie efemeryd bieżące współrzędne satelity w momencie pomiaru parametru nawigacyjnego.

Przedstawiony sposób określania współrzędnych jest szeroko stosowany, jednak istnieją również rozwiązania inne.

W satelicie TRIAD odstąpiono od wykonywania prognoz przebiegu przez stacje naziemne, a zastosowano tzw. autonomiczne obliczenie trajektorii na pokładzie satelity. Użytkownik systemu /statek/ przeprowadza poszukiwanie sygnałów nadawanych przez satelitę, ich śledzenie oraz odbiór. Jednocześnie zostaje odebrana informacja nawigacyjna /dane o położeniu satelity/. Z pomiaru przesunięcia częstotliwości wynikającego ze zjawiska Dopplera przy wykorzystaniu informacji nawigacyjnych, a także danych własnych, zostaje określona pozycja statku - dwie współrzędne z dokładnością rzędu 0,2 km. Przesunięcie częstotliwości sygnałów satelity wynikające ze zjawiska Dopplera jest funkcją pozycji statku względem wiadomego położenia satelity. Pomiar tego przesunięcia ilustruje rys. 13. Częstotliwość odebranego sygnału F_{od} jest określona przez częstotliwość sygnału satelity F_s i przesunięcia wynikającego ze zjawiska Dopplera w efekcie



Rys. 13. Pomiar dopplerowskiego przesunięcia częstotliwości

R - odległość statek - satelita

ruchu satelity i statku. Przesunięcie to przy równości częstotliwości F_s i częstotliwości odbiornika $F_0 / 150 \text{ MHz}$ i 400 MHz może być dodatnie lub ujemne /rys. 13/, co powoduje niejednoznaczność odczytu. W celu uniknięcia błędnego odczytu, częstotliwości nośne sygnału satelity zostają przesunięte o około 0,08%, tj. do wartości 149,988 i 399,968 MHz. Dla dokładnego określenia pozycji używa się obu sygnałów, co

pozwała uniknąć błędów wynikających z refrakcji jednosferycznej.

W celu określenia pozycji w systemie TRANZYT stosuje się metody wykorzystujące zjawisko Dopplera, w których przesunięcie zawiera się w przedziale czasu od $t_1 + R_1/C$ do $t_2 + R_2/C$.

$$N_1 = \int_{t_1 + R_1/C}^{t_2 + R_2/C} /F_o - F_{od}/dt,$$

gdzie: $t_1 + R_1/C$ i $t_2 + R_2/C$ są czasami odbioru przez użytkownika znaczników czasu, które zostały nadane w momentach t_1 i t_2 .

R_1/C i R_2/C są opóźnieniami sygnału na odcinkach R_1 i R_2 /odległości statek - satelita/.

Po scałkowaniu otrzymuje się równanie o postaci

$$N_1 = /F_o - F_{od}/ /t_2 - t_1/ + \frac{F_o}{C} /R_2 - R_1/.$$

Przy zastosowaniu wysokostabilnych generatorów satelity i użytkownika pierwszy składnik równania jest wartością stałą, zaś drugi jest wynikiem pomiaru zmian odległości wyrażonej w długościach fali generatora w odbiorniku użytkownika. Wyrażając odległości przez współrzędne, otrzymuje się równanie nawigacyjne:

$$\lambda_o /N_1 - N_o/ = \sqrt{/X - X_{s/i+1}/^2 + /Y - Y_{s/i+1}/^2 + /Z - Z_{s/i+1}/^2} - \sqrt{/X - X_{si}/^2 + /Y - Y_{si}/^2 + /Z - Z_{si}/^2} + \lambda_o \delta N$$

gdzie: λ_o - długość fali generatora w odbiorniku,
 i - i-ty odczyt,
 X_s, Y_s, Z_s - znane współrzędne satelity,
 X, Y, Z - poszukiwane współrzędne użytkownika

δN - systematyczny błąd odczytu,

$$\delta N = \Delta f \cdot \Delta T,$$

$$\Delta T = t_{i+1} - t_i = \text{constans, jest to odległość pomiędzy dwoma sąsiednimi znacznikami czasu,}$$

Δf - nieznanne przesunięcia częstotliwości, zależne od niestabilności generatorów.

