

SYSTEM WSPOMAGANIA DECYZJI KAPITANA W TRUDNYCH WARUNKACH POGODOWYCH

W artykule opisano systemy wspomaganie decyzji kapitana statku w czasie eksploatacji, zwłaszcza decyzji dotyczących bezpiecznego operowania statkiem w trudnych warunkach pogodowych. Falowanie podczas trudnych warunków pogodowych jest jednym z czynników, które najbardziej obniżają wydajność eksploatacyjną statku, dlatego niezbędną składową eksploatacji statku jest proces decyzyjny, który wiąże się między innymi z warunkami pogodowymi, w jakich pływa statek.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, stateczność statku, system wspomaganie decyzji, rezonans parametryczny.

WPROWADZENIE

Wraz z rozwojem technologii statki handlowe stały się złożonymi systemami kontroli i zarządzania, które obejmują obszary: sterowania siłownią statku (centrum manewrowo-kontrolne), planowania podróży i nawigacji (ECDIS, ARPA), pozycji własnej i statków (GPS, AIS), łączności (GMDSS), operacji przeładunkowych (programy do obliczeń statecznościowych). Dąży się do integracji poszczególnych systemów kontroli poprzez wdrożenie zharmonizowanego systemu zbierania, wymiany, prezentacji i analizy informacji morskiej przy użyciu elektronicznych środków, w celu wspierania nawigacji, bezpieczeństwa i ochrony środowiska morskiego. Wspólny mechanizm nadzoru obszarów morskich UE – CISE umożliwia wymianę informacji o ryzyku i zagrożeniach pomiędzy organami odpowiedzialnymi za bezpieczną żeglugę i kontrolę rybołówstwa.

Jednym z celów tego systemu jest stosowanie systemów wspomaganie decyzji. Duży napływ informacji powoduje trudności z ich przetwarzaniem i wykorzystaniem, więc koniecznością staje się wykorzystywanie systemów wspomaganie decyzji (*Decision Support System – DSS*) w celu zwiększenia bezpieczeństwa w czasie eksploatacji statku. Najbardziej zaawansowane technologicznie systemy DSS na podstawie zmierzonych warunków falowych, prognoz pogody (*online*), prędkości i kursu statku aktualnego GM, monitorowania rzeczywistych naprężeń kadłuba obliczają reakcje statku w istniejącej sytuacji falowej, w postaci kołysań i naprężeń kadłuba, tym samym dostarczają użytkownikowi informacji o konsekwencjach podjętych decyzji [1, 6].

1. BEZPIECZEŃSTWO STATECZNOŚCIOWE STATKU W TRUDNYCH WARUNKACH POGODOWYCH

Bezpieczeństwo jest pojęciem określającym stan, w którym nie występuje zagrożenie i ryzyko, którego poziom jest nieakceptowalny, bądź straty finansowe [2, 3]. Sformułowanie pojęcia bezpieczeństwa jest trudne i zależy od subiektywnego podejścia oceniającego. Bezpieczeństwo statecznościowe dotyczy takiego stanu konstrukcji kadłuba i przewożonego ładunku, dla którego wpływ warunków zewnętrznych oraz działań załogi statku nie stwarza zagrożenia statecznościowego.

Obowiązujące przepisy statecznościowe opierają się na Kodeksie Stateczności Statku Nieuszkodzonego ISC 2008 (*Intact Stability Code*), IMO – Rezolucja MSC.267(85) z 04.12.2008 r. [4].

Podstawowe kryteria zawarte w ISC 2008 weryfikują parametry ramion prostujących (GZ) w odniesieniu do zjawisk statycznych, takich jak: minimalna wartość początkowej wysokości metacentrycznej (GM_{min}), wartości ramion prostujących oraz kątów, przy których występują.

Kryterium pogodowe odnosi się do pracy momentu prostującego w czasie kołysań w morzu. W zakresie kątów do 40° sprawdza sytuację negatywnego nałożenia się kołysań statku od statycznego i dynamicznego działania wiatru [8].

