

**ZESZYTY NAUKOWE NR 2 (74)
AKADEMII MORSKIEJ
W SZCZECINIE**

EXPLO-SHIP 2004

Tomasz Cepowski

**Numeryczne próby morskie uwzględniające właściwości
morskie statku**

Słowa kluczowe: właściwości morskie, efektywność operacyjna, kołysania boczne, kryteria stateczności, kryteria operacyjno-ograniczające, wskaźnik efektywności operacyjnej

Przedstawiono metodę oceny stateczności statku, umożliwiającą uwzględnienie zachowania się statku na fali. Istotą metody jest ocena zachowania się statku poddanego tzw. numerycznym próbom morskim. W artykule podano przykład metody uwzględniającej właściwości morskie statku i na tej podstawie opracowano wskazówki do zastosowania tych właściwości w kryterium stateczności poprzecznej.

Numerical Sea Tests Simulation of Seakeeping Properties

Key words: seakeeping properties, seakeeping operability, roll, stability criteria, seakeeping criteria, seakeeping performance index

The paper presents a method for the stability assessment taking into account ship behavior in waves. The method aims at examining ship seakeeping ability by the numerical sea test simulation in real-life operation scenarios. The article presents an application of the method for seakeeping analysis which served as a basis for stability criterion formulation.

Wstęp

Statek transportowy można rozpatrywać jako środek techniczny, który spełnia szereg potrzeb, spośród których najistotniejszą jest potrzeba bezpiecznego przewożenia ładunku po określonej trasie i w założonym przedziale czasowym. Aby statek transportowy mógł spełniać tę funkcję, musi charakteryzować się odpowiednimi parametrami technicznymi, które kontroluje się zarówno na etapie budowy statku, jak i przez cały okres jego eksploatacji. Na warunki techniczne składa się szereg kryteriów, związanych m.in. z wytrzymałością konstrukcji kadłuba, zachowaniem się statku poddanego zewnętrznym momentom wymuszającym, czyli tzw. statecznością poprzeczną, czy też charakterystykami oporowo-napędowymi. Obecnie, obok dość uproszczonej i formalnej oceny stateczności w procesie projektowania i eksploatacji statku, coraz większą uwagę przywiązuje się do zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa statku w rzeczywistych warunkach środowiska morskiego, tzn. pod działaniem wiatru i fali. Wynika to z wielu przyczyn, ale najistotniejszymi jest to, że istniejące metody oceny stateczności są zbyt mało elastyczne na zmieniające się warunki, w jakich jest eksploatowany statek, oraz w zbyt wąskim zakresie uwzględniają zachowanie się statku na fali sztormowej.

Dlatego w badaniach podjęto próbę opracowania metody do oceny stateczności, umożliwiającej uwzględnienie w szerszym niż dotychczas stopniu właściwości morskich statku. Przedstawiona w artykule metoda opiera się na badaniu zachowania się statku poddanego tzw. numerycznym próbom morskim, czyli symulacji warunków, w jakich może znaleźć się statek i analizie jego odpowiedzi. Numeryczne próby morskie można prowadzić w szerokim zakresie dziedzin związanych z projektowaniem i eksploatacją statku. Badania te ograniczono do zagadnień związanych z właściwościami morskimi w aspekcie eksploatacji statku.

1. Metoda

Proponowana metoda polega na ocenie zachowania się statku poddanego tzw. numerycznym próbom morskim, tzn. realnym scenariuszom, w jakich może być eksploatowany statek. Istotą badań jest określenie potencjalnie niebezpiecznych scenariuszy oddziaływania środowiska morskiego na statek i przeprowadzenie numerycznych prób morskich w podanych warunkach. Wyniki badań mogą posłużyć do określenia poziomu bezpieczeństwa statecznościowego statku a także mogą być przydatne przy formułowaniu kryteriów do oceny stateczności statku z uwzględnieniem jego zachowania się na fali.