Jak widać z równania nawigacyjnego, zasada określania pozycji statku z pomiarów wykorzystujących zjawisko Dopplera jest analogiczna do zasady klasycznych nawigacyjnych systemów hiperbolicznych /rys. 13/, w których baza jest równa odległości, którą przebywa satelita w wybranym przedziale czasu /np. w 2 min. - 960 km, w 24 s - 200 km/. Na statku, baza może być określona z danych przekazywanych przez satelitę, a różnica odległości jest podana wg pomiarów parametru nawigacyjnego. Jednocześnie w celu uniknięcia błędów w określeniu pozycji jest konieczne wprowadzenie współrzędnych geograficznych określonych innymi systemami.

Urządzenia użytkownika w systemie TRANZYT cechują się dużą różnorodnością rozwiązań /około 100/ wynikających z modyfikacji technicznych. Podstawowe typy urządzeń to:

- urządzenia o dużej dokładności, wykorzystujące dwa kanały wielkiej częstotliwości;
- urządzenia średniej dokładności pracujące z jednym kanałem częstotliwości /400 MHz/.

Odbiornikiem radiowym przeprowadzającym poszukiwanie sygnałów i ich śledzenie, jest odbiornik superheterodynowy z podwójną przemianą częstotliwości, w którym do celów śledzenia wykorzystuje się układy automatycznej regulacji fazy.

3.3. System telekomunikacyjny NAVTEX

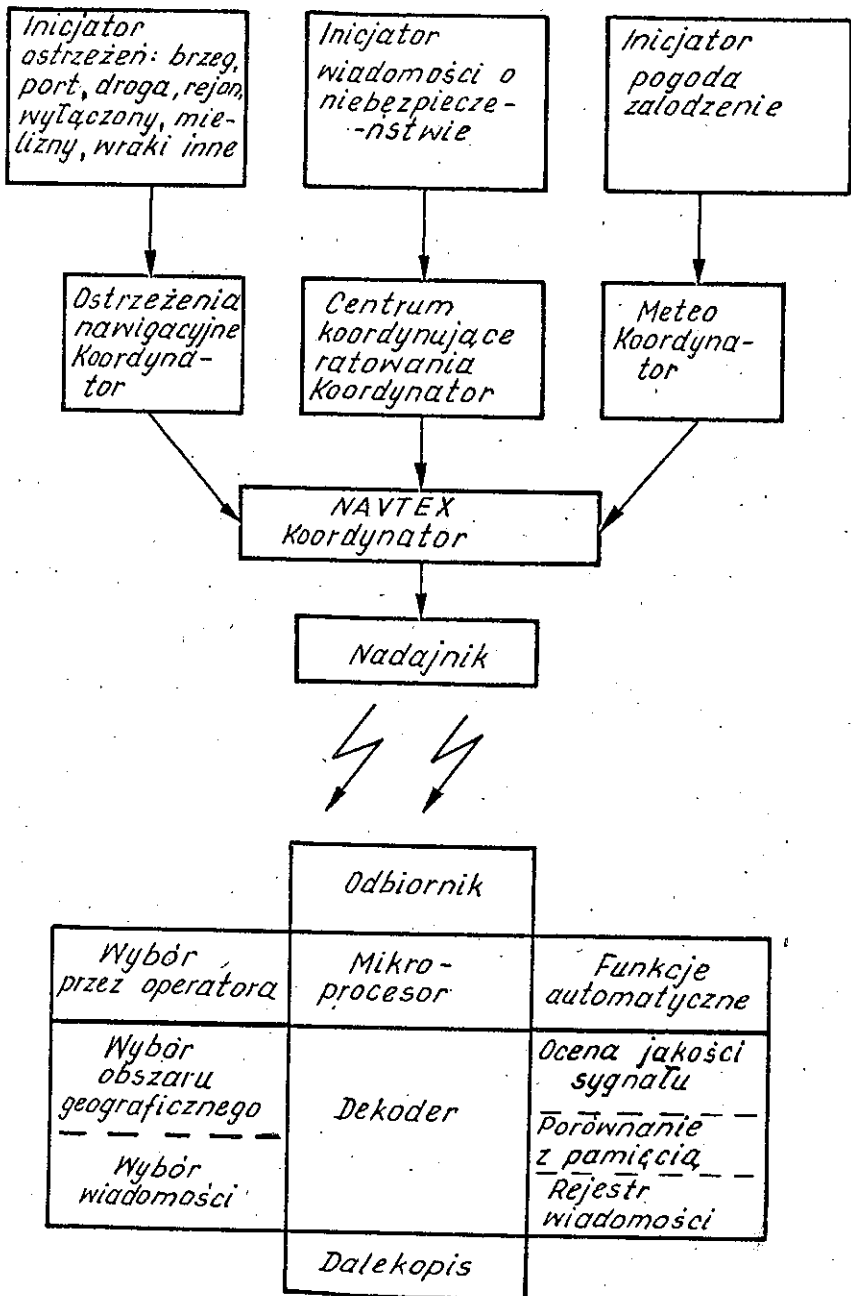
Navtex /Navigational Teleks/ jest systemem jednokierunkowej /rozświeczonej/ łączności, służącej poprawie bezpieczeństwa żeglugi przez dostarczenie nawigatorom /w formie automatycznego wydruku/ następujących informacji:

