

Alekey C WALINA

Wyższa Szkoła Marynarki Wojennej
Gdynia

CHARAKTERYSTYKI AKUSTYCZNE KAWITUJĄCEJ ŚRUBY OKRĘTOWEJ W WARUNKACH WPROWADZANIA INKLUZJI POWIETRZNYCH

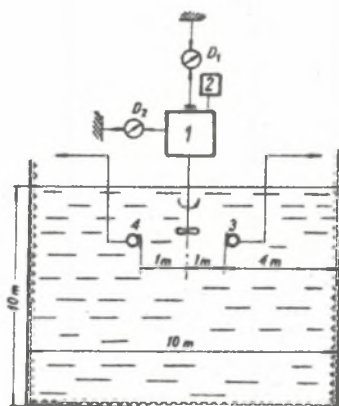
Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych podwodnych zaburzeń akustycznych wytwarzanych przez kawitującą śrubę okrętową podczas wprowadzenia inkluzji powietrznych. Badanie przeprowadzono w basenie bezechowym w warunkach pracy śruby na uwięzi. Analizę widmową wykonano za pomocą analizatora wąskopasmowego przy $f = 3,16$ Hz.

1. Wprowadzenie

Obok tak niekorzystnych zjawisk jak erozja kawitacyjna czy spadek sprawności, kawitacja, towarzysząca pracy śruby okrętowej, wiąże się z silnym promieniowaniem dźwięku w ośrodku wodnym. Jednym ze sposobów, prowadzących do obniżenia dynamiki kawitacji, jest wprowadzanie do strumienia napływającego inkluzji gazowych. Metodę wprowadzania inkluzji powietrznych w obszar działania śruby okrętowej w celu zmniejszenia erozji kawitacyjnej, opisano w pracy [3]. Stosując podobną metodę w badaniach modeli śrub okrętowych Aleksandrow [2] stwierdził wzrost poziomu ciśnienia akustycznego pierwszej harmonicznej. Kozaczka [1], badając śruby w basenie bezechowym, uzyskał w ten sposób zmniejszenie sumarycznego poziomu ciśnienia akustycznego o 25 dB. Dotyczy to przypadku, gdy kawitacja na śrubie była w pełni rozwinięta. Zaobserwował jednocześnie zmniejszenie sprawności śruby spowodowane wyraźnym spadkiem gęstości ośrodka. W niniejszej pracy przedstawione zostaną wyniki badań eksperymentalnych zjawiska wytwarzania dźwięku przez kawitującą śrubę okrętową w warunkach wprowadzania inkluzji powietrznych w ilości nie powodującej widocznych zmian siły naporu i momentu obrotowego śruby.

2. Badania śrub w basenie bezechowym

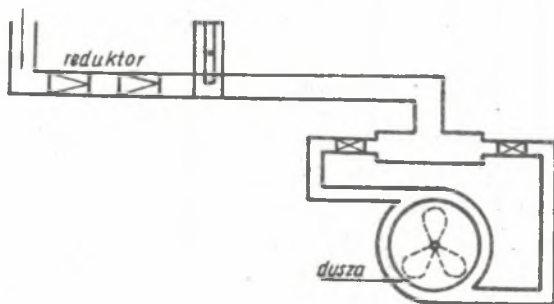
Badanie podwodnych zaburzeń akustycznych wytwarzanych przez śruby okrętowe prowadzono w basenie bezechowym w warunkach pracy na uwięzi. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat sytuacyjny stanowiska do pomiaru podwodnych zaburzeń akustycznych wytwarzanych przez śrubę okrętową. 1 - silnik elektryczny prądu stałego, 2 - układ do pomiaru prędkości obrotowej śruby, 3 - hydrofon pomiarowy 8100, 4 - hydrofon pomiarowy 8101. D_1 - tensometr do pomiaru siły naporu, D_2 - dynamometr do pomiaru momentu obrotowego

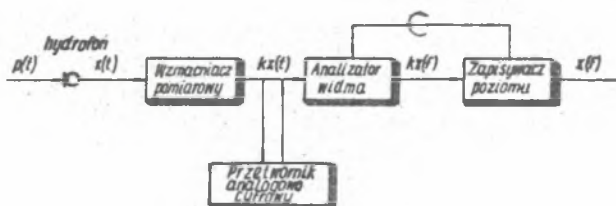
Napęd śruby silnikiem elektrycznym prądu stałego umożliwił płynną regulację prędkości obrotowej śruby przez zmianę napięcia zasilającego obwód twornika. Napór wytwarzany przez śrubę mierzono za pomocą tensometru D_1 , a moment obrotowy śruby - dynamometrem D_2 . Prędkość obrotową śruby mierzono elektronicznym tachometrem impulsowym, ręcznym tachometrem odśrodkowym i stroboskopem SB-05.

