

Ćwiczenie numer 5

Określenie poziomu mocy akustycznej hałasu emitowanego przez przekładnię zębatą

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie poziomu mocy akustycznej hałasu emitowanego przez przekładnię zębatą zgodnie z PN-ISO 8579-1. Metodyka wyznaczenia poziomu mocy akustycznej hałasu jest stosowana w warunkach przemysłowych. Jako kryterium porównawcze jakości przekładni pod względem emitowanego hałasu wykorzystano wykresy kryterialne wg zaleceń normy niemieckiej VDI 2159 z 1985 roku. Ponadto zaprezentowane są metody przygotowania aparatury do pomiarów zgodnie z wymogami normy ISO-9001 oraz główne zasady sporządzania sprawozdania z wyników pomiarów.

1. Wprowadzenie

Hałas mechaniczny jest efektem drgań części maszyn, instalacji. Polega on na wypromieniowaniu tych zakłóceń w otaczający ośrodek. Powszechnie wiadomo, że moc hałasu mechanicznego zależy od własności ośrodka, dlatego przy tych samych pozostałych warunkach moc hałasu wypromieniowanego w ciecz (np. wodę) będzie znacznie większa niż moc wypromieniowania w otaczające powietrze. Moc ta zależy również od wielkości powierzchni S drgającego elementu i od konfiguracji drgań. Wreszcie zależy ona

2 Ćwiczenie numer 5

od średniego kwadratu prędkości drgań v_{sr}^2 uśrednionego również po obszarze elementu. Chcąc więc znać naturę hałasu promieniowanego przez maszynę, należy badać podobieństwo tego hałasu do prędkości drgań jej elementów. W przekładniach zębatych przy przenoszeniu mocy przez układ dwu zazębiających się powierzchni powstają zakłócenia dźwiękowe, których zasadnicze przyczyny są następujące: uderzenia zazębiających się części zębów, tarcie przesuwających się względem siebie powierzchni zębów, drgania powietrza lub oleju wytłaczanego z przestrzeni międzyzębnej oraz drgania zębów i innych elementów przekładni pod wpływem sił wymuszających.

Z akustyki fizjologicznej wiadomo, że ucho może odbierać dźwięki o ciśnieniu z zakresu od 10^{-5} Pa do 10^2 Pa, tzn. wartości różniące się o rząd wielkości 10^7 . Ponadto odczucie głośności dźwięku jest proporcjonalne do logarytmu ciśnienia lub intensywności. Z tych dwu względów w akustyce używa się jednostek względnych zwanych decybelami (dB), zaś zmierzone tym sposobem wielkości noszą nazwę poziomów. Tak więc poziom ciśnienia dźwięku definiuje się zależnością:

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

w której: p jest zmierzoną wartością skuteczną ciśnienia akustycznego,

p_0 jest wzorcowym ciśnieniem akustycznym, wyrażonym w tych samych jednostkach co p (dla powietrza $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$).

Ponadto w obliczeniach bardzo istotny jest poziom mocy akustycznej źródła zdefiniowany następująco :

$$L_w = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

gdzie: P jest zmierzoną mocą akustyczną,

P_0 jest wzorcową mocą akustyczną wyrażoną w tych samych jednostkach co P , wynoszącą $P_0 = 10^{-12} \text{ W}$.

Poziom ten charakteryzuje moc wypromieniowaną przez źródło i jego znajomość daje możliwości porównania i obliczania poziomu ciśnienia różnych źródeł w dowolnych warunkach akustycznych.

Skorygowany poziom mocy akustycznej jest zwykle podawany w przybliżeniu jako suma skorygowanych średnich wartości poziomu ciśnienia akustycznego L_{pAf} oraz wartości korekcji ze względu na pole powierzchni pomiarowej L_s zgodnie z wzorem [1]:

$$L_{WA} = L_{pAf} + L_s \quad (3)$$

Poszczególne wielkości składników wzoru (3) wymagają szczegółowych wyjaśnień i będą podane w kolejnych punktach opracowania.

