ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1996
Seria: MATEMATYKA-FIZYKA z. 73 Nr kol. 1284

Mieczysław ROCZNIAK

PRZEGLĄD WŁASNYCH PRAC BADAWCZYCH Z AKUSTYKI POMIESZCZEŃ

Streszczenie. Praca niniejsza zawiera przegląd opracowanych w Instytucie Fizyki niekonwencjonalnych zastosowań przybliżonych metod opisu pola akustycznego stosowanych w akustyce pomieszczeń i akustyce środowiska.

REVIEW OF OWN RESEARCH WORK IN THE WAY OF ROOM ACOUSTICS

Summary. Statistical and geometrical methods of acoustics field description are employd in room and environmental acoustics. Unconventional applications of mentioned above aproximate methods field description to be well up in Physics Institute are presented in this paper. Applications of geometrical methods of acoustics field description in order to calculate the building materials absorption are showed in the first part of the paper. This method is more rigorous than traditional one.

REVISION DES TRAVAUX PROPRES DANS LE DOMAINE D'ACOUSTIQUE DES LOCAUX

Resumé. Le travail contient la revision des applications inconventionnelles des methodes approximatives de la description du champ acoustique, elaborées dans l'Institute de la Physique et appliquées dans l'acoustique des locaux et l'acoustique de l'ambiance. On emploie la méthode statistique (formules de Sabin ou d'Eyring) ainsi que les méthodes géométriques de la description du champ zcoustique. Toutes ces méthodes sont employées dans la résolution des problémes de l'acoustique des locaux et de l'acoustique d'ambiance de l'homme. Le travail costitue la revision des applications inconventionnelles des méthodes mentionnées ci-dessus.

1. Wstęp

W zakładzie akustyki ciała stałego prowadzone są prace z dziedziny akustyki technicznej, a w szczególności akustyki środowiskowej i akustyki pomieszczeń. Niezależnie od w pełni poprawnego falowego opisu pól akustycznych w poszczególnych sytuacjach w akustyce technicznej stosowane są inne metody opisu pól. Najprostsza i nie zawsze dokładna jest metoda statystyczna (wzór Sabina lub Eyringa). Dokładniejsze są metody geometrycznego opisu pola akustycznego, a wśród nich metoda promieniowa stożkowa i metoda źródeł pozornych. Wszystkie te metody znajdują zastosowanie przy rozwiązywaniu poszczególnych zagadnień akustyki pomieszczeń i akustyki środowiska człowieka. Niniejsza praca stanowi przegląd niekonwencjonalnych zastosowań wymienionych metod.

2. Wyznaczanie pogłosowego współczynnika pochłaniania materiałów

Przykładem zastosowania metod geometrycznych mogą być prace nad opracowaniem nowej metody wyznaczania pogłosowego współczynnika pochłaniania materiałów w komorach pogłosowych.

Pogłosowy współczynnik pochłaniania można wyznaczyć w komorze pogłosowej poprzez dwukrotne wyznaczanie czasu pogłosu: dla samej komory i dla komory wypełnionej w odpowiedni sposób badanym materiałem dźwiękochłonnym. Pogłosowy współczynnik pochłaniania materiału zależy od częstotliwości fali akustycznej i jest wielkością bezwymiarową. Tradycyjna metoda [1] wyznaczania jego wartości oparta jest na zależności:

$$\alpha(\nu) = \frac{V}{S}\left[\frac{55.3}{c}\left(\frac{1}{T_2(\nu)} - \frac{1}{T_1(\nu)}\right)\right] - 4\left(m_2(\nu) - m_1(\nu)\right), \tag{1}$$

gdzie: $\alpha(\nu)$ — pogłosowy współczynnik pochłaniania badanego materiału, V — objętość komory pogłosowej, S — powierzchnia badanego materiału wprowadzonego do komory, c — prędkość dźwięku w powietrzu w warunkach atmosferycznych panujących w komorze, $T_1(\nu)$ i $T_2(\nu)$ — zmierzone czasy pogłosu dla danej częstotliwości fali akustycznej, $m_1(\nu)$ i $m_2(\nu)$ — współczynnik pochłaniania powietrza dla warunków atmosferycznych panujących w komorze przy wyznaczaniu odpowiednio $T_1(\nu)$ i $T_2(\nu)$. Współczynnik pochłaniania materiału jest wielkością fizyczną posiadającą wymiar [1/m], zależną od częstotliwości fali akustycznej, wilgotności i temperatury powietrza.

