

dr inż. ANNA KACZMARSKA
 doc. dr inż. DANUTA AUGUSTYŃSKA
 Centralny Instytut Ochrony Pracy
 prof. dr hab. inż. ZBIGNIEW ENGEL
 Akademia Górniczo-Hutnicza

Ustroje rezonatorowe obniżające hałas niskoczęstotliwościowy w kabinach przemysłowych

Praca wykonana w ramach Programu Wieloletniego (b. SPR-1) pn. „Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy” dofinansowanego przez Komitet Badań Naukowych

Ochrona przed dźwiękami o niskich częstotliwościach jest skomplikowana ze względu na znaczne długości fal (np. fala o częstotliwości 20 Hz ma długość 17 m), dla których tradycyjne ściany, przegrody, ekrany i pochłaniacze akustyczne są mało skuteczne. W niektórych przypadkach dźwięki niskoczęstotliwościowe są wzmacniane na skutek rezonansu pomieszczeń, elementów konstrukcyjnych budynków lub całych obiektów. Poziomy ciśnienie akustycznych mogą wówczas przekraczać poziomy mierzone w pobliżu ich źródeł. Tak często dzieje się we wnętrzu przemysłowych kabin dźwiękoizolacyjnych.

Na ogół w celu ograniczenia hałasu niskoczęstotliwościowego i infradźwiękowego wymagane jest każdorazowo indywidualne projektowanie zabezpieczeń po uprzedniej szczegółowej analizie widma hałasu.

Ustroje rezonatorowe o komorach pojedynczych

W celu poprawy izolacyjności akustycznej przemysłowych kabin dźwiękoizolacyjnych w zakresie hałasu niskoczęstotliwościowego stosowane są indywidualnie projektowane (w zależności od dominujących częstotliwości w widmie hałasu) ustroje rezonatorowe, konstruowane na bazie rezonatorów Helmholtza.

Na podstawie analizy różnych konstrukcji mających na celu obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego we wnętrzu kabiny, zaprojektowano i wykonano drewniane modele ustrojów rezonatorowe-



Rys. 1. Widok elementu panelowego ustroju rezonatorowego: a – bez wypełnienia, b – z wypełnieniem

go w dwóch wariantach. Jako materiał konstrukcyjny do budowy modeli wykorzystano płyty ze sklejki drewnianej o grubości 18 mm. Poszczególne elementy łączono ze sobą za pomocą wkrętów do drewna, bądź na zasadzie wsuwania jednych elementów w wyfrezowane prowadnice innych elementów. Pozwoliło to na zbudowanie różnych wariantów modelu ustroju rezonatorowego dla każdej z dwóch podstawowych wersji:

z 32 rezonatorami, w płycie czołowej 32 otwory o średnicy 10 mm,

gdzie:

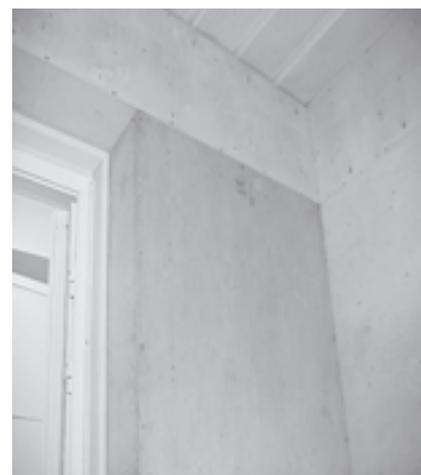
– objętość komory rezonatora $V = 230 \times 227,5 \times 100$ mm, a odpowiadająca częstotliwość drgań własnych powietrza wypełniającego rezonator $f_r = 41$ Hz,

– objętość komory rezonatora $V = 230 \times 227,5 \times 200$ mm, $f_r = 29$ Hz,

– rezonator ma jeden, symetrycznie umieszczony otwór – szyjkę,

– średnica szyjki $d = 10$ mm,

– długość szyjki $l = 18$ mm.