- ostrzeżeń nawigacyjnych,
- ostrzeżeń o silnych wiatrach,
- informacji o zalodzeniu,
- ostrzeżeń o prowadzonych akcjach ratowniczych,
- prognoz meteorologicznych,
- informacji o pilotażu,
- informacji dotyczących systemów radionawigacyjnych danego rejonu.

Światowa Radiowa Konferencja Administracyjna w 1983 roku przydzieliła częstotliwość 518 kHz wyłącznie dla systemu NAVTEX.

Odbiornik NAVTEX jest urządzeniem automatycznym instalowanym w sterówce lub w kabinie nawigacyjnej statku. Zawiera: tor odbiorczy 518 kHz, demodulator emisji sterowany mikroprocesorem oraz dekoder z korektą błędów w przód /forward error correcting/ - a także drukarkę. Podstawowe parametry odbiornika NAVTEX: częstotliwość odbioru 518 kHz ± 10 Hz, emisja F 1 B ± 85 Hz, czułość 2 - 3 mikrowoltów /SEM/, dekoder /wg zalecenia 540 CCIR/, drukarka z głowicą igielkową, papier o szerokości około 12 cm /40 znaków na linię/. Blokowy schemat systemu przedstawiono na rys. 14.

Zagadnienia organizacyjno-eksploatacyjne systemu NAVTEX zostały podane w Uchwale Nr COM 4/4 /Dokumenty Końcowe Światowej Administracyjnej Konferencji Radiokomunikacyjnej dla Służb Ruchomych - Genewa 1983/, dotyczącej tymczasowych procedur stosowanych do stacji nadających ostrzeżenia nawigacyjno i meteorologiczne oraz informacje pilne dla statków na częstotliwości 518 kHz przy użyciu automatycznej wysokopasmowej telegrafii o druku bezpośrednim.



