

Wojciech Homik

Politechnika Rzeszowska
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Konstrukcji Maszyn
35-959 Rzeszów, al. Powstańców Warszawy 8
e-mail: whomik@prz.edu.pl

METRYKA WISKOTYCZNEGO TŁUMIKA DRGAŃ SKRĘTNYCH

STRESZCZENIE

W artykule opisano zagadnienia związane z procesem wzbudzania drgań skrętnych układów napędowych jednostek pływających, a także metody ich tłumienia. Skoncentrowano się głównie na metodzie pośredniej — zastosowaniu tłumika wiskotycznego, opisując jego „metrykę” zawierającą podstawowe parametry konstrukcyjne, fizyczne oraz charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe.

Słowa kluczowe:

drgania skrętne, tłumik wiskotyczny.

WSTĘP

Użytkownicy jednostek pływających, zwłaszcza okrętów wojennych, oczekują od ich projektantów i producentów, by były przede wszystkim niezawodne w trudnych warunkach eksploatacji. Jednym z podstawowych zespołów, którego trwałość i niezawodność przekłada się w sposób bezpośredni na niezawodność jednostki pływającej, jest silnik. Niezawodność wielocylindrowych silników spalinywych zależy nie tylko od projektantów i producentów silników, ale także — a może przede wszystkim — od ich użytkowników.

Wielu z nich w trakcie użytkowania silników ogranicza się jedynie do wymiany podstawowych materiałów eksploatacyjnych (np. wymiany olejów, filtrów itp.), nie zdając sobie sprawy z konieczności diagnozowania, serwisowania czy

wymiany innych zespołów, których stan techniczny przekłada się w sposób bezpośredni na ich żywotność i niezawodność.

Problem ten dotyczy między innymi tłumików drgań skrętnych, które pracują w stanach okresowo zmiennych oraz w zmiennych warunkach atmosferycznych. Ich stan techniczny decyduje o żywotności i niezawodności podstawowego układu wielocylindrowego silnika spalinowego, którym jest układ korbowo-tłokowy, a także układu rozrządu.

Wieloletnia współpraca autora z producentem samochodowych i serwisantem okrętowych tłumików drgań skrętnych firmą DAMPOL oraz uzyskane w ramach tej współpracy doświadczenie pozwala wnioskować, że znacząca część użytkowników silników nie wie, co to jest tłumik drgań skrętnych i jak ważnym z punktu widzenia trwałości silnika jest jego stan techniczny.

Problem ten dotyczy w głównej mierze użytkowników pojazdów samochodowych. Większą świadomość i wiedzę z tego zakresu mają użytkownicy silników okrętowych. Wynika to głównie z tego, że użytkowane przez nich jednostki pływające podlegają okresowym przeglądom dokonywanym przez Towarzystwa Klasyfikacyjne, takie jak GL (Germanischer Lloyd), DNV (Det Norske Veritas), Lloyd's Register of shipping, Bureau Veritas, PRS (Polski Rejestr Statków) i MRMRS (Rosyjski Rejestr Statków). Coraz częściej zdarzają się jednak przypadki, że i tu zapomina się o istnieniu w układzie tłumika drgań skrętnych — aż do momentu remontu kapitalnego jednostki.

ŹRÓDŁA DRGAŃ SKRĘTNYCH I METODY ICH TLUMIENIA

Niezależnie od układu dynamicznego, w którym pracuje silnik, największe zagrożenie dla wału korbowego stanowią drgania skrętne [3, 7, 11, 13, 14, 15, 16]. Spośród szeregu sił działających w układzie korbowo-tłokowym, ruch obrotowy wału korbowego powoduje siła T styczna do okręgu zataczanego przez wykorbienie. Siła styczna T wpływa na wartość momentu obrotowego silnika, który jest równy. Zmienność siły T wywołuje dodatnie i ujemne przyspieszenia w ruchu obrotowym wału korbowego silnika, powodując powstawanie drgań skrętnych, które zmieniają się wraz ze zmianą prędkości obrotowej wału. Przebieg sił stycznych T w funkcji kąta obrotu φ wału korbowego przedstawia się najczęściej w postaci wykresu nazywanego wykresem sił stycznych. Niejednokrotnie podczas prowadzonych analiz wykresy $T(\varphi)$ zastępowane są wykresami jednostkowymi sił stycznych $t(\varphi)$ [3, 12, 14].

