

Jerzy HERDZIK¹

METODA SZACOWANIA WYMAGAŃ STAWIANYM UKŁADOM NAPĘDOWYM STATKÓW

Przedstawiono metodę wagową szacowania układów napędowych statków, ze względu na rodzaj zastosowanych pędników. Analizę przeprowadzono pod kątem: możliwości manewrowych, sprawności ogólnej napędu, bezpieczeństwa żeglugi, wymagań dokładności pozycjonowania, złożoności układu napędowego, redundancji. Pozwala to na porównanie zróżnicowanych układów napędowych, oszacowanie ich możliwości manewrowych oraz wstępną ocenę przydatności. Pozwala to na etapie projektu wstępnego dokonać analizy kilku możliwych rozwiązań układu napędowego i wybrać ten, który wg proponowanej metody jest najlepszy. Rozbudowane układy napędowe jednostek z systemami dynamicznego pozycjonowania spełniają ten warunek i będą w okrojonych rozwiązaniach adaptowane na wielu innych typach statków.

AN ESTIMATING METHOD OF REQUIREMENTS SPECIFIED ON MARINE PROPULSION SYSTEMS

It was presented an estimating method of requirements on marine propulsion systems. The analysis applies to manoeuvring possibilities, propulsion efficiency, navigational safety, positioning accuracy, propulsion system complexity, redundancy. It allows for comparison different propulsion systems, manoeuvring possibilities estimating and preliminary suitability assessment. On preliminary stage of project it allows an analysis of possible propulsion systems solutions and choose the best according to presented method. Expanded propulsion systems with dynamic positioning systems fulfils this condition and would be adopted in limited solutions on many different types of ships.

1. WSTĘP

Na wielozadaniowych statkach spotyka się coraz bardziej rozbudowane systemy napędowe, których zadaniem jest zapewnienie spełnienia przez statek wszystkich wymagań eksploatacyjnych w stanach uszkodzeń (awarii) wybranego elementu układu napędowego, a nawet całego układu od silnika do pędnika. Klasy dynamicznego pozycjonowania określają, jakie wymagania układ napędowy statku musi spełniać, aby możliwe było uzyskanie wymaganej klasy [5]. Posiadanie przez statek minimalnego wymaganego uciągu oraz określonej klasy dynamicznego pozycjonowania umożliwia podjęcie przez niego pracy

¹Jerzy Herdzik, Katedra Siłowni Okrętowych, Wydział Mechaniczny Akademia Morska w Gdyni ul. Morska 81/87 georgher@am.gdynia.pl tel. 58 6901 430

przy obsłudze platform wiertniczych lub poszukiwawczych oraz innych specjalistycznych pracach holowniczych, asekuracyjnych itd.

Wymagania stawiane okrętowym układom napędowym zależą głównie od typu statku. Występuje ich duża różnorodność. W rezultacie trudno określić jest poziom wymagań stawianym układom napędowym. Szczególnie trudne jest dla układów mieszanych: z napędem mechanicznym i napędem elektrycznym [2].

2. METODA SZACOWANIA WYMAGAŃ STAWIANYCH UKŁADOM NAPĘDOWYM

2.1 Wybrane parametry układu napędowego statku

Dokonano wyboru parametrów układu napędowego statku istotnych wg autora dla proponowanej metody. Są to:

1. możliwości manewrowania – wskaźnik M_i ;
2. sprawność manewrowania (czas wykonania manewru) – wskaźnik E_i ;
3. poziom bezpieczeństwa żeglugi ze strony układu napędowego – wskaźnik B_i ;
4. dokładność pozycjonowania statku – wskaźnik P_i ;
5. nakłady inwestycyjne na układ napędowy – wskaźnik N_i ;
6. redundancja (dublowanie układów) – wskaźnik D_i ;
7. typ układu napędowego – wskaźnik T_i .

Przyjęto, że wybrane parametry mogą osiągnąć dla analizowanego układu napędowego liczbę z przedziału (1;6).