Rys. 14. NAVTEX

4. ZASTOSOWANIE SATELITARNYCH SYSTEMÓW ŁĄCZNOŚCI W AKCJACH POSZUKIWANIA OBIEKTÓW BĘDĄCYCH W NIEBEZPIECZEŃSTWIE

Zgodnie z prowadzonymi statystykami średnio w roku ginie bez wieści około 350 statków i około 1000 samolotów /różne źródła - różne dane/. Istniejący klasyczny system łączności w niebezpieczeństwie i dla potrzeb bezpieczeństwa w służbie morską jest niezmienny od wielu lat, posiada bogate tradycje i ustalone kanony w skali międzynarodowej. Często jednak stawiane jest pytanie, dlaczego pomimo pełnej normalizacji zestawu urządzeń, dobrego systemu nasłuchów itp., dotarcie sygnału o niebezpieczeństwie obiektu do stacji brzegowej jest utrudnione lub sygnał nie dociera, a często nie zostaje nadany. Na podstawie doświadczeń eksploatacyjnych można stwierdzić, że żaden z istniejących systemów nie zapewnia stuprocentowej pewności dotarcia sygnału, nie ma też niezawodnych urządzeń, a także ludzie odgrywają w akcjach ratowniczych ważną rolę. Stąd ciągle dążenie konstruktorów, służb eksploatacyjnych, naukowców do stworzenia systemu automatycznego w pełni rezerwowanego, pracującego bez udziału człowieka, niezależnego od warunków pogodowych i propagacyjnych, równocześnie jednak gwarantującego udział człowieka bez naruszenia zasad automatyzacji, czyli tzw. udział równoległy.

Satelitarne systemy poszukiwania obiektów będących w niebezpieczeństwie /stan awaryjny/ można podzielić na dwie podstawowe grupy:

- systemy służące do powiadamiania stacji naziemnych o niebezpieczeństwie statku,
- systemy określające współrzędne pozycji obiektu będącego w niebezpieczeństwie.

Systemy pierwszej grupy umożliwiają retranslację sygnału niebezpieczeństwa ze statku przez satelitę do stacji naziemnych. Sygnały te zawierają informację o współrzędnych pozy-

cyjnych. Do drugiej grupy zaliczane są systemy, które pozwalają na określenie pozycji statku na podstawie bezpośrednio nadawanych sygnałów przez statek lub boje radiowe. Dalej w encyklopedycznym przeglądzie podano jedynie krótkie charakterystyki wybranych systemów, które odegrały znaczącą rolę w tworzonemu obecnie "globalnym morskim systemie łączności w niebezpieczeństwie i dla potrzeb bezpieczeństwa" - - GMDSS^{x/} /tablica 3/.

Tablica 3

Satelitarne systemy łączności w niebezpieczeństwie i dla potrzeb bezpieczeństwa

Nazwa systemu	Funkcje urządzeń		
	statek /samo- lot/ radiopława	satelita	stacje naziemne
1	2	3	4
GRAN	odbiór sygnałów systemu nawigacyjnego "Omega" i retranslacja ich do satelity	retranslacja sygnałów do stacji naziemnych	określenie pozycji obiektu na podstawie sygnałów systemu "Omega"
TWERLE	nadawanie sygnałów na częstotliwościach 121,5 i 243 Mhz	-"-	określenie pozycji obiektu na podstawie sygnałów nadajnika pokładowego
ARGOS	nadawanie sygnałów na częstotliwości 401,6 MHz	określenie przesunięcia częstotliwości wynikającego ze zjawiska Dopplera statkowego nadajnika i przekazanie informacji do stacji naziemnych	określenie pozycji obiektu na podstawie przesunięcia częstotliwości wynikającego ze zjawiska Dopplera nadajnika statku

x/ Global Maritime Distress and Safety System.

od. tablicy 3

1	2	3	4
NRCS /satelity INMARSAT/	nadawanie sygnałów na częstotliwości 1644,3 MHz z informacją o pozycji obiektu	retranslacja sygnałów do stacji naziemnych	odbiór informacji o pozycji obiektu
SAMSARS - satelita MARISAT	nadawanie szerokopasmowych/pseudoszumowych/ sygnałów na częstotliwości 1640 MHz	retranslacja sygnałów do stacji naziemnych	określenie pozycji obiektu na podstawie sygnałów nadawanych przez nadajnik statkowy
- satelita INMARSAT	nadawanie na częstotliwości 1644,3 MHz sygnałów zawierających dane o współrzędnych obiektu	-"-	odbiór informacji o pozycji obiektu
SARSAT - satelita NOAA	nadawanie sygnałów na częstotliwości 121,5 i 243 MHz	-"-	określenie pozycji obiektu na podstawie przesunięcia częstotliwości wynikającego ze zjawiska Dopplera nadajnika statkowego
- satelita OSCAR-7	nadawanie sygnałów na częstotliwości 406 MHz	określenie pozycji obiektu na podstawie przesunięcia częstotliwości wynikającego ze zjawiska Dopplera nadajnika statkowego i nadajnika sygnału do stacji naziemnych	odbiór sygnałów z informacją o pozycji obiektu