Numeryczne próby morskie można prowadzić w szerokim zakresie zagadnień związanych z projektowaniem i eksploatacją statku. W artykule badania ograniczono do zagadnień eksploatacyjnych uwzględniających zachowanie się statku na fali sztormowej. Wykorzystano wskaźnik efektywności operacyjnej E_T , który w literaturze naukowej jest uznanym parametrem służącym do oceny właściwości morskich w dziedzinach związanych z projektowaniem i eksploatacją statku [2, 3, 7]. Na podstawie prac [2, 7] wskaźnik E_T opisano równaniem:

$$E_T = \sum_A \sum_S \sum_{\mu} \sum_{HT} \sum_V \sum_{\psi} [P(\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_N = 1)] \quad (1)$$

gdzie:

E_T – wskaźnik efektywności operacyjnej z założeniem, że:

- statek będzie przebywał na danym akwenu z częstością f_A ,
- statek będzie przebywał na danym akwenu z częstością f_S w każdej porze roku,
- w danej porze roku i na danym akwenu wystąpi falowanie z częstością f_{μ} z kierunku μ ,
- dla kierunku μ falowanie o parametrach H_S (wysokość znacząca fali) i T (okres charakterystyczny fali) wystąpi z częstością f_{HT} ,
- na swojej trasie żeglugi statek będzie płynął z prędkością V i kursem ψ z częstością odpowiednio f_V i f_{ψ} ;

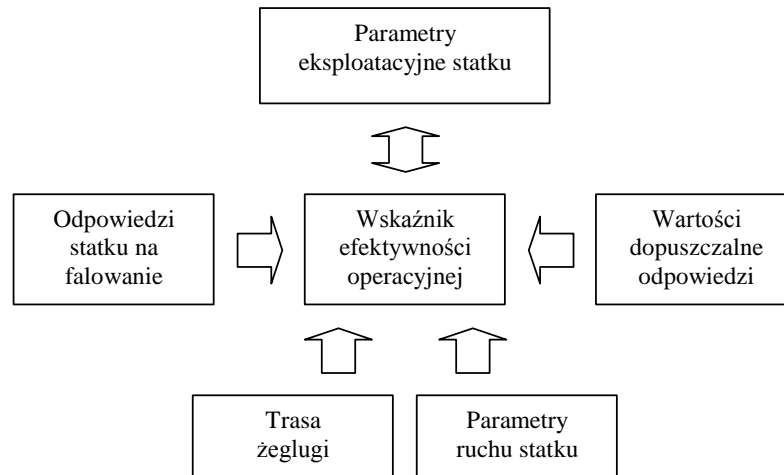
Γ_N – funkcja przyjmująca wartości: 0 – w przypadku, gdy N -ta odpowiedź statku przekracza wartość dopuszczalną, 1 – w przypadku, gdy N -ta odpowiedź statku nie przekracza wartości dopuszczalnej;

P – prawdopodobieństwo, że funkcja Γ_N przyjmie wartość równą 1.

Wskaźnik E_T powiązano z pozostałymi parametrami za pomocą modelu przedstawionego na rysunku 1. Na podstawie powyższego modelu jest możliwe wyznaczenie granicznych wartości parametrów eksploatacyjnych X_1, X_2, \dots, X_n , dla których wskaźnik efektywności eksploatacyjnej E_T uzyska maksymalne wartości (a tym samym właściwości morskie statku będą najlepsze).

Scenariusze numerycznych prób morskich pod kątem właściwości morskich powinny uwzględniać trasę żeglugi statku, parametry ruchu statku na trasie żeglugi oraz dopuszczalne wartości parametrów opisujących odpowiedzi statku na falowanie. Mogą one posłużyć do opracowania zakresów dopuszczalnych wartości parametrów eksploatacyjnych oraz wytycznych eksploatacyjnych w postaci dokumentacji technicznej, co pozwala na praktyczne zastosowanie na mostku.

Przedstawiono przykład wyznaczania obszaru parametrów eksploatacyjnych statku, według scenariusza opartego na krótkoterminowej prognozie kołysań bocznych statku.



Rys. 1. Model oparty na wskaźniku efektywności operacyjnej
 Fig. 1. Seakeeping Performance Index Model

2. Numeryczna próba morska uwzględniająca kołysania boczne statku

Na tym etapie badań przeprowadzono numeryczną próbę morską i wyznaczono „bezpieczne” zakresy parametrów eksploatacyjnych, dla których przyjęte odpowiedzi statku nie przekroczą dopuszczalnych wartości.