W układach napędowych jednostek pływających źródłem drgań skrętnych jest także mająca dużą bezwładność zamontowana na wolnym końcu linii wałów (rys. 1.) śruba napędowa [4, 12, 17]. Moment wzbudzający drgania opisuje zależność:

$$M_{ws} = 0.12(0.1 \cdot I_{ss} + I_{sw}) \frac{\omega_p^2}{h}, \quad (1)$$

gdzie:

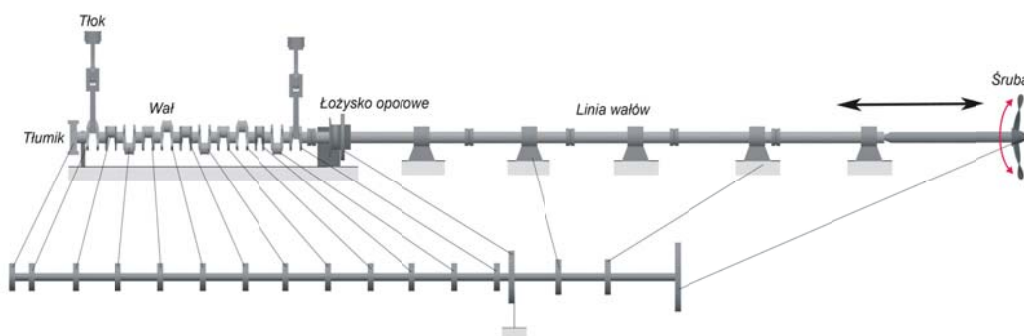
I_{ss} — masowy moment bezwładności śruby;

I_{sw} — masowy moment bezwładności wody zabieranej przez śrubę;

ω_p — prędkość kątowna śruby;

H — rząd harmoniczej zgodny z wielokrotnością liczby skrzydeł śruby [17].

Warto pamiętać, że śruba zanurzona w wodzie jest również tłumikiem drgań. Zagadnienie to jest niezwykle istotne dla pracy układu napędowego jednostek pływających i doczekało się wielu opracowań [2, 4, 8, 9, 10].

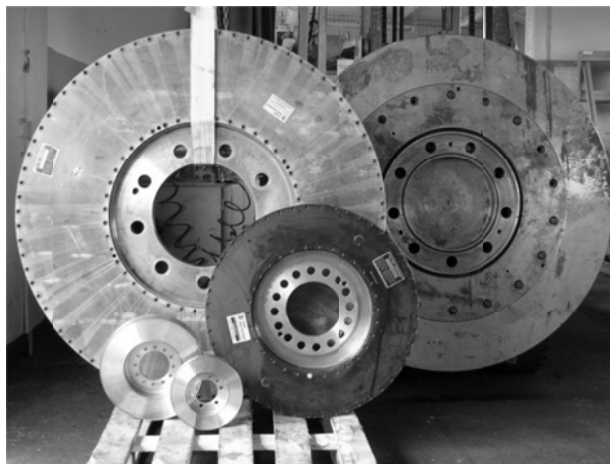


Rys. 1. Rzeczywisty i zastępczy układ napędowy jednostki pływającej

Źródło: opracowanie własne.

Maksymalne amplitudy drgań skrętnych wału korbowego silnika można minimalizować przez:

- zmianę prędkości obrotowych silnika;
- zmianę częstości drgań własnych całego układu;
- zmianę przebiegu sił wymuszających;
- zastosowanie tłumików drgań (fot. 1.).