Zależność (1) została wyznaczona na gruncie statystycznej metody opisu pola akustycznego w pomieszczeniu. Praktyka stosowania tej metody wykazuje, że $T(\nu)$ zależy od miejsca ustawienia źródeł dźwięku i kierunku generacji fali akustycznej. Metodą uwzględniającą te zależności jest metoda geometryczna umożliwiająca śledzenie propagacji fali akustycznej w pomieszczeniu [2]. Może to być:

a) promieniowa metoda komputerowej symulacji propagacji dźwięku w pomieszczeniu,

b) metoda źródeł pozornych.

Obie metody pozwalają na uwzględnienie kierunkowości źródła fali akustycznej oraz ciągłego lub impulsowego charakteru jego pracy.

Ad a) Obliczenia takie wymagają pracochłonnego przygotowania programu komputerowego uwzględniającego geometryczny kształt komory pogłosowej oraz dużego czasu obliczeń komputera dla danych wyników pomiarowych. Przykładowo dla, PC\AT czas obliczeń dla komputera dla jednej częstotliwości metodą symulacji propagacji dźwięku w komorze pogłosowej zależy od jego szybkości obliczeń i w praktyce wynosi od jednej do trzech godzin. Jednak wyniki obliczeń są znacznie dokładniejsze i powtarzalne dla dowolnego położenia źródła dźwięku. Konieczne są dalsze prace doświadczalne w celu lepszego poznania możliwości tej metody.

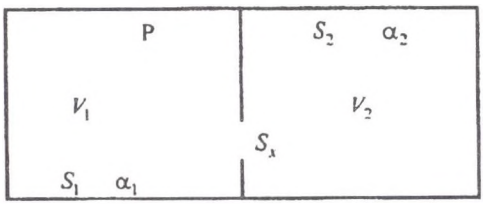
Ad b) Zgodnie z tą metodą zanikanie natężenia fali akustycznej w pomieszczeniu można opisać zależnością

$$I(t) = \frac{P}{4\Pi} e^{-mct} \sum_{k=1}^{l} \prod_{i=1}^{j} \beta_i^{n_i(k)} K(\varphi_k, \vartheta_k) \frac{1}{l_k^2} \left[\eta(t - t_{1k}) - \eta(t - t_{2k})\right], \tag{2}$$

gdzie: P — moc źródła, m — współczynnik pochłaniania powietrza, c — prędkość propagacji fali akustycznej w powietrzu, β_i — współczynnik odbicia i-tej powierzchni, $n_i(k)$ — ilość odbić od i-tej powierzchni na drodze od k-tego źródła pozornego, $K(\varphi_k, \vartheta_k)$ — kierunkowość źródła dla kątów pod jakimi widziane jest przez mikrofon k-te źródło pozorne, l_k — odległość k-tego źródła pozornego od mikrofonu, $\eta(\ )$ — funkcja Heavisida, t_{1k}, t_{2k} — czas, dla którego fala akustyczna emitowana przez k-te źródło pozorne zaczyna i kończy docierać do mikrofonu. Metoda źródeł pozornych pozwala na skrócenie czasu obliczeń, przy czym można uważać ją za jeszcze dokładniejszą.

3. Zagadnienie pomieszczeń sprzężonych

Metodę statystyczną można zastosować [3], [4] do opisu pola akustycznego w przypadku pomieszczeń sprzężonych przedstawionych schematycznie na rys. 1.



Rys. 1. Szkic sytuacyjny pomieszczeń sprzężonych akustycznie, gdzie: V_1, V_2 – objętości pomieszczeń sprzężonych, S_x – pole powierzchni sprzęgającej pomieszczenia, S_1, S_2 – pola powierzchni ograniczających pomieszczenia o współczynnikach pochłaniania α_1 i α_2, P – moc źródła akustycznego umieszczonego w pomieszczeniu pierwszym
Fig. 1. Situation sketch of acoustical coupling rooms where: V_1, V_2 – volumes coupling rooms, S_x – contact surface of rooms, S_1, S_2 – areas limiting of rooms with absorbing factors α_1 and α_2, P – sound power of source placed in first room

Na gruncie metody statystycznej jest możliwe oszacowanie rozkładu energii akustycznej między pomieszczeniami. Niedokładność opisu wynikająca z zastosowania tej metody jest niewielka, gdy spełniony jest warunek niewielkiej powierzchni S_x w stosunku do powierzchni ograniczającej pomieszczenia. W takim przypadku różnica poziomów średnich ciśnień akustycznych w obu pomieszczeniach wynosi [5]

$$\Delta L = L_1 - L_2 = 10 \cdot \log \frac{(S_2 + S_X)(\alpha_2 S_2 + S_x)}{(S_2 + \alpha S_x) S_x}. \tag{3}$$

Jak widać ze wzoru (3) wartość ΔL zależy od powierzchni otworu sprzęgającego i od chłonności akustycznej drugiego pomieszczenia.