W badaniach przyjęto scenariusze dotyczące statku poruszającego się po założonej trasie żeglugi, który poddano falowaniu nieregularnemu z kierunku prostopadłego do płaszczyzny podstawowej kadłuba i znajdującego się w następujących warunkach eksploatacyjnych:

- scenariusz 1: bez prędkości i sterowności (prędkość statku $V = 0$ węzła),
- scenariusz 2: ograniczona do połowy prędkość eksploatacyjna ($V = 10$ węzłów),
- scenariusz 3: pełna prędkość eksploatacyjna ($V = 20$ węzłów).

Następnie przeprowadzono symulacje numeryczne dla wszystkich powyższych scenariuszy i przeanalizowano odpowiedzi statku, które uwzględniały kołysania boczne. Do oceny kołysań bocznych wykorzystano wskaźnik efektywności operacyjnej E_T . Na podstawie uzyskanych informacji opracowano graniczne wartości parametrów eksploatacyjnych.

2.1. Założenia

W eksperymencie numerycznym przyjęto szereg założeń, które dotyczyły m.in.: typu i kształtu statku, parametrów eksploatacyjnych, na podstawie których zostaną przedstawione wyniki analizy, parametrów opisujących falowanie na trasie żeglugi statku, parametrów ruchu statku.

Założono, że badanym statkiem będzie kontenerowiec S-175 o wymiarach: L (długość między pionami) – 175 m, B (szerokość) – 25,4 m, d (zanurzenie konstrukcyjne) – 9,5 m.

Na podstawie prac [1, 6] ustalono parametry, które mają decydujący wpływ na właściwości morskie statku. Z tego zestawienia wynika, że parametrami mającymi największy wpływ na kołysania boczne statku i będące jednocześnie rozpatrywanymi w kategorii tzw. parametrów eksploatacyjnych (tzn. zależnych m.in. od stanu załadowania, rodzaju przewożonego ładunku, itp.) są: objętość podwodzia ∇ , początkowa poprzeczna wysokość metacentryczna GM , wzniesienie środka ciężkości statku Z_G .

Biorąc pod uwagę, że objętość podwodzia ∇ można przedstawić w postaci zanurzenia średniego d oraz początkowa poprzeczna wysokość metacentryczna GM zależy od wzniesienia środka ciężkości Z_G i jest jednocześnie tzw. parametrem statecznościowym, w eksperymencie numerycznym założono, że wyniki analizy zostaną przedstawione w zależności od:

- zanurzenia średniego d w zakresie od 5 do 10 m,
- poprzecznej początkowej wysokości metacentrycznej GM , w zakresie od 0 do 4 m.

W rozważaniach założono, że w analizie nie uwzględni się przegłębienia i przechyłu bocznego statku.

Falowanie morskie występujące na trasie żeglugi można przedstawić za pomocą funkcji losowych w postaci m.in.: prawdopodobieństwa wystąpienia w odniesieniu do akwenów, przez które przebiega trasa żeglugi, parametrów falowania występujących na tych akwenach, kierunków falowania oraz pory roku.

W eksperymencie numerycznym badania ograniczono do wybranego akwenu, jednego kierunku falowania, całego roku kalendarzowego i założono, że:

- trasa będzie przebiegała przez akwen północnego Atlantyku;
- na tym akwenie wystąpi falowanie z kierunku $\mu = 90^\circ$ z prawdopodobieństwem $P_\mu = 0,03731$, a zatem statek będzie przebywał na nim przez 100% czasu;
- rozkład prawdopodobieństwa występowania falowania o parametrach H_S (wysokość znacząca fali), T (okres charakterystyczny fali) z założonego kierunku falowania, odniesione do całego roku, jest zgodny z tabelą 1.

Tabela 1

Prawdopodobieństwo występowania parametrów fali dla założonego obszaru
Probability of occurrence of waves parameters at a given water area