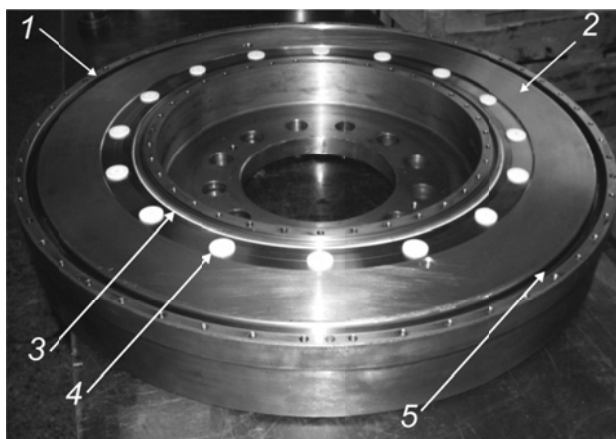


Fot. 1. Tłumiki drgań skrętnych

Źródło: zdjęcie wykonane przez autora.

W większości przypadków pierwsze trzy rozwiązania mogą być niemożliwe do zrealizowania ze względów konstrukcyjno-eksploatacyjnych, dlatego też stosuje się tłumiki drgań skrętnych, które najczęściej umieszczane są na swobodnym końcu wału korbowego silnika.

Spośród wielu rozwiązań konstrukcyjnych najczęściej stosowanymi w przemyśle okrętowym są tłumiki wiskotyczne (fot. 2.).



Fot. 2. Okrętowy tłumik wiskotyczny o średnicy 850 mm po regeneracji: 1 — obudowa tłumika, 2 — pierścień bezwładnościowy, 3 — łożysko promieniowe, 4 — łożysko wzdłużne, 5 — szczelina olejowa (olej silikonowy)

Źródło: zdjęcie wykonane przez autora.

Pierwsze tego typu tłumiki zastosowano w USA na początku XX wieku w przemyśle okrętowym do tłumienia drgań skrętnych wałów rozrządu w silnikach okrętów podwodnych. Ich celem było zapewnienie równomierności pracy silnika, co w bezpośredni sposób przekładało się na obniżenie zjawisk wibroakustycznych jednostki. Pomimo zastosowania, jak na owe czasy, nowatorskiego rozwiązania polegającego na szeregowym połączeniu dwóch tłumików wypełnionych cieczami o różnych lepkościach, nie osiągnięto zadowalających rezultatów [1, 6]. Stało się tak głównie dlatego, że oleje silikonowe były produkowane na bazie olejów organicznych i po stosunkowo krótkim użytkowaniu w trudnych warunkach traciły swoje właściwości fizyczne. Renesans tłumiki wiskotyczne przeżyły w latach czterdziestych minionego stulecia, kiedy to firma Dow Corning Corporation wprowadziła na rynek nieorganiczne oleje silikonowe, które zapewniały odpowiednie parametry fizyczne tłumika. Obecnie do napełniania tłumików wiskotycznych stosuje się stabilizowane oleje silikonowe AK produkowane przez firmę Bayer i Wacker.

CHARAKTERYSTYKI TŁUMIKA WISKOTYCZNEGO

Niezależnie od rozwiązania konstrukcyjnego wszystkie tłumiki drgań skrętnych montowane na wałach korbowych silników okrętowych w myśl obowiązujących przepisów powinny być poddawane okresowym badaniom, co 18 000–25 000 godzin pracy. Okresowa diagnostyka (badania) tłumików może być prowadzona jedynie przez wyspecjalizowany personel firmy produkującej tłumiki lub serwisantów posiadających stosowne certyfikaty.

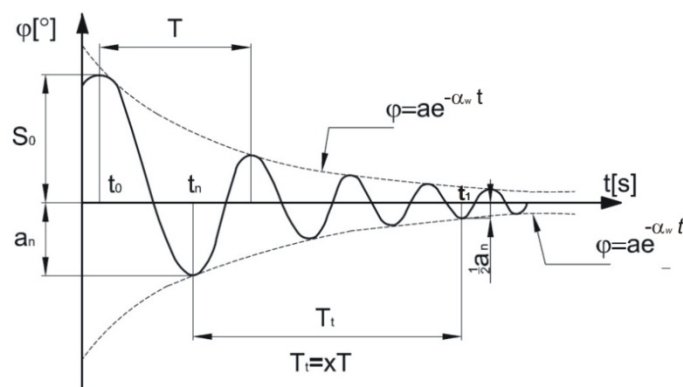
Z praktycznego punktu widzenia każdy producent tłumików drgań skrętnych powinien mieć opracowane skuteczne metody diagnozowania tłumików drgań skrętnych, umożliwiające stwierdzenie, czy eksploatowany tłumik jest jeszcze efektywny. Naturalnym kryterium efektywności tłumika jest kryterium amplitudowe oparte na rzeczywistej charakterystyce amplitudowej tłumionych drgań skrętnych. Wiedząc o tym, każdy z uznanych producentów tłumików opracowuje dla swojego wyrobu (tłumika) „metrykę”, która pozwala nie tylko sprawdzić stan techniczny tłumika, ale także przypadkach odtworzyć jego cechy fizyczne i konstrukcyjne. Metryka tłumika wiskotycznego drgań skrętnych powinna zawierać:

- parametry geometryczne tłumika;
- wielkości luzów (luzu zewnętrznego, luzu wewnętrznego, luzu bocznego) pomiędzy pierścieniem bezwładnościowym a obudową;

- masowy moment bezwładności pierścienia bezwładnościowego I_p ;
- masowy moment bezwładności obudowy I_{ow} ;
- lepkość oleju silikonowego, którym tłumik został napelniony η ;
- materiał łożysk;
- charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe lub charakterystyki amplitudowe.

Charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe danego typu tłumika sporządzane są na specjalnych stanowiskach badawczych, których konstrukcja stanowi tajemnicę firmy. Również Firma DAMPOL, z którą podczas realizacji projektu badawczego nr N N509 547440 autor współpracował, dla każdego z produkowanych tłumików drgań opracowywała jego metrykę, w której umieszczała charakterystyki amplitudowe oraz amplitudowo-częstotliwościowe.

W celu sporządzenia pełnej metryki produkowanego seryjnie przykładowego wiskotycznego tłumika drgań do badań przygotowano trzy partie tłumików: tłumiki dobre, tłumiki zablokowane (odwzorowanie przypadku, w którym doszło do znaczącego wzrostu lepkości oleju lub też mechanicznego połączenia pierścienia z obudową), tłumiki puste (odwzorowanie przypadku, w którym doszło np. do wycieku oleju).

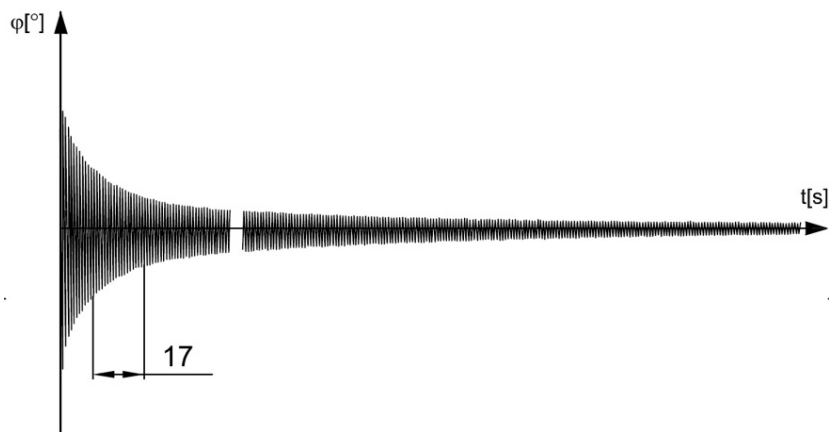


Rys. 2. Charakterystyka amplitudowa metodyki pomiaru

Źródło: opracowanie własne.

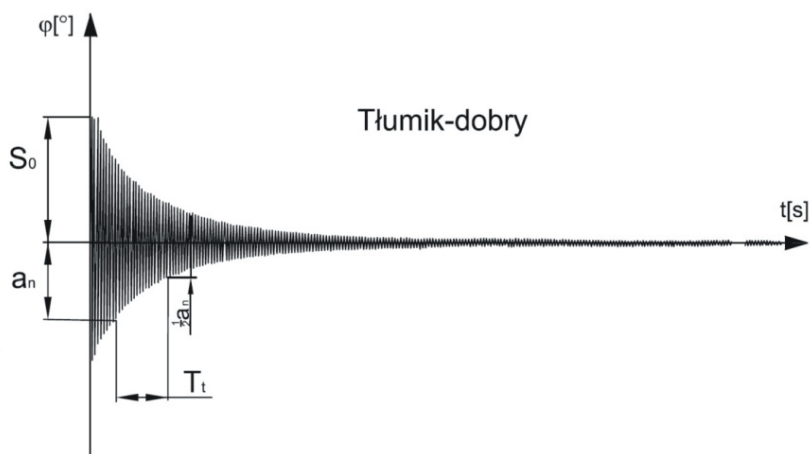
Podczas prowadzenia badań wszystkich tłumików układ pomiarowy stanowiska badawczego zliczał liczbę okresów T_i drgań od czasu t_n , dla którego amplituda drgań wynosiła a_n , do czasu t_1 , gdy wartość amplitudy drgań a_1 była równa $0.5 a_n$.

