

NIENISZCZĄCE METODY BADAŃ	NORMA BRANŻOWA	BN-77
	Materiały i ustroje wibroizolacyjne Pomiar impedancji mechanicznej	1050-02
		Grupa katalogowa IV 02

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot normy. Przedmiotem normy jest pomiar impedancji mechanicznej wejściowej i transmisyjnej materiałów i ustrojów wibroizolacyjnych w pasmie częstotliwości 10 ± 10^4 Hz.

1.2. Określenia

1.2.1. Materiał wibroizolacyjny – materiał (np. guma) rozdzielający co najmniej dwa układy mechaniczne i ograniczający przenoszenie się energii drgań z jednego układu na drugi.

1.2.2. Ustrój wibroizolacyjny – konstrukcja wykonana z jednego lub z wielu materiałów, rozdzielająca co najmniej dwa układy mechaniczne i ograniczająca przenoszenie się energii drgań z jednego układu na drugi.

1.2.3. Impedancja mechaniczna (\hat{Z}) – wyrażenie zespolone stosunku harmonicznej siły mechanicznej, przyłożonej do liniowego układu mechanicznego – do prędkości drgań.

1.2.4. Impedancja mechaniczna wejściowa (\hat{Z}_w) – wyrażenie zespolone stosunku harmonicznej siły mechanicznej, przyłożonej do liniowego układu mechanicznego – do składowej prędkości drgań, zgodnej z kierunkiem działania tej siły, mierzonej na wejściu układu (w punkcie przyłożenia siły).

1.2.5. Impedancja mechaniczna transmisyjna (\hat{Z}_t) – wyrażenie zespolone stosunku harmonicznej siły mechanicznej, przyłożonej do liniowego układu mechanicznego – do składowej prędkości drgań, zgodnej z kierunkiem działania

tej siły, mierzonej na wyjściu układu (w punkcie przeciwnym do punktu przyłożenia siły).

1.2.6. Moduł impedancji mechanicznej – wielkość fizyczna równa liczbowo stosunkowi siły mechanicznej, przyłożonej do liniowego układu mechanicznego – do prędkości drgań.

1.2.7. Wymuszenie – wielkość mechaniczna (np. siła, przyspieszenie) podawana do wejścia układu mechanicznego w celu wzbudzenia w nim drgań.

1.2.8. Rezonans – zjawisko występowania największej amplitudy drgania wymuszonego przy określonych częstotliwościach zmian zewnętrznego czynnika wymuszającego, zwanych częstotliwościami rezonansowymi.

1.2.9. Tor pomiarowy – zespół przyrządów pomiarowych, połączonych ze sobą według ustalonego schematu, przeznaczony do mierzenia jednej wielkości fizycznej.

1.2.10. Pozostałe określenia – wg PN-71/N-02050 oraz PN-70/M-42000.

2. METODA POMIARU

2.1. Zasada metody. Metoda polega na przetworzeniu za pomocą przetworników mechaniczno-elektrycznych sygnałów siły wymuszającej i prędkości drgającej próbki materiału lub ustroju wibroizolacyjnego na proporcjonalne sygnały elektryczne, na wykreślonym przedstawieniu stosunku siły do prędkości drgań badanej próbki w czasie pobudzenia jej do drgań o stałej prędkości oraz na obli-

Zgłoszona przez Główny Instytut Górnictwa
Ustanowiona przez Ministra Górnictwa dnia 12 lipca 1977 r.
jako norma obowiązująca w zakresie czynności określonych normą od dnia 1 lipca 1978 r.
(Dz. Norm. i Miar nr 26/1977 poz. 85)

czeniu z otrzymanych danych wartości impedancji mechanicznej.

2.2. Urządzenia pomiarowe i pomocnicze

a) Przetwornik siły i przyspieszenia o liniowej charakterystyce częstotliwościowej amplitudowej i fazowej w pasmie częstotliwości $10 \div 10^4$ Hz o dokładności $\pm 0,5$ dB, o liniowym odtwarzaniu przyspieszenia w zakresie $10^{-3} \div 10^{-2} \text{ ms}^{-2}$ oraz siły w zakresie $10^{-1} \div 10^2 \text{ N}$.

b) Przedwzmacniacz o dynamice powyżej 50 dB, o liniowej charakterystyce częstotliwościowej amplitudowej i fazowej w pasmie częstotliwości $10 \div 10^4$ Hz, o dokładności $\pm 0,5$ dB, z układem całkowującym przyspieszenie na prędkość. Przedwzmacniacz powinien być stosowany do przetwornika siły lub przyspieszenia według instrukcji obsługi.