Rys. 2. Widok ustrojów rezonatorowych zamontowanych w kabine

z 8 rezonatorami, w płycie czołowej 8 otworów o średnicy 20 mm,

gdzie:

– objętość komory rezonatora $V = 478 \times 473 \times 100$ mm, a odpowiadająca czę-

stotliwość drgań własnych powietrza wypełniającego rezonator $f_r = 35$ Hz,
 – objętość komory rezonatora $V = 478 \times 473 \times 200$ mm, $a f_r = 25$ Hz,
 – rezonator ma jeden, symetrycznie umieszczony otwór – szyjkę,
 – średnica szyjki $d = 20$ mm,
 – długość szyjki $l = 18$ mm.

Widok elementu panelowego o wymiarach 2000x1000 przedstawiono na rys. 1. Elementy panelowe mogą być łączone w większe powierzchnie, w zależności od potrzeb (od rozmiarów kabiny). Każdy z wariantów ustrojów modelowych dodatkowo może być wypełniony wełną mineralną lub pianką poliuretanową. Przykładowe wnętrze kabiny dźwiękoizolacyjnej wraz z zamontowanymi ustrojami rezonatorowymi przedstawia rys. 2. Natomiast parametry akustyczne omawianych ustrojów, tj. orientacyjna izolacyjność akustyczna w zakresie niskich częstotliwości oraz pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku przedstawia rys. 3 i 4.

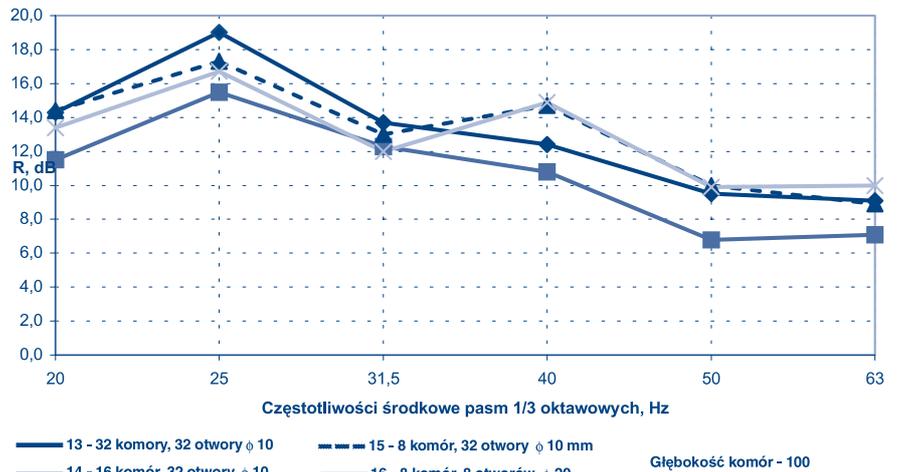
Pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku ustrojów rezonatorowych

| Częstotliwość | $\alpha - 1$ | | $\alpha - 2$ | | $\alpha - 3$ | |
|---------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | wariant - 1 | wariant - 2 | wariant - 1 | wariant - 2 | wariant - 1 | wariant - 2 |
| 100 | 0,45 | 0,30 | 0,11 | | | |
| 125 | 0,27 | 0,26 | 0,11 | | | |
| 160 | 0,24 | 0,29 | 0,27 | | | |
| 200 | 0,23 | 0,23 | 0,14 | | | |
| 250 | 0,13 | 0,09 | 0,13 | | | |
| 315 | 0,14 | 0,08 | 0,19 | | | |
| 400 | 0,10 | 0,06 | 0,13 | | | |
| 500 | 0,17 | 0,12 | 0,11 | | | |
| 630 | 0,09 | 0,09 | 0,15 | | | |
| 800 | 0,08 | 0,10 | 0,09 | | | |
| 1k | 0,13 | 0,15 | 0,11 | | | |
| 1,25k | 0,05 | 0,02 | 0,01 | | | |
| 1,6k | 0,04 | 0,01 | 0,12 | | | |
| 2k | 0,09 | 0,23 | 0,17 | | | |
| 2,5k | 0,04 | 0,42 | 0,38 | | | |
| 3,15k | 0,27 | 0,25 | 0,18 | | | |
| 4k | 0,12 | 0,50 | 0,09 | | | |
| 5k | 0,34 | 0,55 | 0,16 | | | |

$\alpha_{sr} - 1 = 0,18$
 $\alpha_{sr} - 2 = 0,21$
 $\alpha_{sr} - 3 = 0,15$

$\alpha_{sr} - 1$ - dla wariantu 1
 $\alpha_{sr} - 2$ - dla wariantu 2
 $\alpha_{sr} - 3$ - dla wariantu 3