Badania wszystkich partii tłumików zostały przeprowadzone na tym samym stanowisku badawczym, w tych samych warunkach termicznych (ta sama temperatura otoczenia, ta sama temperatura własna, temperatura nasycenia ok. 70°C) i przy tym samym wymuszeniu (rys. 3–6).



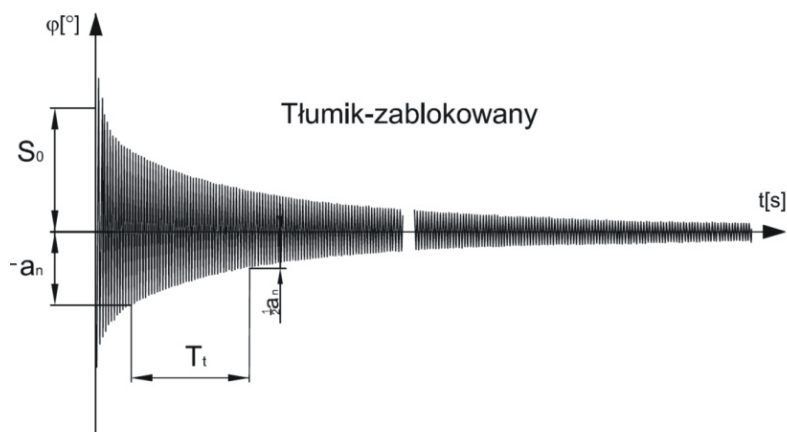
Rys. 3. Charakterystyka amplitudowa drgań swobodnych stanowiska

Źródło: opracowanie własne.

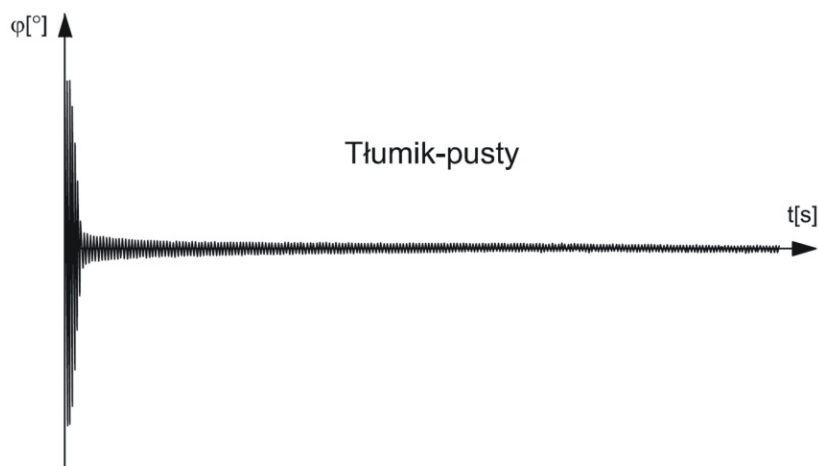


Rys. 4. Charakterystyka amplitudowa drgań tłumionych stanowiska — tłumik dobry

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 5. Charakterystyka amplitudowa drgań tłumionych stanowiska — tłumik zablokowany
Źródło: opracowanie własne.