H_s [m]	T [s]						
	6 ÷ 7	7 ÷ 8	8 ÷ 10	10 ÷ 11	11 ÷ 12	12 ÷ 14	ponad 14
do 0,5	0,0061268	0,0002826	0,0000655	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
0,5 ÷ 1,5	0,0078530	0,0028133	0,0012179	0,0002107	0,0000850	0,0000000	0,0000000
1,5 ÷ 2	0,0027208	0,0030612	0,0008448	0,0001992	0,0001564	0,0000000	0,0000000
2 ÷ 2,5	0,0006938	0,0012498	0,0009821	0,0001080	0,0000343	0,0000000	0,000129
2,5 ÷ 3	0,0002626	0,0008537	0,0011886	0,0006545	0,0001938	0,0000740	0,0000000
3 ÷ 3,5	0,0000728	0,0005871	0,0006371	0,0002975	0,0000731	0,0000000	0,000075
3,5 ÷ 4	0,0000442	0,0003963	0,0003196	0,0001998	0,0004073	0,0000566	0,000060
4 ÷ 4,5	0,0000000	0,0000150	0,0003474	0,0000624	0,0000986	0,0000184	0,0000000
4,5 ÷ 5	0,0000273	0,0000180	0,0002886	0,0000268	0,0000908	0,0000164	0,0000000
5 ÷ 5,5	0,0000000	0,0001260	0,0000127	0,0000180	0,0000000	0,0000000	0,0000000
5,5 ÷ 6	0,0000000	0,0000321	0,0000187	0,0000173	0,0000333	0,0001000	0,0000000
6 ÷ 6,5	0,0000000	0,0000000	0,0000764	0,0000000	0,0000000	0,0000563	0,0000000
6,5 ÷ 7	0,0000000	0,0000265	0,0000396	0,0000000	0,0000655	0,0000000	0,0000000
7 ÷ 7,5	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
7,5 ÷ 8	0,0000000	0,0000000	0,0000755	0,0000000	0,0000000	0,0002429	0,0000000
8 ÷ 8,5	0,0000000	0,0000000	0,0000273	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
> 8,5	0,0000000	0,0000000	0,0000428	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

W badaniach założono, że statek będzie trzykrotnie pokonywał założoną trasę, przyjmując za każdym razem: stały kurs $\psi = 0^\circ$ przez 100% czasu oraz stałą prędkość V wynoszącą odpowiednio dla każdej jazdy: $V = 0, 10, 20$ węzłów przez 100% czasu. Zgodnie z powyższymi założeniami, kąt nabiegu fali na statek β_w względem kierunku falowania μ będzie wynosił:

$$\beta_w = \mu - \psi = 90^\circ \quad (2)$$

gdzie:

- β_w – kąt nabiegu fali na statek,
- μ – kierunek falowania,
- ψ – kurs statku.

W eksperymencie zdecydowano przedstawiać kołysania boczne w postaci statystycznych wartości znaczących. Do obliczeń symulacyjnych wykorzystano program SEAWAY¹, który jest programem opartym na teorii płaskiego opływu obliczającym ruchy statku na fali regularnej i nieregularnej [5]. Zamieszczone

¹ Program SEAWAY opracowany przez: Delft University of Technology, Shiphydrodynamics Laboratory, The Netherlands.

w pracy [4] zestawienia wskazują na dużą dokładność i zgodność obliczeń tego programu.

Wartość dopuszczalną kołysań bocznych $\phi_{1/3dop}$ wyrażono w postaci wartości znaczącej, którą przyjęto zgodnie z pracą [3]:

$$\phi_{1/3dop} = 12^\circ.$$

Obliczenia numeryczne przeprowadzono przyjmując m.in. zmodyfikowaną metodę opływu płaskiego z uwzględnieniem dyfrakcji obciążeń od fali, przedstawioną w pracy [5] oraz spektrum falowania wg ITTC.

2.2. Przykład obliczania wartości wskaźnika efektywności operacyjnej E_T dla stałych wartości parametrów eksploatacyjnych

Celem badań jest wyznaczenie zakresów parametrów eksploatacyjnych statku, dla których wskaźnik efektywności operacyjnej E_T będzie maksymalny (rys. 1) i wyznaczenie krzywej granicznych wartości tych parametrów. Przyjęte w badaniach parametry eksploatacyjne będą przyjmowały wartości w szerokim zakresie. Natomiast w artykule podano przykład obliczenia wartości wskaźnika efektywności operacyjnej E_T , przy założeniu stałych wartości parametrów eksploatacyjnych, które ograniczono do:

- zanurzenie średnie $d = 6$ m,
- początkowa poprzeczna wysokość metacentryczna $GM = 1,5$ m

oraz przyjmując scenariusz nr 1, zgodnie z którym prędkość statku $V = 0$ węzła.

