

PEDNIK CYKLOIDALNY – URZADZENIE NAPĘDOWE I STERUJĄCE

W referacie przedstawiono podstawy zastosowania pędnika cykloidalnego w kadłubie jednostki pływającej przydatnego dla celów sterowania precyzyjnego okrętem. Pędnik tego typu łączy w sobie funkcje urządzenia sterowego i napędowego. Stanowi jeden z ważniejszych elementów składowych systemu sterowania precyzyjnego jednostką pływającą.

CYCLOIDAL PROPELLER – STEERING AND DRIVING DEVICE

In this paper are introduced bases of use the Voith-Schneider propeller in the ship. Steering precise of ship is the aim of application this model of propeller. Voith – Schneider propeller links function of steering device - Voith Cycloidal Rudder – VCP and driving device -Voith Schneider Propeller – VSP and it is very important element steering precise system of ship.

1. WPROWADZENIE

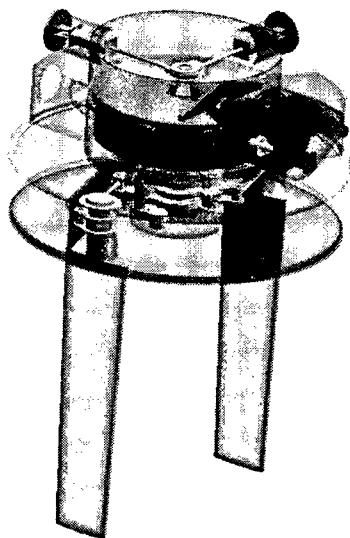
Pod pojęciem „pędnik cykloidalny” należy rozumieć rodzaj niekonwencjonalnego urządzenia, którego pomysłodawcą był austriacki inżynier Ernst Schneider. Zaprojektował on turbinę wodną o nastawnych łopatach i doszedł do wniosku, że może ona służyć również jako napęd jednostki pływającej. Urządzenie to występuje często pod angielską nazwą Voith Schneider Propeller – VSP lub Voith Cycloidal Rudder - VCP. W latach dwudziestych ubiegłego wieku zbudowano pierwszą jednostkę – holownik z prototypowym napędem tego typu. Jednostka ta nie posiadała klasycznego urządzenia sterowego i mogła poruszać się we wszystkich kierunkach w ruchu płaskim, włączając obrót wokół własnej osi, dzięki odpowiedniemu sterowaniu kątem wychylenia łopatek pędnika. Po wielu udoskonaleniach i latach prób nad tą konstrukcją do dnia dzisiejszego wyprodukowano wiele tysięcy pędników VSP stanowiących niezastąpione układy napędowe dla jednostek pływających, szczególnie dla tych, od których wymaga się najwyższych zdolności manewrowych oraz niezawodności, szybkości, precyzji i bezpieczeństwa w swych działaniach [1, 2].

Wśród cech charakteryzujących pędnik cykloidalny można wyróżnić:

- dowolne sterowanie siłą naporu zarówno pod względem wielkości jak i kierunku w pełnym zakresie kąta płaskiego od 0° do 360° ,
- możliwość generacji siły ciągu od wartości równej zeru do maksymalnej,

- sprawność pędnika jest taka sama w całym zakresie pełnego kąta więc moc silnika napędu głównego może być wykorzystana maksymalnie natychmiast w dowolnym kierunku,
- kierunek siły naporu zmienia się zgodnie z prostokątnym układem współrzędnych X i Y - osie te pokrywają się z głównymi osiami jednostki pływającej,
- silnik napędowy może pracować ze stałą lub zmienną prędkością obrotową optymalnie przystosowaną do warunków pracy i stałym kierunkiem obrotów w czasie wszystkich manewrów wykonywanych przez jednostkę,
- prędkość obrotowa pędnika jest niewielka, przez co działanie układu napędowego jest niezawodne i pewne nawet w ekstremalnych warunkach środowiska morskiego,
- układ napędowy i sterowanie stanowią jeden spójny i zarazem prosty w obsłudze system,
- dzięki możliwości usytuowania pędników VSP w części dziobowej jednostki pływającej zmieniono rozkład działających na nią sił w czasie specjalnego manewrowania, np. przy holowaniu wyeliminowano niebezpieczeństwo wywrócenia do góry dnem.