W świetle przepisów Kodeksu ISC 2008 spełnienie przez statek kryteriów stateczności rokuje przetrwanie statku w trudnych warunkach pogodowych. Załoga statku jest zobowiązana do ciągłej obserwacji zachowań statku na wzburzonym morzu, a interpretacja powinna skutkować podjęciem manewrów celem redukcji zjawisk niebezpiecznych dla stateczności statku, takich jak: kołysanie synchroniczne, parametryczne, prowadzące do rezonansu kołysań poprzecznych, *broaching-to* i *surf-riding*.

Tabela 1. Zjawiska związane z ruchem statku na fali

Table 1. Dangerous phenomena for ships in heavy seas

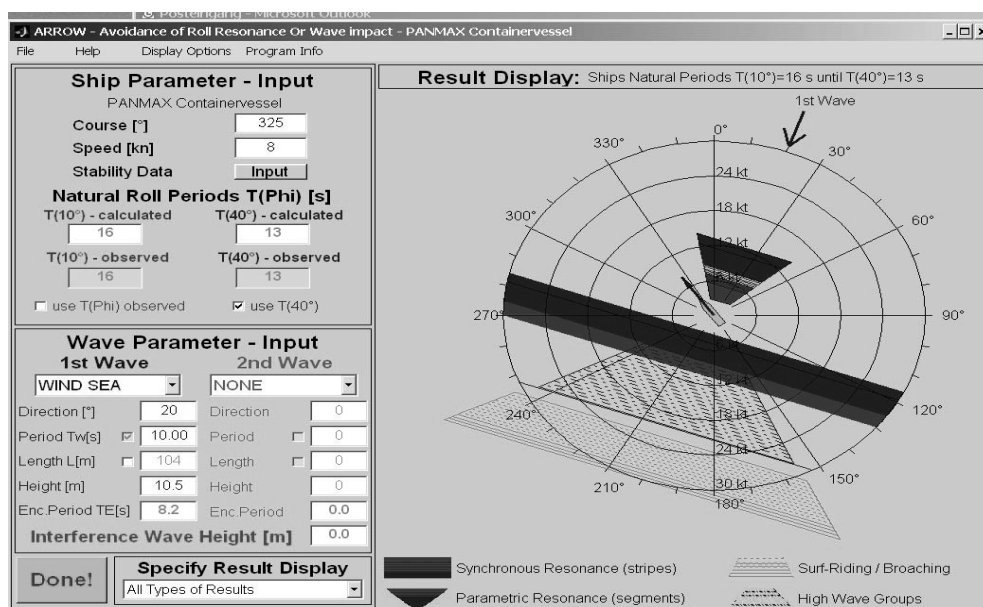
Zjawisko	Parametry falowania		Rezultaty/Zagrożenia
	kierunek fali	okres spotkaniowy	
Rezonans kołysań poprzecznych	Fale nadążające z sektorów rufowych	Okres kołysań bocznych równy okresowi spotkaniowemu fali	Duża amplituda kołysań bocznych, możliwe przewrócenie się statku
Parametryczne kołysania boczne	Fale nadbiegające z sektorów dziobowych	Okres spotkaniowy fali jest równy połowie okresu kołysań własnych statku	Duża amplituda kołysań statku, chwilowe zmniejszenie stateczności poprzecznej statku, możliwe przewrócenie się statku
<i>Broaching-to</i> i <i>surf-riding</i>	Statek wyprzedzany przez falę nadążającą od $1,5L - 2L$ dłuższą, znajdujący się na przedniej płaszczyźnie fali (<i>surf-riding</i>)		Nagła zmiana kursu statku i nieoczekiwany przechył prowadzą do przewrócenia się statku

Zagrożenia spowodowane trudnymi warunkami na morzu mogą wystąpić, gdy warunki pogodowe przekroczą dopuszczalne wartości przyjęte w przepisach ISC'2008. Aby uniknąć takich sytuacji, kapitan zobowiązany jest przyjmować takie wartości kursu i prędkości statku, aby zmniejszyć amplitudy kołysań i tym samym wyjść z zakresu kołysań rezonansowych.

Istnieje szereg nieskomplikowanych programów, które na podstawie wprowadzanych wartości kursu, prędkości, średniego zanurzenia, GM, wartości ramion prostujących statku oraz parametrów falowania (kierunek, okres i wysokość) obliczają obszary żeglowne i nieżeglowne dla statku w danych warunkach pogodowych.

