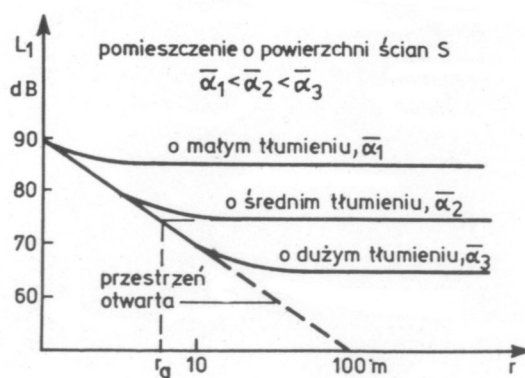


6.4. HAŁAS W POMIESZCZENIACH ZAMKNIĘTYCH

Uzmysłowienie sobie faktu, że większość operacji produkcyjnych w przemyśle elektromaszynowym odbywa się w pomieszczeniach zamkniętych, uprzytomnia nam wagę podjętego zagadnienia. Zaś prosty eksperyment z tym samym źródłem hałasu usytuowanego w przestrzeni otwartej, w pomieszczeniu i w różnych jego miejscach przekonuje nas o konieczności wniknięcia w istotę zagadnienia. Wzory dotyczące poziomu hałasu w pomieszczeniach zamkniętych podane zostały w punkcie 4.5, tutaj zaś przypomnijmy najważniejsze, ilustrując je wykresami i przykładami.



Rys. 6.8. Zmniejszenie poziomu hałasu z odległością od źródła w pomieszczeniu zamkniętym i w przestrzeni otwartej

Najbardziej oczywiste porównanie akustyczne przestrzeni otwartej i pomieszczenia zamkniętego przedstawia rys. 6.8. Widać tu, że po przekroczeniu promienia granicznego (wzór (4.45)) $r_g = R_p / 4\Omega$ poziom hałasu w pomieszczeniu utrzymuje się na stałym poziomie, podczas gdy w przestrzeni otwartej spadałby dalej. Co więcej, poziom hałasu w pomieszczeniu zależy od stopnia jego wytłumienia, czyli średniego współczynnika pochłaniania $\bar{\alpha}$.

Ilościowo pokazane zależności odzwierciedla wzór (4.55), który poddamy szczegółowej analizie

$$L_l = L_N = 10 \lg \left[\frac{4}{R_p} + \frac{\Phi}{\Omega r^2} \right]^{-1} = L_N - 10 \lg \left[\frac{4}{R_p} + \frac{D}{4\pi r^2} \right]^{-1} \quad (6.21)$$

$$R_p = \frac{A}{1-\bar{\alpha}} = \frac{S\bar{\alpha}}{1-\bar{\alpha}}, \quad D = \frac{4\pi\Phi}{\Omega}$$

gdzie L_l - poziom hałasu w pomieszczeniu, L_N - poziom mocy źródła, R_p - stała pomieszczenia, Φ - współczynnik kierunkowości źródła, Ω - kąt bryłowy promieniowania źródła, A - powierzchnia pochłaniająca pomieszczenia, S - jego powierzchnia ograniczeń, D - index kierunkowości promieniowania źródła. Poddamy obecnie te zależności wszechstronnej analizie.

6.4.1 WPLYW WYTŁUMIENIA POMIESZCZENIA I LOKALIZACJI ŹRÓDŁA

W zagadnieniach obliczeniowych hałasu w pomieszczeniu każde rzeczywiste źródło redukujemy do punktowego o współczynniku kierunkowym $\Phi = 1$. Może się jedynie zmieniać istotnie lokalizacja źródła i związane z tym warunki promieniowania Ω .

Aby te zmiany uwzględnić w postaci bezwymiarowej, używa się współczynnika kierunkowości promieniowania $D = 4\pi\Phi / \Omega$, który wskazuje w jaką część kąta pełnego promieniuje swą moc nasze bezkierunkowe źródło hałasu. Tak więc we wzorze (6.21) współczynnik D uzewnętrznia położenie źródła, zaś stała pomieszczenia R_p jego wytłumienie. Przypomnijmy tu co oznaczają główne wartości D :

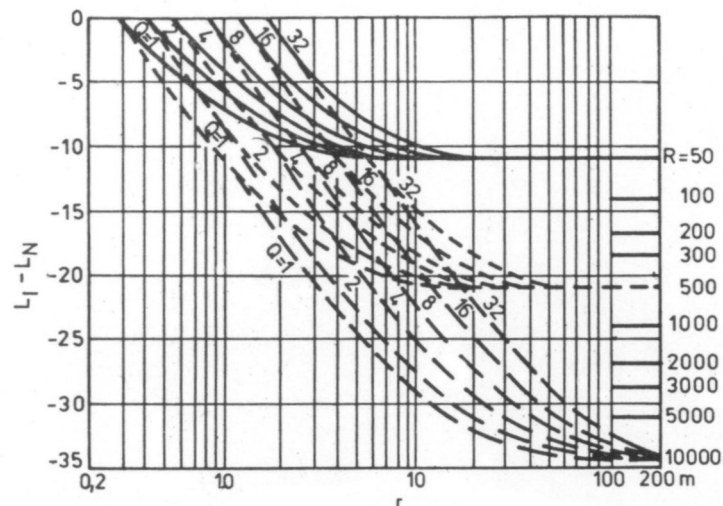
$D = 1$ - promieniowanie źródła w pełną przestrzeń,

$D = 2$ - promieniowanie źródła w półprzestrzeń,

$D = 4$ - źródło przy ścianie na podłodze,

$D = 8$ - źródło w narożu.