W celu wyznaczenia wartości E_T posłużono się równaniem (1), a następnie:

- 1) obliczono za pomocą programu SEAWAY statystyczne wartości znaczące kołysań bocznych $\phi_{1/3}$ dla parametrów falowania z tabeli 1, które przedstawiono w tabeli 2;
- 2) wyznaczono wartości funkcji Γ , które podano w tabeli 3, przyjmując:
 - dopuszczalną wartość znaczącą kołysań bocznych $\phi_{1/3dop} = 12^\circ$,
 - $\Gamma = 1$ gdy $\phi_{1/3} \leq \phi_{1/3dop}$,
 - $\Gamma = 0$ gdy $\phi_{1/3} > \phi_{1/3dop}$;
- 3) sumując prawdopodobieństwa z tabeli 1 dla parametrów falowania, przy których funkcja $\Gamma = 1$ (wg tabeli 3), obliczono wskaźnik $E_T = 0,03706$.

Wskaźnik E_T jest mniejszy od wartości maksymalnej tego wskaźnika, który w powyżej założonych warunkach może mieć wartość $E_{Tmax} = 0,03731$. Wynika stąd wniosek, że statek z założonymi parametrami eksploatacyjnymi ($d = 6$ m, $GM = 1,5$ m), znajdujący się w warunkach eksploatacyjnych opisanych powyższymi scenariuszami, nie wyszedł pomyślnie z numerycznej próby morskiej.

Tabela 2

Statystyczne wartości znaczące kołysań bocznych $\phi_{1/3}$ obliczone za pomocą programu SEAWAY
Statistical significant values of roll $\phi_{1/3}$ calculated by the SEAWAY program

H_s [m]	T [s]						
	6 ÷ 7	7 ÷ 8	8 ÷ 10	10 ÷ 11	11 ÷ 12	12 ÷ 14	ponad 14
do 0,5	0,00	0,66	1,16	1,31	1,27	1,21	1,23
0,5 ÷ 1,5	0,17	1,11	1,77	1,98	1,92	1,79	1,72
1,5 ÷ 2	0,41	1,56	2,39	2,68	2,60	2,40	2,25
2 ÷ 2,5	0,65	2,02	3,03	3,41	3,33	3,06	2,82
2,5 ÷ 3	0,90	2,48	3,68	4,17	4,09	3,76	3,44
3 ÷ 3,5	1,15	2,95	4,35	4,96	4,89	4,51	4,11
3,5 ÷ 4	1,42	3,44	5,04	5,78	5,74	5,31	4,82
4 ÷ 4,5	1,72	3,94	5,74	6,62	6,63	6,16	5,60
4,5 ÷ 5	2,04	4,45	6,46	7,49	7,55	7,05	6,42
5 ÷ 5,5	2,39	4,99	7,20	8,38	8,51	7,99	7,28
5,5 ÷ 6	2,77	5,54	7,94	9,28	9,48	8,95	8,17
6 ÷ 6,5	3,18	6,10	8,68	10,17	10,46	9,92	9,08
6,5 ÷ 7	3,61	6,67	9,41	11,06	11,43	10,89	9,99
7 ÷ 7,5	4,05	7,22	10,12	11,91	12,38	11,85	10,89
7,5 ÷ 8	4,48	7,76	10,79	12,73	13,28	12,76	11,75
8 ÷ 8,5	4,90	8,26	11,42	13,48	14,13	13,63	12,56
ponad 8,5	5,30	8,72	11,98	14,17	14,91	14,43	13,30

