

Jerzy HERDZIK¹

PROPOZYCJE WYKORZYSTANIA PARAMETRÓW AKTYWNYCH PĘDNIKÓW W PODNIESIENIU BEZPIECZEŃSTWA ŻEGLUGI

W referacie sugeruje się szersze wykorzystanie pędników aktywnych do napędu tradycyjnych typów statków. Połączenie zwiększenia mocy przeznaczonej na napęd główny z zastosowaniem wieloelementowych układów napędowych podnosi istotnie zdolności manewrowe. Ma to decydujące znaczenie w sytuacji skrajnie złych warunków zewnętrznych i na akwenach o dużym natężeniu ruchu. Zastosowanie coraz nowocześniejszych środków technicznych ułatwiających podejmowanie decyzji w sytuacjach kolizyjnych winno iść w parze z możliwościami manewrowymi statków. Dodatkowym atutem powszechnego wykorzystywania pędników aktywnych jest unikanie sytuacji awaryjnych, związanych z utratą napędu głównego lub awaryjnych zatrzymań statku związanych ze stanami zaniku napięcia w sieci okrętowej.

PROPOSITIONS OF MODERN THRUSTER PARAMETERS UTILIZATION IN AIM OF NAVIGATIONAL SAFETY INCREASE

The paper presents propositions of more frequent utilization of modern thrusters and their parameters for marine propulsion of different types of vessels. Combination of power increasing and utilization upgrades ship's manoeuvre possibilities. It is essential during bad weather conditions and on area of heavy traffic flow. An application of modern technical means facilitating decision in collision situations ought to go in pairs with manoeuvre ship possibilities. The next advantage of modern thruster utilization is an avoidance of emergency situations because of propulsion failure or emergency propulsion stoppages because electric blackouts (no electricity in ship network).

1. WSTĘP

Postęp techniczny dotyczy również układów napędowych statków. Zbudowano aktywne pędniki osiągające z jednego elementu moce mechaniczne do 20 MW, w napędach elektrycznych do około 8 MW. W zastosowaniach do napędu statków, dla których wymaga się więcej niż jednego pędnika, możliwe jest uzyskanie nominalnej mocy napędu tylko z aktywnych pędników. Budowane są również układy hybrydowe, w których pędniki aktywne spełniają dodatkowe funkcje (w tym możliwość napędu awaryjnego), a

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

pozostawiono tradycyjny napęd, który zapewnia wysoką sprawność ogólną napędu podczas pokonywania większych odległości.

Parametry aktywnych pędników dają możliwości podniesienia zdolności manewrowych statku, w tym funkcji pozycjonowania jednostki, umożliwiając przeprowadzenie manewru, którego wykonanie zajmie mniej czasu i będzie wykonane bezpieczniej [1,2].

2. MOŻLIWOŚCI REDUNDANCJI NAPĘDU STATKU

Redundancja układu napędowego statku w układach dwuwałowych zwiększa niezawodność napędu z powodu jego dublowania, a zarazem podnosi możliwości manewrowe jednostki, szczególnie przy zastosowaniu śrub o nastawnym skoku lub pędników aktywnych. Układy z dwoma pędnikami budowane są w układach symetrycznych w części dziobowej lub rufowej, tylko dla promów rzecznych pędniki umieszczone są z obu końców (promy o tzw. podwójnej rufie). Pędniki mogą być umieszczone w tzw. nawisie rufowym (schowane za kadłubem) (rys.1), co zmniejsza głębokość umieszczenia pędników, chroni je przed oparciem o dno na akwenach o ograniczonej głębokości i nie powodują istotnego zwiększenia oporu statku w stosunku do pędników umieszczonych pod głównym kadłubem, ale mają one z konieczności mniejsze średnice śrub, co skutkuje mniejszą sprawnością ogólną napędu oraz mniejszym uciążliwym. Szczególnie istotne jest to dla pędników gondolowych, które napędzane są silnikami elektrycznymi.

Należy pamiętać o odpowiednio dużej odległości między pędnikami, aby ograniczyć ich wzajemne oddziaływanie. Dla pędników azymutalnych obserwuje się w niektórych konfiguracjach ustawienia istotny spadek siły uciągu sięgający 30-40%. Przykład oszacowania współczynnika zmniejszenia siły uciągu w zależności od prędkości statku przedstawiono w tab.1.

Tab 1. Współczynnik redukcji siły uciągu t dla napędów pędnikami azymutalnymi [6]

Prędkość statku [węzły]	0	1	2	3	4
naprzód/ t	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15
wstecz/ t	0,18	0,21	0,25	0,30	0,34

Dwuwałowe układy napędowe są bardzo popularne na jednostkach szybkich np. łodziach patrolowych (rys.1). Cechą tych jednostek jest również duża zwrotność.

