

mgr inż. Józef MAŁECKI
Akademia Marynarki Wojennej
Gdynia

EFEKTYWNOŚĆ STERÓW STRUMIENIOWYCH

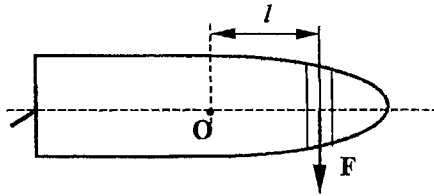
W referacie przedstawiony jest problem sterowania za pomocą steru strumieniowego jednostką pływającą poruszającą się z niewielką prędkością. Jako obiektu badań użyto modelu steru zaimplementowanego w języku Matlab. Podstawą wyjściową do badań symulacyjnych są parametry steru strumieniowego zainstalowanego na jednostce projektu 874. Referat zawiera wybrane wyniki badań symulacyjnych.

EFFICIENCY of THRUSTERS

In this paper is presented problem control of ship's small motion of assistance the thrusters. The control object is a mathematical model of thruster. This model was implemented in Matlab environment. Input data was received from real ship with thrusters. This paper describes results simulation trials.

1. WPROWADZENIE

W zakresie małych prędkości ruchu statku skuteczność działania steru konwencjonalnego jest niewystarczająca. Przy prędkościach zbliżonych do zera jednostka pływająca staje się niesterowna. Aby uniknąć tego problemu statki wyposażane są w pomocnicze urządzenia manewrowe. Spośród dużej liczby takich urządzeń najbardziej rozpowszechnione są dziobowe, poprzeczne stery strumieniowe. Stery strumieniowe z tunelem cylindrycznym, prostopadłym do płaszczyzny symetrii statku, są obecnie najczęściej stosowanymi urządzeniami pomocniczymi służącymi do sterowania statkiem. Charakteryzują się one prostą budową i łatwą obsługą oraz niezawodnością podczas pracy. Zasada działania steru strumieniowego pokazana jest na rys.1. W tunelu znajdującym się poniżej poziomu wody, jest pędnik (najczęściej ze śrubą nastawną), który poprzez obrót śruby przepompowuje wodę z jednej burty na drugą. Powstaje w ten sposób siła naporu F , skierowana prostopadle do linii symetrii statku oddziaływująca na kadłub w miejscu jego połączenia z pędnikiem. Siła ta jest przeciwnie skierowana do kierunku ruchu strumienia przepływającego tunelem wody i powoduje powstanie siły skręcającej.



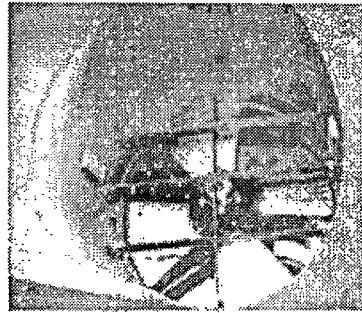
Rys. 1. Siła naporu dziobowego steru strumieniowego F - (O -środek ciężkości statku, l - odległość środek ciężkości - środek tunelu steru)

Zagadnienie efektywności działania sterów strumieniowych zasługuje na szczególną uwagę z punktu widzenia manewrowości jednostki pływającej. Ruch statku znacząco wpływa na efektywność pracy sterów strumieniowych [1]. Na efektywność pracy steru strumieniowego ma także wpływ prędkość statku w kierunku własnej osi. Analiza takiego problemu zawarta jest w wielu publikacjach m.in. w [2, 14, 15]. Większość badań w tym zakresie wykonana została drogą prób modelowych w celu potwierdzenia wyników analitycznych. Pomiary rzeczywiste publikowane są niezmiernie rzadko. Wyniki badań modeli fizycznych wykazują, że główną przyczyną zmniejszania się siły i momentu steru strumieniowego na płynącym statku jest powstawanie obszaru podciśnienia wzdłuż burty statku, po stronie wylotowej steru. Powstaje wówczas tzw. siła ssania, która jest zawsze skierowana przeciwnie do siły naporu śruby steru. W chwili obecnej dokładne określenie zależności siły i momentu steru strumieniowego od parametrów ruchu statku i parametrów konstrukcyjnych kadłuba jest problemem złożonym i trudnym do wykonania. Określa się to jedynie metodami empirycznymi, umożliwiającymi oszacowanie tych zależności np.: metoda Norrbina [6], Ridley'a [12], Niemanna [14].

