



**ANALITYCZNA WERYFIKACJA HYBRYDOWEJ METODY
OSZACOWANIA PROMIENIOWANIA DŹWIĘKU PRZEZ
DRGAJĄCE ELEMENTY STRUKTURALNE**

**Analytical verification of the hybrid method of estimation of sound radiated
by vibrating surface structural elements**

Marek S. Kozień

Politechnika Krakowska, Instytut Mechaniki Stosowanej
kozien@mech.pk.edu.pl

STRESZCZENIE

Drgania poprzeczne elementów powierzchniowych są źródłem promieniowania akustycznego. We wcześniejszych pracach, autor sformułował podstawy teoretyczne metody hybrydowej, służącej do oszacowania wektora natężenia akustycznego, jaki jest generowany w wybranym punkcie przestrzeni akustycznej przez drgania strukturalne elementu. Metoda wykorzystuje pojęcie zespolonego wektora natężenia, stąd też możliwym staje się również określenie typu pola w jakim znajduje się wybrany punkt kontrolny (pole dalekie, pole bliskie). Elementy weryfikacji doświadczalnej metody zostały zamieszczone we wcześniejszej pracy autora. W prezentowanej pracy porównywane są wyniki estymacji wartości wektora natężenia uzyskane na drodze teoretycznej oraz przy zastosowaniu wspomnianej metody. Strukturą promieniującą drgania jest okrągła membrana drgająca z harmonicznie zmienną prędkością o stałej amplitudzie na całej jej powierzchni.

1. WPROWADZENIE

Jednym ze źródeł dźwięku, spotykanym w praktyce, są drgania poprzeczne (giętne) powierzchniowych elementów strukturalnych. Proces ten znajduje potwierdzenie w analizach o charakterze teoretycznym [6] oraz w badaniach doświadczalnych [7]. Powierzchniowe elementy strukturalne tworzą np. kabiny maszyn czy też klatek suwnic. W pracy [2] autor zaproponował, przedstawioną pokrótce w punkcie 2, metodę hybrydową oszacowania promieniowanego dźwięku przez elementy strukturalne. Na podstawie znajomości powierzchniowego rozkładu amplitudy drgań poprzecznych dla określonej częstotliwości, możliwym staje się określenie wektora natężenia akustycznego w wybranym punkcie otaczającego elementy ośrodka akustycznego. Metoda ze swej natury może być stosowana w polu bliskim oraz dalekim, a ponadto może służyć do ich rozgraniczenia, zgodnie z podaną w [5] definicją pola bliskiego i dalekiego w ujęciu natężeniowym. Identyfikacja drgań strukturalnych może nastąpić przez zastosowanie wybranej metody

przybliżonej (np. metody elementów skończonych), bądź pochodzić z pomiarów eksperymentalnych. W pracy [9] podane są ściśle zależności teoretyczne pozwalające na wyznaczenie ciśnienia akustycznego promieniowanego przez drgającą membranę. W niniejszej pracy dokonano porównań rezultatów uzyskanych metodą analityczną oraz przybliżoną metoda hybrydową. To porównanie stanowić może są analityczną weryfikację metody hybrydowej.

2. METODA HYBRYDOWA

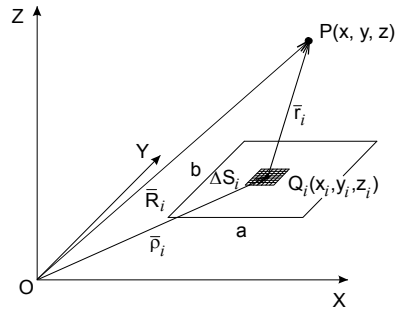
Analiza pola akustycznego generowanego przez drgające powierzchnie jest oparta o wyznaczenie wypadkowego wektora natężenia akustycznego \bar{I} w wybranym punkcie przestrzeni. Metoda ta w naturalny sposób może być stosowana do wyznaczania wektora natężenia od drgających elementów powierzchniowych. Drgający obszar jest dzielony na podobszary. Jeżeli do analiz strukturalnych wykorzystywana jest metoda elementów skończonych, to taka dyskretyzacja dokonywana jest już na etapie podziału drgającej struktury na elementy skończone. W przypadku zastosowania elementów powłokowych, każdy z takich elementów staje się w naturalny sposób rozważanym podobszarem.