Następnie wybrano do dalszych rozważań rozwiązania układów napędowych z określonymi pędnikami i przypisano im indeks „i” odpowiadający poniższemu numerowi:

1. układ jednowałowy ze śrubą o stałym skoku – $i=1$;
2. układ jednowałowy ze śrubą o stałym skoku i dyszą Korta – $i=2$;
3. układ jednowałowy ze śrubą o nastawnym skoku – $i=3$;
4. układ jednowałowy ze śrubą o nastawnym skoku i dyszą Korta – $i=4$;
5. układ dwuwałowy ze śrubami o stałym skoku – $i=5$;
6. układ dwuwałowy ze śrubami o nastawnym skoku – $i=6$;
7. układ napędowy z dwoma pędnikami azymutalnymi – $i=7$;
8. układ napędowy z trzema pędnikami azymutalnymi – $i=8$;
9. układ napędowy z dwoma pędnikami cykloidalnymi (VSP) – $i=9$;
10. układ napędowy z pędnikiem strugowodnym – $i=10$;
11. układ napędowy z dwoma pędnikami strugowodnymi – $i=11$;
12. układ napędowy z czterema pędnikami azymutalnymi – $i=12$;
13. układ napędowy z sześcioma lub więcej pędnikami azymutalnymi, w tym dodatkowo z napędem mechanicznym ze stałą lub nastawną śrubą – $i=13$.

2.2 Wybrane wskaźniki układów napędowych

Na podstawie doświadczenia zawodowego przyjęto przedstawione w tabeli 1 wskaźniki okrętowych układów napędowych. Jest to propozycja autora. Możliwe są korekty przedstawionych wskaźników na podstawie dalszych analiz, badań, dyskusji itd. Nie obejmują one całości problemu. Wskaźniki mogą przyjmować wartości z pewnego przedziału, dlatego, że opis układu napędowego indeksem „i” jest dużym uproszczeniem i

nie obejmuje możliwych różnic w ramach danego typu. Dla przejrzystości analizy autor przyjął konkretne wartości przedstawione liczbą naturalną z przedziału (1;6).

Tab. 1. Wskaźniki wybranych parametrów okrętowych układów napędowych

i/para- metr	M_i	E_i	B_i	P_i	N_i	D_i	T_i
1	1	1	2	1	1	1	1
2	1	1	2	1	1	1	1
3	1	1	1	1	2	1	1
4	1	1	1	1	2	1	1
5	2	2	2	2	3	2	1
6	2	2	2	3	3	2	1
7	3	4	2	4	3	2	1
8	4	5	3	5	4	3	2
9	4	5	2	4	4	3	1
10	1	1	1	1	3	1	1
11	2	2	2	2	4	2	1
12	5	5	6	6	5	6	4
13	6	6	6	6	6	6	6

Dla różnych typów statków znaczenie poszczególnych parametrów okrętowych układów napędowych ma inną wartość. Przyjęto w tabeli 2 wskaźniki wagowe tych parametrów w zależności od typu statku z przedziału (0;1). Przedstawione wskaźniki są propozycją autora.

Tab. 2. Wskaźniki wagowe W_j dla wybranych typów statków

typ/parametr	M	E	B	P	N	D	T	Σ
masowiec – j=1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1
kontenerowiec – j=2	0,5	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2	0,1	2,2
prom – j=3	0,7	0,4	1	0,2	0,7	0,5	0,3	3,8
holownik portowo- redowy – j=4	0,7	0,5	1	0,2	0,8	0,5	0,2	3,9
holownik AHTS – j=5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	3,3
statek z DP3 – j=6	1	1	1	1	1	1	1	6,0

Wskaźnik wagowy przyjmuje wartości z przedziału (0;1). Wyznaczono również w ostatniej kolumnie wartość sumy siedmiu wskaźników, aby w dalszych rozważaniach można było uniezależnić się od faktu, że suma ta różni się w zależności od typu analizowanego statku.

2.3 Wskaźnik oszacowania okrętowego układu napędowego

We wzorze (1) przedstawiono sposób wyznaczenia wskaźnika oszacowania okrętowego układu napędowego. W celach porównawczych podzielono wynik sumy iloczynów występujących w liczniku wzoru przez sumę wskaźników wagowych wziętych do obliczeń.

$$R_{ij} = \frac{M_i \cdot W_j + E_i \cdot W_j + B_i \cdot W_j + P_i \cdot W_j + N_i \cdot W_j + D_i \cdot W_j + T_i \cdot W_j}{\sum_j} \quad (1)$$

gdzie: R_{ij} - wskaźnik oszacowania okrętowego układu napędowego statku typu „j”;
 M_i - itd. wskaźnik wybranego parametru układu napędowego (tab. 1);
 W_j – suma wskaźników wagowych wybranego typu statku (tab.2).