Dublowanie elementów układu napędowego jest konieczne, w przypadku konieczności spełnienia dodatkowych warunków np. klasy dynamicznego pozycjonowania, bezpieczeństwa transportu niebezpiecznych ładunków, stanów eksploatacji statku o bardzo zróżnicowanym zapotrzebowaniu na energię, podwyższonej manewrowości itp.

Należy podkreślić, że układy z redundancją, w tym zdublowane układy napędowe, spełniają warunki większego bezpieczeństwa żeglugi, głównie pod kątem zabezpieczenia statku przed utratą napędu oraz zwiększeniem zdolności manewrowych. Pozostaje problem uzasadnienia zwiększonych nakładów inwestycyjnych na układy z redundancją.



Rys. 1. Szybka łódź patrolowa „Super Dvora” z napędem firmy MTU z pędnikami umieszczonymi w nawisie rufowym [7]

3. PARAMETRY PĘDNIKÓW AKTYWNYCH ISTOTNE DLA PODNIESIENIA BEZPIECZEŃSTWA ŻEGLUGI

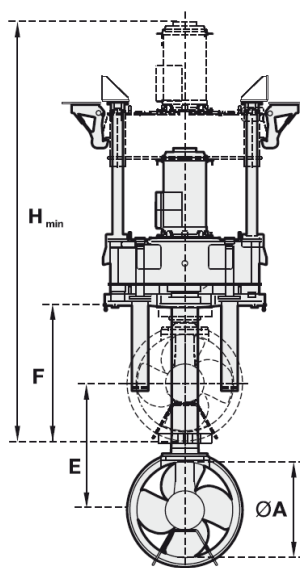
Istotną zaletą pędników azymutalnych i cykloidalnych jest spełnianie przez nie roli steru. W rezultacie nie występuje na tych jednostkach tradycyjna maszyna sterowa z urządzeniem sterowym. Ze względu na możliwość generowania na jednym pędniku ukierunkowanej siły naporu w kącie od 0° do 360° oraz w układach podwójnych uzyskania zerowego sumarycznego naporu, pędniki pracują przy załączonych sprzęgłach i nie ma potrzeby zatrzymywania i rewersowania silników napędowych również w układach z napędem mechanicznym, mimo, że dostępne są również pędniki azymutalne ze śrubami o nastawnym skoku. Możliwość uzyskania ukierunkowanej lub odwróconej (rewers) siły naporu występuje również dla pędników strugowodnych (rys.2).



Rys. 2. Pędnik strugowodny nawrotny LJ210E firmy Lips [8]

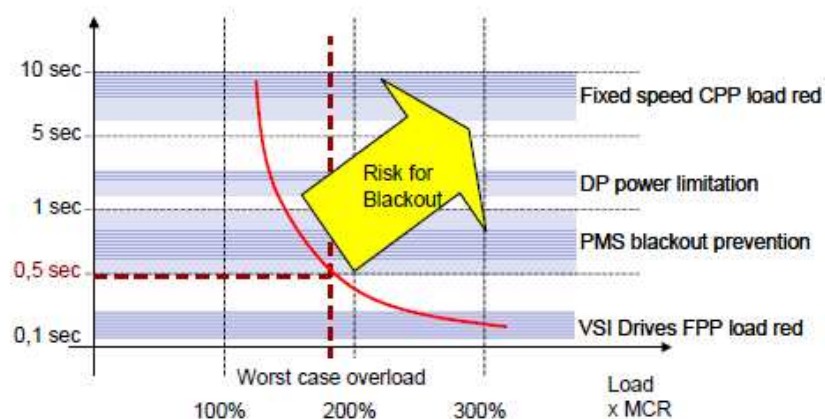
Ich główne zastosowanie dotyczy jednostek bardzo szybkich, o prędkościach powyżej 35 węzłów, przy których sprawność tradycyjnych śrub okrętowych znacząco maleje i narażone są one na uszkodzenia kawitacyjne [4].

Pędniki azymutalne mogą spełniać warunki napędu awaryjnego i być używane tylko w sytuacjach wyższej konieczności. Mogą również łączyć funkcje napędu awaryjnego z funkcją steru strumieniowego i je zastępować. Powstały konstrukcje tzw. pędników chowanych (retractable thruster) (rys.3), które w wersji schowanej przy dużej prędkości statku nie zwiększają siły oporu kadłuba, natomiast przy prędkościach poniżej 6 węzłów jest to już nieistotne, a funkcje steru strumieniowego spełniają znacznie lepiej, szczególnie w zakresie prędkości powyżej 3 węzłów.