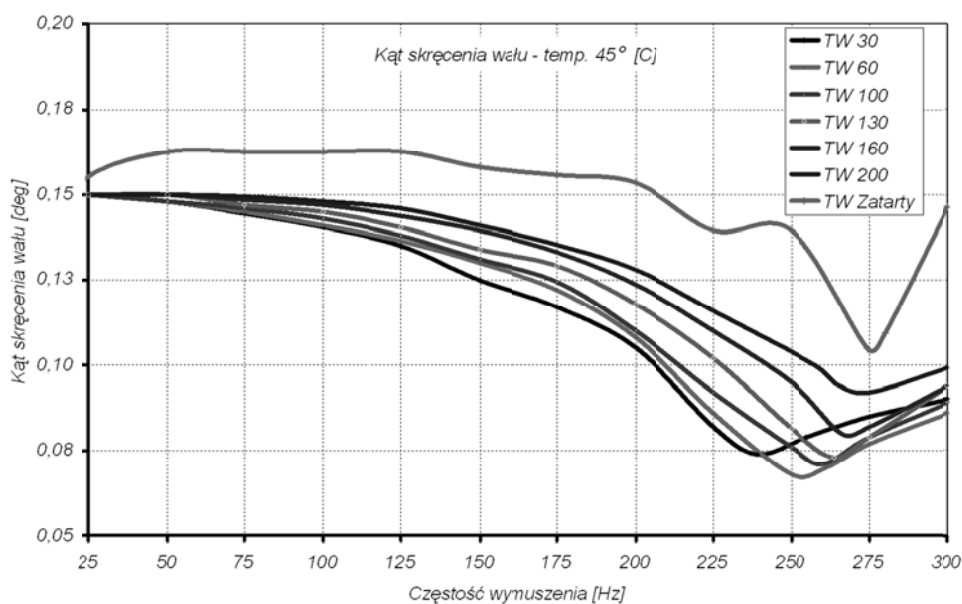


Rys. 6. Charakterystyka amplitudowa drgań tłumionych stanowiska — tłumik pusty
Źródło: opracowanie własne.

Otrzymane podczas badań charakterystyki amplitudowe umieszczone wraz z liczbą zliczonych okresów T_t ($T_t \approx 17$ — stanowisko, $T_t \approx 25$ — tłumik dobry, $T_t \approx 97$ — tłumik zablokowany, $T_t \approx 3$ — tłumik suchy) w metryce tłumika są cennym źródłem informacji o tłumiku, nawet w przypadku, gdy zaniechano jego produkcji. Umożliwiają one, jak już wspomniano, nie tylko określenie jego stanu technicznego, ale także w sytuacjach szczególnych jego odtworzenie. Opisana przykładowa

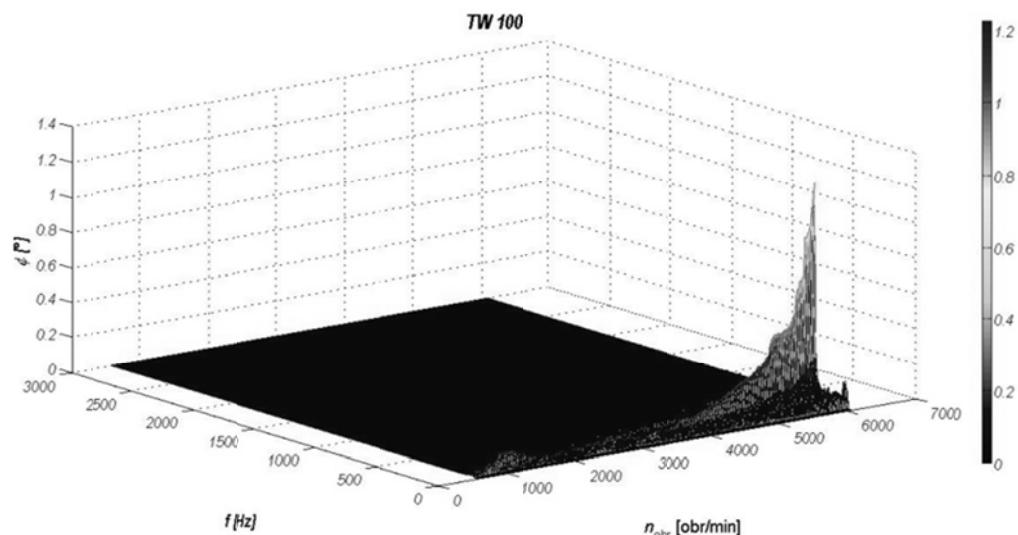
metryka jest niewątpliwie przydatna w przypadku tłumików, które w prosty, niekłopotliwy sposób można dostarczyć do producenta.

