

9. PODSYSTEMY NAWIGACYJNE I POMIAROWE

Zintegrowany odbiornik GPS *Seapath™ 200* umożliwia przy tym określenie zorientowania jednostki z dokładnością $0,05^\circ$ (przy długości linii bazy 4 metry) oraz $0,075^\circ$ (przy długości linii bazy 2,5 metra) na poziomie ufności 95 proc. Długość linii bazy oznacza przy tym odległość pomiędzy dwiema antenami odbiorczymi systemu satelitarnego GPS. Odbiornik systemu *Seapath™ 200* wykorzystuje dwie anteny systemu satelitarnego GPS ustawione prostopadle do wzdłużnej osi symetrii statku, czujniki ruchów jednostki, poprawki różnicowe DGPS oraz satelitarne systemy wspomagające WAAS, EGNOS, MSAS itp.

Według zapewnień producenta urządzenia typu Seatex *Seapath* gwarantują:

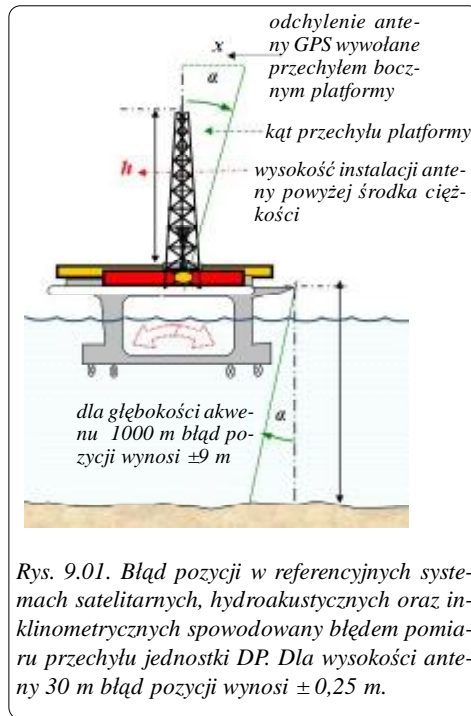
- pomiar kursu rzeczywistego w dowolnym punkcie na powierzchni Ziemi,
- dużą dokładność pomiaru kursu niezależnie od szerokości geograficznej,
- zastąpienie kilku urządzeń nawigacyjnych (GPS, log, żyrokompas) jednym zintegrowanym systemem nawigacyjnym,
- możliwość ustalenia kierunku ruchu statku nawet w czasie krótkotrwałych zaników sygnału GPS,
- stabilną wartość kursu rzeczywistego w czasie cyrkulacji i tuż po niej (podczas cyrkulacji kompasu magnetycznego i żyroskopowego na skutek dużych wartości dewiacji dynamicznej, stają się mało wiarygodne),
- wiarygodną i dokładną pozycję geograficzną statku,
- odbiornik, oprócz pozycji satelitarnej anten GPS, umożliwia prezentację pozycji geograficznej dowolnego punktu wyznaczonego przez użytkownika (np. pozycja rufy lub dziobu statku),
- umożliwia też dokładny pomiar przechyłów wzdłużnych, bocznych oraz wartości kąta myśzkowania (oscylacji poziomych),
- umożliwia dokładny pomiar prędkości statku nad dnem oraz prędkości obrotowej,
- wszystkie pomiary dokonywane są w czasie rzeczywistym i uaktualniane z częstotliwością 20 Hz,
- urządzenia z racji swoich gabarytów oraz małego zużycia mocy (15-25W) mogą być instalowane na małych statkach. Koszt instalacji urządzenia jest przy tym znacznie niższy niż koszt instalacji poszczególnych oddzielnych urządzeń nawigacyjnych (żyrokompas, log, GPS, układ inercyjny).

9.1.2. CZUJNIKI POMIAROWE RUCHÓW WŁASNYCH

Odpowiedzią kadłuba na działanie zakłóceń hydrometeorologicznych są między innymi ruchy statku w płaszczyźnie pionowej, tj. nurzanie oraz kołysanie wzdłużne i boczne. Ruchy te nie mogą być kompensowane przez systemy dynamicznej stabilizacji jednostek nawodnych DP, ale znajomość ich aktualnych wartości konieczna jest w samym procesie dynamicznej stabilizacji ich pozycji i/lub zorientowania. Dane dotyczące kołysania wzdłużnego i boczno-bocznego konieczne są również do kompensacji wskazań nawigacyjnych systemów referencyjnych.

Przykładem na to może być antena DGPS zamontowana na szczycie wieży wiertniczej o wysokości 30 m ponad poziom morza. Kołysanie poprzeczne wielkości tylko $0,5^\circ$ spowoduje błąd pozycji o 0,25 m większy, natomiast takie kołysanie dla systemu akustycznego

9.1. CZUJNIKI POMIAROWE



lub mechanicznego, pracującego na głębokości 1 000 metrów, spowoduje już błąd o 9 metrów większy (patrz rys.9.01). Pozycja jednostki nie będzie więc mogła być jednoznacznie określona, lecz będzie zawierać się w obszarze koła pozycyjnego o średnicy rzędu odpowiednio 0,5 metra oraz 18 metrów.