Każdy z drgających podobszarów jest źródłem promieniowanego dźwięku. Załóżmy ponadto, że rozważamy dalej przypadek fali monochromatycznej o określonej częstotliwości ω . Na potrzeby analiz akustycznych przyjmuje się, że zachodzi tutaj przypadek promieniowania małego elementu powierzchniowego. Małość elementu rozumie się tutaj względnie w stosunku do długości rozważanej fali akustycznej (związanej z jej częstotliwością) w postaci [2,3,4,8,9]. Opis prowadzony jest w kartezjańskim układzie współrzędnych $Oxyz$. Położenie dowolnie wybranego punktu kontrolnego $P(x,y,z)$, określone jest wektorem \bar{R} , a położenie środka i -tego podobszaru $Q_i(x_i,y_i,z_i)$ wektorem \bar{r}_i . W takim przypadku możliwym staje się wyznaczenie ciśnienia akustycznego (1) oraz składowych wektora prędkości cząstki (2) generowanych przez i -ty podobszar, w wybranym punkcie przestrzeni P [2,3]. We wzorach gdzie ρ i c , to odpowiednio gęstość i prędkość dźwięku w ośrodku akustycznym, A_i – amplituda drgań o częstotliwości ω , k – liczba falowa. Pozostałe wielkości pokazane są na Rys.1. Kolejnym zagadnieniem staje się sposób superpozycji udziałów ciśnień i prędkości cząstek od poszczególnych podobszarów w analizowanym punkcie P . W tym celu wykorzystać można ogólny wzór definicyjny wektora natężenia akustycznego, zmodyfikowany, za J.T.Mann'em [5], na przypadek układu N -źródeł punktowych do postaci (3).

$$p_i = -\frac{1}{2\pi} \Delta S_i \omega^2 \rho \frac{A_i}{r_i} \exp[i(\omega t - kr_i)] \quad (1)$$

$$\bar{v}_i = A_i \Delta S_i \left[-\frac{\omega^2}{2\pi c r_i} + i \frac{\omega}{2\pi r_i^2} \right] \exp[i(\omega t - kr_i)] \frac{\bar{r}_i}{r_i} \quad (2)$$

$$\bar{I} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N p_j \cdot \sum_{j=1}^N \bar{v}_j^* \quad (3)$$



Rys.1: Geometria obszaru promieniującego dźwięk oraz i-tego podobszaru.

Korzystając z zależności (1), (2) oraz (3), po dokonaniu stosownych przekształceń, uzyskuje się zwarte formuły na wyznaczenie części rzeczywistej i urojonej wektora natężenia akustycznego w wybranym punkcie przestrzeni. Są one podane w formie jawnej w artykule [2]. Formuły te pozwalają na identyfikację typu pola akustycznego występującego w wybranym punkcie, zgodnie z definicją geometryczną [5], a przy przyjęciu założenia o płaskości fali akustycznej estymację ciśnienia akustycznego zgodnie z formułą (3).

$$p = \sqrt{\rho c I} \quad (4)$$

3. ANALIZOWANY UKŁAD

Rozważmy drgania poprzeczne, harmonicznie zmienne membrany kołowej o promieniu a . Amplituda drgań prędkości membrany wynosi u_n , a ich częstość ω . Dokonując ścisłego rozwiązania zagadnienia sprzężenia strukturalno-akustycznego otrzymuje się następującą formułę (5) na wyznaczenie ciśnienia akustycznego p , w punkcie leżącym na osi membrany i odległym o r_0 od jej powierzchni środkowej [9].

$$p = 2\rho c u_n \exp[-0.5 i (\sqrt{a^2 + r_0^2} - r_0)] \sin(\sqrt{a^2 + r_0^2} - r_0) \quad (5)$$

W oparciu o metodę hybrydową, na podstawie znajomości drgań strukturalnych membrany można wyznaczyć również wektor natężenia akustycznego w tym samym punkcie. W dalszej kolejności, na jego podstawie estymuje się wartość ciśnienia akustycznego, przyjmując założenie fali płaskiej, zgodnie z zależnością (4).