c) Wzmacniacz pomiarowy o dynamice powyżej 50 dB, o liniowej charakterystyce częstotliwościowej amplitudowej i fazowej w pasmie częstotliwości $10 \div 10^4$ Hz, o dokładności $\pm 0,5$ dB, wyposażony w wychyłowy miernik napięcia. Wzmacniacz pomiarowy powinien być dostosowany do przedwzmacniacza siły lub przyspieszenia oraz do współpracy z filtrami współbieżnymi heterodynowymi według instrukcji obsługi.

d) Filtr współbieżny o szerokości analizowanego pasma częstotliwości nie większej niż 10 Hz w całym pasmie częstotliwości $10 \div 10^4$ Hz, przystosowany do współpracy z generatorem sterującym.

e) Generator sterujący, zapewniający wymuszenie sinusoidalne w pasmie częstotliwości $10 \div 10^4$ Hz, o stałości generowanych częstotliwości $(0,01f \pm 1)$ Hz (f - częstotliwość mierzona, Hz), wyposażony w wewnętrzny układ ujemnego sprzężenia zwrotnego i wzmacniacz mocy, umożliwiający przyłączenie wzbudnika drgań.

f) Voltomierz rejestrujący o zmiennej dynamice zapisu w zakresie $10 \div 50$ dB, o możliwości synchronicznego zapisu z generatorem i analizatorami w pasmie $10 \div 10^4$ Hz, zaopatrzony w dzielnik napięcia wejściowego oraz w układ napędowy, dostosowany do wymaganej prędkości zmian częstotliwości i stałych czasowych. Dopuszczalny błąd względny rejestratora nie powinien być większy niż $\pm 3\%$.

g) Miernik fazy, umożliwiający odczyt przesunięcia fazowego z błędem nie większym niż 2° we wszystkich zakresach pomiarowych w całym badanym pasmie częstotliwości.

h) Wzmacniacz mocy o wymaganym pasmie przenoszenia $10 \div 10^4$ Hz przy zniekształceniach nieliniowych mniejszych niż 1%.

i) Wzbudnik drgań, umożliwiający wzbudzenie stałej prędkości drgań w zakresie $5 \cdot 10^{-5} \div 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$, wyposażony w urządzenie pozwalające na sprężyste jego zawie-

szenie na statywie oraz regulację siły docisku wzbudnika do próbki.

j) Układ elektrycznej kompensacji masy, np. wg rys. 2.

k) Dynamometr o zakresie pomiarowym około 100 N, umożliwiający odczyt siły dociskającej z błędem względnym nie większym niż $\pm 5\%$.

Wszystkie aparaty pomiarowe powinny mieć ważne świadectwa legalizacyjne.

Dopuszcza się zastosowanie innych urządzeń pomiarowych i pomocniczych w układzie pomiarowym pod warunkiem, że maksymalny błąd względny wszystkich elementów tego układu nie przekroczy $\pm 10\%$.

2.3. Pobieranie i przygotowanie próbek

2.3.1. Pobieranie i przygotowanie próbek gumy. Z płyty materiału gumowego, przeznaczonego do wibroizolacji, wyciąć odpowiednim wykrojnikiem co najmniej 5 próbek w kształcie walca o jednakowej średnicy i wysokości, równej grubości płyty. Zaleca się, aby średnice próbek były zgodne z PN-54/C-04253 lub PN-72/C-04292.

Próbka nie powinna mieć widocznych gołym okiem uszkodzeń obrzeży i trwałych uszkodzeń struktury, powstałych przy wycinaniu próbki.

Do obydwu podstaw każdej próbki przykleić butaprenem lub klejem cyjanoakrylowym płytki stalowe z nagwintowanymi otworami M5. Średnica płytek stalowych powinna być co najmniej 2 mm większa od średnicy próbki, a ich grubość powinna wynosić 5 mm.

Do czasu wykonania badania próbki należy przechowywać w pomieszczeniu o temperaturze $20 \pm 5^\circ \text{C}$ i o wilgotności względnej powietrza $60 \pm 5\%$.