2. MODEL STERU STRUMIENIOWEGO

Do badań symulacyjnych użyto modelu matematycznego steru strumieniowego zaimplementowanego w środowisku Matlab. Przyjęto następujące założenia:

- pędnikiem steru jest śruba nastawna,
- tunel steru znajduje się poniżej linii wodnej,
- w pobliżu wylotu tunelu nie występują rozległe przeszkody stałe,
- oś tunelu leży dokładnie w płaszczyźnie poziomej,



Rys. 2. Ster strumieniowy

- czas pracy steru z pełnym obciążeniem jest nieograniczony.

Schemat blokowy modelu steru strumieniowego [8] przedstawiony jest na rys.3. Właściwości dynamiczne mechanizmu zmiany skoku śruby steru strumieniowego oraz układu sterowania nadążnego skokiem opisane są w pracy [3]. Ważniejsze oznaczenia na powyższym rysunku to:

\dot{H}_4 - chwilowa prędkość zmiany skoku śruby steru strumieniowego,

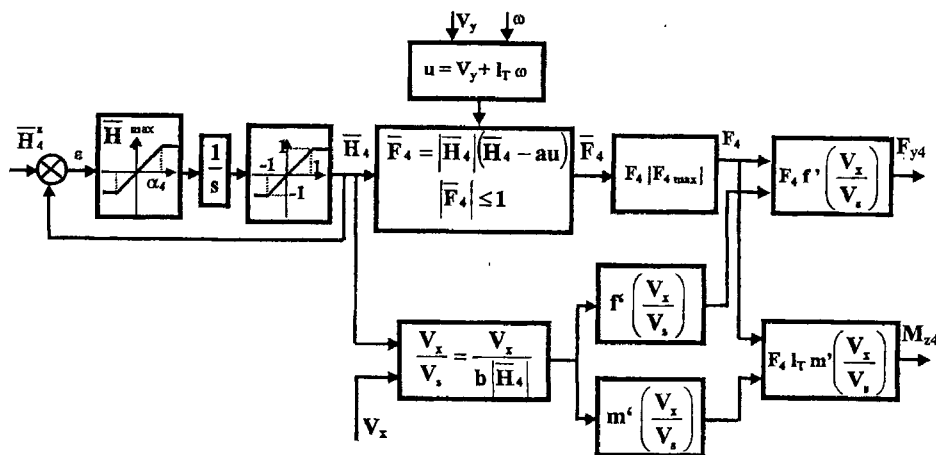
$\dot{H}_{4,max}$ - prędkość maksymalna zmiany skoku,

$\bar{H}_4(H_4^2)$ - względny skok rzeczywisty (zadany),

d_4 - próg nasycenia układu hydraulicznego zmiany skoku,

\bar{F}_{40} - względna siła naporu steru strumieniowego przy prędkości statku $V=0$,

F_{40} - wartość rzeczywista siły naporu steru przy prędkości okrętu $V=0$.
 Poniższy model steru strumieniowego stanowił podstawę do badań symulacyjnych.



Rys.3. Schemat blokowy modelu steru strumieniowego.