Przykładem takiego programu jest ARROW niemieckiej firmy Veinland. Wyniki obliczeń wyświetlane są na monitorze komputera w formie nakresu przedstawiającego obszary potencjalnie bezpieczne i niebezpieczne dla danej sytuacji pogodowej. Obszary niebezpieczne identyfikują zjawiska kołysania parametrycznego, rezonansu kołysań bocznych, *broaching-to* i *surf-riding*.

Na rysunku 1 przedstawiono obraz panelu głównego programu ARROW [10].



Rys. 1. Panel główny programu ARROW [10]

Fig. 1. Main panel of ARROW program [10]

Niedokładność obliczeń systemu ARROW stanowi brak modelowania dokładnych kształtów kadłuba – ujmuje on bardzo uproszczony kształt (dane wejściowe dotyczą wartości ramion prostujących, GM, długości i szerokości statku) niemniej jednak system ten jest kolejnym krokiem podjętym w kierunku usprawnienia prowadzenia nawigacji w trudnych warunkach pogodowych.

2. SYSTEMY WSPOMAGANIA DECYZJI W TRUDNYCH WARUNKACH POGODOWYCH

Dostępne programy do oceny stateczności i wytrzymałości statku w czasie eksploatacji można podzielić na trzy grupy ze względu na sposób oceny:

- modelowy – na podstawie danych wprowadzonych przez użytkownika (np. SEACOS);
- doświadczalny – na podstawie prób przechyłów i kołysań statku;
- doradczy – na podstawie analizy statecznościowej i przyjętych kryteriów oceny ryzyka wspomagających decyzję kapitana (np. OCTOPUS – DSS).

Modelowy sposób oceny statecznościowej poprzez typowe programy statecznościowe na statkach obowiązuje w kompaniach na całym świecie. Oprogramowanie tej kategorii pozwala na szybką analizę wprowadzanych danych przy założeniu ich poprawności.

Na nowocześniejszych technologicznie statkach zainstalowane czujniki pomiarowe ilości zapełnienia zbiorników i zanurzeń statku pozwalają na obliczenia przez programy rzeczywistych i aktualnych parametrów stateczności statku. Do oceny tej służy wykonywana automatycznie przez system próba przechyłów lub pomiary kołysań w morzu [2].

Trzeci rodzaj systemów tworzą oprogramowania wykorzystujące „sztuczną inteligencję”, dają one największą możliwość oceny rzeczywistej stateczności statku, a przy założonych kryteriach oceny bezpieczeństwa stają się systemem doradczym.

3. ARCHITEKTURA SYSTEMU WSPOMAGANIA DECYZJI KAPITANA

Architektura systemu DSS została opisana na podstawie projektu J.M. Rodrigues & C. Guedes Soares (2012). Logiczna architektura systemu wspomaganie decyzji (rys. 2) składa się z trzech głównych modułów, którymi są: moduł przetwarzania i analizy danych, moduł estymatora naprężeń kadłuba oraz moduł estymatora stanu morza [5, 7].

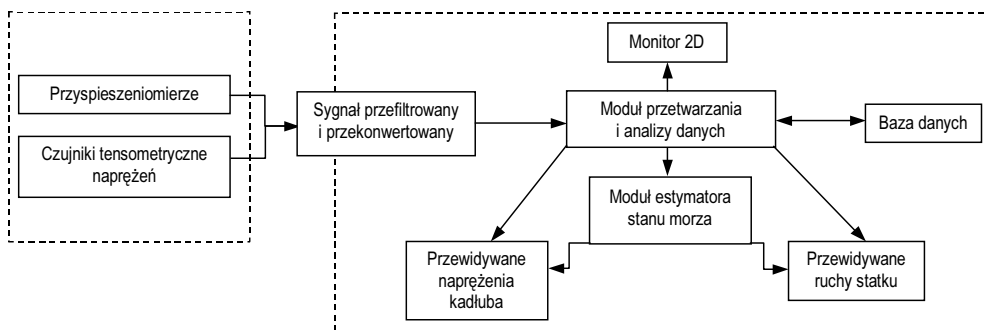
Moduł przetwarzania i analizy danych pozwala monitorować w czasie rzeczywistym kołysania statku i przyspieszenia w dowolnym miejscu na statku. Wejściowymi parametrami do obliczeń są przefiltrowane i przekonwertowane sygnały z czujników tensometrycznych i przyspieszeniomierzy.