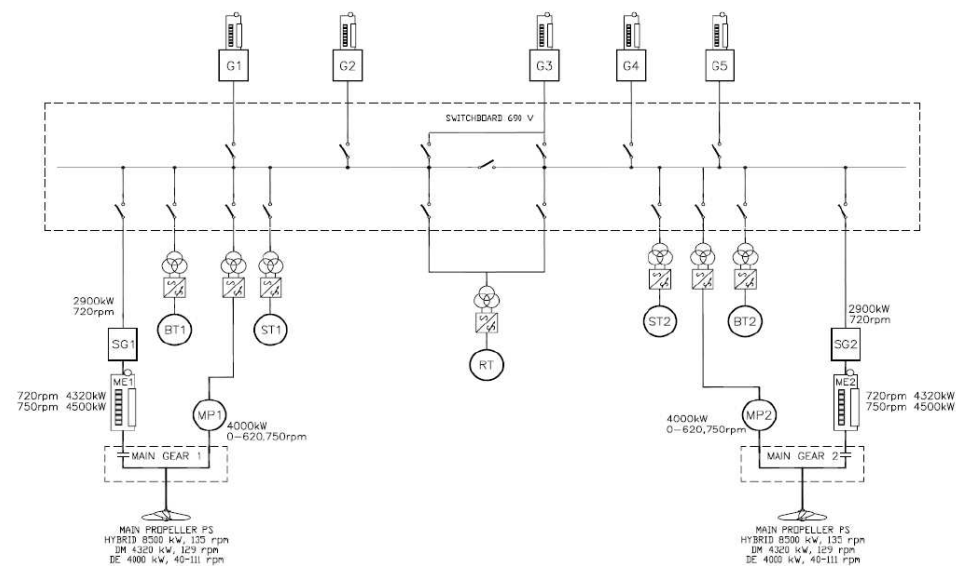
W rezultacie wskaźnik R_{ij} może przyjąć wartość z zakresu (1;6). Im większa wartość wskaźnika, tym większe wymagania są postanowione danemu typowi statku. Porównując wskaźnik dla tego samego typu można stwierdzić, że wyższy wskaźnik oznacza wyższą klasę układu napędowego.

3. PRZYKŁAD OSZACOWANIA WSKAŹNIKA

3.1 Propozycja układu napędowego statku z systemem DP3 firmy Ulstein [1]

Firma Ulstein nie buduje samodzielnie okrętowych układów napędowych dla statków z systemem dynamicznego pozycjonowania klasy DP3. Zasadniczą działalnością firmy są prace stoczniove. Mając możliwości produkcyjne oraz biura projektowe przedstawia ona propozycje rozbudowanych układów napędowych statków bazując na urządzeniach innych renomowanych firm, które są liderami na rynku w swej dziedzinie. Powstają projekty, które mogą być atrakcyjne dla przyszłych armatorów statków. Na rys. 1 przedstawiono schemat ideowy układu napędowego mieszanego z przekładnią mechaniczną i elektryczną dla statku (przez firmy Ulstein zwany hybrydowym), z możliwością spełnienia klasy DP3. Zakłada się, że statek przemieszczać się będzie samodzielnie na duże odległości, dlatego zdecydowano się na możliwość napędu tradycyjnego układem dwuwałowym z przekładnią mechaniczną. Układ ten przy przelotach pozwoli na uzyskiwanie wysokiej sprawności ogólnej napędu. Natomiast podczas prac z wykorzystaniem systemu dynamicznego pozycjonowania stworzono możliwość wykorzystania silników napędu głównego, które poprzez przekładnię napędzają prądnice wałowe pełniące funkcje silnikoprądnic. W razie potrzeby pracują jako silniki elektryczne napędzając śruby o nastawnym skoku – dublując możliwości przekazywania mocy do śrub, a zarazem umożliwiając ich wykorzystywanie dodatkowe w czasie pozycjonowania. Zasadniczo do tego celu ma służyć 5 pędników azymutalnych napędzanych silnikami elektrycznymi. W czasie pozycjonowania układ pracuje z przekładnią elektryczną, wykorzystując zalety tego systemu m.in. elastyczność w dopasowaniu liczby pracujących głównych zespołów prądotwórczych do aktualnego zapotrzebowania na energię elektryczną. Można uniknąć w tej sytuacji pracy silników wysokoprężnych w długich okresach czasu na obciążeniach zbliżonych do biegu jałowego, co jest nieefektywne (zwiększone jednostkowe zużycie paliwa), jak i niekorzystne dla

silników, szczególnie dla układu paliwowego i wymiany ładunku (np. tworzenie osadów, zwiększona emisja toksycznych składników spalin).