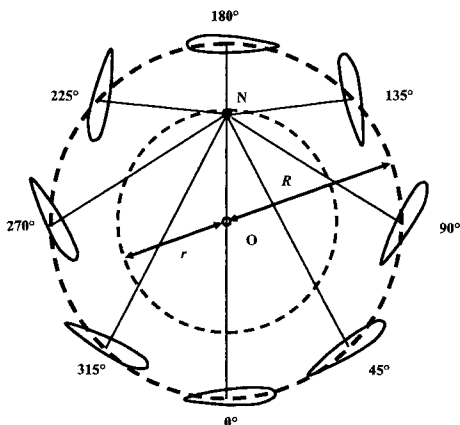
Cechy te powodują, że pędniki oparte na wykorzystaniu pomysłu Ernsta Schneidera znajdują zastosowanie w szerokiej gamie typów jednostek pływających. Wśród nich możemy wymienić holowniki, promy, statki pasażerskie, promy i jachty, wszelkiego rodzaju dźwigi pływające, statki ratownicze i pożarnicze, jednostki służące do usuwania zanieczyszczeń ropopochodnych, jednostki przystosowane do wykonywania prac hydrograficznych oraz jednostki do zadań specjalnych. Przykładami takich typów okrętów są jednostki zaopatrzeniowe platform wiertniczych i jednostki marynarki wojennej przeznaczone do niszczenia min. Widok perspektywiczny urządzenia został przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Pędnik cykloidalny z dwiema łopatkami

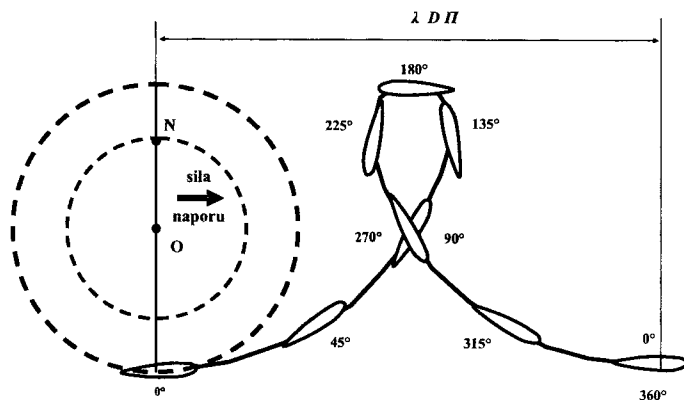
2. ZASADA DZIAŁANIA PĘDNIKA CYKLOIDALNEGO VOITHA - SCHNEIDERA

Pędnik cykloidalny zbudowany jest z rzędu ustawionych pionowo łopatek położonych na obracającej się okrągłej tarczy o promieniu R , zamontowanej w dnie kadłuba jednostki (rys. 2). Łopaty pędnika mają półeliptyczny kształt pozwalający na generowanie w czasie ruchu siły nośnej na płacie łopaty. W czasie obrotu tarczy wokół własnej osi łopaty ustawiają się w różnych położeniach w stosunku do strumienia nadążającego, wykonując ruch kołyszący [7, 9].



Rys. 2. Widok pędnika cykloidalnego z dwiema łopatami

Łopata pędnika, w czasie wykonywania ruchu kołyszącego, generuje siłę naporu skierowaną zgodnie z kierunkiem ruchu jednostki pływającej. Kołyszący ruch łopaty w czasie obrotu tarczy wymuszony jest poprzez przegubowe połączenie łopaty z punktem N , zwanym biegunem albo punktem sterowania. Punkt N znajduje się wewnątrz okręgu o promieniu r i w tym punkcie przecinają się normalne do wszystkich łopatek. Punkty zamocowania łopatek na tarczy pędnika zakreslają w rozwinięciu obraz cykloidy i stąd nazwa pędnika – cykloidalny (rys. 3).



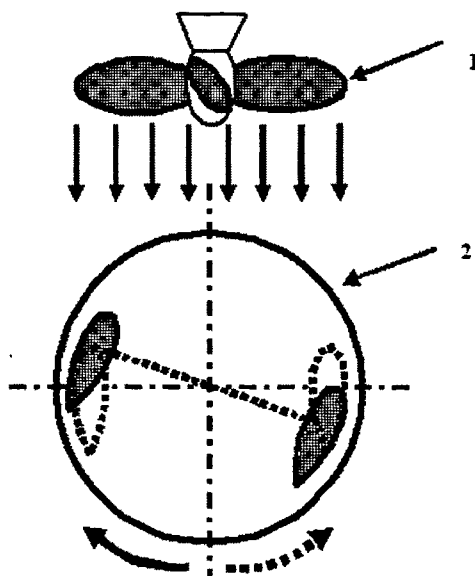
Rys. 3. Widok cykloidy zakreslanej przez łopatę pędnika
D – średnica tarczy pędnika,

Siły nośne powstające na każdej z łopatek skierowane są zawsze w tę samą stronę i po zsumowaniu stanowią o sile naporu pędnika. Siła naporu pędnika skierowana jest zawsze prostopadle do odcinka ON . Przemieszczając położenie punktu N wewnątrz koła o środku O i promieniu r bez zmiany kierunku obrotów tarczy pędnika można otrzymać dowolny kierunek i zwrot siły naporu pędnika [7].

