

Bronisława GNIEWEK-GRZYBCZYK

Instytut Maszyn Górniczych, Przeróbczych  
i Automatyki

Zakład Maszyn i Urządzeń Przepływowych  
Akademii Górniczo-Hutniczej  
w Krakowie

BADANIA, W CELU OBNIŻENIA POZIOMU CIŚNIENIA AKUSTYCZNEGO  
W CZĘSTOTLIWOŚCIACH DYSKRETYCH WIDMA HAŁASU PROMIENIO-  
WEGO WENTYLATORA ZA POMOCĄ UKŁADÓW REZONANSOWYCH

**Streszczenie:** Na podstawie badań wykazano, że przez wbudowanie odpowiednio nastrojonego rezonatora ćwierćfalowego w miejsce języczka obudowy spiralnej wentylatora promieniowego można obniżyć poziom ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatki od kilku do kilkunastu decybeli. Wartość tego tłumienia zależy od parametrów geometrycznych rezonatora i nakrywającego wlot rezonatora perforowanego języczka.

### 1. Wstęp

Promieniowe wentylatory generują dźwięki pochodzenia aerodynamicznego, w których występuje częstotliwość dominująca zwana częstotliwością przejścia łopatki. Opisane dotychczas w literaturze sposoby obniżenia poziomu ciśnienia akustycznego w częstotliwościach dyskretnych, występujących w widmie akustycznym promieniowego wentylatora, dotyczą zmiany odległości języczka obudowy spiralnej od wirnika oraz kąta pochylecia krawędzi języczka w stosunku do krawędzi łopatek [1, 2, 3, 4]. Modyfikując konstrukcję języczka oraz wyrównując pole prędkości za wirnikiem możemy spowodować obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatki, ale nie jesteśmy w stanie wyeliminować tego dźwięku z widma.

Przeprowadzono również badania przydatności różnego rodzaju ustrojów tłumiących [5, 6, 7] do obniżenia poziomu ciśnienia akustycznego w częstotliwościach dyskretnych widma wentylatorów.

Jeżeli będziemy oddziaływać na warunki generacji dźwięku w wentylatorze promieniowym akustycznym polem zewnętrznym powinniśmy w efekcie uzyskać obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatki. Jako zewnętrzne pole akustyczne użyto rezonatora ćwierćfalowego, który wbudowano w miejsce języczka obudowy spiralnej wentylatora. Przez odpowiednie strojenie rezonatora starano się obniżyć poziom ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatki. Otrzymane wyniki pomiarów zilustrowano wykresami.

## 2. Metodyka badań i sposób ich przeprowadzenia

Badania mające na celu obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatki przy użyciu rezonatora ćwierćfalowego przeprowadzono na modelu wentylatora promieniowego o stosunku średnic  $D_1/D_2 = 0,7$  i szerokości względnej wirnika  $b_1/D_1 = 0,36$ . Średnica zewnętrzna wirnika  $D_2 = 643$  mm. Kąty pochylenia łopatek na wlocie i wylocie wynosiły odpowiednio  $\beta_1 = 16^\circ$ ,  $\beta_2 = 41^\circ$ . Wirnik posiadał 9 jednołukowych łopatek pochylnych do tyłu. Odległość wirnika od rezonatora w czasie badań była utrzymywana na stałym poziomie i wynosiła  $r/R_2 = 0,062$ . Promień języczka obudowy spiralnej wentylatora stanowił promień zaokrąglenia perforowanej płytki nakrywającej pudło rezonatora i był równy  $r_3/R_2 = 0,14$ . Zarys obudowy wyznaczono według spirali logarytmicznej.