Rys.1. Schemat ideowy układu napędowego statku „Olympic Zeus” firmy ULSTEIN [1]

W 2008 r. doszło do realizacji projektu. Zbudowano 2 statki mv „Olympic Zeus” (rys.2) oraz „Olympic Hera”.



Rys.2. mv Olympic Zeus [1]

Dla statku „Olympic Zeus” wskaźnik oszacowania układu napędowego R_{ij} wg proponowanej metody wynosi 6.

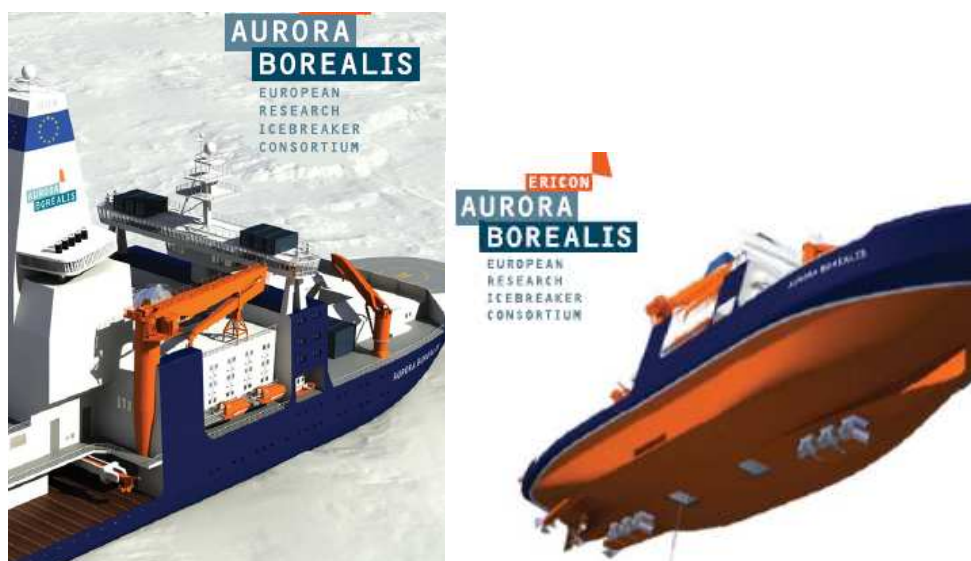
3.2 Propozycja układu napędowego statku typu lodołamacz z systemem DP3

Na potrzeby poszukiwań i badań naukowych powstało konsorcjum ERICON (European Research Icebreaker Consortium), które chce sfinansować nowatorski projekt statku typu lodołamacz z możliwością poszukiwań i wierceń do głębokości morza 5000 m oraz na głębokość 1000 m. Praca statku ma być możliwa na wodach Morza Arktycznego przez cały rok. Docelowo przewiduje się pracę statku wokół Antarktydy.

Założenia projektowe statku Aurora Borealis [3]:

- układ napędowy z przekładnią elektryczną (D-E) o łącznej mocy 81 MW;
- lodołamacz o najwyższym klasie wg towarzystw klasyfikacyjnych;
- podwójny kadłub i w pełni dublowane układy systemów bezpieczeństwa;
- system dynamicznego pozycjonowania klasy DP3 na wodzie i lodzie;
- możliwość wierceń do głębokości 5000 m i penetracji dna 1000 m;
- $L_{pp}=199,85$ m; $B=49,00$ m; $T=13,00$ m; $v_{nom} = 12$ węzłów;
- personel 120 osób.

Planowana jest budowa tego statku w latach 2012-2014, natomiast w roku 2014 wejście do eksploatacji. Dla podanych parametrów układu napędowego wskaźnik oszacowania wg proponowanej metody będzie również wynosił 6 (rys.3).