Ster cykloidalny Voitha (VCR) powstał jako rozwinięcie konstrukcji Voith Schneider Propeller (VSP), który od lat dwudziestych XX wieku stał się synonimem bezpieczeństwa, precyzji w działaniu i doskonałych zdolności manewrowych w zastosowaniach okrętowych [2]. Stanowi on układ napędowy i system sterowy przeznaczony dla wszelkiego typu jednostek pływających, które powinny cechować się maksymalnymi możliwościami manewrowymi w pełnym zakresie prędkości roboczych. Zwłaszcza dotyczy to małych prędkości ruchu, zbliżonych do zera, niezbędnych w sterowaniu precyzyjnym jednostką pływającą.

Podobnie jak pędnik VSP, również i ster cykloidalny Voitha posiada wirnik o pionowej osi obrotu. Do wirnika przymocowane są, podobnie jak w VSP, łopaty (co najmniej dwie) usytuowane równoległe do osi obrotu wirnika i pełniące rolę klasycznej płetwy sterowej. Tarcza wirnika VCR nie wykonuje pełnego ruchu obrotowego, jak w przypadku VSP, lecz tylko ruchy rewersyjne, w podobnym zakresie jak klasyczna płetwa sterowa. W pracy steru cykloidalnego można wyróżnić dwa różne tryby pracy:

- tryb pracy bierny,
- tryb pracy czynny.



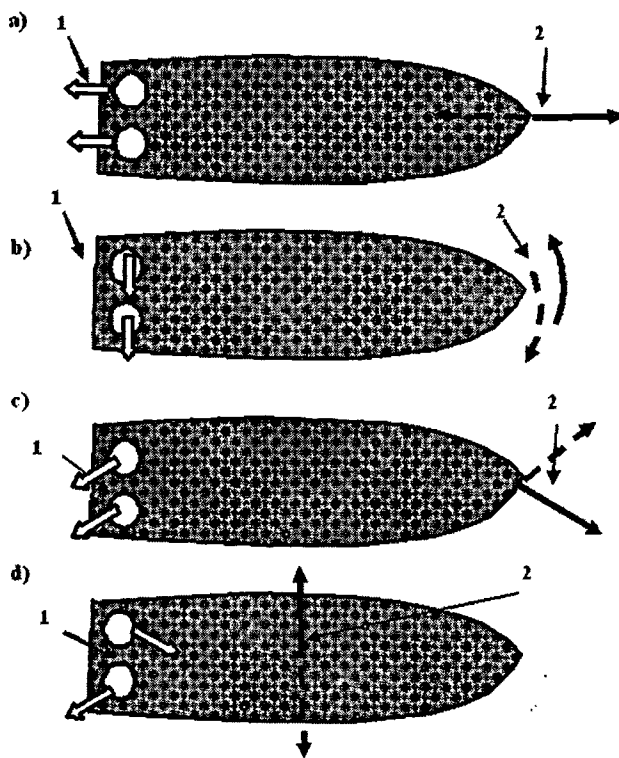
Rys. 4. Możliwości manewrowe pędnika w biernym trybie pracy:
1 – śruba napędu głównego, 2 - VCR

2.1. Tryb pracy bierny – praca pędnika jako urządzenie sterowe

W biernym trybie pracy korpus wirnika wykonuje tylko częściowy obrót w obu kierunkach (ruch rewersyjny) rys. 4. Zablokowane pod pewnym kątem łopaty pędnika pracują jak klasyczne płetwy sterowe. Kąt, pod jakim są one wtedy ustawione względem strumienia napływającego powoduje, że generowane na nich są poprzeczne siły sterujące jednostką pływającą. Bierny tryb pracy steru cykloidalnego jest identyczny jak w przypadku steru konwencjonalnego i jest używany podczas przelotowych prędkości podróżnych statku.

2.2. Tryb pracy czynny – praca pędnika jako urządzenie napędowe

W czynnym trybie pracy na łopatach obracającego się pędnika powstaje siła naporu,



Rys. 5. Możliwości manewrowe jednostki wyposażonej w dwa VCR zamontowane na rufie pracujące w czynnym trybie pracy: a) przemieszczenie w przód / w tył, b) obrót względem zadanego punktu, c) zwrot na prawą / lewą burtę, d) przesunięcie boczne.