Sposób wprowadzenia pęcherzy powietrza w obszar kręgu śrubowego pokazano na rys. 2. W dolnej części dyszy o przekroju kołowym znajdowały się 23 otwory o średnicy 1,5 mm. Wydatek powietrza mierzono rotametrem.



Rys. 2. Sposób wprowadzania pęcherzy powietrza w obszar kręgu śrubowego.

Pomiary podwodnych zaburzeń akustycznych wytwarzanych przez śruby okrętowe wykonano w oparciu o układ pokazany na rys. 3.



Rys. 3. Schemat blokowy układu pomiarowego stosowanego do badań podwodnych zaburzeń akustycznych wytwarzanych przez śruby okrętowe

Badaniom zostały poddane śruby okrętowe, których podstawowe parametry geometryczne przedstawiono w tabelicy 1.

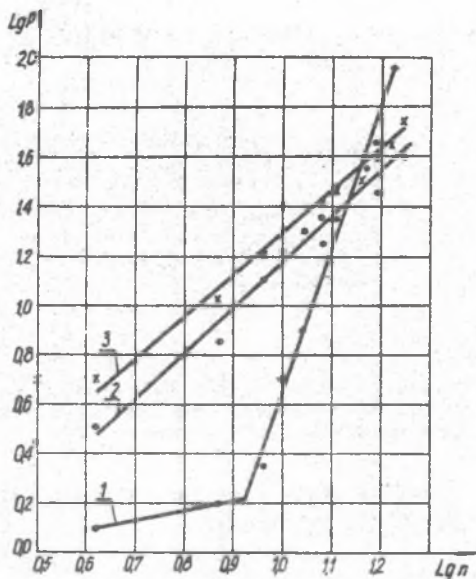
Tabelica 1

Nr śruby	Średnica śruby D [m]	Liczba skrzydeł z	Współczynnik powierzchni skrzydeł S_0/S	Współczynnik skoku H/D	Kierunek obrotów
1	0,5	3	0,35	0,5	lewy
2	0,4	3	0,5	1,3	lewy

3. Wyniki badań eksperymentalnych

W rezultacie przeprowadzonych badań otrzymano charakterystyki akustyczne śrub okrętowych, których parametry przedstawiono w tabelicy 1. Na rys. 4 pokazano zależność ciśnienia akustycznego od prędkości obrotowej śruby nr 1 we współrzędnych logarytmicznych.

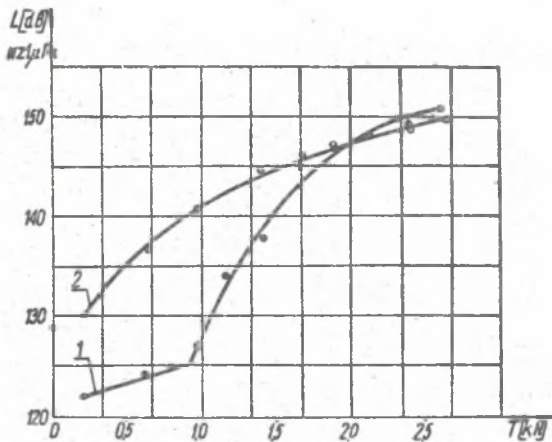
Aproksymacji liniowej dokonano metodą najmniejszych kwadratów. Krzywą 1 ciśnienia akustycznego wytwarzanego przez śrubę okrętową nr 1 aproksymowano dwoma odcinkami prostych. Pierwszy odcinek to praca śruby w przypadku, gdy kawitacja nie występuje. Wzrost ciśnienia akustycznego w tym przedziale prędkości obrotowych jest stosunkowo powolny. Wywołany jest on hydrodynamicznym oddziaływaniem skrzydeł śruby okrętowej na ośrodek wodny [por. 1]. Zaburzenia te są ściśle związane z prędkością obrotową i liczbą skrzydeł śruby. Odcinek drugi związany jest z rozwojem kawitacji na śrubie okrętowej. Widać znaczny wzrost ciśnienia akustycznego w porównaniu z pierwszym odcinkiem.