3. PRZYCZYNY SPADKU EFEKTYWNOŚCI STERÓW STRUMIENIOWYCH PRZY POWOLNYM RUCHU STATKU

Podczas ruchu statku do przodu, gdy pracuje dziobowy ster strumieniowy, strumień poprzeczny zostaje odchylony od osi prostopadłej do płaszczyzny symetrii statku po obu stronach tunelu steru, wlotowej i wylotowej. Po obu stronach dziobu statku tworzą się obszary podciśnienia(-) i nadciśnienia (+) hydrodynamicznego. Wartości tego podciśnienia i nadciśnienia zależą od prędkości ruchu statku i natężenia przepływu strumienia poprzecznego. Poniższy rysunek przedstawia ideę ich powstawania (rys. 4) [2].

Silniejsze pole podciśnienia (1) i nadciśnienia (2) oddziałują na kadłub z siłą F_1 , która jest przeciwnie skierowana niż siła naporu steru strumieniowego F . Pola podciśnienia (4) i nadciśnienia (3) tworzą siłę F_2 skierowaną zgodnie z siłą naporu steru. Oddziaływanie siły F_2 na kadłub jest znacznie słabsze.

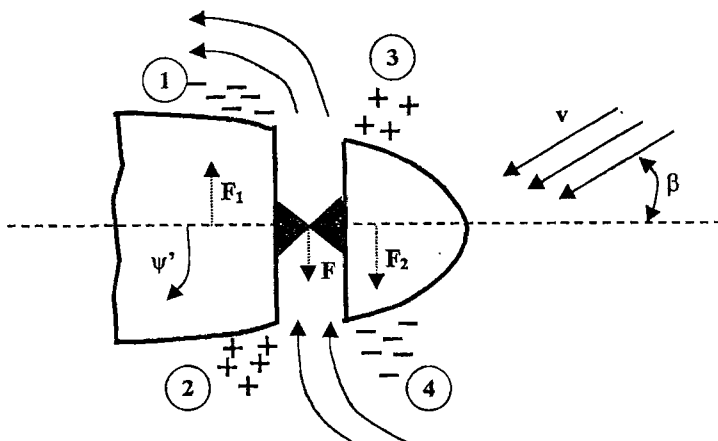
Inną przyczyną spadku efektywności siły poprzecznej steru strumieniowego przy ruchu statku są zakłócenia nierównomierności dopływu strumienia wody do śruby steru. Nierównomierności te powstają na wskutek zawirowań tworzących się przy obu końcach tunelu.

Zakłócenie strumienia poprzecznego powoduje, że siła poprzeczna F wytwarzana przez śrubę steru przy ruchu statku jest mniejsza od siły F_0 , wytwarzanej przez tę samą śrubę, dla prędkości statku równej zero. Ponadto w układzie steru pojawiają się mechaniczne przeciążenia, drgania i hałas. Zwiększa się też obszar kawitacji.

Wartość wypadkowej siły poprzecznej F_w , która oddziałuje na kadłub statku podczas pracy steru strumieniowego wynosi:

$$F_w = F - F_1 + F_2 < F_0 \quad (1)$$

gdzie: F_0 - siła naporu steru strumieniowego przy prędkości statku $V=0$.