• Wyznaczenie skorygowanego poziomu ciśnienia akustycznego L_{pAf}

Skorygowany poziom ciśnienia akustycznego L_{pAf} wyznacza się z zależności:

$$L_{pAf} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (L_{pASmi} - K_{li}) - K_2 \quad (4)$$

gdzie: n – liczba punktów pomiarowych (wg rys.7.1),

L_{pASmi} - zmierzona wartość ciśnienia akustycznego w i -tym punkcie pomiarowym,

K_{li} - współczynnik korekcyjny uwzględniający wpływ tła akustycznego, określany z tablicy 7.1 [1]

4 Ćwiczenie numer 5

K_2 - współczynnik korekcyjny ze względu na otoczenie, którego wartość określona jest w tablicy 7.3 normy PN-ISO 8579-1. Wartość współczynnika wyznacza się w zależności od stosunku $\frac{V}{S}$, gdzie V jest objętością pomieszczenia pomiarowego w [m³], natomiast S jest powierzchnią pomiarową, określaną w punkcie następnym.

Prostokąt opisujący przekładnię wg rys. 7.1 wyznacza się w odległości $d = 1\text{ m}$ od jej konturu. W punktach na ścianach prostokąta mierzy się wartość ciśnienia akustycznego przyrządem używając korygowanej częstotliwościowo charakterystyki A i korygowanej czasowo charakterystyki S , przy zastosowaniu filtra liniowego.

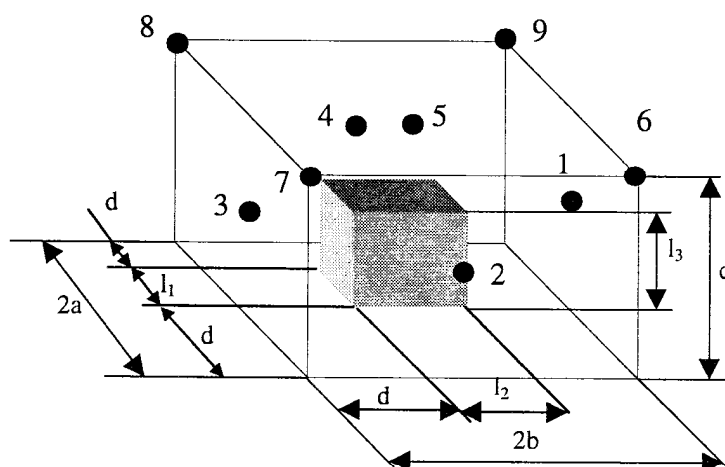
Tablica 7.1. Wartość korekcji K_1 dla tła akustycznego

Różnica między wartościami otrzymanymi z pomiarów ciśnienia akustycznego dla przekładni pracującej pod obciążeniem a wartościami tła [dB]	Wartość korekcji K_1 którą należy odjąć od wartości ciśnienia akustycznego pomierzonego w punktach wg. rys.1, dla przekładni pracującej pod obciążeniem [dB]
3	3
4 do 5	2
6 do 9	1
powyżej 10	0

- Wyznaczenie korekcji L_s ze względu na pole powierzchni pomiarowej

S

Rozmieszczenie punktów pomiarowych przedstawiono na rys. 7.1.



Rys. 7.1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na powierzchni pomiarowej

Powierzchnię odniesienia należy określić jako hipotetyczny obrys przekładni w kształcie prostopadłościanu. Wystające poza ten obrys pojedyncze fragmenty konstrukcji, które nie mają znaczącego wpływu na emisję dźwięku mogą być pominięte. Powierzchnia pomiarowa leży w odległości d od powierzchni odniesienia i kończy się na granicznych powierzchniach odbijających dźwięk należących do obszaru instalacji (np. podłódze lub ścianach).

Pole powierzchni pomiarowej S w $[m^2]$ oblicza się wg wzoru:

$$S = 4 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c) \quad (5)$$

gdzie składniki wzoru (5) pokazano na rys. 7.1. Wartość korekcji poziomu ciśnienia akustycznego ze względu na pole powierzchni pomiarowej L_s oblicza się wg wzoru:

$$L_s = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

6. Ćwiczenie numer 5

w którym S_0 jest polem powierzchni odniesienia ($= 1 \text{ m}^2$). Potrzebne jest określenie tylko przybliżonej wartości pola powierzchni pomiarowej ponieważ błąd od -20% do 20% powoduje zmianę wartości korekcji tylko o 1 dB.

- **Warunki badań przekładni zębatej**

Przekładnia powinna być badana przy jej nominalnej prędkości obrotowej lub jeżeli jest przewidziana do pracy z różnymi prędkościami, przy prędkości równej średniej arytmetycznej zakresu prędkości obrotowych. W czasie pomiarów przekładnia zębata winna mieć docelowy kierunek obrotów lub jeśli ma pracować naprzemiennie, powinna być badana w obu kierunkach. Pomiarów podczas badań powinny być prowadzone z zastosowaniem układu smarowania i lepkości smaru równoważnych do stosowanych w czasie pracy. Pomiar hałasu powinien być przeprowadzony w temperaturze przekładni mieszczącej się w zakresie jej temperatury pracy.