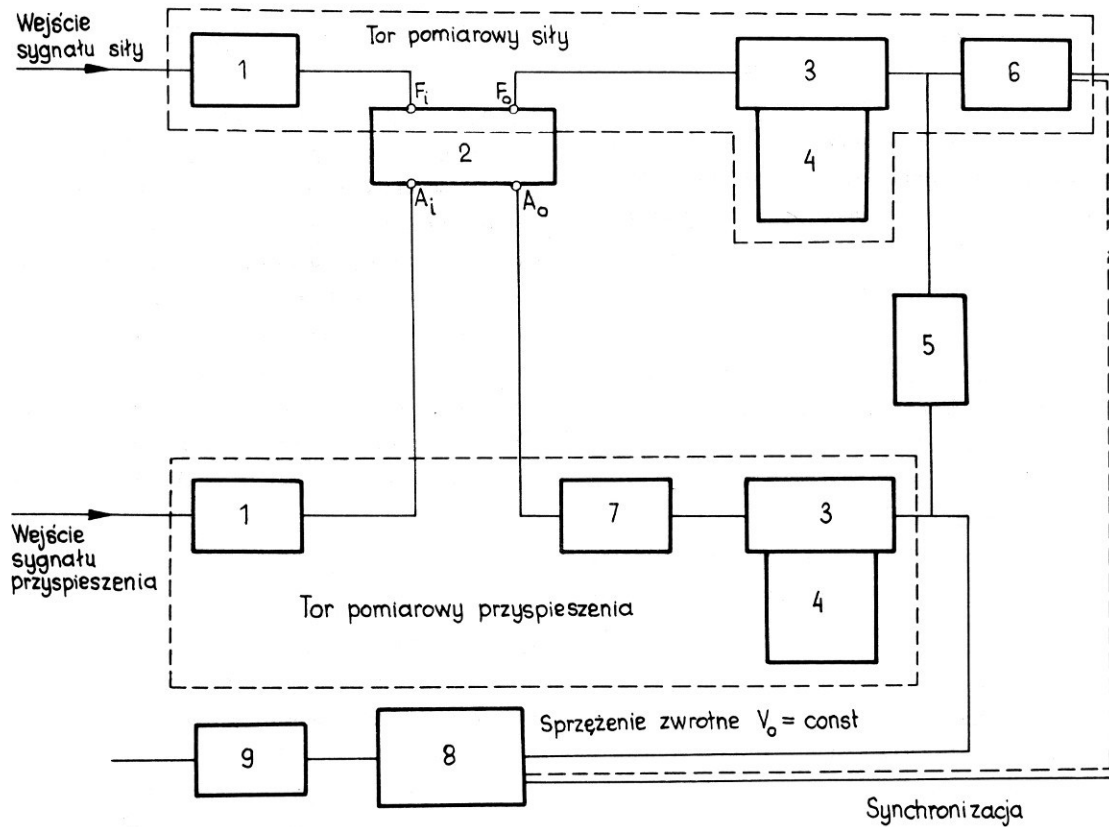
2.3.2. Pobieranie i przygotowanie próbek amortyzatorów i sprężyn. Do badania należy pobrać co najmniej 5 nowych amortyzatorów lub sprężyn, jednakowych ze względu na wymiary i materiał.

Do podstaw sprężyn lub do miejsc amortyzatorów, przewidzianych do przyłączenia przetworników, należy przymocować odpowiednie urządzenia z nagwintowanymi otworami M5 do przyłączenia przetworników siły i przyspieszenia. Przymocowanie urządzenia z nagwintowanymi otworami nie jest konieczne, jeśli stosowane do pomiaru przetworniki nie mają złączy gwintowych, a obciążenie próbki w czasie badania jest mniejsze niż $0,1 \text{ MN}$ na 1 m^2 powierzchni jej podstawy.

2.4. Przygotowanie stanowiska pomiarowego

2.4.1. Montaż podstawowego układu pomiarowego. Podstawowy układ pomiarowy, wykorzystywany zarówno przy pomiarze impedancji wejściowej jak i transmisyjnej, zaleca się zmontować zgodnie z rys. 1.

Wzmacniacza mocy 9 nie należy stosować, jeśli moc wewnętrznego wzmacniacza w generatorze jest wystarczająca do wymuszenia drgań o wymaganym poziomie.