1 – kierunek siły naporu, 2 – kierunek przemieszczenia się jednostki pływającej.

której zarówno kierunek, jak i wartość mogą być regulowane (zmieniane) w sposób ciągły w całym zakresie pełnego kąta obrotu. Na obrót tarczy pędnika Voitha-Schneidera, który obraca się ze stałą prędkością, nakłada się na ruch oscylacyjny łopat względem ich osi obrotu. Właśnie amplituda tego ruchu jest czynnikiem decydującym o wielkości siły naporu generowanej przez pędnik. Kierunek wektora siły naporu może zmieniać się w zakresie $0 - 360^\circ$ - relatywna wartość siły naporu pędnika nie jest zależna od kierunku w jakiej jest ona generowana (w jakiej przemieszcza się jednostka pływająca). Oba zmienne parametry ruchu, to znaczy wartość siły naporu pędnika oraz jej kierunek są regulowane przez kinematyczny system sterowania steru cykloidalnego. System ten jest sterowany za pomocą siłowników hydraulicznych stąd ilość energii potrzebnej na przesterowanie kąta wychylenia łopat jest minimalna.

Taki tryb pracy pędnika cykloidalnego jest stosowany przy sterowaniu precyzyjnym przy małych prędkościach ruchu jednostki pływającej. Tryb ten ma główne zastosowanie przy dynamicznym pozycjonowaniu jednostki oraz przy pływaniu w strefie przybrzeżnej, w porcie lub w wąskich kanałach, szczególnie wtedy gdy siły poprzeczne generowane na płetwie steru konwencjonalnego mogą okazać się niedostateczne z powodu zredukowanej prędkości strumienia napływającego pochodzącego od śruby napędu głównego. W pewnych sytuacjach awaryjnych, na przykład przy uszkodzeniu napędu głównego, ster cykloidalny VCR może spełniać rolę napędu pomocniczego i daje możliwość załodze bezpiecznego dopłynięcia do portu.

Oba wymienione tryby pracy steru cykloidalnego mają sporą ilość zalet i dają szerokie możliwości zastosowania pędnika na wielu typach jednostek pływających. Stosowany jest z powodzeniem zarówno na jednostkach floty handlowej, jak i okrętach marynarki wojennej, przyczyniając się w każdym przypadku zastosowania do wzrostu jakości sterowania podczas wykonywania manewrów a tym samym do poprawy bezpieczeństwa jednostki pływającej.

3. WŁAŚCIWOŚCI PĘDNIKA CYKLOIDALNEGO

Typowe stery konwencjonalne, a właściwie płetwy tych sterów są zaprojektowane tak, aby wytwarzać dostatecznie duże hydrodynamiczne siły nośne na płacie steru przy stosunkowo niedużych prędkościach strumienia napływającego, pochodzącego od śruby napędu głównego. Stąd właśnie zastosowanie VCR jako urządzenia sterowego przy małych prędkościach napływu strumienia ze śruby napędu głównego powodującego powstanie siły nośnej na powierzchni łopaty pędnika cykloidalnego.

Wyniki badań laboratoryjnych modelowych pędników i sterów cykloidalnych w basenach holowniczych, czego przykładem mogą być badania modelowe jednego z europejskich producentów napędów Voitha-Schneidera mianowicie firmy Voith Schiffstechnik z Heidenheim z Niemiec dowodzą słuszności powyższego założenia [3, 4].

Projektowana, na etapie konstrukcji jednostki, powierzchnia klasycznego steru (płetwy sterowej) powinna zapewnić odpowiednią siłę nośną steru dla wszystkich przewidywanych w eksploatacji prędkości pływania. Takie założenie powoduje, że przy dużych prędkościach pływania jednostki powierzchnia steru staje się przewymiarowana, ponieważ siła nośna powstająca na płetwie sterowej jest proporcjonalna do kwadratu prędkości, sama płetwa sterowa jest też źródłem dodatkowego oporu podczas pływania.

