

Izydor KAFAR
Miroslaw NOWAK

Instytut Konstrukcji i Napędu Okrętów
Wyższa Szkoła Marynarki Wojennej

SYMULACJA PRACY OKRĘTOWEGO STERU STRUMIENIOWEGO

Streszczenie: Opracowano model matematyczny symulujący pracę okrętowego steru strumieniowego napędzanego poprzez przekładnię hydrostatyczną. Wielkością wymuszającą procesy niustalone jest zmiana wydajności pompy przekładni hydrostatycznej. Równania modelu rozwiązano na drodze numerycznej. W wyniku obliczeń określa się oddziaływanie steru na kadłub okrętu.

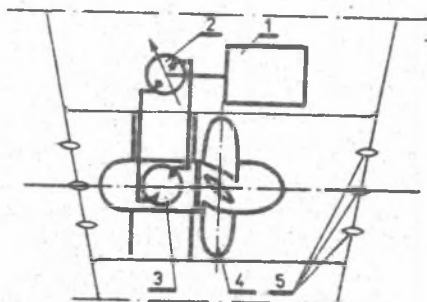
Oznaczenia:

A_k, A_s	- powierzchnia przekroju w kręgu śruby i kanału pędnika
D_s	- średnica śruby
J_s	- moment bezwładności śruby
K'_T, K'_M	- uniwersalny współczynnik momentu zapotrzebowanego i naporu
M_h, M_s	- moment rozwijany przez silnik hydrauliczny i zapotrzebowany przez śrubę
T	- napór steru strumieniowego
Q	- wydatek pompy
V_y, V_s, V_w	- prędkość pływania okrętu, przepływu wody w kręgu śruby i w kanale
C_y	- współczynnik oporu hydrodynamicznego
f_p	- współczynnik przecieków
g_s	- chłonność jednostkowa silnika hydraulicznego
h	- nastawa pompy
m	- masa kadłuba okrętu
n	- prędkość obrotowa
Δ	- uniwersalny współczynnik posuwu
η_m	- sprawność mechaniczna
ρ	- gęstość wody
τ	- czas
ξ	- współczynnik strat

Stery strumieniowe stosowane są dla polepszenia właściwości manewrowych okrętów. Oddziaływanie sterów strumieniowych na kadłub nabiera szczególnego znaczenia przy pozycjonowaniu okrętu. Współcześnie dąży się do tego, aby już na etapie projektowania okrętu znana była dynamika realizacji tego manewru. Informacji o tym dostarczają badania symulacyjne. Badania te pozwalają określić niezbędne moce silników napędowych sterów strumieniowych oraz dostarczają informacji dla projektantów układów automatycznego sterowania.

W pracy rozpatrywany jest ster strumieniowy napędzany poprzez przekład-

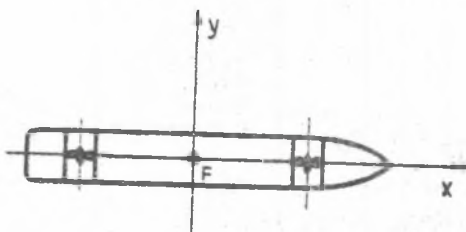
nię hydrostatyczną. Schemat ideowy steru strumieniowego wraz z jego napędem przedstawia rys. 1. Pod wpływem działania sterów strumieniowych nas-



Rys. 1. Schemat ideowy steru strumieniowego

1-silnik napędowy, 2-pompa hydrostatyczna o zmiennej jednostkowej wydajności, 3-silnik hydrostatyczny o stałej jednostkowej chłonności, 4-wirnik steru strumieniowego, 5-palisada profili wlotowych

ąpi tylko ruch boczny kadłuba. Środek bocznego oporu kadłuba pokrywa się z punktem przyłożenia wypadkowej siły naporu sterów strumieniowych, w związku z tym nie będzie występował obrót kadłuba względem osi pionowej i ruch wzdłuż osi x . Przyjęty układ współrzędnych przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Układ współrzędnych

Wzajemne oddziaływanie sterów strumieniowych i kadłuba określone jest równaniem ruchu postępowego kadłuba, równaniem ruchu wody w kanałach pędnika oraz równaniem ruchu obrotowego śruby steru.