Stosowany w badaniach rezonator ćwierćfalowy był geometrycznie podobny do rezonatora ćwierćfalowego zastosowanego przez autorów pracy [7], z tą różnicą, że jego szerokość z konieczności musiała odpowiadać szerokości obudowy spiralnej. Zostało to podyktowane faktem, że ćwierćfalowy rezonator użyty do badań wstępnych [8] działał selektywnie, a efekt obniżenia poziomu ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatki był niewielki. Szerokość rezonatora wynosiła  $E/R_2 = 1,0$  a wysokość  $g/R_2 = 0,27$ . Wlot rezonatora nakrywano trzema wymiernymi perforowanymi płytkami o stałej ilości otworów  $i = 184$ . Średnice otworów dla poszczególnych sit wynosiły  $d = 7,1$  mm, 8,6 mm, 10,5 mm. Natomiast powierzchnia perforacji odpowiednio  $\xi = 19,4\%$ , 28,5% i 42,5%.

Pomiary akustyczne wykonano na stanowisku opisanym w pracy [9]. Wentylator napędzano silnikiem prądu stałego. Obroty zmieniano skokowo co 100 obr/min w granicach od 1300 do 2000 obr/min. Pomiar poziomu ciśnienia akustycznego prowadzono punktowo wewnątrz rurociągu ssawnego, w takim punkcie pracy wentylatora, w którym ciśnienie to osiągało wartość minimalną.

## 3. Współdziałanie rezonatora ćwierćfalowego z wentylatorem

W rezonatorze ćwierćfalowym zjawisko rezonansu wynika z sumowania się fal o zgodnych fazach przy wielokrotnym ich odbiciu wewnątrz rezonatora. Powyższy warunek spełniony jest dla częstotliwości rezonansowej użytego do badań rezonatora. Z warunków brzegowych dla rezonatorów ćwierćfalowych wynika, że przy częstotliwości rezonansowej fale odbite wielokrotnie wewnątrz rezonatora mają u wylotu jednakowe fazy ciśnienia akustycznego, przeciwne do fazy ciśnienia akustycznego fali generowanej przez źródło, którym w tym przypadku jest promieniowy wentylator. Korzystając z zasady superpozycji fal i traktując rezonator umieszczony w miejscu języczka jako wtórne źródło energii generujące falę z przeciwną fazą ciśnienia akustycznego do fazy ciśnienia akus-