1	2	3 i 4
COSPAS - SARSAT - satelita: KOSMOS-1383 KOSMOS-1447	nadawanie na czę- stotliwościach 121,5, 243 i 406,0 - 406,1	praca w morskim syste- mie łączności w nie- bezpieczeństwie i dla potrzeb bezpieczeństwa /GMDSS/
GRAN TWERLE DRCS SAMSARS MARISAT SARSAT	- Global Rescue Alarm Net. - Tropical Wind Energy Conversion and Reference Level Experiment. - Distress Radio Call System. - Satellite Based Maritime Search and Rescue System. - Maritime Satellite Communications System. - Search and Rescue Satellite.	

4.1. System GRAN

Jednym z pierwszych systemów służących do określania pozycji statku będącego w niebezpieczeństwie był /1971/ eksperymentalny system GRAN /Global Rescue Alarm Net/. System powstał na podstawie prowadzonych w USA w końcu lat sześćdziesiątych eksperymentów nad stworzeniem systemu określającego współrzędne statku lub boi za pomocą trzech satelitów ATS-3 i radionawigacyjnego systemu Omega. Satelitę wyposażono w komplet urządzeń OPLE /Omega Position Location Experiment/, który był wykorzystywany do retranslacji sygnałów do stacji naziemnych, gdzie po obróbce odebranej informacji określano współrzędne. W systemie GRAN nie były wymagane specjalne satelity systemowe, gdyż urządzenia stanowiące wyposażenie statków retransmitowały sygnały w pasmie częstotliwości 100 kHz.

4.2. System TWERLE

W 1975 roku wprowadzono na orbitę wielozadaniowego satelitę typu NIMBUS - 6 o parametrach orbity: kołowa, biegunowa, 1100 km, z nachyleniem $99,95^{\circ}$, okres obrotu satelity 107 min. Na pokładzie satelity umieszczono urządzenia systemu TWERLE służące do retransmisji sygnałów awaryjnych, np. z radiopław awaryjnych pracujących na częstotliwościach 121,5 i 243 MHz do stacji naziemnych. System zapewniał określenie pozycji radiopławy z dokładnością do 2 - 5 km.

4.3. System ARGOS

Od roku 1978 rozpoczęto próbną eksploatację francuskiego systemu ARGOS, którego urządzenia zostały zainstalowane na eksperymentalnym satelicie meteorologicznym typu TIROS-N. System jest przeznaczony do retransmisji do stacji naziemnych sygnałów od obiektów znajdujących się w sytuacjach awaryjnych. Pokładowe urządzenia pracują na częstotliwości 401,6 MHz. Eksploatowany system pracuje z dwoma satelitami typu NOAA, o następujących parametrach orbity: biegunowa, kołowa, wysokość 830 ± 870 km z nachyleniem $98,7^{\circ}$, okres obrotu satelity 100 min., kąt między płaszczyznami satelitów 60° . System działa na zasadzie pomiaru przesunięcia częstotliwości, wynikającego ze zjawiska Dopplera. Dokładność określenia pozycji obiektu zależy w dużym stopniu od stałości częstotliwości pokładowego nadajnika, a także od dokładności określenia pozycji satelity przez stacje naziemne.

4.4. System DRCS

Jednocześnie z satelitarnymi systemami wykorzystującymi standardowe awaryjne radioboje /121,5 243, 406 MHz/ są rozwijane systemy DRCS /Distress Radio Call System/. Zasada pracy systemu polega na retransmisji przez satelitę sygnałów nadawanych przez nadajniki awaryjne i radioboje pracu-

jące na częstotliwości 1644,3 MHz. Projekty DRCS były finansowane przez zachodnioniemieckie ministerstwo do spraw rozwoju i technologii /Bundesministerium für Forschung und Technologie/. Prace nad systemem są prowadzone intensywnie od roku 1975, początkowo za pomocą amerykańskiego satelity ATS-6, a następnie wykorzystano satelity INMARSAT. Sygnały przekazywane do satelity zawierają informację o pozycji obiektu.