Rys. 4. Pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku dla wybranych wariantów ustrojów rezonatorowych: wariant 1 – 32 komory, 32 otwory, wypełnienie wełna mineralna, wariant 2 – 32 komory, 32 otwory, wypełnienie pianka poliuretanowa



Rys. 3. Orientacyjna izolacyjność akustyczna wybranych wariantów ustrojów rezonatorowych w zakresie niskich częstotliwości

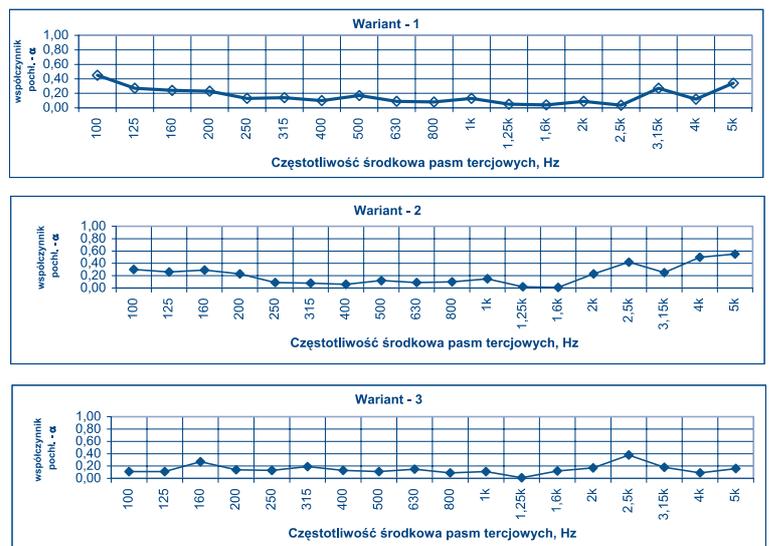
Ustrój rezonatorowy o komorach sprzężonych

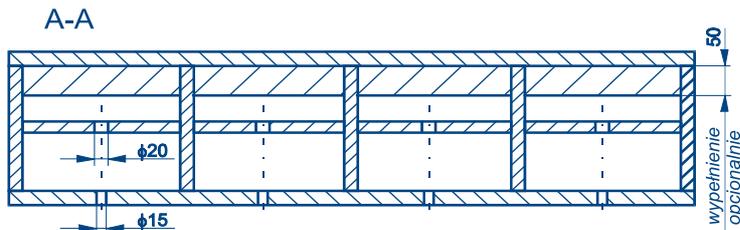
Kolejne badania przeprowadzono z ustrojem rezonatorowym o bardziej skomplikowanych kształtach, a więc z komorami sprzężonymi. Szkic tego rozwiązania przedstawiono na rys. 5, a wyniki badań izolacyjności akustycznej R tego ustroju przedstawia rys. 6. Lokalne maksimum

przebiegu izolacyjności akustycznej dla częstotliwości: 16 Hz, 31,5 Hz i 63 Hz wskazuje na skuteczność tego ustroju w zakresie hałasu niskoczęstotliwościowego.

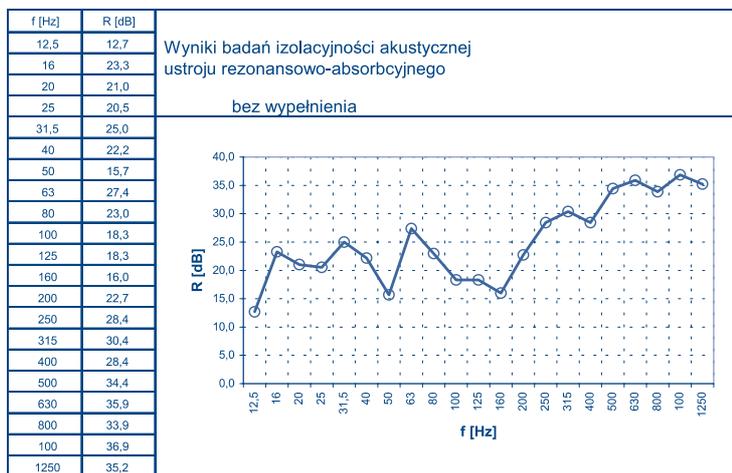
* * *

Typowe kabiny mają na ogół małą skuteczność akustyczną w zakresie niskich częstotliwości (0-15 dB). We wnętrzu nie-