- ❖ **Kryteria oceny akustycznej stanu przekładni**

Dotychczas nie opracowano polskiej normy ustalającej dopuszczalny poziom hałasów przekładni zębatych. Producenci określają ich jakość akustyczną według zakładowych warunków odbioru ustalonych w dość dowolny sposób, najczęściej biorąc pod uwagę aktualne możliwości techniczne zakładu. Przy opracowywaniu takich warunków napotyka się na zasadniczą trudność polegającą na tym, że poziom dźwięku dobrze wykonanych przekładni waha się w przedziale 80-100 dB (A), natomiast polskie przepisy sanitarne wymagają, aby poziom dźwięku na stanowiskach pracy przy ośmiogodzinnej ekspozycji nie przekraczał 85 dB (A) [2]. Nawet znane firmy światowe, specjalizujące się w produkcji przekładni zębatych, nie zawsze są w stanie zagwarantować nabyw-

cy dostarczanie przekładni zębatej o poziomie dźwięku nie przekraczającym 85 dB (A)[3]. Jest to uwarunkowane stosowanymi obecnie rozwiązaniami konstrukcyjnymi przekładni zębatych oraz poziomem technologii wykonania kół zębatych. Dlatego ustalenie możliwie najmniejszych ale jeszcze osiągalnych w praktyce przemysłowej dopuszczalnych wartości dźwięku, nie jest zadaniem łatwym. Nie można tego dokonać na podstawie teoretycznych rozważań. Jedynie właściwym postępowaniem jest dokonanie statystycznej analizy nagromadzonych przez wiele lat wyników pomiarów hałasów poprawnie wykonanych i niezawodnie pracujących przekładni zębatych. Po raz pierwszy zadanie to wykonał zespół inżynierów niemieckich pracujących pod kierownictwem H. Opitza. Wyniki były podstawą do opracowania zaleceń VDI 2159 w 1964 i 75 roku. W zaleceniach VDI 2159 z 1985 r. podano statystycznie opracowane wykresy kryterialne dla najważniejszych typów przekładni zębatych, przy czym we wszystkich analizowanych przypadkach przyjęto poziom ufności 0,90. Poza tym na każdym wykresie znajdują się dwie proste frakcji 50 i 80 % o współczynnikach A i B podanych w tabeli 7.2. W zestawieniu tym podano również wartości r^2 , określające stopień korelacji pomiędzy zmiennymi losowymi N_p i L_{pAf} . Dla typów przekładni opisanych w zaleceniach VDI 2159 z 1985 r. podano dane określające charakterystyczne cechy co najmniej 80% egzemplarzy wchodzących skład rozważanej próbki losowej. Opracowane statystycznie wyniki posłużyły do sporządzenia wykresów kryterialnych.

Tablica 7.2. Współczynniki A i B prostych frakcji β oraz stopnia korelacji r^2

Przekładnie	r^2	A		B
		$\beta=50\%$	$\beta=80\%$	
Walcowe grupy I	0,83	71,1	71,1	12,3

8. Ćwiczenie nr 7

Walcowe grupy II	0,48	83,9	85,6	6,4
Stożkowe i stożkowo-walcowe	0,88	67,6	71,7	15,9
Obiegowe	0,78	85,8	87,7	4,4
Ślimakowe	0,95	62,3	65,0	15,9

W ćwiczeniu pomiar hałasu dokonywany będzie dla przekładni walcowej należącej do grupy I. Próbką losową dla tego typu przekładni składać się będzie z 32 różnych egzemplarzy o mocach 0,7 – 2400 kW, maksymalnych prędkościach obrotowych 1000 – 5000 obr/min (przeważnie 1500 obr/min), maksymalnych prędkościach obwodowych 1-20 m/s i odbieranych momentach obrotowych 100 - 200 000 N m. Charakterystyczne cechy konstrukcyjne przekładni: liczba stopni 1-3, łożyska toczne, smarowanie kapielowe, korpus lany, ustawione sztywno na stalowej lub betonowej płycie. Parametry zazębienia: stopnie szybkoobrotowe z zębami skośnymi ($\beta=10-30^\circ$), hartowane, wykonane w klasach 5-8 wg DIN (4-7 wg PN).