Rys. 4. Zależność ciśnienia akustycznego od prędkości obrotowej śruby nr 1 dla różnych wydatków powietrza wprowadzanego w obciążenie kręgu śrubowego. 1 - $q = 0$,
2 - $q = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, 3 - $q = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

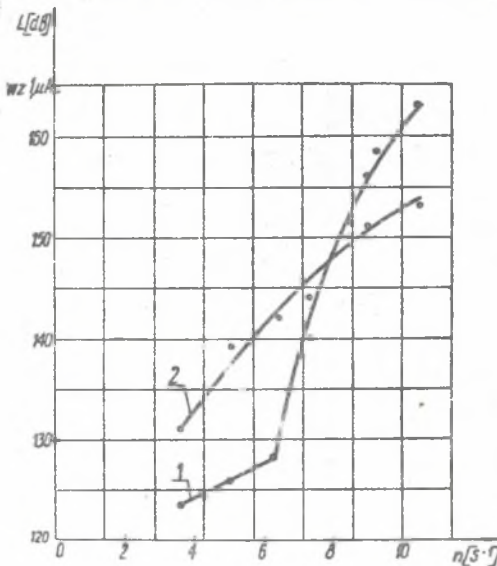
Krzywe 2 i 3 przedstawiają zależność ciśnienia akustycznego wytwarzanego przez śrubę w warunkach wprowadzania inkluzji powietrznych w obciążenie kręgu śrubowego. Obserwujemy tutaj zjawisko znacznego wzrostu ciśnienia akustycznego, gdy kawitacja na śrubie nie występuje oraz w początkowym stadium kawitacji. Można to wyjaśnić, traktując pęcherzyki powietrza w wodzie jako - w pewnym sensie - odpowiadające zjawisku kawitacji gazowej, która powoduje wzrost ciśnienia akustycznego. Dynamika kawitacji gazowej jest zdecydowanie niższa niż parowej. Ponadto występuje działanie tłumiące pęcherzyków [4,5], co w fazie rozwiniętej kawitacji na śrubie powoduje, że ciśnienie akustyczne w przypadku wprowadzania inkluzji jest niższe.

Na rys. 5 pokazano zależność poziomu ciśnienia akustycznego od obciążenia śruby nr 1 siłą naporu.



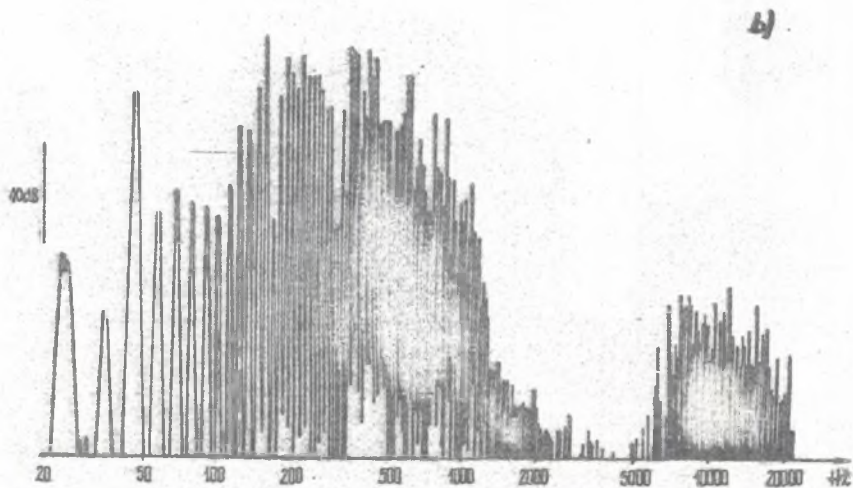
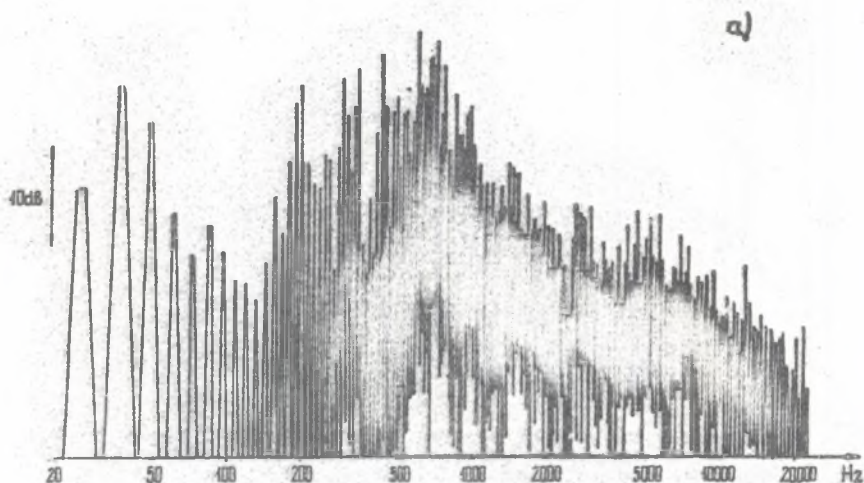
Rys. 5. Zależność poziomu ciśnienia akustycznego od obciążenia śruby nr 1 siłą naporu.
1 - $q = 0$, 2 - $q = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

Na rys. 6 pokazano zależność poziomu ciśnienia akustycznego od prędkości obrotowej śruby nr 2. Wprowadzenie inkluzji powietrznych w obszar kręgu śrubowego spowodowało w początkowym okresie wzrost poziomu ciśnienia akustycznego, a następnie znaczny jego spadek /ok. 10 dB/.