4.5. System SAMSARS

W systemie SAMSARS /Satellite Based Maritime Search and Rescue System/ sygnały awaryjnych nadajników i awaryjnych radiopław są retransmitowane do stacji naziemnych poprzez geostacjonarne satelity systemów INMARSAT 164413 MHz lub MARISAT 1640 MHz. Podstawową cechą systemu jest możliwość wykorzystania istniejących kanałów łączności satelitarnej do nadawania sygnałów awaryjnych, zamiast stosowania specjalnych kanałów do celów awaryjnych. Kilka stacji naziemnych, zabezpieczających odbiór sygnałów w podstawowych kanałach, powinno być wyposażonych w odpowiednie odbiorniki umożliwiające obróbkę awaryjnej informacji, która zawiera: sygnał synchronizacji, numer identyfikacyjny statku, kod awaryjny i informacje o pozycji. W systemie SAMSARS przewidziano również współpracę z systemem NAVSTAR.

4.6. System SARSAT

System SARSAT /Search and Rescue Satellite/, wykorzystywany przez Kanadę i USA, jest przeznaczony do określania pozycji statków /samolotów/ znajdujących się w niebezpieczeństwie. Źródłem promieniowania sygnałów niebezpieczeństwa są radioboje lotnicze /121,5 MHz/, radiopławy /243 MHz/ i radiopławy awaryjne /406 MHz/. W systemie SARSAT wykorzystano odbiorniki umieszczone na satelitach NOAA, w których są obrabiane sygnały radiopław na częstotliwości 406 MHz i jest dokonywany odpowiedni zapis w pamięci urządzeń satelity, wyko-

rzystywany w późniejszym okresie do powtórnych nadawań. Jednocześnie sygnały są retransmitowane do stacji naziemnych w czasie rzeczywistym i tam podlegają obróbce. Sygnały niebezpieczeństwa na częstotliwościach 121,5 i 243 MHz po ich retransmisji przez satelitę są odbierane w specjalnych stacjach naziemnych, skąd są przekazywane do centrum obliczeniowo-sterowniczego systemu. Obróbka tych sygnałów jest przeprowadzana zarówno w stacjach odbierających, jak i w Centrum, a dane pozycyjne są przekazywane do odpowiednich ośrodków kierujących akcją ratowniczą. Minimalny czas, w którym radiobojka powinna znajdować się w polu widoczności satelity wynosi 4 min., a czas optymalny 6 - 10 min. Dokładność określania pozycji jest oceniona w granicach 10 - 20 km na częstotliwościach 121,5 i 243 MHz oraz na 2 - 5 km na częstotliwości 406 MHz.

4.7. System COSPAS - SARSAT

Współcześnie jest opracowywany międzynarodowy /ZSRR, USA, Kanada, Francja/ system pod nazwą COSPAS - SARSAT, przeznaczony do określania pozycji obiektów /samolotów, statków/ będących w niebezpieczeństwie. System ten łączy techniczne zalety systemów SARSAT i COSPAS. Działa w zakresach częstotliwości: 121,5, 243,0, 406,0 - 406,1 MHz /406,025 MHz/.

Badania systemu rozpoczęto w roku 1982 od wprowadzenia na orbitę radzieckiego satelity /Kosmos 1383/ wyposażonego w urządzenia systemu COSPAS - SARSAT. Zakres fal decymetrowych 406,0 - 406,1 został przeznaczony do przekazywania informacji dotyczących niebezpieczeństwa, podawanych z automatycznych radioboi poprzez satelitę. Częstotliwość 406,025 MHz jest to międzynarodowa częstotliwość niebezpieczeństwa /także dla radiopław/.