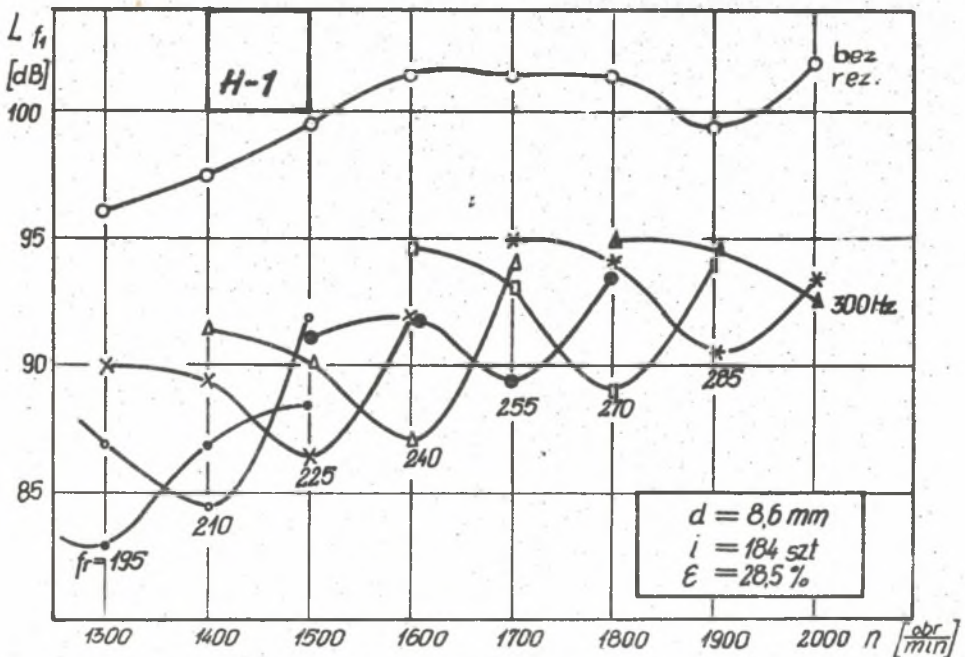
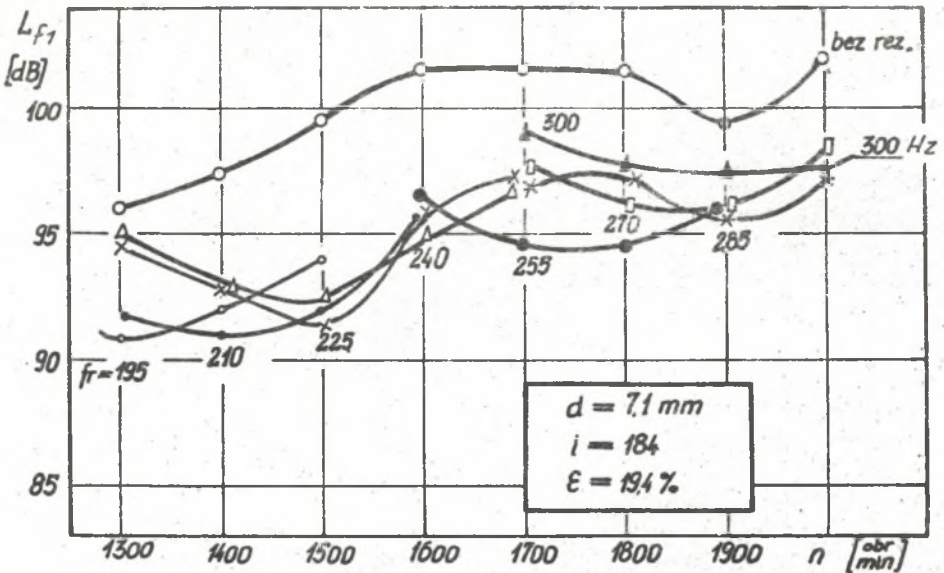


tycznego fali padającej ze źródła, którym jest wentylator powinno się uzyskać znaczne obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatki. Śluszność założenia ilustruje rysunek 1, na którym porównano widma akustyczne wentylatora z konwencjonalnie ukształtowanym języczkiem obudowy spiralnej i z zastępującym go rezonatorem ćwierćfalowym nastrojonym na częstotliwość  $f_r = 225$  Hz. Wlot rezonatora przykryto blachą perforowaną o średnicy otworów  $d = 10,5$  mm. Powierzchnia perforacji  $\epsilon = 42,5\%$ . W wyniku wbudowania w miejsce języczka rezonatora ćwierćfalowego uzyskano obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego nie tylko częstotliwości przejścia łopatki i jej harmoniczných, ale również poziomu ciśnienia akustycznego prawie w całym zakresie widma. Obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatki można uzyskać przy innej prędkości obrotowej wirnika przez odpowiednie dostrojenie rezonatora. Uzyskany w ten sposób efekt jest bardziej widoczny na rysunku 2, na którym poziom ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatki wykreślono w funkcji obrotów wentylatora. Grubą linią zaznaczono zmianę poziomu ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatki promieniowego wentylatora z konwencjonalnie ukształtowanym języczkiem. Pozostałe krzywe ilustrują wyniki pomiarów uzyskane po zamontowaniu rezonatora ćwierćfalowego i pokazują wartości obniżenia poziomu ciśnienia akustycznego przy nastrojeniu go na różne częstotliwości rezonansowe.

Znaczne obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatki dla różnych obrotów wentylatora można uzyskać przez zmianę powierzchni perforacji płytek nakrywających wlot rezonatora. Wyniki prezentowane na rysunku 2 uzyskano dla sita o średnicy oczek  $d = 7,1$  mm, powierzchni perforacji  $\epsilon = 19,4\%$ . Tłumiący efekt rezonatora ćwierćfalowego jest możliwy nie tylko dla szczególnej częstotliwości lub w środku wąskiego pasma lecz może być rozciągnięty na cały zakres częstotliwości widma. Ta właściwość rezonatora ćwierćfalowego pozwala na praktyczne jego zastosowanie do obniżania poziomu ciśnienia akustycznego zarówno w wentylatorach promieniowych jak i osiowych.