BN-77/1050-02-1

Rys. 1. Zalecany schemat podstawowego układu do pomiaru impedancji mechanicznej

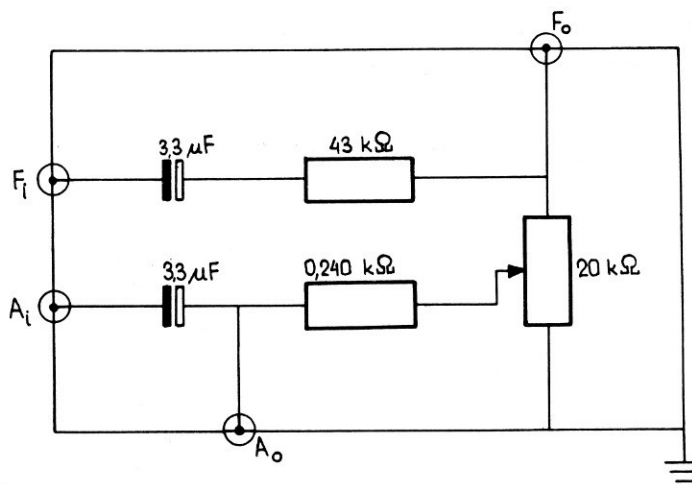
1 - przedwzmacniacz, 2 - układ elektrycznej kompensacji masy, 3 - wzmacniacz pomiarowy, 4 - filtr współbieżny, 5 - miernik fazy, 6 - woltomierz rejestrujący, 7 - integrator (elektryczny układ całkujący), 8 - generator sterujący, 9 - wzmacniacz mocy

2.4.2. Wygrzewanie przyrządów pomiarowych. Przyrządy pomiarowe połączone w układzie wg 2.4.1 należy wygrzewać przez czas ustalony w instrukcjach obsługi.

2.4.3. Kalibracja elementów układu pomiarowego. Kalibrację poszczególnych elementów układu pomiarowego należy przeprowadzić zgodnie z odpowiednimi instrukcjami kalibracji. W przypadku braku takich instrukcji obydwa tor pomiarowe należy kalibrować ze źródła przemiennego napięcia wzorcowego.

Przedwzmacniacze zaleca się kalibrować w jednostkach 10, 100 lub 1000 mV, przypadających na jednostkę pobudzenia, np. 10 mVN^{-1} lub $10 \text{ mVm}^{-1} \text{ s}^2$.

2.4.4. Kompensacja masy. Jeśli elementy służące do mocowania przetworników do próbek mają masy porównywalne lub większe od masy próbki, należy wykonać kompensację udziału ich masy w widmie (wykresie) impedancji. W tym celu należy zmontować układ kompensacji, np. wg rys. 2, dobierając elementy z tolerancją $\pm 1\%$.



BN-77/1050-02-2

Rys. 2. Przykładowy układ elektrycznej kompensacji masy dla sygnałów siły i przyspieszenia, przesuniętych o 180°

Do przetwornika siły należy przymocować element mocujący (bez próbki) i ustawić częstotliwość generatora sterującego na 10^3 Hz, a przyspieszenie na 10 ms^{-2} . Następnie potencjometr ustawić w położeniu, w którym odczytana na wzmacniaczu pomiarowym wartość siły osiągnie minimum. Tak ustawiony potencjometr należy zastosować do wykonania pomiaru impedancji próbek materiałów i ustrojów wibroizolacyjnych, wymagających kompensacji masy.

2.4.5. Przygotowanie fundamentu. Fundament przeznaczony do umocowania badanej próbki powinien mieć masę co najmniej dziesięciokrotnie większą od ilorazu największej siły wejściowej (N) i przyspieszenia (ms^{-2}), przenoszonych przez próbkę.

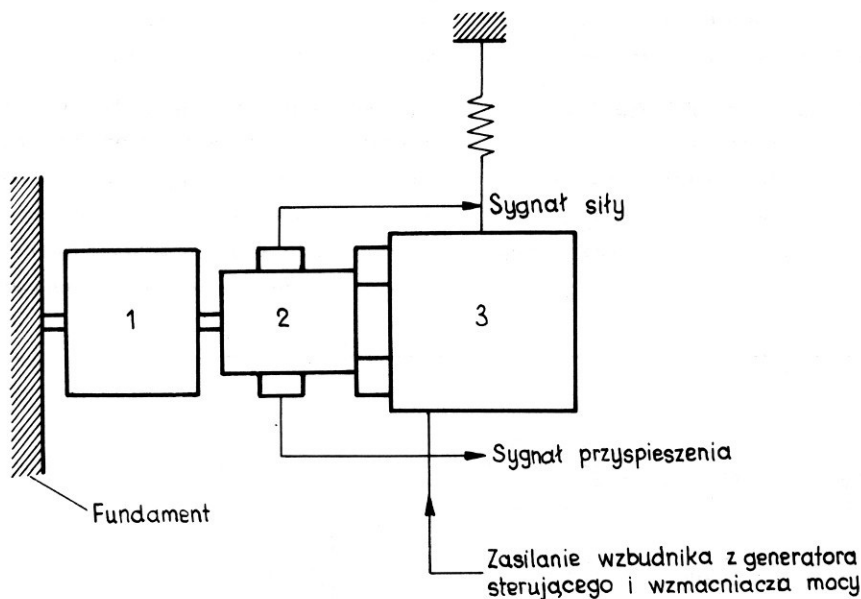
Fundament należy wyposażyć w urządzenie umożliwiające mocowanie próbek (podkładek gumowych, amortyzatorów, sprężyn) oraz w statyw do sprężystego zawieszania wzbudnika drgań.