Satelita został wprowadzony na biegunową orbitę kołową /1000 km/. Czas obiegu Ziemi wynosi około 105 min. Już pierwsze wyniki prób z radiobojkami /406 MHz/ rozmieszczonymi na morzach europejskich były obiecujące, uzyskano określenie po-

zycji z błędem nie przekraczającym 3 km. W roku 1983 wprowadzono na orbitę satelitę Kosmos 1447, który kontynuuje rozpoczęte eksperymenty. Rozważana jest obecnie możliwość wykorzystania systemu COSPAS - SARSAT w globalnym morskim systemie łączności w niebezpieczeństwie i dla potrzeb bezpieczeństwa /GMDSS/. System jest niskoorbitalnym satelitarnym systemem radionawigacyjnym, w którym pozycję obiektu awaryjnego określa się za pomocą wykonywanych na stacji naziemnej pomiarów informacji o przesunięciu częstotliwości wynikającym ze zjawiska Dopplera sygnału radiolobi. Sygnał jest retransmitowany przez satelitę do stacji naziemnej, do której również są dostarczane z centrum sterowania systemu dane o parametrach orbity satelity konieczne do określania współrzędnych geograficznych radiolobi.

W systemie COSPAS - SARSAT, w celu uniknięcia niejednoznaczności w określeniu znaku przesunięcia wynikającego ze zjawiska Dopplera, stosuje się współrzędne obiektu oddalone od śladu orbity o 15° w płaszczyźnie /ortogonalnej do płaszczyzny orbity/ przechodzącej przez punkt, odpowiadający środkowi zakresu pomiarów przesunięcia częstotliwości.

4.8. Zastosowanie radaru w akcjach poszukiwania i ratowania na morzu /radio detection and ranging/

Światowa Konferencja Radiokomunikacyjna dla Służb Ruchomych - Genewa 1983, uwzględniła postulaty rządów wielu krajów, dotyczące wykorzystania istniejących urządzeń radiokomunikacyjnych na statkach dla ułatwienia akcji poszukiwania i ratowania na morzu.

W Zaleceniu Nr COM.5/3 dotyczącym "używania transponderów radarowych dla ułatwienia akcji poszukiwania i ratowania na morzu" stwierdza się ogólnie: "biorąc pod uwagę,

- że system poszukiwania i ratowania, zawierający pokładowe radary pracuje w pasmie 9 GHz w połączeniu z transponderami, które reagują na sygnały radiowe nadawane przez po-

kładowy radar, radary te mogłyby być praktycznym środkiem odnajdywania pozycji jednostki w niebezpieczeństwie na morzu,

- że system ten wykorzystywałyby radary pracujące w pasmie 9 GHz już zainstalowane na statkach i samolotach biorących udział w akcjach poszukiwania i ratowania,

- oraz że system byłby skuteczny, o ile transpondery radarowe będą miały charakterystyki techniczne uzgodnione międzynarodowo".

Konferencja zaleciła prowadzenie prac nad tym systemem w ramach CCIR. Obecnie prace nad tym tematem postępują intensywnie zarówno w zakresie technicznym, jak i proceduralnym.

Wspomniany radarowy system awaryjnego naprowadzania statków na radiopławy awaryjne można przedstawić, uwzględniając osiągnięcia w tym zakresie firmy Mitsubishi Denki /Japonia/.

W pierwszych przeznaczonych na radiopławy awaryjne urządzeniach przewidziano impulsowy rodzaj pracy. Urządzenie składa się z odbiornika i demodulatora sygnałów impulsowych ze statkowych stacji radarowych. Zdemodulowany sygnał jest kierowany do bloku kształtowania odpowiedzi, który wytwarza impuls o długości mniejszej od okresu powtarzania sygnałów stacji radarowej poszukującej. Otrzymanym impulsem steruje nadajnik radiopławy awaryjnej, pracującej w zakresie częstotliwości radarowej stacji statkowej.

Druga generacja radiopław awaryjnych, wykonanych przez tę samą firmę japońską, jest wyposażona w urządzenia odbiorczo-nadawcze, nazwane transponderem radarowym. Transponder w odpowiedzi na sondujące impulsy radaru statkowego nadaje sygnały "odpowiedzi", które po odbiorze i po zobrazowaniu na ekranie /indykatorze/ radaru statkowego umożliwiają określenie kierunku na radiopławę i odległości statek - radiopława awaryjna. Transponder składa się z: anteny, odbiornika, nadajnika, modulatora częstotliwości, indykatora oraz urządzenia strobujującego. Ma także urządzenie akustyczne wskazujące, że dana radiopława jest poszukiwana.