Warto też wspomnieć, że metryka okrętowego tłumika drgań skrętnych powinna zawierać stanowiskowe charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe i rzeczywiste charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe wału korbowego silnika wraz z tłumikiem, uzyskane podczas pierwszych prób jednostki napędowej. Przykłady takich charakterystyk pokazano na rysunkach 7. i 8. Są to charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe, które autor uzyskał podczas prowadzenia prób na stanowisku i obiekcie rzeczywistym (samochodzie osobowym marki VW Passat) w ramach realizacji wspomnianego wniosku badawczego.



Rys. 7. Przykładowe charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe tłumików wiskotycznych o różnych lepkościach cieczy w temperaturze +45°C

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 8. Przykładowa rzeczywista charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa tłumika wiskotycznego

Źródło: opracowanie własne.

Artykuł został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki (wniosek badawczy nr N N509 547440).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bishop R. E. D., Price W. G., Tam P. K. Y., *On damping of torsional vibration in a propulsion system having a fluid drive*, The Institute of Marine Engineers/Transactions 1979, Vol. 91, part 5, p. 6.
- [2] Bryndum L., Jakobsen S. B., Matosevic M., *A theoretical and experimental investigation of propeller damping and transient torsional resonance response*, Maritime System Integrity, 18–21 September 1990.
- [3] Brun R., *Szybkobieżne silniki wysokoprężne*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1973.
- [4] Dien R., Schwanecke H., *Die propellerbedingte Wechselwirkung zwischen Schiff und Maschine*, MTZ, 1973, 11–12.
- [5] Goliński J., *Wibroizolacja maszyn i urządzeń*, WNT, Warszawa 1979.

- [6] Homik W., *Diagnostyka, serwisowanie i regeneracja tłumików drgań skrętnych wałów korbowych okrętowych silników spalinowych*, 'Polish Maritime Research', 2010, No 1.
- [7] Jenzer J., *Some vibration aspects of modern ship machinery*, 'New Sulzer Diesel Report', July 1996, No 23.
- [8] Ker Wilson W., 'Practical Solution of Torsional Vibration Problems', Vol. I–IV, Chapman & Hall, London 1968.
- [9] Maciotta R., Saija Merlino F., *Research on damping of torsional vibrations in the Dieselengined propelling plants*, 'FIAT Technical Bulletin', 1966, 2.
- [10] MacPherson D. M., Puleo V. R., Packard M. B., *Estimation of Entrained Water Added Mass Properties for Vibration Analysis*, 'The Society of Naval Architects & Marine Engineers', New England Section, June 2007.
- [11] Jędrzejowski J., *Mechanika układów korbowych silników samochodowych*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1986.
- [12] Selvaggi M., *Experimental research on damping due to propellers in torsional vibration of marine propulsion plants*, Proceedings of 11th CIMAC Congress, Barcelona, 1975, Vol. 2.
- [13] Wajand J. A., *Silniki o zapłonie samoczynnym*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1988.
- [14] Wajand J. A., Wajand J. T., *Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993.
- [15] Warszak W., *Tłokowe sprężarki ziębnicze*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1972.
- [16] Werner J., Wajand A., *Silniki spalinowe małej i średniej mocy*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1971.
- [17] Zygmuntowicz J., *Metodyka obliczeń drgań skrętnych — metodyka obliczeń tłumików wiskotycznych drgań skrętnych*, Warszawa 2010.

CERTIFICATE DESCRIPTION VISCIOUS DAMPER TORSIONAL VIBRATIONS

ABSTRACT

In this paper discussed are the problems concerned with the induction of torsional vibrations in the ships drive systems as well as damping methods. The main focus of attentions is the indirect method an application of viscotic damper through its 'certificate description', which includes the basic construction and physical parameters and amplitude-frequency characteristics.

Keywords:

torsional vibrations, viscous damper.