Dane o kołysaniu (i/lub nurzaniu) statku są potrzebne do wprowadzenia poprawek na przemieszczenia pozycji anteny DGPS lub transpondera hydroakustycznego względem pozycji centralnej statku. Jest to tak zwana kompensacja ruchu. Wymagana dokładność pomiaru wartości kołysania (nurzania) przez VRU jest wprost proporcjonalna do odległości pomiędzy anteną (transponderem) a punktem centralnym jednostki dynamicznie pozycjonowanej.

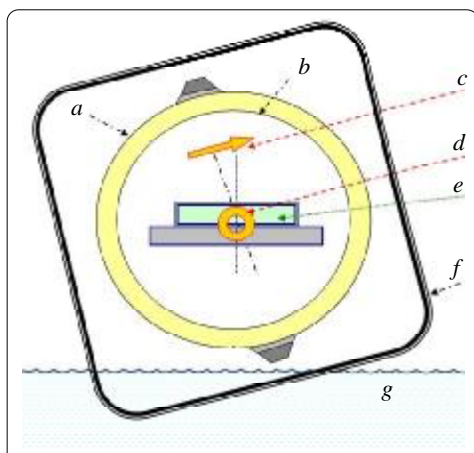
Jedną z metod korygujących otrzymane wyniki pomiarów jest uwzględnienie oscylacji pionowych jednostki dynamicznie pozycjonowanej, realizowane poprzez

pomiar nurzania oraz pomiar kątów oscylacji (kołysania i kiwania) określonych względem lokalnej (statkowej) linii pionu i odniesionych do globalnej (geodezyjnej) linii pionu.

Systemami referencyjnymi (czujnikami pomiarowymi ruchów własnych jednostki), które umożliwiają pomiar aktualnych wartości przechyłów wzdłużnych (kiwania) oraz poprzecznych (kołysania) statku dynamicznie pozycjonowanego są tzw. czujniki VRS (*Vertical Reference Sensor*), które znane są również pod nazwą VRU (*Vertical Reference Unit*) – rys.9.02.

System DP mógłby funkcjonować bez czujników VRS, jeżeli statek nie podlegałby kołysaniom wzdłużnym i poprzecznym, czy też jeżeli nie posiadałby sprzętu wymagającego takich urządzeń, jednak powyższe sytuacje zdarzają się niezmiernie rzadko i zazwyczaj wszystkie jednostki DP są wyposażone w czujniki oscylacji pionowych (dodatkowo zazwyczaj są one dublowane na wypadek awarii jednego z nich). Na rynku dostępnych jest kilka typów sensorów VRS, od najtańszych z rodzaju „wahadłowych”, przez wahadła fizyczne, układy żyroskopowe, po jednostki trójosiowe o sześciu stopniach swobody i inercyjne systemy wspomagające (*Aided Inertial Systems*), które umożliwiają nie tylko dokładny pomiar pionowych oscylacji wzdłużnych i poprzecznych statku (kiwanie + kołysanie), ale również na dokładny pomiar wartości jego nurzania. Są to tzw. czujniki inercyjne MRU (*Motion Reference Unit*). Każde z tych rozwiązań ma swoje zalety i wady, a o wyborze decyduje cena, zastosowanie praktyczne oraz wymagane parametry. Wartości kiwania i kołysania w systemach DP wyrażane są w stopniach, wielkość zaś nurzania wyrażana jest w metrach.

9. PODSYSTEMY NAWIGACYJNE I POMIAROWE



Rys. 9.02. Schemat budowy czujnika VRS typu zanurzonego do pomiaru oscylacji pionowych oraz przechyłów wzdłużnych i poprzecznych jednostki: a/ cewka A, b/ cewka B, c/ oś kołysań wzdłużnych, d/ oś kołysań poprzecznych, e/ cewka pomiarowa, f/ konstrukcja statku, g/ stabilizowana platforma.

Istnieje kilka typów czujników VRS, począwszy od czujników wahadłowych, żyroskopowych, trójosiowych o sześciu stopniach swobody, a skończywszy na czujnikach inercyjnych. Spośród wymienionych typów najczęściej spotykane we flocie handlowej są czujniki wahadłowe, które charakteryzują się dużą niezawodnością, łatwą konserwacją i stosunkowo niską ceną. System wykorzystujący czujniki wahadłowe (inklinometry) składa się z dwóch czujników zamocowanych na stałe w płaszczyźnie wzdłużnej i poprzecznej statku. Poprzez pomiar składowej siły ciężkości możliwe jest określenie przechyłów wzdłużnych i poprzecznych jednostki (kiwanie + kołysanie).