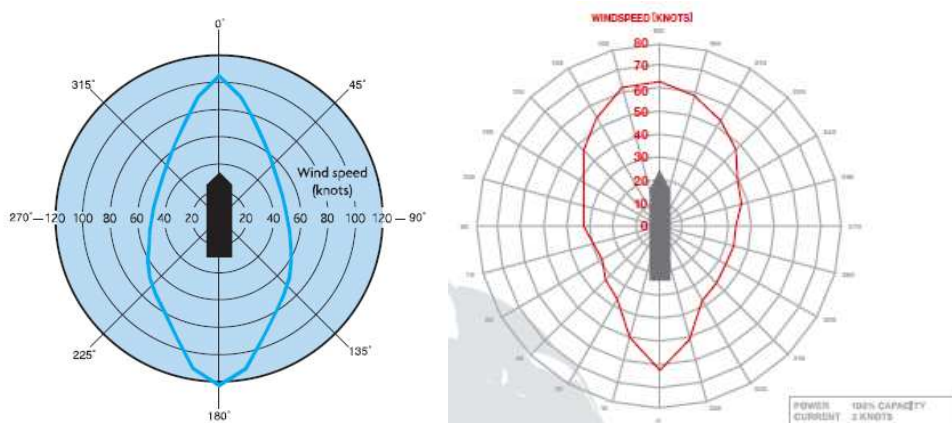
Rys.3. Przykład pędnika azymutalnego chowanego z charakterystycznymi wymiarami [8]

W napędach z przekładnią elektryczną występuje istotna zaleta związana z możliwością utrzymania mocy w sieci przy krótkotrwałych, ale bardzo dużych przeciążeniach (przypadkowy jednoczesny rozruch kilku odbiorników dużej mocy i występujący znaczny skok zapotrzebowania na energię). Uzależnione jest to od wielkości przeciążenia oraz czasu jego trwania. Przykład takich zależności przedstawiono na rys.4. W systemach dynamicznego pozycjonowania z ograniczeniem skoków mocy istnieje szansa, że uniknie się zaniku napięcia w sieci (blackout'u) przy przeciążeniu 200% w czasie do 5 sekund. Im dłuższy czas i większe przeciążenie szansa na utrzymanie napięcia w sieci znacząco maleje. Istnieją duże szanse, że możliwości układów elektrycznych będą niedługim czasie w tej sprawie znacznie większe, dzięki rozwojowi aktywnych i pasywnych systemów stabilizacji parametrów napięcia i częstotliwości prądu. Pozwoli to w krytycznym czasie, układom zarządzania energią (PMS), na podjęcie odpowiednich działań zaradczych. Podjęto próby budowy inteligentnych układów PMS przewidujących groźbę przeciążeń i opóźniających wielkość chwilowych skoków obciążenia, co wydłuża dostępny czas na reakcję.



Rys.4. Ryzyko zaniku napięcia w sieci okrętowym w zależności od wielkości przeciążenia, czasu trwania przeciążenia i typu systemu zarządzania mocą [8]

Wieloelementowe układy napędowe spełniające klasy DP2 i DP3 dynamicznego pozycjonowania podnoszą istotnie bezpieczeństwo żeglugi. Powinny utrzymać możliwość pozycjonowania nawet w przypadku poważnych awarii i niesprawności. Praktycznie awaria wszystkich elementów układu napędowego od silników, poprzez prądnice, tablice rozdzielcze, układ zasilania, silniki elektryczne po pędniki w więcej niż jednym układzie mogłaby doprowadzić do utraty napędu. Przy zachowaniu podstawowych zasad eksploatacji jest praktycznie niemożliwa taka sytuacja, nawet pożar musiałby objąć swym zasięgiem obie siłownie. Możliwości układów dynamicznego pozycjonowania nie są nieograniczone (rys.5). Głównym ograniczeniem jest zbyt silny wiatr i zbyt duże falowanie.