Tabela 3

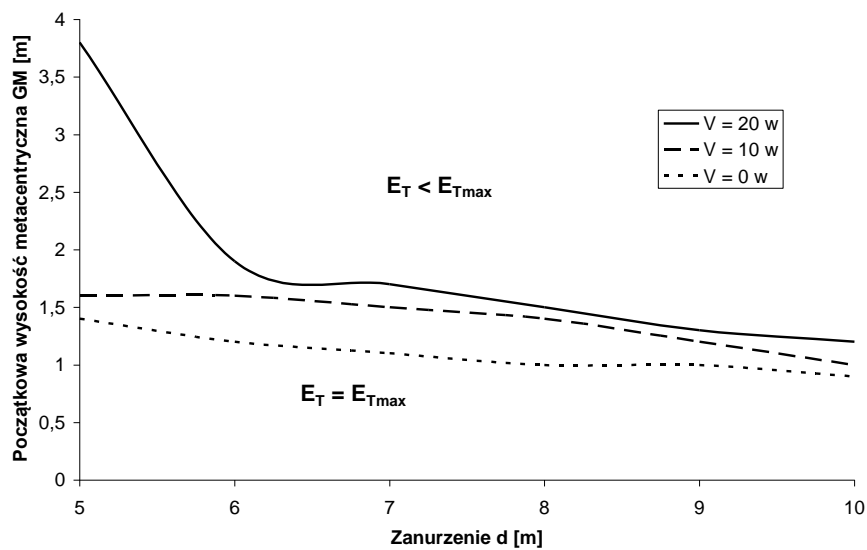
Wartości funkcji Γ dla kołysań bocznych, wartość dopuszczalna kołysań $\phi_{1/3dop} = 12^\circ$
Values of the function Γ for roll, roll criterion $\phi_{1/3dop} = 12^\circ$

H_s [m]	T [s]						
	6 ÷ 7	7 ÷ 8	8 ÷ 10	10 ÷ 11	11 ÷ 12	12 ÷ 14	ponad 14
do 0,5	1	1	1	1	1	1	1
0,5 ÷ 1,5	1	1	1	1	1	1	1
1,5 ÷ 2	1	1	1	1	1	1	1
2 ÷ 2,5	1	1	1	1	1	1	1
2,5 ÷ 3	1	1	1	1	1	1	1
3 ÷ 3,5	1	1	1	1	1	1	1
3,5 ÷ 4	1	1	1	1	1	1	1
4 ÷ 4,5	1	1	1	1	1	1	1
4,5 ÷ 5	1	1	1	1	1	1	1
5 ÷ 5,5	1	1	1	1	1	1	1
5,5 ÷ 6	1	1	1	1	1	1	1
6 ÷ 6,5	1	1	1	1	1	1	1
6,5 ÷ 7	1	1	1	1	1	1	1
7 ÷ 7,5	1	1	1	1	0	1	1
7,5 ÷ 8	1	1	1	0	0	0	1
8 ÷ 8,5	1	1	1	0	0	0	0
ponad 8,5	1	1	1	0	0	0	0

2.3. Wyznaczenie funkcji granicznej w pełnym zakresie parametrów eksploatacyjnych

W poprzednim punkcie przedstawiono przykład obliczania wartości wskaźnika efektywności operacyjnej E_T , przy ustalonych wartościach parametrów eksploatacyjnych i parametrów ruchu statku. W tym punkcie, analizę rozszerzono do pełnego zakresu parametrów eksploatacyjnych, oraz do wszystkich założonych scenariuszy. Następnie, dla każdego przypadku, posługując się równaniem (1), obliczono wartości wskaźnika E_T .

Na podstawie wyników obliczeń, korzystając z podanej wcześniej metody, opracowano krzywą granicznych wartości początkowej wysokości metacentrycznej GM oraz w funkcji zanurzenia średniego d , rozdzielając obszary bezpieczne i niebezpieczne pod kątem przyjętych scenariuszy. W ten sposób wyznaczono graniczne funkcje, które zaprezentowano graficznie na rysunku 2. Za bezpieczny obszar parametrów eksploatacyjnych (obszar leżący poniżej krzywej granicznej) uznano ten, dla którego wartości wskaźnika E_T są maksymalne ($E_T = E_{Tmax}$). Natomiast, za niebezpieczny obszar parametrów eksploatacyjnych (obszar leżący powyżej krzywej granicznej) uznano ten, dla którego wartości wskaźnika E_T są mniejsze od E_{Tmax} , a zatem następuje pogorszenie efektywności operacyjnej statku ze względu na kołysania boczne.



Rys. 2. Krzywa granicznych wartości wysokości metacentrycznej GM i zanurzenia d
 Fig. 2. Initial metacentric height and mean draught limit curve

Podsumowanie

W artykule przedstawiono numeryczną próbę morską, w której przeanalizowano zachowanie się statku z uwzględnieniem kołysań bocznych, znajdującego się w następujących warunkach eksploatacyjnych:

- statek nie ma mocy napędowej i utracił sterowność,
- statek porusza się z połową prędkości eksploatacyjnej,
- statek porusza się z pełną prędkością eksploatacyjną.