4. Pogłos pomieszczenia prostopadłościennego

W przypadku pomieszczenia ograniczonego powierzchniami rozpraszającymi jego pogłos dobrze opisują znane wzory Sabina i Eyringa wyprowadzone na gruncie metody statystycznej. W tym przypadku średnią częstotliwość odbić fali akustycznej od powierzchni ograniczających określa się [6] zależnością

$$\nu = \frac{cS}{4V}, \tag{4}$$

gdzie: c — prędkość propagacji fali akustycznej, S — powierzchnia ograniczająca pomieszczenie, V — objętość pomieszczenia.

W przypadku braku rozpraszania powierzchni ograniczających częstotliwość odbić od poszczególnych powierzchni można określić wzorami [7]

$$\nu_1 = \frac{c|\sin\vartheta\cos\varphi|}{2a_1}, \quad \nu_2 = \frac{c|\sin\vartheta\sin\varphi|}{2a_2}, \quad \nu_3 = \frac{c|\cos\vartheta|}{2a_3}, \tag{5}$$

gdzie: a_i — długość i-tej krawędzi prostopadłościanu, φ, ϑ — standardowe kąty układu sferycznego. W takim przypadku zanikanie energii akustycznej w pomieszczeniu można opisać wzorem

$$E = E_0 \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin\vartheta \exp\left(p|\sin\vartheta\cos\varphi| + q|\sin\vartheta\sin\varphi| + r|\cos\vartheta|\right) d\vartheta d\varphi, \tag{6}$$

lub po analitycznym rozwiązaniu całki

$$E = \frac{E_0}{2\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{p^k q^l r^m \Gamma\left(\frac{k+1}{2}\right) \Gamma\left(\frac{l+1}{2}\right) \Gamma\left(\frac{m+1}{2}\right)}{k!l!m!\,\Gamma\left(\frac{k+l+m+3}{2}\right)}, \tag{7}$$

gdzie $\Gamma(\ )$ — funkcja Gamma,

$$p = \frac{ct\log\beta_1}{a_1}, \quad q = \frac{ct\log\beta_2}{a_2}, \quad r = \frac{ct\log\beta_3}{a_2}, \tag{8}$$

gdzie β_i — współczynnik odbicia i-tej powierzchni.

Prowadzenie obliczeń w oparciu o wzór (7) jest możliwe przy zastosowaniu szybkiego komputera o dużej precyzji obliczeń. W przeciwnym razie wyniki obliczeń mogą okazać się dokładniejsze przy realizowaniu ich w oparciu o wzór (6).

Literatura

[1] PN-83/B-02155, *Pomiar współczynnika pochłaniania dźwięku w komorze pogłosowej.*

[2] M. Roczniak, *Opracowanie nowej metody wyznaczania pogłosowego współczynnika pochłaniania materiałów w komorach pogłosowych*, nie publikowane prace własne, 1991.

[3] J. Regent, *Lokalny czas pogłosu*, OSA-91, Poznań-Warszawa 1991.

[4] M. Kwiek, *Pogłos w pomieszczeniach sprzężonych*, Zeszyty Naukowe U. A. M. Akustyka **3**, Poznań 1963.

[5] M. Roczniak, *Oszacowanie rozkładu energii akustycznej w pomieszczeniach sprzężonych akustycznie*, Materiały XXII Zimowej Szkoły Zwalczania Zagrożeń Wibroakustycznych, Gliwice-Wisła 1994.

[6] A. Sliwiński, E. Ozimek, *Akustyka laboratoryjna cz. III*, Warszawa-Poznań 1974.

[7] M. Roczniak, *Reverberation of rooms*, Referat wygłoszony na międzynarodowej konferencji z akustyki pomieszczeń, akustyki budowlanej oraz akustyki urbanistycznej, Strbskie Pleso 1-5. 10. 1990.

Recenzent: Doc. dr Bogusław Nosowicz

Wpłynęło do redakcji 24.01.1995 r.

Abstract

Statistical and geometrical methods of acoustics field description are employd in room and environmental acoustics. Unconventional applications of mentioned above aproximate methods field description to be well up in Physics Institute are presented in this paper.

Applications of geometrical methods of acoustics field description in order to calculate the building materials absorption are showed in the first part of the paper. This method is more rigorous than traditional one.

Problem of acoustic energy division in coupling rooms is presented in the second part. Statistical method of acoustics field description enable to calculate the acoustic energy division in such rooms. The presented method of calculations is very precise if the area of the connection is litlle in comparison with areas of rooms.

Reverberation of rectangular rooms is described in third part of this paper. The calculations consider the rooms bounderioes not scattering acoustic waves.

It is posible to apply the presented solutions to acoustic measurements and designs.