Kadłub okrętu traktuje się jako ciało sztywne o masie równej masie własnej powiększonej o masę wody towarzyszącej. W rozpatrywanym przypadku na kadłub działają siły naporu sterów strumieniowych, siły oporu hydrodynamicznego oraz siły bezwładności. Siły te działają wzdłuż osi y i przyłożone są w środku bocznego oporu. Równanie ruchu kadłuba wynikające z działania tych sił ma postać:

$$\frac{dV_y}{dt} = \frac{1}{m(1 + \lambda_{22})} (T - \sum T_{st} - R_N) \quad (1)$$

Opór hydrodynamiczny R_H określono z zależności:

$$R_H = C_y S |V_y| \frac{|V_y|}{2} A, \quad (2)$$

gdzie: C_y - jest zależny od wymiarów geometrycznych kształtu kadłuba w rozpatrywanym przypadku ma wartość stałą.

Na masę wody w kanale pędnika działają siły wynikające ze zmiany pędu masy przepływającej wody oraz siły naporu śruby pomniejszonej o siły tarcia i siły strat miejscowych. Z porównania tych sił otrzymuje się równanie ruchu wody w kanale

$$\frac{dV_k}{dt} = -\frac{1}{m_w} \left[T(1 - \sum \xi_{str}) - A_k S \left(|V_w| \frac{V_w}{2} + |V_y| \frac{V_y}{2} \right) \right], \quad (3)$$

gdzie:

$$\sum \xi_{str} = \xi_t + \xi_N + \xi_{PN} + \xi_S \quad (4)$$

Współczynnik strat tarcia ξ_t jest funkcją prędkości przepływu wody w kanale. Współczynnik strat tarcia określono ze wzoru Prandtla-Szlichtinga

$$\xi_t = 0,455 (\lg Re)^{-2,58} \quad (5)$$

Współczynniki strat na wlocie do kanału ξ_w na palisadzie wlotowej ξ_{pw} i piascie śruby ξ_s są zależne od wymiarów geometrycznych i są stałe dla danego rozwiązania steru strumieniowego.

Ster strumieniowy napędzany jest silnikiem pracującym ze stałą prędkością obrotową poprzez przekładnię hydrostatyczną.

Przekładnia hydrostatyczna składa się z pompy o zmiennej jednostkowej wydajności i silnika hydraulicznego o stałej jednostkowej chłonności. Wydajność pompy jest funkcją jej nastawy. Zmiana nastawy pompy od $-h_{max}$ do $+h_{max}$ pozwala na zmianę strumienia cieczy podawanej przez pompę i zmianę kierunku przepływu.

Wydatek pompy określony jest zależnością;

$$Q_p = Q_{p \max} \cdot h_w, \quad (6)$$

gdzie: $h_w = \frac{h}{h_{max}}$ a $-h_{max} \leq h \leq +h_{max}$
 $-1 \leq h_w \leq +1$

Ruch obrotowy śruby steru strumieniowego określony jest przez moment bezwładności mas w ruchu obrotowym i momenty działające na wał napędowy. Na wał działa moment obciążenia, tj. moment zapotrzebowany przez śrubę oraz moment napędowy rozwijany przez silnik hydrauliczny

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{2M I_S} (M_h - M_S) \quad (7)$$

Moment silnika hydraulicznego określa zależność:

$$M_h = 2\pi \frac{q_s \cdot D_m}{f_p} (Q \cdot h_n - q_s \cdot n), \quad (8)$$

gdzie: f_p - współczynnik przecieków, do których zaliczamy także przecieki przez zawór upustowy.

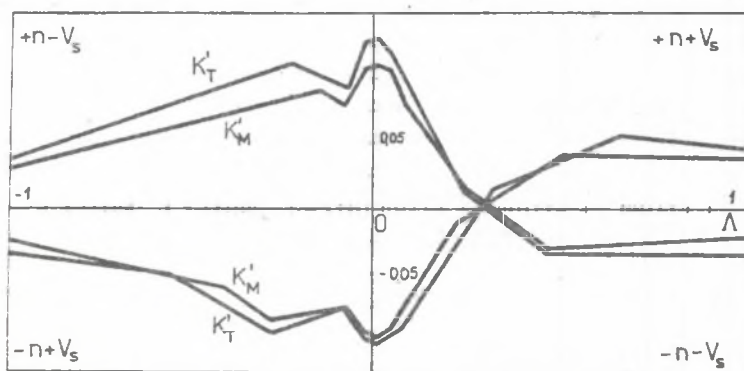
Śruba steru strumieniowego podczas manewrów przechodzi przez stany, gdy jej prędkość obrotowa n równa jest zero. Dlatego do obliczeń momentu zapotrzebowanego oraz naporu rozwijanego przez śrubę steru wykorzystano charakterystyki hydrodynamiczne śrub okrętowych przedstawione w następującym układzie współrzędnych $K'_M, K'_T = f(\Lambda)$, gdzie:

$$K'_M = \frac{M}{\rho D^3 (V_S^2 + n^2 D_S^2)} \quad (9)$$

$$K'_T = \frac{T}{\rho D^2 (V_S^2 + n^2 D_S^2)} \quad (10)$$

$$\Lambda = \frac{V_S}{\sqrt{V_S^2 + 2D_S^2}} \quad (11)$$

Na rysunku 3 przedstawiono dla rozpatrywanego przypadku przebieg charakterystyk K'_M, K'_T w zależności od Λ w półlogarytmicznym układzie współrzędnych aproksymowane dla celów obliczeniowych odcinkami linii prostej.

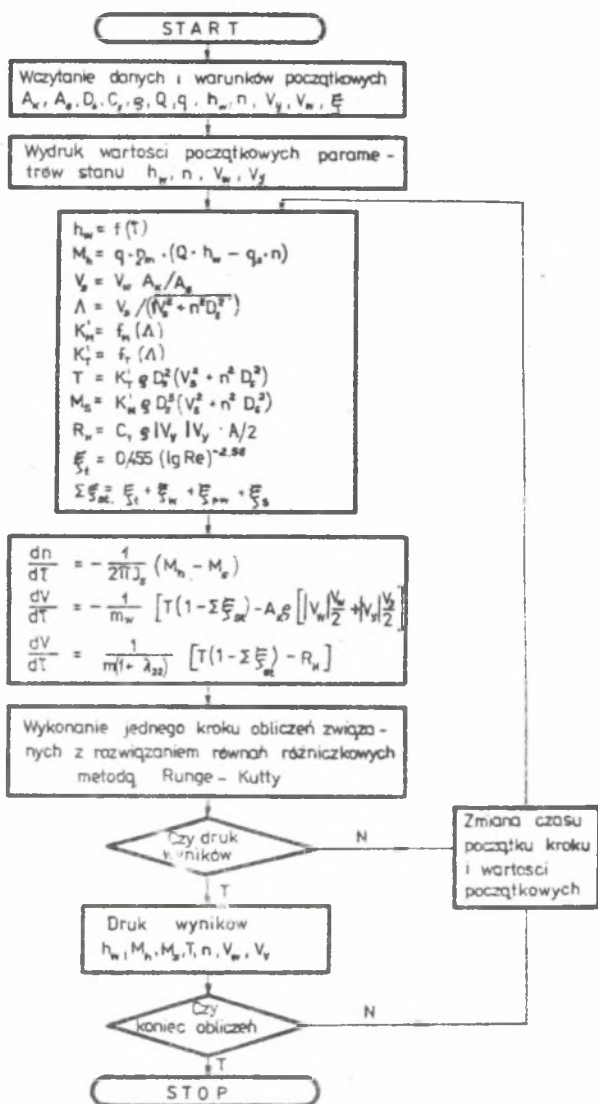


Rys. 3. Charakterystyki hydrodynamiczne

Występująca w zależnościach (9), (10) i (11) prędkość V_S jest prędkością w kręgu śruby, która jest większa od prędkości wody w kanale ze względu na zmniejszenie przekroju kanału przez piastę śruby. Prędkość tę określa zależność

$$V_S = V_w \frac{A_k}{A_S} \quad (12)$$

W oparciu o podane wyżej zależności opracowano program symulujący pracę steru. Algorytm tego programu ma niżej prezentowaną postać.



Literatura

- [1] J. Lisowski Statek jako obiekt sterowania automatycznego. Wydawnictwo Morskie, Gdansk 1981 r.
- [2] I. Kafar, M. Nowak Badania pędników wodnostrumieniowych w zmiennych warunkach. WSMW, Gdynia 1983 r. Praca badawcza /MR-1-27/83/
- [3] A.A. Musieckij i inni Średstwa aktywnowo uprąwlenija sudami. Sudostrojenie, Leningrad 1969 r.
- [4] I.J. Wojtkulskij, R.J. Perszic, J.A. Titow Sprawocznik po teorii korablja. Sudostrojenie 1973 r.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СУДОВОГО ПОДРУЛИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Резюме

В работе представлено математический модель моделирующей работу судового подруливающего устройства. Уравнения вычислено на ЭЦД. Результаты вычислений определяют влияние судового подруливающего устройства на корпус судна.

SIMULATION OF TUBULAR RUDDER ACTION

Summary

A mathematical model simulation of tubular rudder action is presented. Calculations are performed numerically.