Krzywe na rysunkach 3 i 4 ilustrują wyniki badań, w których wlot rezonatora nakryto dwoma różnymi sitami. Przy zastosowaniu sita o średnicy otworów  $d = 8,6$  mm oraz powierzchni perforacji  $\epsilon = 28,5\%$  poziom ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatki ilustrują krzywe na rysunku 3. W wyniku zastosowania tego sita uzyskano znaczne obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatki w całym zakresie stosowanych obrotów. Zwiększenie średnicy otworów sita do wartości  $d = 10,5$  mm, a tym samym jego powierzchni perforacji do  $42,5\%$  niewiele zmieniło w przebiegu zjawiska jak to wynika z krzywych na rysunku 4.

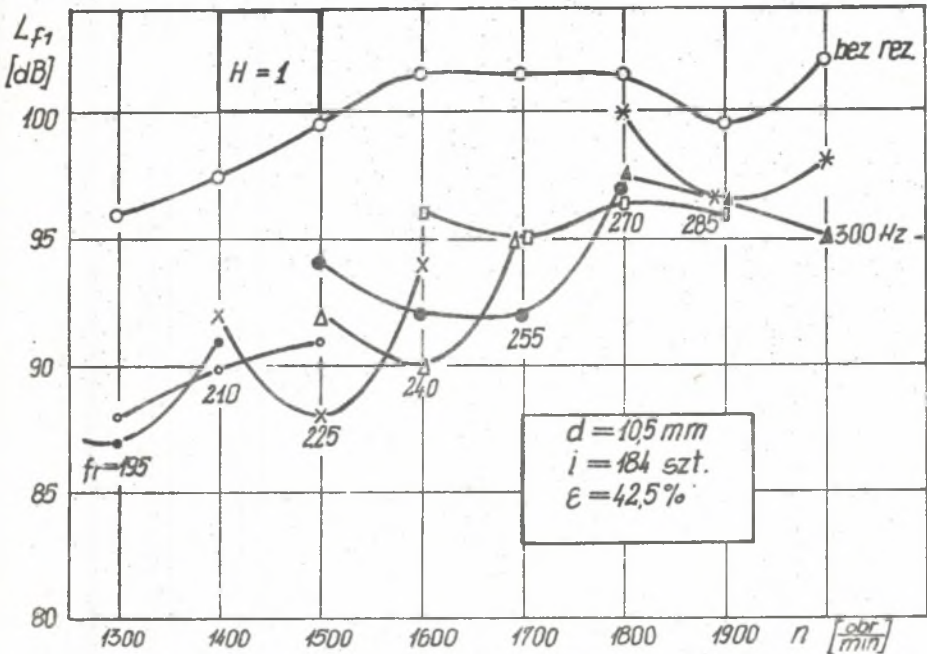
Zastosowanie sit nakrywających wlot rezonatora z pewnością wpływa na obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia



Rys.2. Poziom ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatk w funkcji obrotów dla wentylatora z tradycyjnym języczkiem i wbudowanym rezonatorem  $\lambda/4$ -falowym nastrojonym na różne częstotliwości

łopatki. Pod wpływem strumienia powietrza na krawędziach otworów siatek powstają wiry, które są następnie unoszone przez przepływ. Ponadto fale akustyczne powstałe w rezonatorze ćwierćfalowym docierając do

otworów sita wywołują powstanie nowego zaburzenia na krawędziach oczek. Zarówno od średnicy otworów jak i ich ilości zależy efekt tłumienia wywołanych oscylacji powietrza. Jak wykazano w pracy [ 8 ] wzrost stopnia perforacji sita przy zachowaniu stałej średnicy otworów powodował wzrost tłumienia w kierunku wyższych częstotliwości dominujących. Natomiast zmiana średnicy otworów przy zachowaniu ich stałej ilości powoduje przesunięcie maksymalnego tłumienia w kierunku częstotliwości niższych.