Rys.3. Wizualizacja projektu statku „Aurora Borealis” [3]

Proponowany w projekcie układ napędowy statku „Aurora Borealis” złożonością i liczbą elementów układu napędowego przypomina poprzednio analizowany zrealizowany

projekt firmy Ulstein. Podstawową różnicą będzie układ napędowy w pełni z przekładnią elektryczną. Groźba przeciążania układu napędowego podczas pracy w lodach zdecydowała o tym rozwiązaniu.

3.3 Układ napędowy holownika do obsługi platform (offshore support vessel – OSV) [4]

Zrealizowane są projekty firmy Wartsila z roku 2006 dla holowników do obsługi platform. Układ napędowy obejmuje tradycyjny napęd jednowałowy ze śrubą o nastawnym skoku o mocy 3600 kW. Dodatkowo wyposażony jest w 3 pędniki azymutalne (typu retractable: dwa w części rufowej, jeden w części dziobowej o 880 kW mocy każdy) oraz dziobowy ster strumieniowy o mocy 880 kW. Napęd śruby lub pędników możliwy jest napędem mechanicznym lub elektrycznym (rys.4). Wg projektu układ napędowy miał być typu mechanicznego (typu CODED).



Rys. 4. Projekt statku do obsługi platform firmy Wartsila z roku 2006 [4]

Dla podanych parametrów układu napędowego wskaźnik oszacowania wg proponowanej metody wynosi 5,5. Możliwe jest spełnienie warunków uzyskania klasy pozycjonowania DP3, ale ze względu na dokładność pozycjonowania oraz ograniczone możliwości dublowania elementów układu napędowego, które uległy awarii, należy uznać, że statek spełnia klasę DP2.

W tym przypadku proponowany w referacie wskaźnik oszacowania R_{ij} będzie wynosił 3,818 dla $i=8$ (mimo, że posiada dodatkowy napęd mechaniczny układem jednowałowym ze śrubą o nastawnym skoku) oraz $W_j = 5$, natomiast $\Sigma W_j = 3,3$ oraz $\Sigma W_{ij} = 12,6$. Jest to układ napędowy o dużych możliwościach, wystarczających do spełnienia wymaganych funkcji dla holownika do obsługi platform, ale w niedalekiej przyszłości wymagania będą większe.

4. WNIOSKI

Zaproponowany w referacie wskaźnik oszacowania układu napędowego pozwala na porównanie różnorodnych rozwiązań układów napędowych statków. Jego wyznaczenie jest relatywnie proste. Wartość wskaźnika w przedziale (1;2) spełnia co najwyżej klasę DP0 (czyli brak klasy dynamicznego pozycjonowania), wartość w przedziale (2;3) prawdopodobnie będzie odpowiednikiem klasy DP1, wartość wskaźnika w przedziale (3;4,5) spełni klasę DP2, dopiero wartość powyżej 4,5 będzie spełniała klasę DP3. Wymagania stawiane układom napędowym statków będą rosły, szczególnie dla statków wielofunkcyjnych. Jednym z nich jest klasa dynamicznego pozycjonowania, której wymagania określiły towarzystwa klasyfikacyjne statków.

Zaproponowany wskaźnik obejmuje więcej elementów (jest bardziej uniwersalny). Celem jego prezentacji nie jest zastąpienie klasy DP tym czy innym wskaźnikiem, lecz w postaci jednego wskaźnika określenie stopnia złożoności, niezawodności, redundancji itd. Na etapie projektu wstępnego potrzebne są wskaźniki, które w prosty sposób ocenią analizowane rozwiązanie i pozwolą go poddać dalszej analizie albo odrzucić w tej fazie.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] *The development of „Ulstein hybrid propulsion concept” and installations on Olympic Zeus and Olympic Hera*, rev.2 Ulstein Group 2009;
- [2] Soerensen A.J., Adanes A. K. „*Reconfigurable Marine Control Systems and Electrical Propulsion Systems for Ships*“, ASNE 2005;
- [3] *Icebreaker, Drilling Platform and Multi-Purpose Vessel – Aurora Borealis Project* 2008;
- [4] Levander O. „*New propulsion concept for supply vessels of the future*“, *Twentyfour7* nr 2/2006 str.62-64 Wartsila.
- [5] Jansson K.G. „*Safety Technology for DP Class 3 Vessels*“, Dynamic Positioning Conference, Houston USA 1998.