2. Literatura

1. Norma PN-ISO 8579-1: Określenie poziomu mocy akustycznej hałasu emitowanego przez przekładnie zębate przenoszonego przez ośrodek. Lipiec 1996
2. PN-84/N-01307. Hałas. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku na stanowiskach pracy i ogólne wymagania dotyczące przeprowadzenia pomiarów
3. Łączkowski R.: Wibroakustyka maszyn i urządzeń. WNT. Warszawa 1983

9. Ćwiczenie nr 7

3. Instrukcja ćwiczenia

- Przed przystąpieniem do pomiarów należy sprawdzić status używanych przyrządów pomiarowych i wpisać do formularza ich nazwę, numer, graniczny błąd pomiarowy. Zgodnie z ISO-9001 do pomiarów należy używać przyrządów mających status „SPRAWNY”, umieszczony na naklejce informacyjnej przyrządu. Następnie należy dokonać kalibracji miernika poziomu dźwięku typ **CEM DT-8850**
- Zmierzyć wymiary powierzchni odniesienia.
- Uruchomić przekładnię, realizując obciążenie znamionowe **100 Nm**
- Wykonać pomiar w 9 punktach poziomu ciśnienia akustycznego na skali A miernika w odległości 1 m od ścian korpusu przekładni wg rys. 7.1.
- Wykonać pomiar w tych samych punktach poziomu ciśnienia akustycznego dla pracującej przekładni na biegu luzem (tła).
- Określić poprawkę K_1 dla każdego punktu wartości ciśnienia akustycznego ze względu wpływ tła.
- Obliczyć powierzchnię odniesienia S , następnie wartość $\frac{V}{S}$ i korekcję ze względu na otoczenie. Należy posłużyć się tablicą 7.3 normy PN-ISO 8579-1.
- Wyznaczyć wartość mocy akustycznej przekładni wg wzoru (3).

3. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać kompletnie wypełniony i podpisany formularz pomiarowy oraz wyniki wpływające z porównania wyznaczonej mocy akustycznej z progami podanymi w normie VDI 2159 z 1985 r.

Formularz pomiarowy

Określenie poziomu mocy akustycznej hałasu emitowanego przez przekładnię

1. Parametry przekładni

Typ przekładni:.....

Nr fabryczny:.....

Moc znamionowa:.....

Przełożenie całkowite:.....

Obroty znamionowe:.....

Ilość stopni:.....

Moment wyjściowy podczas badań:.....

2. Rysunek stanowiska i rozmieszczenie punktów pomiarowych

Rys. 1. Schemat przekładni i rozmieszczenie punktów pomiarowych

3. Dane geometryczne i obliczenia parametrów pomocniczych

Objętość przestrzeni pomiarowej V [m^3]	
---	--

Dł. korpusu l_1	Szer. korpusu l_2	Wys. korpusu l_3	Odl. pomiar. d

Wymiar $a = (2 \cdot d + l_1)/2$ [m]	
Wymiar $b = (2 \cdot d + l_2)/2$ [m]	
Wymiar $c = d + l_3$	
Powierzchnia pomiarowa $S = 4 \cdot (ab + bc + ac)$ [m^2]	
Iloraz V/S	

4. Opis hałasu

5. Wyniki pomiarów z zastosowaniem korekcji A

Skorygowany poziom ciśnienia akustycznego w punktach pomiarowych

Nr punktu pomiarowego	Skorygowany poziom ciśnienia akustycznego L_{pASm}	Skorygowany poziom ciśn. akust. tła L_{pASm}	Różnica [2]-[3]	Wartość współczynnika korekcyjnego K_1	Poziom ciśnienia akust. po korekcji [2]-[5]
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

Średni poziom ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej dla : $\max L_{pASm} - \min L_{pASm} < 6 \text{ dB} \quad \bar{L}_{pAm}$ $\max L_{pASm} - \min L_{pASm} > 6 \text{ dB} \quad \bar{L}_{pAm}$	
Wartość współczynnika korekcyjnego ze względu na otoczenie K_2	1
Skorygowany średni poziom ciśnienia akustycznego \bar{L}_{pAf}	-1
Korekcja poziomu ciśnienia akustycznego ze względu na powierzchnię pomiarową L_S	
Skorygowany poziom mocy akustycznej L_{WA}	

Dopuszczalny poziom mocy akustycznej dla przekładni walcowej o mocy $P =$ kW
Wg VDI 212159

$L_{WAdoop} =$

6. Wnioski