Przy zastosowaniu pędnika Voitha-Schneidera mamy możliwość alternatywnego wyboru trybu pracy steru cykloidalnego Voitha - jako steru aktywnego (przy małych prędkościach) oraz steru biernego (przy dużych prędkościach podróżnych). Stąd wymagana powierzchnia steru może być zaprojektowana dokładnie dla danej prędkości roboczej [6]. Szczególnie przy dużych prędkościach jednostek pływających daje to znaczne zmniejszenie oporów hydrodynamicznych, co prowadzi do zmniejszenia zużycia paliwa podczas eksploatacji jednostki. Zmniejszenie powierzchni steru ma istotny wpływ na redukcję emitowanego hałasu hydroakustycznego, co z kolei jest bardzo ważną sprawą w przypadku zastosowania militarnego pędnika na jednostkach przeznaczonych do zwalczania min.

4. PODSUMOWANIE

Zainstalowanie pędnika cykloidalnego Voitha-Schneidera na jednostce pływającej jest ważnym czynnikiem decydującym jej zdolnościach manewrowych i bezpieczeństwie, zwłaszcza że pędnik ten jest całkowicie niezależny od napędu głównego. W przypadku awarii głównego napędu, pędnik cykloidalny w trakcie swojego czynnego trybu pracy przejmuje funkcję układu napędowego awaryjnego, który jest w stanie zapewnić jednostce pełne zdolności manewrowe.

Jeśli zamontowane zostaną dwa stery cykloidalne umieszczone na rufie, jednostka pływająca uzyskuje własności dające możliwość wykonywania wszystkich manewrów niezbędnych przy poruszaniu się w wąskich, zamkniętych akwenach oraz przy manewrze cumowania do nabrzeża. Na skutek możliwości zmiany siły naporu w pełnym zakresie kąta obrotu oraz jej relatywnie duże wartości, manewry mogą być wykonywane precyzyjnie bez korzystania z asysty holownika [5].

Dalsze zalety pędnika cykloidalnego można zaobserwować przy ruchu jednostki wstecz. W przypadku zastosowania steru cykloidalnego nie występują problemy ze strumieniem napływającym od napędu głównego, aby był o odpowiednio dużej wartości zdolnej do wytworzenia odpowiednio dużej siły nośnej na płacie steru. Płynne przejście od płynięcia wstecz, wykonywania zwrotu w dowolnym kierunku do płynięcia w przód odbywa się w sposób płynny. Zastosowanie pędnika ma duże znaczenie podczas manewrowania jednostką, podczas sterowania precyzyjnego przy dojściu i utrzymaniu się na określonej pozycji.

Ster cykloidalny może nie tylko pełnić funkcję awaryjnego układu napędowego, ale może być także napędem podstawowym, służącym do pracy jednostki przy małych prędkościach. Doświadczenia wskazują jak trudne jest prowadzenie dużej i szybkiej jednostki w kanałach o ograniczonych wymiarach i dodatkowo ze zredukowaną prędkością. Duże jednostki z reguły utrzymują względnie wysokie prędkości, a zmniejszenie prędkości może być osiągnięte często jedynie przez naprzemienne uruchamianie i zatrzymywanie silnika napędu głównego.

Innymi obszarami zastosowań pędników są jednostki marynarki wojennej – okręty zwalczania min. Operacyjna strefa działań musi być osiągnięta przez tego typu jednostki możliwie szybko, natomiast sama praca w tej strefie wymaga małych prędkości, dodatkowo ważną rzeczą jest minimalny poziom emisji hałasu przy zachowaniu maksymalnych własności manewrowych.

Wymagania te zwykle mogą być spełnione przez zastosowanie kombinacji jednego (lub dwóch) pędnika konwencjonalnego z dwoma pędnikami cykloidalnymi.

LITERATURA

1. Ficken N. L., Conditions for the Maximum Efficiency Operation of Cycloidal Propellers, SNAME Chesapeake Section Paper, April 1996
2. Hirano M., Takashina, J., Moriya S., An Experimental Study on Manoeuvring Hydrodynamic Forces in Shallow Water, TWSNA, 1985 vol. 69, pp. 101-110
3. <http://users.skynet.be>
4. <http://www.voith-schiffstechnik.com>
5. Jurgen D., Grabert R., New Hydrodynamic Aspects of Double Ended Ferries with Voith-Schneider Propeller, <http://www.sva-potsdam.de>
6. Kristensen H., The Manoeuvrability of Double Ended Ferries. Design Considerations, Construction and Service Experience. Conference on Ship Motions and Manoeuvrability. RINA, February 1998
7. Lazauskas L., Airfoildata, <http://www.maths.adelaide.edu.au/lazausk/aero>
8. Testing and Extrapolation Methods Propulsion, Performance Propulsion Test, 75-02-03-01.1
9. van Manen J., A New Way of Simulating Whale Tail Propulsion, paper XXI Symposium on Naval Hydrodynamics, pp. 946 - 958