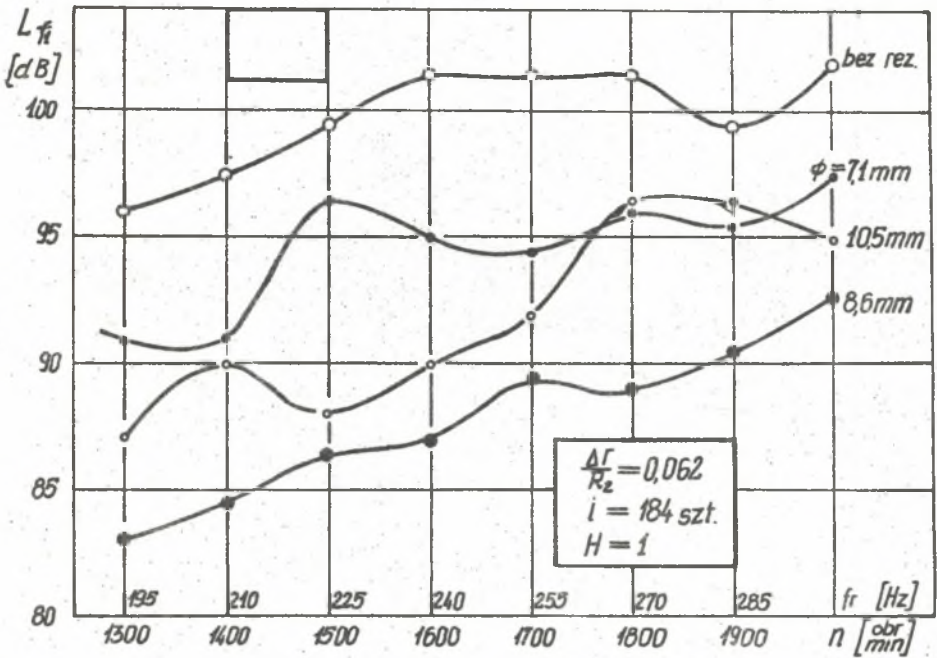
Rys.4. Poziom ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatki w funkcji obrotów dla wentylatora z tradycyjnym jęczymkiem i wbudowanym rezonatorem  $\lambda/4$ -falowym nastrojonym na różne częstotliwości

Maksymalne obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatki w całym zakresie obrotów wentylatora uzyskano w przypadku nakrycia rezonatora sitem o średnicy otworów  $d = 8,6 \text{ mm}$ , co ilustrują krzywe na rysunku 5. Zastosowanie tych samych sit w rezonatorze współpracującym z wentylatorami promieniowymi o kątach pochylenia łopatki  $\alpha$  wylocie  $\beta_2 = 24^\circ$  i  $30^\circ 30'$  spowodowało niewielkie obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatki / rys. 6 / lub całkowity brak efektu tłumienia / rys. 7 /.

Wymiary oczek sita nakrywającego wlot rezonatora, promień jego zaokrąglenia, powierzchnia perforacji mają niewątpliwie wpływ na poziom



ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatki. Jednak nie został on dotychczas jednoznacznie wyjaśniony.