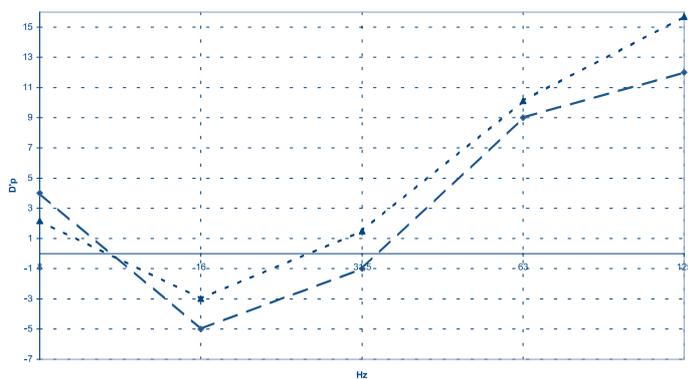




Rys. 5. Schemat ustroju rezonatorowego o komorach sprzężonych



Rys. 6. Wyniki badań izolacyjności akustycznej ustroju rezonatorowego o komorach sprzężonych



Rys.7. Charakterystyka przybliżonej izolacyjności akustycznej $D'p$ metalowej kabiny przemysłowej KB-2 usytuowanej w pomieszczeniu badawczym CIOP, sztuczne źródło dźwięku (zestaw głośnikowy)

— przed umieszczeniem ustrojów rezonatorowych
 — po pokryciu powierzchni dwóch ścian kabiny urządzeniami rezonatorowymi

których kabin zaobserwowano wzmocnienie poziomu ciśnienia akustycznego w zakresie hałasu niskoczęstotliwościowe-

go, sięgające nawet do 10 dB. Zjawisko wzmocnienia poziomu ciśnienia akustycznego we wnętrzu kabin szczególnie

często obserwowane jest w kabinach metalowych; wzmocnienie poziomu ciśnienia akustycznego we wnętrzu kabin związane jest prawdopodobnie z występowaniem niekorzystnych zjawisk rezonansowych i niedostateczną izolacyjnością wibroakustyczną kabin w tym zakresie częstotliwości. Kabin zlokalizowane w pobliżu źródeł hałasu niskoczęstotliwościowego i infradźwiękowego powinny być poddane szczególnej kontroli pod względem stopnia wnoszonej ochrony w tym zakresie częstotliwości, mogą bowiem narażać przebywających w nich ludzi na większy hałas niż gdyby znajdowali się na zewnątrz kabiny. W celu poprawy stopnia wnoszonej ochrony przez kabinę w zakresie niskich częstotliwości można zastosować wiele przedsięwzięć związanych z konstrukcją kabiny, w tym ustroje rezonatorowe (rys. 7).

PIŚMIENNICTWO

[1] Engel Z.: *Ochrona przed drganiami i hałasem*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993

[2] Engel Z., Sadowski J. i inni: *Wytyczne projektowania ochrony przeciwhałasowej stanowisk pracy w halach przemysłowych ze wspomaganie komputerowym*. Warszawa, CIOP, II wyd., 1993

[3] Kaczmarska A.: *Certyfikacja kabin przemysłowych – badania akustyczne*. Bezpieczeństwo Pracy 5/95, s. 16-22

[4] Kaczmarska A., Sikora J., Wszolek T.: *Badania doświadczalne ustrojów rezonatorowych*. Mechanika 3/97, s. 429-440

[5] Kaczmarska A., Augustyńska D.: *Ograniczenie hałasu niskoczęstotliwościowego w kabinach przemysłowych*. CIOP, Warszawa 1999

[6] Kaczmarska A., Augustyńska D., Engel Z.: *Skuteczność zabezpieczeń przed hałasem infradźwiękowym w warunkach przemysłowych*. Zadania badawcze 03.8.14/SPR-1, CIOP, Warszawa 2000

[7] ISO 7196 *Acoustics – Frequency weighting characteristic for infrasound measurement*

[8] Pr PN-EN ISO 11957 *Akustyka – Wyznaczenie właściwości dźwiękoizolacyjnych kabin. Pomiary laboratoryjne i terenowe*