Przy tych danych przeanalizujemy kolejny rys. 6,9, przedstawiający ostatnią część wzoru (6.21), czyli $L_I - L_N$ w funkcji odległości od źródła r oraz wartości stałej pomieszczenia R_p .



Rys. 6.9. Obniżenie poziomu hałasu w pomieszczeniu w funkcji odległości r i jego wytłumienia R (stała pomieszczenia)

Jak widać lokalizacja źródła (D) ma istotny wpływ na poziom hałasu tylko w ramach promienia granicznego dla $r < r_g$, czyli dla bezpośredniej obsługi. Mogą to być różnice nawet bliskie 10 dB, jeśli porównamy różnice dla $D = 1$ i $D = 8$.

W polu dalekim $r > r_g$ jak widać na rysunku, liczą się jedynie własności pomieszczenia, tzn. jego średnie wytłumienie w postaci $\bar{\alpha}$ lub R_p .

Na rysunku 6.9 widać więc wyraźnie dwie strefy zmienności poziomu hałasu w pomieszczeniu. Strefa pierwsza (pole bezpośrednie) charakteryzuje się spadkiem poziomu 20 dB/ dekadę i poziomem wyjściowym tym wyższym, im większy jest współczynnik kierunkowości D .

Strefa druga (pole dyfuzyjne) charakteryzuje się z kolei poziomem ustalonym zależnym tylko od stałej pomieszczenia R_p , czyli od jego własności geometrycznych i

pochłaniających. Granice tych dwu stref określa znany już promień graniczny

$$r_g = \sqrt{R_p D / 16\Pi} = \sqrt{R_p / 4\Omega},$$

wyznaczony poprzez przecięcie się asymptot pola dyfuzyjnego i bezpośredniego. Według tej definicji wyznacza się pomiarowo wartość promienia granicznego pomieszczeń zamkniętych.

Z punktu widzenia zastosowań najbardziej ważną sprawą, pozostałą do ilościowego naświetlenia, jest ocena efektywności wytlumienia pomieszczenia jako środka redukującego poziom hałasu. Weźmy więc pod uwagę źródło hałasu o mocy N w pomieszczeniu o powierzchni ograniczeń S i średnim współczynniku pochłaniania $\bar{\alpha}_1$.

Wtedy stała pomieszczenia wynosi $R_{p1} = A_1 / (1 - \bar{\alpha}_1) = S\bar{\alpha}_1 / (1 - \bar{\alpha}_1)$, zaś na mocy (6.21) poziom hałasu w pomieszczeniu będzie

$$L_{II} = L_N - 10 \lg \left[\frac{4}{R_{p1}} + \frac{D}{4\Pi r^2} \right]^{-1}$$

Po dodatkowym wyłożeniu ścian i innych ograniczeń materiałem o dużym pochłanianiu

$$\alpha_2 > \alpha_1, R_{p2} = \alpha_2 S / (1 - \alpha_2)$$

będziemy z kolei mieli

$$L_{I2} = L_N - 10 \lg \left[\frac{4}{R_{p2}} + \frac{D}{4\Pi r^2} \right]^{-1}$$

stąd łatwo znaleźć obniżenie poziomu hałasu uzyskane przez dodatkowe wytlumienie pomieszczenia

$$\Delta L_\alpha = L_{I1} - L_{I2} = 10 \lg \left[\frac{\frac{4}{R_{p1}} + \frac{D}{4\Pi r^2}}{\frac{4}{R_{p2}} + \frac{D}{4\Pi r^2}} \right], dB. \quad (6.22)$$

Przeprowadzając obliczenia dla każdego z pasm oktaowych oddzielnie (z uwagi na zmienność $\alpha = \alpha(f)$), możemy oszacować spodziewaną obniżkę poziomu w oktawach. Znając zaś widmo źródła hałasu, można z kolei znaleźć obniżenie poziomu hałasu dla danego źródła. Zauważmy przy tym (rys 6.7 i 6.8), że przy $r > r_g$ we wzorze (6.22) dominują czynniki zależne jedynie od wytlumienia. W takim razie obniżkę hałasu w polu dyfuzyjnym pomieszczenia można oszacować z zależności

$$\Delta L \cong 10 \lg \frac{R_{p2}}{R_{p1}}, dB, r > r_g \quad (6,23)$$

Dla wielu pomieszczeń produkcyjnych mimo dodatkowego wytlumienia średni współczynnik pochłaniania nie przewyższa wartości $\bar{\alpha} = 0,3$. W takich przypadkach można posługiwać się wzorem jeszcze bardziej uproszczonym, gdyż

$$R = \frac{S}{1-\alpha} \cong S\bar{\alpha}(1+\bar{\alpha}+\dots) \cong S\bar{\alpha}, \quad \text{bo } \bar{\alpha}^2 < 0,1$$

więc

$$L = 10 \lg \frac{A_2}{A_1} = 10 \lg \frac{\bar{\alpha}_2}{\bar{\alpha}_1}, \quad \bar{\alpha} < 0,3 \quad (6.24)$$