Rozwiązanie to pozwala więc określić przechyły statku (wzdłużne i poprzeczne), ale posiada pewne ograniczenia. Duże błędy spowodowane bezwładnością wahadła, mała dokładność wskazań oraz zawodność podczas krótkotrwałych przyspieszeń jed-

nostki sprawiły, iż w systemach DP urządzenia te stosowane są jedynie jako urządzenia pomocnicze lub rezerwowe.

Jednym ze sposobów przeciwdziałania wpływowi dynamiki jednostki na odczyty dokonywane czujnikami VRS jest wykorzystanie zmieniającego się wraz z przechyłami jednostki pola magnetycznego rejestrowanego w środowisku tłumiącym. W rozwiązaniu tym, jako czujniki wykorzystywane są cewki umieszczone w cieczy o wysokiej lepkości. Odczyt następuje dzięki zmianie natężenia pól magnetycznych generowanych równoległe do osi kołysań wzdłużnych i bocznych (rys. 9.02). Pola magnetyczne generowane są przez dwie cewki (A i B), a ich zmiany w płaszczyźnie pionowej rejestrowane są przez cewkę pomiarową zamocowaną do stabilizowanej platformy umieszczonej w płaszczyźnie poziomej. Czujniki te mają jednak zwykle znaczne rozmiary, co utrudnia ich instalację, obsługę i konserwację. W praktyce znalazły one zastosowanie w systemach DP starszej generacji.

W systemach DP nowej generacji zwykle stosuje się tzw. czujniki inercyjne. Dostępność i rozwój czujników inercyjnych pozwolił na stworzenie systemów MRU (*Motion Reference Unit*). Systemy te wykorzystują ortogonalne układy 3 akcelerometrów liniowych i 3 akcelerometrów kątowych oraz algorytm odniesienia płaszczyzny pionowej do określenia przechyłów wzdłużnych i bocznych jednostki DP wraz z wartościami jej nurzania. Wiodącym producentem systemów MRU jest norweska firma *Kongsberg Maritime AS*. Najbardziej precyzyjne podają wielkość przechyłu z dokładnością do $0,02^\circ$, zorientowanie do $1,0^\circ$, nurzanie do $0,05$ m a przyspieszenia do $0,01$ m/s².

9.1. CZUJNIKI POMIAROWE

Liniowe akcelerometry, używane w typowych urządzeniach MRU, składają się z dwóch głównych elementów, masy doświadczalnej oraz obwodu detekcji i sprzężenia zwrotnego. Część pomiarowa akcelerometru zawiera cienki, okrągły kawałek amorficznego silikonu. Materiał ten charakteryzuje się elastycznością w jednym kierunku i sztywnością w pozostałych kierunkach. Poprzez proces wytrawiania chemicznego, wewnętrzne koło silikonowe jest częściowo oddzielone od pierścienia zewnętrznego, co pozwala na małe odkształcenia. Centralna część ma możliwość odkształcania się tylko w ściśle określonym kierunku (pomiaru). Po obu stronach masy próbnej umieszczone są cewki elektryczne otoczone magnesami. Na końcu masy doświadczalnej umieszczona jest cienka warstwa przewodząca, połączona elastycznie z wejściem obwodu detekcji pozycji. Dwie powierzchnie przewodzące z każdej strony masy próbnej tworzą okładki kondensatora różnicowego – okładkę środkową tworzy warstwa przewodząca na krawędzi masy próbnej.

W przypadku wystąpienia przyspieszenia w kierunku czułości, masa doświadczalna odchyli się od jej centralnej pozycji pomiędzy magnesami. Skutkiem tego odchylenia, kondensator różnicowy obciążony jest asymetrycznie, a detektor pozycji wysyła sygnał do wzmacniacza. Następnie ze wzmacniacza wysyłany jest prąd sterujący do cewek w celu wymuszenia powrotu masy doświadczalnej w położenie równowagi. Wielkość prądu sterującego potrzebnego do utrzymania masy próbnej w położeniu równowagi, odpowiada wartości przyspieszenia. Sygnał wyjściowy z akcelerometru, pochodzący od prądu sterującego po linearyzacji, wyskalowaniu i wyrównaniu, używany jest w celu określenia oscylacji wzdłużnych (kiwania), oscylacji poprzecznych (kołysania) oraz oscylacji pionowych (nurzenia).

9.1.3. CZUJNIKI POMIAROWE SIŁY I KIERUNKU WIATRU

Znajomość prędkości i kierunku wiatru konieczna jest do obliczenia sił generowanych przez wiatr i oddziałujących na kadłub jednostki (statku). Siły te brane są następnie pod uwagę w procesie dynamicznej stabilizacji pozycji i/lub zorientowania jednostki dynamicznie pozycjonowanej. Przyrządem służącym do określania siły oraz kierunku wiatru jest anemometr (rys.9.03).