4.9. Globalny morski system łączności w niebezpieczeństwie i dla potrzeb bezpieczeństwa - GMDSS

Światowa Konferencja Radiokomunikacyjna dla Służb Ruchomych - Genewa 1983 w uchwale Nr COM.5/3 dotyczącej rozszerzenia postanowień eksploatacyjnych dla GMDSS /Global Maritime Distress and Safety System/ oraz ich wprowadzenia do Regulaminu Radiokomunikacyjnego postanowiła, że konferencja SAKR - 1987 powinna ustalić i wprowadzić do Regulaminu Radiokomunikacyjnego niezbędne przepisy dotyczące nowego systemu. SAKR - 1983 uznała także, że zanim będą mogły być wprowadzone do Regulaminu szczegółowe przepisy i postanowienia eksploatacyjne odnoszące się do tego systemu, należy koniecznie uzyskać odpowiednie doświadczenia administracyjne, techniczne i eksploatacyjne związane z nowym systemem. SAKR - 1983 biorąc pod uwagę, że Międzynarodowa Organizacja Morska /IMO/ przyjęła podstawowe wymagania dla przyszłego systemu, uznała, że IMO jest odpowiedzialna za dalszy rozwój przyszłego systemu oraz za określenie wymagań eksploatacyjnych i charakterystyk. SAKR - 1983 postanowiła także, iż wszystkie istniejące przepisy Regulaminu Radiokomunikacyjnego odnoszące się do łączności w niebezpieczeństwie i ostrzegania powinny być utrzymane co najmniej do czasu pełnego wdrożenia przyszłego systemu.

W roku 1985 Podkomitet IMO ds. Radiokomunikacji zaproponował następujący harmonogram wprowadzenia GMDSS:

luty 1990 - na wszystkich nowych statkach oraz system NAVTEX na wszystkich istniejących statkach;

luty 1993 - na wszystkich statkach zbudowanych po 1 lutym 1985 oraz wyposażenie do alarmowania statek - brzeg przez satelity na wszystkich istniejących statkach.

IMO, która reguluje zagadnienia związane z bezpieczeństwem żeglugi i ochroną środowiska morskiego, opracowała projekt zmian konwencji o Bezpieczeństwie Życia na Morzu /SOLAS - Safety of Life and Sea/ obejmującej wszystkie statki pasażerskie

oraz statki towarowe, w którym zobowiązano administrację do przystosowania statków do GMDSS. Jedną z możliwości oferowanych przez system jest wykorzystanie przenośnych lub swobodnie pływających urządzeń, takich jak: EPIRB - awaryjne boje radiowe, wskazujące pozycję /Emergency Position Indicating Radio Beacons/, czy nadajników z klawiaturą /keyboard senders/ do alarmowania w niebezpieczeństwie i wskazywania pozycji w przypadku braku lub złego funkcjonowania urządzeń satelitarnych na statku.

Ogólnie można stwierdzić, że w opracowanym obecnie GMDSS będą uwzględnione osiągnięcia i wynikająca z nich nowa jakość, takich systemów jak: NAVSTAR, COSPAS - SARSAT, INMARSAT, DRCS i innych.

WYKAZ LITERATURY.

1. Nikitin A.A., Chydjakow G.I.: Sowremennoje sostojanie radionawigacionnoj sistemy Omega. Zarubieznaja Radioelektronika, No 3, 1982.
2. Praca zbiorowa pod redakcją prof. dr inż. Leonarda Knocha: Systemy radiokomunikacji satelitarnej. WKŁ, Warszawa 1980.
3. Wołosow P. i inni: Sudowyje kompleksy sputnikowej nawigacji. Sudostrojenije.
4. Wołyikin A., Kudrjawoew I., Miszozenko I.: Apparatura potrebitelej "Nawstar". Zarubieznaja Radioelektronika, No 4, 1985; No 5, 1985.
5. Zurabow J., Miszozenko I., Mjelnikow W.: Plan rozwitija radionawigacionnyh sistem w S.Sz.A. Zarubieznaja Radioelektronika, No 9, 1983.

ISSN 0209-1046