Moduł estymatora naprężeń kadłuba oszacowuje naprężenia w kadłubie oraz przewiduje możliwe wartości sił tnących i momentów gnących w funkcji zmian kursów i prędkości statku.

Moduł estymatora stanu morza używa dyskretyzowanych i przefiltrowanych wartości przyspieszeń i okresu kołysań statku do obliczania kierunku widma fali.

Powyższe parametry w powiązaniu z wcześniej zdefiniowanymi kryteriami bezpieczeństwa skutkują zobrazowaniem rzeczywistej sytuacji na monitorze komputera w postaci nakresu kombinacji obszarów bezpiecznych i niebezpiecznych dla danego kursu i prędkości statku.

Na rysunku 2 przedstawiono architekturę systemu wspomaganie decyzji kapitańca w trudnych warunkach pogodowych.



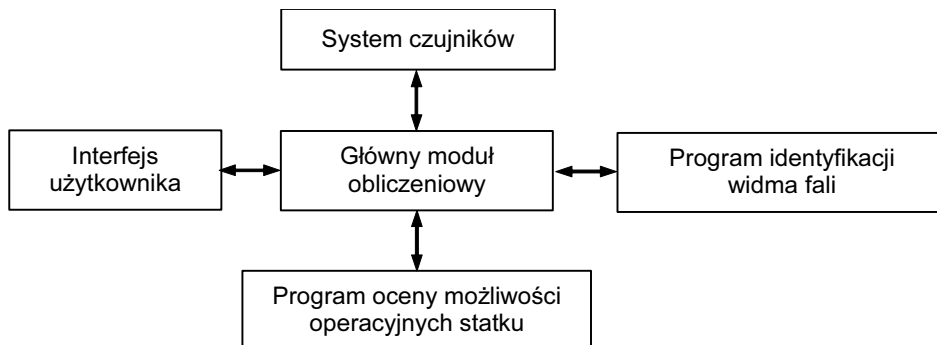
Rys. 2. DSS – architektura logiczna systemu [5]

Fig. 2. DSS logical architecture [5]

Oprogramowanie (*software*) systemu można podzielić na pięć części (rys. 3):

- system czujników – odpowiedzialny za wszystkie pomiary ruchu statku na fali;
- program identyfikacji widma fali – wyniki: znaczna wysokość fali, średni okres i kierunek fali;
- interfejs użytkownika – wyniki w postaci nakresów na monitorze użytkownika, za pomocą których może on dokonać analizy sytuacji i tym samym podjąć decyzje adekwatne do aktualnych warunków pogodowych;
- program oceny możliwości operacyjnych statku – odpowiedzialny za obliczanie i prognozowanie możliwych ruchów statku przy aktualnym bądź zmienionym kursie i prędkości statku w danych warunkach pogodowych;
- główny moduł obliczeniowy – stanowi centrum przepływu danych (gromadzi i przechowuje), ponadto jest odpowiedzialny za połączenia z programem oceny zdolności operacyjnej statku, do którego przesyła parametry, które zapisane w postaci macierzy o wymiarach $m \times n$ trafiają do interfejsu użytkownika. Wartości m określają możliwe prędkości, a n – możliwe kursy statku.

Schemat oprogramowania systemu wspomaganie decyzji w trudnych warunkach pogodowych przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat oprogramowania systemu wspomagania decyzji w trudnych warunkach pogodowych [5]

Fig. 3. Software architecture [5]

4. KOMERCYJNE SYSTEMY WSPOMAGANIA DECYZJI KAPITANA

Najbardziej zaawansowanym system DSS istniejącym na rynku jest produkt holenderskiej firmy Amarcon BV o nazwie OCTOPUS – Onboard. System łączy w sobie wszystkie informacje otrzymane z prognoz pogody, zmierzonych warunków falowych (widma kierunkowe), warunków obciążenia statku, prędkości i kursu statku, kierunku falowania, trasy statku oraz systemów monitorowania reakcji kadłuba w celu nadzorowania i prognozowania reakcji statku. Wyniki wyświetlane są na dowolnej stacji roboczej w ramach sieci komputerowej. System OCTOPUS – Onboard:

- monitoruje – natychmiastowy przegląd aktualnych i możliwych osiągnięć statku w istniejącej sytuacji falowej;
- prognozuje – ocenia osiągi statku, okna pogodowe, ostrzeżenia o okresie nieżeglownym;
- optymalizuje – zapewnia szczegółową ocenę i optymalizację trasy rejsu w aspekcie zużycia paliwa i generowania CO₂;
- asystuje – zadaniem systemu jest wspomaganie decyzji w celu uniknięcia niebezpiecznych zjawisk podczas trudnych warunków pogodowych.