Wg monografii Pierce [77, s 266] wzorem tym należy posługiwać się wtedy, gdy równoważną powierzchnię pochłaniania A szacujemy z pomiarów czasu pogłosu T_{60} za pomocą uproszczonego wzoru Sabine (4.41) : $T_{60} = 0,161V / (\bar{\alpha} S)$.Jeżeli natomiast używamy dokładnego wzoru Eyringa $T_{60} = 0,161V / -S \ln(1 - \bar{\alpha})$) być ważne i wzorem wiodącym pozostaje (6.23) , zastrzeżenie to przestaje być ważne i wzorem wiodącym pozostaje (6.23) .

Dal zilustrowania zakresu dokładności i sposobu posługiwania się podanymi wzorami rozważmy przykład.

Przykład. Warsztat mechaniczny o wymiarach powierzchni 10 x 7,5 m i wysokości 5 m ($S=325 \text{ m}^2$) charakteryzuje się średnim współczynnikiem w paśmie 500-1000 Hz równym $\bar{\alpha} = 0,1$; ($A_1=0,1 \times 325=32,5 \text{ m}^2$; $R_1=32,5:0,9=26,2 \text{ m}^2$). W pomieszczeniu tym działa punktowe źródło dźwięku w dostatecznym oddaleniu od ograniczeń ($Q=1$). W rezultacie dodatkowego wytłumienia pomieszczenia średni współczynnik pochłaniania Dźwięku zwiększył się dwukrotnie $\bar{\alpha}_2 = 2\bar{\alpha}_1 = 2 \times 0,1 = 0,2$, $A_2 = 65 \text{ m}^2$, $R_2 = 65 \div 0,8 = 81,2 \text{ m}^2$. Obliczmy przy takich danych spadek poziomu hałasu w pomieszczeniu w odległości $r = 3,5 \text{ m}$ od źródła.

Wykonując obliczenia mamy :

- ze wzoru (6.22) : $\Delta L_r = 3,2 \text{ dB}$,
- ze wzoru (6.23) : $\Delta L_r = 3,6 \text{ dB}$,
- ze wzoru (6.24) : $\Delta L_r = 3,0 \text{ dB}$.

Jeśli $\bar{\alpha}_2 = 5\bar{\alpha}_1$, co jest na ogół nieosiągalne, to :

- ze wzoru (6.22) : $\Delta L_r = 7,9 \text{ dB}$,
- ze wzoru (6.23) : $\Delta L_r = 10 \text{ dB}$,
- ze wzoru (6.24) : $\Delta L_r = 7 \text{ dB}$.

Analizując wyniki otrzymane w przykładzie, można powiedzieć, że jeśli wzór (6.22) daje wyniki dokładne, to dwa pozostałe dają wyniki przybliżone. Odchylenia od wartości dokładnej otrzymane za pomocą wzoru (6.23) wynikają z założenia $r > r_{gr}$ i jeśli dla danego pomieszczenia jest ono spełnione, to otrzymane wyniki są poprawne (są one zawsze poprawne dla pola dyfuzyjnego). Jak widać z przykładu wariant pierwszy jest na granicy spełnienia założeń, zaś wariant drugi nie spełnia założeń pola dyfuzyjnego. Błędy w ostatnim wzorze (6.24) wynikają z omówionych wyżej przyczyn, lecz są one kompensowane szacunkowym uwzględnieniem właściwości pomieszczenia (A zamiast R).

Sumując wnioski uzyskane z przykładu, zwłaszcza jego wariantu pierwszego, można powiedzieć, że uzyskana zgodność wyników jest dostateczna dla obliczeń praktycznych.

Jednak w przypadku pomieszczeń o większej kubaturze i różnych odległościach od źródła zaleca się stosować wzór dokładny (6.22). Zalecenie to potwierdzają rezultaty pracy [40], w której przeprowadzono analizę teoretyczną i eksperymentalną stosowalności

tego wzoru w odniesieniu do hał produkcyjnych. Przytoczone wyżej rozumowanie odnosi się do hał o kształtach regularnych. Hale wielokondygnacyjne lub jednokondygnacyjne o kształcie niskim i wydłużonym nie dają się opisać za pomocą prostych modeli, zaś zależności na spadek poziomu hałasu mają tu charakter empiryczny i można je znaleźć w [101, 102, 77, r.6]. Sumując wnioski dotyczące hałasu w pomieszczeniach produkcyjnych można stwierdzić, że dzięki akustycznie racjonalnej lokalizacji źródła można w polu bliskim uzyskać spadek poziomu hałasu rzędu ~10 dB. Podobnego rzędu obniżenie poziomu da się uzyskać w polu dalekim przez istotne wytłumienie pomieszczenia (patrz przykład).