2.4.6. Mocowanie przetworników. Przetworniki siły i przyspieszenia powinny być mocowane z próbką w miarę możliwości za pomocą połączeń gwintowych. Jeśli zastosowane przetworniki nie mają złączy gwintowych, a obciążenie próbki jest mniejsze niż $0,1 \text{ MN}$ na 1 m^2 powierzchni podstawy próbki, dopuszcza się mocowanie przetworników z próbką klejem cyjanoakrylowym.

2.4.7. Uzupełniający układ pomiarowy

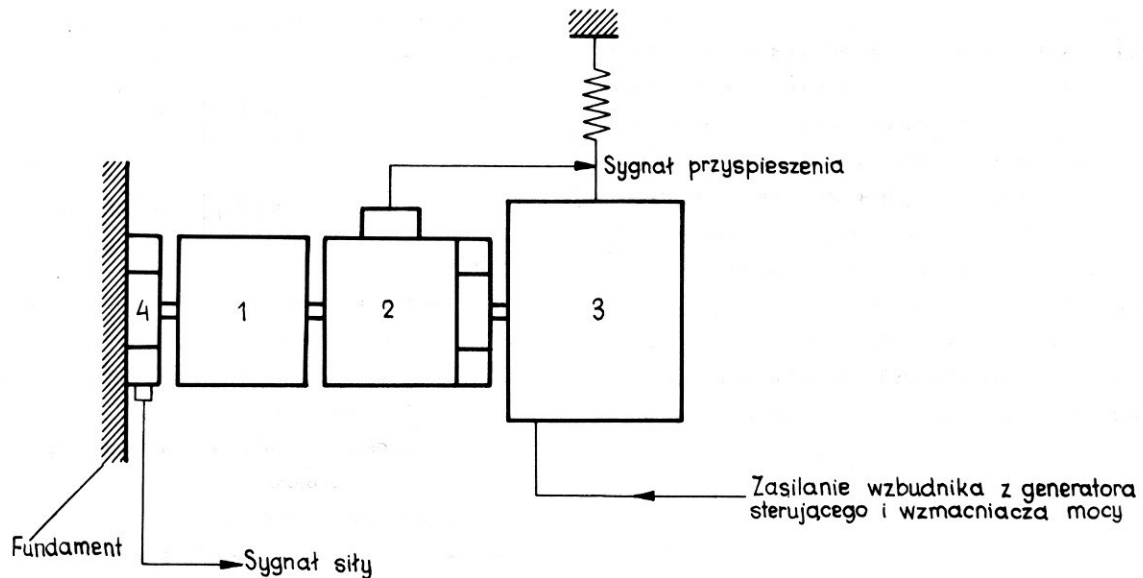
2.4.7.1. Montaż uzupełniającego układu do pomiaru impedancji mechanicznej wejściowej. Próbkę badanego materiału lub ustroju wibroizolacyjnego należy jednym końcem przykręcić za pomocą elementów mocujących do fundamentu. Do drugiego końca próbki zgodnie z 2.4.6 przymocować przetwornik siły i przyspieszenia oraz wzbudnik drgań zawieszony sprężysto na statywie, montując układ pomiarowy wg rys. 3. Układ ten należy połączyć z układem podstawowym wg 2.4.1, łącząc wejście przetwornika siły z wejściem toru pomiarowego siły, a wejście przetwornika przyspieszenia z wejściem toru pomiarowego przyspieszenia.

2.4.7.2. Montaż uzupełniającego układu do pomiaru impedancji mechanicznej transmisyjnej. Próbkę badanego materiału lub ustroju wibroizolacyjnego należy jednym końcem przykręcić za pomocą elementów mocujących do fundamentu, mocując między fundament i próbkę przetwornik siły. Do drugiego końca próbki zgodnie z 2.4.6 przymocować przetwornik przyspieszenia oraz wzbudnik drgań, zawieszony sprężysto na statywie, otrzymując układ pomiarowy wg rys. 4. Układ ten należy połączyć z układem podstawowym wg 2.4.1 zgodnie z 2.4.7.1.