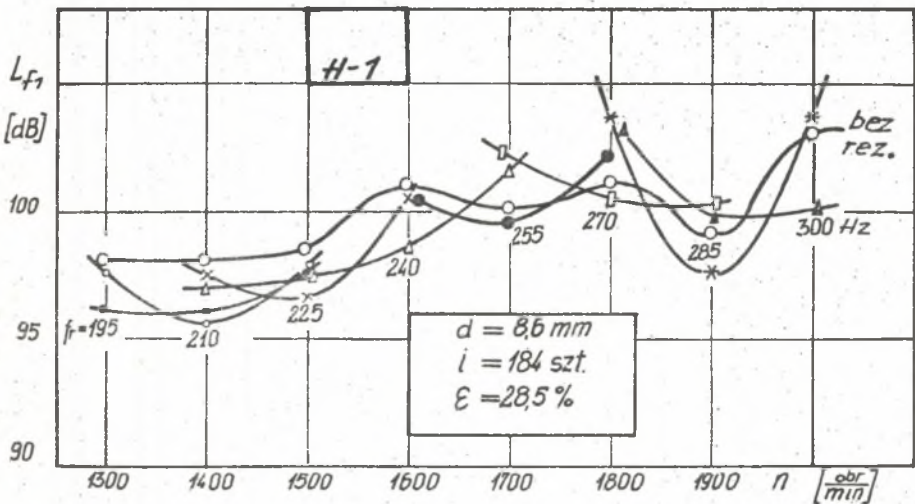
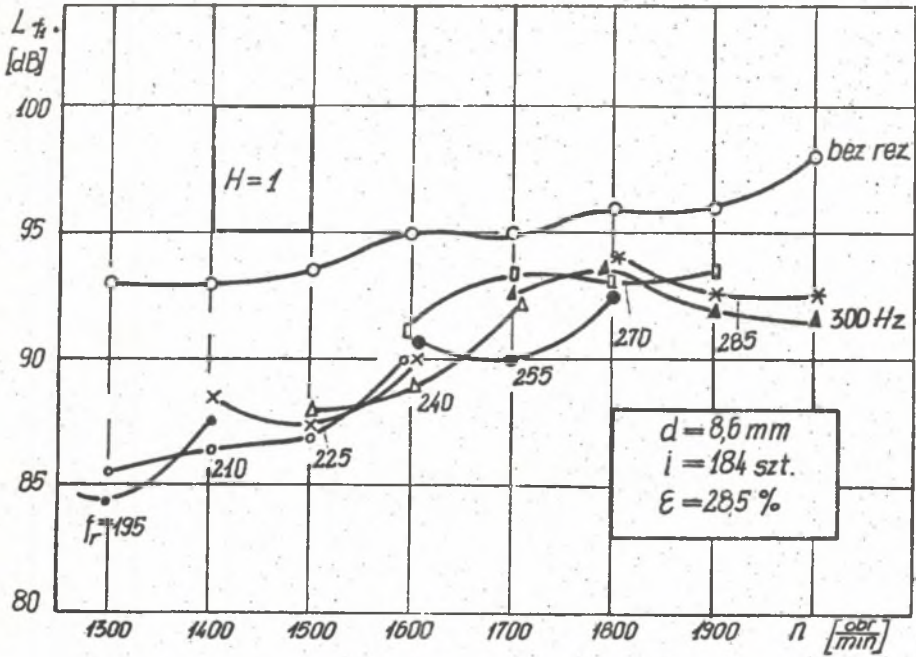
Rys. 5. Poziom ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatki w funkcji obrotów dla wentylatora z tradycyjnym języczkiem i wbudowanym rezonatorem  $\lambda/4$ -falowym zamkniętym sitem o różnej średnicy oczek

#### 4. Uwagi końcowe

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że rezonator ćwierćfalowy wbudowany w miejsce tradycyjnego języczka obudowy wentylatora tworzy z nim układ akustyczno-przepływowy ze sprzężeniem zwrotnym. W wyniku występowania tego rodzaju układu osiąga się znaczne obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia łopatki. Jest ono w dużym stopniu uzależnione od dobroci rezonatora, jego parametrów geometrycznych, odległości między źródłem dźwięku a rezonatorem, wymiarów źródła dźwięku oraz od nakrywającego wlot rezonatora sita. Rzeczywista długość rezonatora nie odpowiada długości  $\lambda/4$  fali z powodu zastosowania perforacji języczka i oddziaływania strumieni powietrza na znajdujące się w nim otwory. W trakcie pomiarów należy ją każdorazowo ustalać na drodze żmudnych prób.