Rys. 6. Zależność poziomu ciśnienia akustycznego od prędkości obrotowej śruby nr 2.
1 - $q = 0$, 2 - $q = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

Widmo mocy podwodnych zaburzeń akustycznych wytwarzanych przez kawitującą śrubę okrętową nr 1 przy prędkości obrotowej $n = 13 \text{ s}^{-1}$ przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Widmo mocy podwodnych zaburzeń akustycznych wytwarzanych przez kawitującą śrubę okrętową nr 1. a - $q = 0$,
 b - $q = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

Charakterystyczna jest zmiana fragmentu widma w przedziale częstotliwości 1,3 - 6 kHz po wprowadzeniu inkluzji powietrznych w obzar kręgu śrubowego. Zjawisko zmniejszenia energii akustycznej w tej części widma związane jest z tłumiącym oddziaływaniem pęcherzyków powietrza w wodzie na falę dźwiękową, przechodzącą przez obzar ośrodka dwufazowego.

4. Wnioski

Wprowadzenie inkluzji powietrznych w obzar kręgu śrubowego w czasie, gdy nie występuje kawitacja na śrubie, powoduje znaczny wzrost sumarycznego poziomu ciśnienia akustycznego.

W początkowej fazie kawitacji pęcherze powietrza w strumieniu wody napływającym na śrubę powodują zmniejszenie dynamiki zapadania pęcherzyków parowych i tym samym zmniejszenie erozji kawitacyjnej powierzchni skrzydeł śruby [3], jednakże same stanowią dodatkowe źródło podwodnych zaburzeń akustycznych. Zmienia się charakter widma mocy, lecz sumaryczny poziom ciśnienia akustycznego jest wyższy.

Ilość powietrza dostarczonego w obzar kręgu śrubowego ma wpływ zarówno na sumaryczny poziom ciśnienia akustycznego, wytwarzanego przez śrubę okrętową, jak i na charakter jego widma mocy.

L i t e r a t u r a

- [1] E. KOZACZKA; Badania podwodnych zaburzeń akustycznych wytwarzanych przez śrubę okrętową, Zeszyty Naukowe Nr 59A WSMW, Gdynia 1978.
- [2] I.A. ALEKSANDROV; O fizycznej naturze "złupienia" grębno winty w reżimie kawitacji, Akustičeskij Žurnal, 8,1, 34-41 /1962/.
- [3] H. OKAMOTO, K. OKADA, Y. SAITO, T. TAKAHEI; Cavitation Study of Ducted Propellers on Large Ships, The Annual Meeting of the Society of Naval Architects and Marine Engineers, 168-190, New York, 1975.
- [4] D. ROSS; Mechanics of Underwater Noise, Pergamon Press, New York, 1976.
- [5] L. van Wijngaarden; Sound and shock Waves in Bubbly Liquids, Cavitation and Inhomogeneities in Underwater Acoustics, Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1980.

АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРЕБНОГО ВИНТА
В РЕЖИМЕ КАВИТАЦИИ В УСЛОВИЯХ ВДУВАНИЯ ВОЗДУХА
В ЗОНУ ВИНТА

Р е з ю м е

В работе представлены результаты экспериментальных исследований подводных звуковых эффектов, сопровождающих работу гребного винта в режиме кавитации в условиях вдувания воздуха в зону винта. Исследования проведены в безэховом бассейне в швартовом режиме. Спектральный анализ проведен с помощью узкополосного анализатора при $\Delta f = 3,16$ Hz.

THE ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF THE CARITATING SHIP
PROPELLER UNDER CONDITIONS OF AIR INJECTION INTO THE
INCOMING FLOW TO THE PROPELLER

S u m m a r y

In this paper some results of the experimental investigations of underwater sound disturbances produced by a caritating ship propeller under conditions of air injection into the incoming flow to the propeller are presented. The investigations were carried out in an anechoic basin with the propeller operating but stationary. Spectrum analysis was made by means of a narrow band analyser $f = 3,16$ Hz.