Rys. 5. Możliwości pozycjonowania statku Deep Blue i Jumbo Javelin [11,10]

Należy zwrócić uwagę, że nawet najbardziej rozbudowane systemy napędowe nie dają zabezpieczeń przed możliwością popełnienia błędu ludzkiego. Dotyczy to sposobu eksploatacji urządzeń okrętowych, a nawet manewrowania statkiem [2,3]. Na rys.6 przedstawiono zdjęcia tuż przed i po wywróceniu się do góry dnem statku do obsługi platform (nowoczesny holownik typu AHTS). Mimo obecności innej jednostki (zdjęcia), relatywnie bardzo dobrych stanów morza nie udało się pomóc załodze. Uratowała się tylko jedna osoba z ośmiu. Ta, która w wyniku wykonania manewru odwrotnego do poprawnego doprowadziła do wywrócenia, jako jedyna znajdowała się na mostku. Statek, po 3 dniach dryfowania, zatonął.



Rys.6. Wywrócenie się do góry dnem statku Bourbon Dolphin w dniu 12.04.2007

4. PROPOZYCJE ZMIAN

Należy podkreślić, że istnieją techniczne możliwości istotnego podnoszenia bezpieczeństwa żeglugi. Budowane są coraz bardziej bezpieczne konstrukcyjnie i wygodne dla załogi statki. Wyposażenie nawigacyjne, za sprawą rozwoju elektroniki i informatyki, dokonało w ostatnich 10 latach epokowych zmian. Możliwości sprzętowe są coraz większe, pozwalają diagnozować stan urządzeń, ograniczać ryzyko stanów awaryjnych. Dublowanie urządzeń ważnych dla bezpieczeństwa statku, jako podstawowa zasada w transporcie morskim, w dalszym ciągu obowiązuje. Systemy łączności, śledzenia statku, informowania armatora w postaci codziennych raportów o stanie statku, systemy bezpiecznego zarządzania statkiem, systemy jakości ISO mimo niekiedy dużych nakładów finansowych znalazły zastosowanie na statkach. „Safety first” – „bezpieczeństwo przede wszystkim” jest często dla armatora i przede wszystkim dla załogi najważniejszą zasadą. Rosnące koszty eksploatacji statku są ważnym czynnikiem motywującym armatora do poszukiwań

oszczędności. Niekiedy czyni to się na etapie projektu statku, następnie przy wyborze stoczni, dostawców najważniejszych kosztochłonnych urządzeń, bandery państwa pod którą będzie pływał statek, załogi i jej liczebności, aż po koszty bieżącej eksploatacji. Skutki ekonomiczne są ważne. Nie mogą jednak odbywać się kosztem bezpieczeństwa załogi, statku i żeglugi.

Dla niektórych typów statków należy wprowadzić, jaką zasadę obowiązującą, określone dodatkowe ponad minimalne wyposażenie techniczne i nawigacyjne. W niektórych przypadkach jest to już niezbędne, aby statek uzyskał np. wymaganą klasę dynamicznego pozycjonowania. Jak daleko sięgają możliwości, można przekonać się analizując wyposażenie techniczne i parametry układów napędowych specjalistycznych jednostek (rys.7).

Parametry dźwigu pływającego „SAIPEM 7000” są następujące: zbudowany w 1986 r., po przebudowie uzyskał klasę DP3, długość statku 175m, szerokość 87 m, zanurzenie 11,5m. Ma możliwość podniesienia masy 2*7000 ton na wysokość 42 m. Posiada 12 głównych zespołów prądotwórczych po 6260 kW każdy oraz dwa awaryjne po 3130 kW. Wyposażony jest w 10 pędników po 5 w kadłubie: po 1 sterze strumieniowym o mocy 2500 kW, dwóch pędnikach azymutalnych po 3500 kW oraz dwóch rufowych pędnikach azymutalnych po 4500 kW (jako napęd) o prędkości eksploatacyjnej 15,7 km/h (8,5 węzła). Przebywać na nim może 700 osób załogi. Główne przeznaczenie – układanie podmorskich rurociągów do głębokości 3000m.



Rys.7. Półzanurzalny dźwig pływający SAIPEM 7000 [11]

Mimo upływu 25 lat dalej jest w eksploatacji. Obecnie budowane kablownce mają zdecydowanie inne rozwiązania części przemysłowej [8,9,10].