Zaletą systemu jest jego uniwersalność, OCTOPUS może być zainstalowany na dowolnym typie statku lub pełnomorskiej jednostki pływającej. Oprócz funkcji standardowych Amarcon dostarcza rozwiązania dostosowane do rodzaju jednostki pływającej. Zaawansowane funkcje konfiguracyjne i przetwarzania zgromadzonych danych zapewniają dużą elastyczność użytkowania programu [9].

WNIOSKI

Wprowadzanie na statek coraz to nowszych urządzeń, systemów, programów czy aplikacji w celach usprawnienia eksploatacji statku stanowi aktualny trend w żegludze morskiej. Postęp technologiczny w budownictwie okrętowym i żegludze morskiej niejednokrotnie wyprzedza postęp eksploatacyjny statków, pomimo coraz większego nacisku na integrację systemów istniejących na statkach. Konsekwencją takiego stanu rzeczy jest potrzeba selekcji informacji napływających do kapitana statku. Usprawnienie podejmowania decyzji, nieodłącznie związanej z bezpieczeństwem załogi, ładunku, statku i środowiska morskiego, opartej na rzetelnej wiedzy i dobrej praktyce morskiej, jest możliwe dzięki wykorzystaniu systemów wspomagania decyzji kapitana.

Programy do obliczeń statecznościowych obsługiwane na statkach obliczają parametry statku dla danego stanu załadowania przed wyjściem w morze. Uważa się, że statek spełniający kryteria statecznościowe jest bezpieczny pod względem statecznościowym. Jednakże ocena bezpieczeństwa statecznościowego statku w czasie eksploatacji na morzu powinna uwzględniać również rzeczywiste warunki, w jakich znajduje się aktualnie statek.

LITERATURA

1. Banas P., Breitsprecher M., *Knowledge Base in the Interpretation Process of the Collision Regulations at Sea*, [online], TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, t. 5, 2011, nr 3, [udostępniono 27.12.2013].
2. Burciu Z., *Bezpieczeństwo w transporcie morskim i zarządzanie w akcji ratowniczej*, Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia 2011.
3. Gerigk M., *Kompleksowa metoda oceny bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym z uwzględnieniem analizy ryzyka*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Monografie 101, Gdańsk 2010.
4. IMO, Resolution MSC.267(85). 2008, s. 1–94.
5. Perera L.P., Rodrigues J.M., Pascoal R., Guedes Soares C., *Development of an onboard decision support system for ship navigation under rough weather conditions*, 2012, s. 837–844.
6. Pietrzykowski Z., Uriasz J., *Knowledge Representation in a Ship's Navigational Decision Support System*, TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, t. 4, 2010, nr 3, [udostępniono 27.12.2013].
7. Rodrigues J.M., Perera L.P., Guedes Soares C., *Decision support system for the safe operation of fishing vessels in waves*, 2012, nr 2006, s. 153–161.
8. Soliwoda J., *Praktyczna ocena stateczności w eksploatacji a bezpieczeństwo statku*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, nr 69, Gdynia 2011.
9. <http://www.amarcon.com/octopus-onboard.html>.
10. http://www.veinland.net/en/software_solutions/arrow/.

DECISION SUPPORT SYSTEM ONBOARD UNDER ROUGH WEATHER CONDITIONS

Summary

The paper describes an onboard decision support system to support ship operation, in particular on decisions about ship handling in waves, which will contribute to vessel safety. The effect of waves in rough weather is one of the factors that most degrade a ship's operational efficiency. Therefore, the tactical judgment involved in the ship handling decision process takes an essential part in navigation.

Keywords: *safety, ship's stability, decision support system, parametric resonance.*