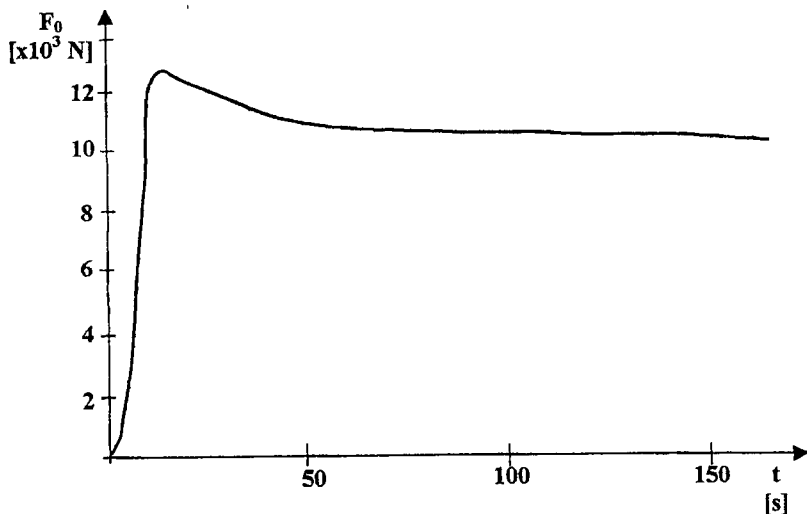


Rys. 4. Rozkład pól ciśnię hydrodynamicznych w części dziobowej statku, gdzie v – prędkość statku względem wody, ψ' – prędkość kątowa statku, β – kąt dryfu.

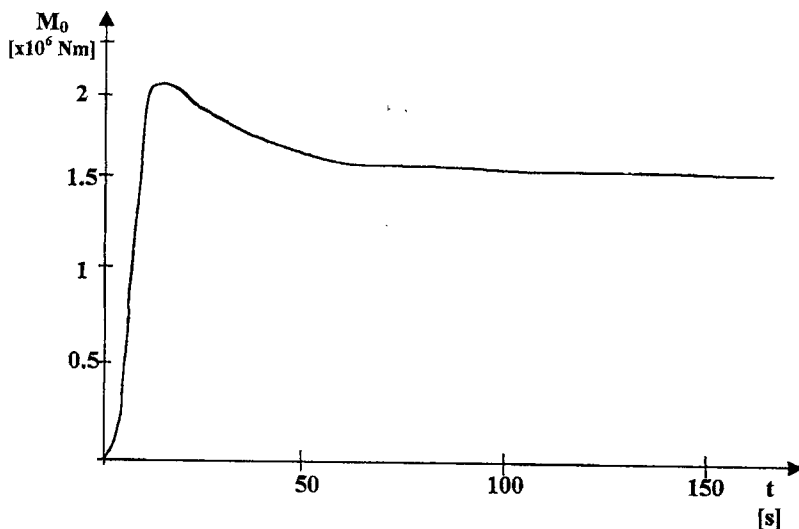
4. WYNIKI BADAŃ SYMULACYJNYCH EFEKTYWNOŚCI STERÓW STRUMIENIOWYCH

Do symulacji działania steru strumieniowego użyto parametrów konstrukcyjnych jednostki projektu 874. Wyposażona jest ona w dziobowy ster strumieniowy typu N 1.1 – 150. Badania symulacyjne przeprowadzone były dla ruchu statku w przód przy prędkości zmieniającej się w zakresie od 0 do 6 węzłów [8]. Ograniczony zakres prędkości wynika z przeznaczenia statku – jest to jednostka wykonująca prace hydrograficzne dna morskiego.

Rysunek 5 przedstawia rozkład siły naporu w czasie, a rysunek 6 rozkład w czasie momentu sterującego, przy prędkości statku $V = 0$ węzłów.

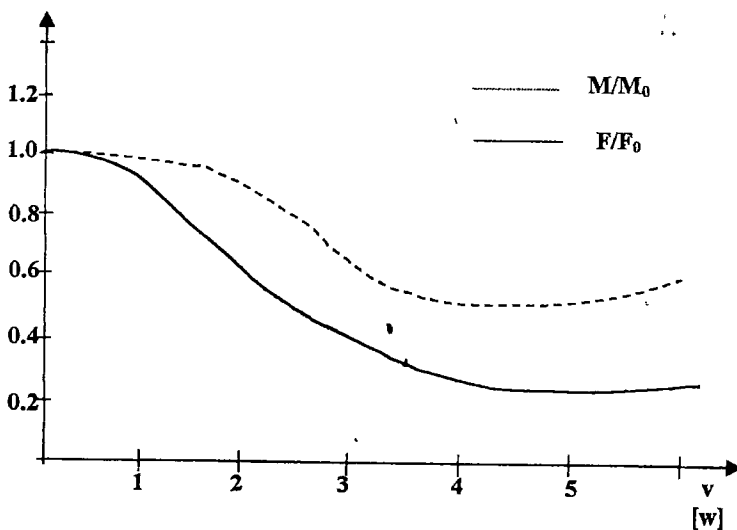


Rys. 5. Rozkład w czasie siły naporu steru strumieniowego dla prędkości $V = 0$ węzłów