Zgodnie z tak przyjętymi scenariuszami, obliczono statystyczne wartości znaczące kołysań bocznych na fali nieregularnej z kierunku prostopadłego do płaszczyzny symetrii kadłuba. Obliczenia przeprowadzono dla modelowego kontenerowca S-175. Analizując uzyskane wyniki pod kątem wskaźnika efektywności operacyjnej E_T , wyznaczono dopuszczalne zakresy następujących parametrów eksploatacyjnych statku, tj.:

- początkową poprzeczną wysokość metacentryczną GM ,
- zanurzenie średnie d .

Na podstawie tych informacji opracowano przykładowe wykresy dopuszczalnych wartości powyższych parametrów.

Istniejące metody oceny stateczności poprzecznej statku, oparte są m.in. na poprzecznej początkowej wysokości metacentrycznej GM . Dla tego parametru opracowuje się minimalne wartości graniczne, które zależą m.in. od typu i rozmiaru statku oraz od rodzaju przewożonego ładunku. Z przeprowadzonych badań wynika, że statek spełniający kryterium poprzecznej początkowej wysokości metacentrycznej GM , nie zawsze charakteryzuje się odpowiednimi właściwościami morskimi. Ponadto, ograniczenie efektywności pod kątem kołysań bocznych występuje przy dużych wartościach parametru GM . Wynika stąd wniosek, że stateczność poprzeczną należy kontrolować nie tylko na podstawie minimalnych wartości, ale również na podstawie maksymalnych wartości początkowej wysokości metacentrycznej GM .

Celem przeprowadzonych badań było opracowanie metodyki opartej na numerycznych próbach morskich i sprawdzenie jej na podstawie przykładowego scenariusza. Natomiast istotą metody jest sformułowanie pozostałych niebezpiecznych scenariuszy, na tej podstawie badanie zachowania się statku i formułowanie kryteriów pod tym kątem. Opisane w artykule badania dotyczące właściwości morskich, można rozszerzyć o inne scenariusze uwzględniające m.in.:

- pozostałe negatywne efekty falowania, np. slamming, zalewanie pokładu, przyspieszenia, wynurzenie się śruby napędowej;
- trasę żeglugi statku przebiegającą przez akweny o różnych rozkładach parametrów falowania;
- pełny zakres kierunków nacisku fali na statek;

- inne parametry eksploatacyjne, np. przegłębienie statku, pole powierzchni nawiewu, współrzędne środka ciężkości.

Uzyskane w ten sposób informacje mogą być podstawą do formułowania kryteriów do oceny stateczności statku, uwzględniających, w szerszym niż dotychczas stopniu, zachowanie się statku na fali.

Literatura

1. Bales N.K., *Optimizing the Seakeeping Performance of Destroyer – Type Hulls*, David W. Taylor NSRDC, Maryland, USA.
2. Cepowski T., Szelangiewicz T., *An approach to optimization of ship design parameters with accounting for seakeeping ability*, Polish Maritime Research Nr 4/2002.
3. Karppinen T., *Criteria for Seakeeping Performance Predictions*, ESPOO 1987.
4. Journée J.M.J., *Verification and Validation of Ship Motions Program SEAWAY*, Report1213a, Delft University of Technology, The Netherlands, 2001.
5. Journée J.M.J., *Theoretical Manual of SEAWAY*, Report 1216a, Delft University of Technology, The Netherlands, 2001.
6. Lloyd A.R.J.M., *Seakeeping: ship behaviour in rough weather*, Ellis Horwood Limited, England, 1989.
7. Szelangiewicz T., *Ship's Operational Effectiveness Factor as Criterion Cargo Ship Design Estimation*, Marine Technology Transaction, Polish Academy of Sciences, Branch in Gdańsk, Vol. 11, 2000.

Wpłynęło do redakcji w lutym 2004 r.

Recenzenci

prof. dr hab. inż. Tadeusz Szelangiewicz
dr inż. Zbigniew Szozda

Adres Autora

dr inż. Tomasz Cepowski
Akademia Morska w Szczecinie
Instytut Nawigacji Morskiej
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin
tel. 091 4809389, cepowski@wsm.szczecin.pl