BN-77/1050-02-3

Rys. 3. Zalecany uzupełniający układ pomiarowy impedancji mechanicznej wejściowej
1 - badana próbka, 2 - przetwornik siły i przyspieszenia, 3 - wzbudnik drgań



BN-77/1050-02-4

Rys. 4. Zalecany uzupełniający układ pomiarowy impedancji mechanicznej transmisyjnej
1 - badana próbka, 2 - przetwornik przyspieszenia, 3 - wzбудnik drgań, 4 - przetwornik siły

2.5. Wykonanie pomiaru. Próbkę badanego materiału lub ustroju wibroizolacyjnego o skompensowanej elektrycznie zgodnie z 2.4.4 masie elementów mocujących, umocowaną w układzie pomiarowym wg 2.4.7.1 lub 2.4.7.2, należy obciążyć siłą statyczną o wartości równej sile, przy której dany materiał lub ustrój wibroizolacyjny będzie stosowany w praktyce. Do statycznego obciążenia próbki należy wykorzystać ciężar wzбудnika drgań lub ciężar innego odpowiednio dobranego obciążnika. Ustawić generator sterujący i woltomierz rejestrujący na dolnej częstotliwości analizowanego zakresu częstotliwości. Po ustaleniu się mierzonych wartości na wzmacniaczach pomiarowych należy uruchomić zapis charakterystyki, odnotowując początkową wartość siły. W czasie automatycznej rejestracji impedancji dokonywać ciągłego odczytu z miernika fazy przesunięcia fazowego między sygnałami siły i prędkości co najmniej w częstotliwościach środkowych pasm 1/3 oktawowych, a w pobliżu częstotliwości rezonansowych do 100 Hz co 5 Hz, a powyżej 100 Hz co 10 Hz. Odczytu przesunięcia fazowego dokonywać przy wyłączonym zapisie charakterystyki. Pomiar należy zakończyć po osiągnięciu górnej granicy analizowanego zakresu częstotliwości.

W przypadku braku możliwości synchronizacji pracy woltomierza rejestrującego i generatora sterującego, pomiar impedancji należy wykonać, zmieniając ręcznie częstotliwość generatora sterującego i odnotowując wartości siły ze wzmacniacza pomiarowego przy ustalonej prędkości drgań.

W czasie pomiarów temperatura i wilgotność względna powietrza w pomieszczeniu badawczym powinny być stałe, przy czym temperatura powinna się mieścić w granicach $15 \pm 25^\circ\text{C}$, a wilgotność względna w zakresie $55 \pm 65\%$.

2.6. Zestawienie wyników pomiarów. Dla każdej serii zbadanych próbek materiału lub ustroju wibroizolacyjnego należy zestawić, oddzielnie dla impedancji mechanicznej wejściowej i transmisyjnej, co najmniej następujące dane:

- wykresy modułu impedancji mechanicznej - w przypadku automatycznej rejestracji impedancji,
- odczyty wartości siły i odpowiadające im częstotliwości generatora sterującego przy ustalonej prędkości drgań w postaci tablicy i wykresu - w przypadku ręcznego sterowania częstotliwości generatora.

Ponadto zaleca się podanie:

- zestawienia wartości przesunięcia fazowego w funkcji częstotliwości (wykresu fazowej charakterystyki częstotliwościowej),
- zestawienia średnich wartości częstotliwości występowania ekstremów impedancji oraz średnich wartości odpowiednich sił.

2.7. Obliczenie modułu impedancji mechanicznej. Moduł impedancji mechanicznej wejściowej $|\hat{Z}_{wr}|$ i transmisyjnej $|\hat{Z}_{tr}|$ w częstotliwości rezonansowej (ekstremum charakterystyki) w przypadku automatycznej rejestracji modułu należy obliczyć w $\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}$ wg wzorów

$$|\hat{Z}_{wr}| = |\hat{Z}_0| \cdot 10^{\frac{n}{20}} \quad (1)$$

$$|\hat{Z}_{tr}| = |\hat{Z}_0| \cdot 10^{\frac{n}{20}} \quad (2)$$

w których:

$|\hat{Z}_0|$ - moduł impedancji, odpowiadający na wykresie linii podzielności skali dynamiki zapisu, leżącej poniżej ekstremum charakterystyki, Pa·s·m,

n - odczytana z wykresu liczba decybeli, odpowiadająca odległości ekstremum charakterystyki od linii podzielności skali dynamiki zapisu, leżącej poniżej ekstremum charakterystyki.