Rys. 6. Rozkład w czasie momentu sterującego steru strumieniowego dla prędkości $V = 0$ węzłów

Na kolejnym rysunku możemy obserwować efektywność działania steru strumieniowego dla różnych prędkości ruchu statku.



Rys. 7. Zależność względnego momentu sterującego M/M_0 i względnej wartości siły sterującej F/F_0 od prędkości statku.

5. WNIOSKI

Wykonane badania symulacyjne wykazały, że efektywność działania poprzecznych sterów strumieniowych zależy w dużym stopniu od prędkości ruchu statku względem wody. Największe wartości siły naporu oraz momentu, a więc największą skuteczność działania ster

strumieniowy osiąga przy prędkościach ruchu statku równych lub bliskich zeru. Jeśli prędkość statku wzrasta wartości siły i momentu gwałtownie maleją i osiągają minimum przy około 5 węzłów. Badania symulacyjne wykazały również, że użycie sterów strumieniowych na zatrzymanym modelu powoduje nadanie mu nie tylko prędkości poprzecznej, ale także wzdłużnej. Kurs statku zmienia się nieznacznie w prawo podczas ustalonej prędkości zadanej silnika napędu głównego przy zerowych nastawach wychylenia łopatek sterów strumieniowych, co jest wywołane oddziaływaniem steru strumieniowego na kadłub statku.

LITERATURA

- [1] Gajek J., *Żespół silnik wysokoprężny - śruba nastawna - kadłub statku jako obiekt sterowania*. Bud. Okr., nr 2, 1972.
- [2] Galbas J., *Skuteczność manewrowania dziobowych sterów strumieniowych w zakresie ograniczonej prędkości statku*. Bud. Okr., nr 1, 1982.
- [3] Galbas J., *Synteza układu sterowania precyzyjnego statkiem za pomocą sterów strumieniowych*. Praca doktorska, Gdańsk 1988.
- [4] Galbas J., Lisowski J., Krajczyński E., *Okrętowe stery strumieniowe*, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1986.
- [5] Kulikow S., Hramkin M., *Wodometnyje dwiziteli*, Sudostrojenie, Leningrad 1980.
- [6] Lebediew E., Pierszyc R., Rusickij A., *Sredstwa aktiwnogo uprawlenija sudami*, Sudostrojenie, Leningrad 1969.
- [7] Lisowski J., *Statek jako obiekt sterowania automatycznego*, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1981.
- [8] Lisowski J., Małecki J., *Symulacja sterowania precyzyjnym ruchem statku*, *Pomiary Automatyka Robotyka* 10/2000.
- [9] Norrby R., *Evaluation of side thruster performance*. Int. Shipbuild. Progr. No. 8, 1974.
- [10] Nowicki A., *Wiedza o manewrowaniu statkami morskimi*, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1978.
- [11] Ostrowski W., *Weryfikacja modelu dynamiki statku sterowanego przy pomocy steru strumieniowego*, Praca magisterska WSM, Gdynia 1982.
- [12] Ridlay D., *Observations on the effect of vessel speed on bow thrusters performance*. Mar. Technology. No. 7, 1969.
- [13] Wełnicki W., *Sterowność okrętu*, PWN, Warszawa 1966.
- [14] Więckiewicz W., *Efektywność pracy sterów strumieniowych na pływających statkach*. Bud. Okr. nr 1 1984.
- [15] Więckiewicz W., *Spadek efektywności pracy dziobowego steru strumieniowego na pływającym statku*. Praca doktorska, IMP PAN Gdańsk 1986.