Podstawową propozycją jest zastępowanie tradycyjnych śrub okrętowych o stałym lub nastawnym skoku pędnikami azymutalnymi lub cykloidalnymi (ogólnie aktywnymi). Dodatkowo można rozbudowywać tradycyjne układy napędowe o dodatkowy pędnik aktywny, w tym o ile takie możliwości są stosowanie pędników chowanych zamiast sterów strumieniowych [4,5]. W napędach holowników, w których stosuje się podwójne układy z pędnikami azymutalnymi, w wielu sytuacjach manewrowych w pobliżu innego statku, możliwości pędnika przysłoniętego kadłubem innej jednostki, znacząco maleją. Zastosowanie trzeciego pędnika umieszczonego w części dziobowej istotnie poprawia sytuację. Zastosowanie dziobowego steru strumieniowego powoduje poprawę, ale możliwości mimo, że lepsze dalej są ograniczone. Dopiero układy napędowe z czterema i więcej pędnikami pozwalają na swobodne manewrowanie, niezależnie od ustawienia holownika i innego statku. Ograniczeniem w dalszym ciągu pozostaje limit maksymalnych prędkości obu jednostek, aby istniały możliwości współpracy i udzielenia pomocy, przy zachowaniu wymaganego bezpieczeństwa obu jednostek. Rozbudowa układów napędowych statków o dodatkowe pędniki, szczególnie typu azymutalnego z napędem mechanicznym lub elektrycznym będzie szybko następowała dla coraz większej liczby typów statków. Napędy z przekładnią elektryczną torują sobie drogę na wielu typach statków, w tym gazowcach LNG [12]. Upowszechnienie napędów elektrycznych spowoduje również przechodzenie na inne rodzaje paliw, w tym LNG. Dostępne są już okrętowe silniki z zapłonem samoczynnym dwu- i trójpaliwowe. Kłopoty związane z wielokrotnym przechodzeniem na różne gatunki paliw w zależności od obszaru, na którym znajduje się statek, będą skłaniać do stosowania LNG, jako paliwa tańszego i bardziej ekologicznego, które można stosować niezależnie od akwenu. W napędach elektrycznych upowszechnieniu ulegną pędniki gondolowe (azipody).

5. WNIOSKI

Wykorzystanie możliwości technicznych, jakie obecnie są dostępne w układach napędowych statków, nadaje bezpieczeństwu żeglugi inne podejście do problemu. Pozwala na formułowanie zwiększonych wymagań określonym typom statków, które stwarzają szczególnie duże zagrożenie dla bezpieczeństwa żeglugi, środowiska naturalnego lub wymagają posiadania odpowiednich zdolności do operacji ładunkowych, zaopatrzenia platform wiertniczych, obsługi baz przeladunkowych, klasy dynamicznego pozycjonowania itd. Dynamiczny rozwój technologii okrętowych układów napędowych, ich różnorodność oraz zróżnicowane parametry i możliwości dają możliwości konfiguracji układu napędowego statku spełniającego coraz bardziej wyrafinowane wymagania [1]. Idzie to w parze z podniesieniem bezpieczeństwa żeglugi, bowiem elementem składowym jest sprawny, niezawodny i o dużych możliwościach układ napędowy statku. Niekiedy dołożenie jednego lub dwóch elementów w układzie napędowym odpowiednio skonfigurowanym przynosi jakościowe zmiany. Szczególną uwagę należy zwrócić na możliwości i parametry pędników azymutalnych. Istotne jest, aby procesowi nowych konfiguracji okrętowego układu napędowego z pędnikami aktywnymi nie wyhamowywać, a poprzez zmiany w wymaganiach, wymuszać dalszy postęp.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Herdzyk J., - *Możliwości zastosowania manewru awaryjnego dla jednostek z napędem pędnikami aktywnymi*, Logistyka nr 2/2010. ISSN 1230-7823 pos.28 str.1625-1631.
- [2] Herdzyk J., - *Parametry aktywnych pędników okrętowych a możliwości manewrowe jednostki pływającej*, Logistyka nr 3/2009. ISSN 1230-7823 pos.16.
- [3] Herdzyk J.: *Rozwój układów napędowych morskich jednostek specjalistycznych w aspekcie bezpieczeństwa żeglugi*, 33rd ISConICE Kones2007, Warszawa 2007.
- [4] Dietmer D., *Principal Aspects of Thruster Selection*, Dynamic Positioning Conference, Houston USA 1997.
- [5] *Voith Schneider Propeller for Offshore Supply Vessel*, Voith Turbo, Heideheim 2006
- [6] Rawson K.J., Tupper E.C. *Basic Ship Theory*. Ship Dynamics and Design, 5th Edition, B&H 2001.
- [7] *Naval Forces*, V/2008 str. 83-94.
- [8] *The Ship Power Supplier*, Marine News 1/2003.
- [9] *J1800-DP2- Jumbo Javelin* www.jumbo-offshore.nl
- [10] *Deep Blue*, Technip, www.technip.com
- [11] *SSCV „SAIPEM 7000“*, GustoMSC 2000.
- [12] *LNG Carrier Power*, Total Fuel Flexibility & Maintainability with 51/60DF Electric Propulsion, MAN Diesel SE 2009.