Moduł impedancji mechanicznej wejściowej $|\hat{Z}_{wr}|$ i transmisyjnej $|\hat{Z}_{tr}|$ w częstotliwości rezonansowej w przypadku ręcznego sterowania częstotliwości generatora sterującego należy obliczyć w Pa·s·m wg wzorów

$$|\hat{Z}_{wr}| = \frac{F}{V} \quad (3)$$

$$|\hat{Z}_{tr}| = \frac{F}{V} \quad (4)$$

w których:

F - siła, odczytana ze wzmacniacza mocy dla częstotliwości rezonansowej, N,

V - przyjęta prędkość drgań próbek, ms⁻¹.

Za wynik przyjąć średnią arytmetyczną modułów impedancji mechanicznej wejściowej lub średnią arytmetyczną modułów impedancji transmisyjnej, obliczoną co najmniej dla 5 jednakowych próbek.

Wynik należy podać z dokładnością do 0,1.

2.8. Obliczanie impedancji mechanicznej. Impedancję mechaniczną wejściową \hat{Z}_{wr} i transmisyjną \hat{Z}_{tr} w dowol-

nej częstotliwości, mieszczącej się w zakresie $10 \div 10^4$ Hz, należy obliczyć w Pa·s·m·wg wzorów

$$\hat{Z}_{wr} = |\hat{Z}_{wr}| \cdot e^{i\phi} \quad (5)$$

$$\hat{Z}_{tr} = |\hat{Z}_{tr}| \cdot e^{i\phi} \quad (6)$$

w których:

\hat{Z}_{wr} - moduł impedancji wejściowej, obliczony wg 2.7, Pa·s·m,

\hat{Z}_{tr} - moduł impedancji transmisyjnej, obliczony wg 2.7, Pa·s·m,

e - podstawa logarytmów naturalnych,

i - liczba urojona,

ϕ - przesunięcie fazowe.

Wynik należy podać z dokładnością do 10^{-3} .

2.9. Protokół. Z każdego pomiaru należy sporządzić protokół, podając w nim co najmniej następujące dane:

- nazwę i rodzaj próbki,
- rysunek, szkic lub opis próbki,
- warunki pomiaru (np. temperaturę, wilgotność powietrza, prędkość drgań próbki),
- obciążenia statyczne próbki, N,
- obciążenia dynamiczne próbki, N,
- zestawienie wyników pomiarów wg 2.6,
- dokładność pomiaru,
- uwagi dotyczące przebiegu pomiaru,
- informacje o zgodności pomiaru z normą,
- datę pomiaru oraz imię i nazwisko osoby wykonującej pomiar.

KONIEC

INFORMACJE DODATKOWE

1. Instytucja opracowująca normę - Główny Instytut Górnictwa,

2. Normy związane

PN-54/C-04253 Guma. Oznaczanie odkształcenia przy ściskaniu

PN-72/C-04292 Guma. Oznaczanie odporności na wielokrotne ściskanie na aparacie typu Goodricha

PN-70/M-42000 Automatyka przemysłowa. Nazwy i określenia

PN-71/N-02050 Metrologia. Nazwy i określenia

3. Międzynarodowe normy i zalecenia normalizacyjne - brak.

4. Wykaz literatury

a) Beblo W., Mrukwa, W., Kochan W.: Własności wi-

broizolacyjne elastomerów poliuretanowych produkcji polskiej. Prace XXII Seminarium Akustyki PTA-PAN; Świeradów 1975

b) Edwards J.L., Hicks D.R.: Mechanical Impedance Technique for Measurement of dynamic properties of Materials. A.F.S.C. Publication

c) Edwards J.L., Hicks D.R.: Useful Range of a Mechanical Impedance Technique Measurement of Mechanical Properties of Materials JASA Vol 52 1972

d) Den Hartog J.P.: Drgania mechaniczne, PWN; Warszawa 1971

e) Kerlin R.L., Snowdon I.C.: Driving Point Impedances of Cantilever Beams - Comparison of Measurement and Theory. JASA Vol 47, nr 1, 1970