W przypadku zmiennej długości rezonatora, przy utrzymaniu tego samego nakrycia jego wlotu, częstotliwość rezonansową rezonatora można zmieniać a w konsekwencji uzyskiwać obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego dowolnych częstotliwości. Jednakże maksymalne jego obniżenie

ma miejsce w przypadku optymalnej impedancji akustycznej rezonatora.



Rys.6. Poziom ciśnienia akustycznego częstotliwości przejścia  $\lambda_0$   
 Rys.7. patki w funkcji obrotów dla wentylatorów o kącie  $\beta_0 = 24^\circ$   
 i  $30^\circ$  z tradycyjnym języczkiem i wbudowanym rezonatorem  
 $\lambda/4$  - falowym nastrojonym na różne częstotliwości



Literatura :

- [1] Podśędkowski A. - Badanie wpływu położenia i kształtu języczka na głośność wentylatora promieniowego. Prace ITC-Łódź, 1962.
- [2] Leidel W. - Einfluss von Zungenabstand und Zungenradius auf Kennlinie und Geräusch eines Radialventilators. Praca doktorska, Berlin 1967.
- [3] Gniewek B. - Badanie hałasu powstającego na skutek niejednorodności strumienia w wentylatorach promieniowych. ZNACH, nr 813, 1981.
- [4] Feise W. - Noise reduction in centrifugal fans. Journal of Sound and Vibration, 45, 375-403
- [5] Sowa A. - Rezonansowo-absorpcyjne tłumiki hałasu wentylatorów lutniowych. ZN Politechniki Śląskiej, 72, 1979.
- [6] Agnon R. - Noise reduction at the source in centrifugal fans. Noise Control Conference, Warszawa 1976.
- [7] Feise W.  
Koopmann G.H. - Reduction of centrifugal fan noise by use of resonators. University of Houston, 1980.
- [8] - Badanie możliwości tłumienia częstotliwości dyskretnych promieniowych wentylatorów za pomocą układów rezonansowych. Praca wykonana dla IPPT-PAN w ramach problemu MR.I.24. Biblioteka IMG, 1981.
- [9] - Badanie wpływu parametrów geometrycznych wentylatora i stopnia sprężarki na jego sprawność i poziom wytwarzanego hałasu aerodynamicznego. Praca wykonana w ramach problemu MR.I.10/2.3.4. Etap II, Biblioteka IMG, 1980.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Gerard Kosman

Wpłynęło do redakcji maj 1985 r.

ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОВОДИМЫЕ С ЦЕЛЬЮ ПониЖЕНИЯ УРОВНЯ АКУСТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В ДИСКРЕТНЫХ ЧАСТОТАХ СПЕКТРА ШУМА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕЗОНАТОРНЫХ СИСТЕМ

Резюме

На основании исследований было обнаружено, что установка настроенного соответствующим образом  $\lambda/4$ -волнового резонатора в место языка спирально-го корпуса центробежного вентилятора можно снизить уровень акустического давления частоты перехода лопатки от нескольких до 15 дБ. Значение этого затухания зависит от геометрических параметров резонатора и от перфорированного языка прикрывающего вход резонатора.

REDUCTION OF CENTRIFUGAL FAN SOUND PRESSURE LEVEL BLADE  
PASSING FREQUENCY BY USE OF RESONATORS

S u m m a r y

This paper deals with a method by which an acoustic resonator can be used to reduce sound pressure level blade passing frequency generated by centrifugal fan. In the study reported, the casing of a small, centrifugal blower was modified by replacing the cut-off of the scroll with the mouth of a quarter-wavelength resonator.

With appropriate tuning of the resonator, reductions in the blade passing frequency tones up to 15 dB. Parameters which influenced the width of the resonator response were the porosity and whole size the resonator mouth.