Jako sprawdzenie metody określono wektor natężenia akustycznego oraz na jego podstawie estymowane wartości ciśnienia akustycznego na osi membrany przy zastosowaniu metody hybrydowo. Uzyskane wartości porównano z tymi uzyskanymi przy wykorzystaniu zależności teoretycznych. Geometria układu odpowiadała układowi badanemu doświadczalnie przez J.Cieślaka i R.Panuszkę [1], który posłużył wcześniej autorowi do weryfikacji doświadczalnej metody hybrydowej [2]. Drgający układ stanowił sztywny tłok o średnicy 0.07 m, o amplitudzie prędkości drgań 0.05 m/s. Rozważono drgania harmoniczne o częstotliwości 1150 Hz. Wybrane rezultaty analiz zostały zebrane w Tabeli 1.

Tabela 1: Natężenie akustyczne promieniowane przez membranę w wybranych punktach na jej osi wyznaczone przy zastosowaniu różnych metod.

ODLEGŁOŚĆ OD OSI - r_0 [m]	ZALEŻNOŚCI ANALITYCZNE	METODA HYBRYDOWA		DOŚWIADCZENIE
		CZ.RZECZYW.	CZ UROJONA	
0.1	102.3	108.3	104.9	111.3
0.6	87.0	93.1	82.1	95.4
1.0	82.6	88.7	75.4	91.3
5.0	68.6	74.7	54.5	-

4. WNIOSKI

Rezultaty analiz pokazują, że wyniki uzyskane metodą hybrydową przyjmują wartości pomiędzy tymi uzyskanymi z zależności teoretycznych i z doświadczeń. Wydaje się zatem, że w uzasadnionych przypadkach, metoda hybrydowa z uwagi na jej prostotę i wymóg znajomości jedynie drgań struktury o charakterze powierzchniowym, może być z powodzeniem stosowana do inżynierskich estymacji dźwięku promieniowanego przez tego typu elementy. Ponadto warto zwrócić uwagę, że granica pomiędzy polem bliskim i dalekim w sformułowaniu natężeniowym ulega odsunięciu od powierzchni membrany.

LITERATURA

1. J. CIEŚLIK, R. PANUSZKA, Influence of reverberation field conditions on sound power evaluation with the aid of intensity method; Archives of Acoustics, Vol.18, No.2, 1993, 197-207.
2. M.S. KOZIEN, Hybrid Method of Evaluation of Sounds Radiated by Vibrating Surface Elements, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Vol. 42, No. 4, 2004.
3. M. KWIEK, Podstawy akustyki laboratoryjnej, tom I, PWN, Warszawa-Poznań, 1968.
4. I. MALECKI, Teoria fal i układów akustycznych, PWN, Warszawa, 1965.
5. J.A. MANN III, J. TICHY, A.J. ROMANO, Time-Averaged Energy Transfer in Acoustic Fields, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 82, No. 1, July 1987, 17-29.
6. P.A. NELSON, S.J. ELLIOTT, Active Control of Sound, Academic Press, 1995.
7. J. NIZIOŁ (RED.), Obniżenie drgań i hałasu kabin spycharek, Raport dla Huty Stalowa Wola, Politechnika Krakowska, Kraków, 1987.
8. A. ŚLIWIŃSKI, Ultradźwięki i ich zastosowania, WNT, Warszawa, 2001.
9. R. WYRZYKOWSKI, Liniowa teoria pola akustycznego ośrodków gazowych, Rzeszowskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk, Rzeszów, 1970.