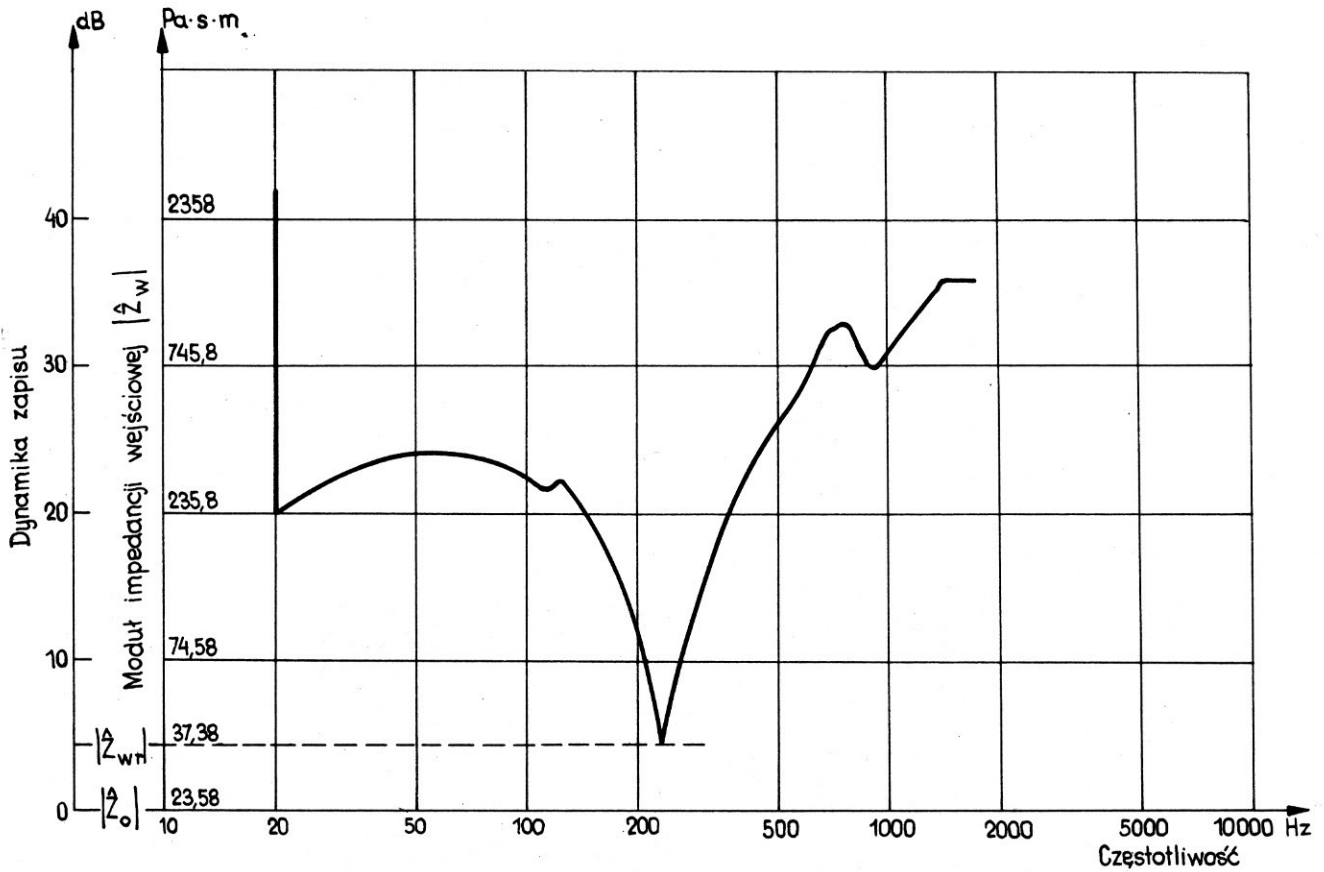
f) Zaveri K., Olsen H.P.: Measurement of Elastic Modulus and Loss Factor of Asphalt. Technical Review nr 4, 1972

g) W. Bandera, A. Juszkiewicz, Z. Dukiewicz, A. Śliwiński: Wyznaczanie impedancji przenoszenia warstw z gąbki i mikrogumy. Prace XXI Seminarium z Akustyki PTA-PAN: Rzeszów 1974

h) Instrukcja Briel and Kjaer: Impedance Heads type 8000 and 8001

5. Autorzy projektu normy - mgr Wojciech Seweryn Beblo, mgr inż. Kazimierz Kluska - Główny Instytut Górnictwa.

6. Przykładowy wykres modułu impedancji mechanicznej wejściowej podano na rysunku.



BN-77/1050-02-I

Przykładowy wykres impedancji mechanicznej wejściowej