

Bronisława GNIEWEK-GRZYBCZYK
Krystyna PRYNC-SKOTNICZNY
Zakład Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

WPŁYW ZARYSU OBUDOWY NA CHARAKTERYSTYKI AKUSTYCZNE WENTYLATORA PROMIENIOWEGO

Streszczenie. W pracy omówiono wpływ kształtu obudowy wentylatora promieniowego na emitowany przez niego poziom mocy akustycznej. Jak wynika z przeprowadzonych badań, wybór kształtu obudowy spiralnej wg kwadratu konstruktorskiego gwarantuje nie tylko maksymalną sprawność, ale również minimum hałasu.

INFLUENCE OF A HOUSING PROFILE ON ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF RADIAL FAN

Summary. The paper presents an influence of a radial fan housing profile on acoustic power level emitted by it. According to the carried out investigations the authors have come to the conclusion that the choice of spiral housing profile by using a construction square guaranteed not only the maximal efficiency but also minimal noise.

EINFLUSS DES GEHÄUSEPROFILS AUF DIE AKUSTISCHE CHARAKTERISTIK DES RADIALVENTILATORS

Zusammenfassung. Die Arbeit enthält die Beschreibung des Einflusses des Radialventilator-Gehäuseprofils auf die emittierte akustische Leistung. Die durchgeführten Messungen zeigen, daß die Annahme der Gestalt von Spiralgehäuse zum maximalen Wirkungsgrad bei dem minimalen Lärm führt.

WSTĘP

Kąt nachylenia prędkości bezwzględnej strumienia płynu wypływającego z wirnika i wartości tej prędkości decydują o ogólnym zarysie obudowy wentylatora promieniowego. Obudowa wentylatora nie zawsze korzystnie oddziałuje na przepływ w wirujących kanałach międzylópatkowych wirnika i zmienia charakter tego przepływu. Istnieje więc wzajemne oddziaływanie obudowy na przepływ przez wirnik i wirnika na przepływ przez obudowę spiralną.

ZAKRES BADAŃ

Przy projektowaniu obudowy zakłada się, że z wirnika wypływa gaz nielepki o środkowo symetrycznym rozkładzie prędkości. Z zasady zachowania krętu

$$r \cdot c = r_2 \cdot c_2 = \text{const} \quad (1)$$

wynika, że linie prądu rozpatrywanego przepływu w obudowie wentylatora promieniowego są krzywymi logarytmicznymi. Wobec tego wewnętrzna linia kolektora powinna tworzyć spiralę wyznaczoną równaniem:

$$R_3 = R_2 \exp\left(\vartheta \frac{b_2}{B} \frac{c_{2r}}{c_{2u}}\right) = R_2 \exp\left(\vartheta \frac{b_2}{B} \text{tg } \alpha_2\right) = R_2 \exp\left(\vartheta \text{tg } \alpha_3\right) \quad (2)$$

gdzie:

- R_3 – promień spirali,
- R_2 – zewnętrzny promień wirnika,
- ϑ – kąt opisujący krzywiznę spirali,
- b_2 – szerokość wirnika,
- B – szerokość obudowy,
- α_3 – kąt rozwinięcia spirali,
- α_2 – kąt wypływu strugi z wirnika,
- c_{2r} – składowa promieniowa prędkości bezwzględnej,
- c_{2u} – składowa obwodowa prędkości bezwzględnej.

$$\operatorname{tg} \alpha_{sp} = \operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{b_2}{B} \operatorname{tg} \alpha_2 \quad (3)$$

W nominalnym punkcie pracy wentylatora dla liczby wydajności $\varphi_n = 1$ i przy założeniu, że ma miejsce całkowite przekazanie mocy (energii) przepływającemu czynnikowi (dla współczynnika zmniejszenia mocy $\mu = 1$) [1]:

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{\operatorname{tg} \beta_2}{\tau_2 (S - 1)} \quad (4)$$

gdzie:

- S – liczba wirnika,
- τ_2 – wskaźnik przesłonięcia przekroju wlotowego wirnika,
- β_2 – kąt pochylenia łopatki na wlocie.

Jeżeli wyrażenie (2) rozłożymy w szereg i ograniczymy do pierwszych czterech wyrazów, otrzymamy:

$$r_3 = R_2 \left[1 + \vartheta \frac{\dot{V}}{B \Gamma_2} + \frac{1}{1 \cdot 2} \left(\vartheta \frac{\dot{V}}{B \Gamma_2} \right)^2 + \frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 3} \left(\vartheta \frac{\dot{V}}{B \Gamma_2} \right)^3 \right] \quad (5)$$

W aerodynamicznych schematach i obliczeniach spiralnych obudów obowiązująca jest wartość rozwarcia spirali w przekroju $\vartheta = 2\Pi$:

$$A = R_{2\pi} - R_2 \quad (6)$$

Dla tego przekroju można napisać:

$$A = R_2 \left[2\Pi \frac{\dot{V}}{B \Gamma_2} + \frac{1}{1 \cdot 2} \left(2\Pi \frac{\dot{V}}{B \Gamma_2} \right)^2 + \frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 3} \left(2\Pi \frac{\dot{V}}{B \Gamma_2} \right)^3 \right] \quad (7)$$

W licznych przypadkach, przy obliczeniach obudowy spiralnej należy obliczyć znaczną ilość członów szeregu. W zależności od tego wzór (7) przy przyjętej wartości rozwarcia i szerokości obudowy może być równaniem liniowym, kwadratowym lub trzeciego stopnia w odniesieniu do członu $-V/B\Gamma_2$.

Rozwiązując równanie (7) i pamiętając, że $\Gamma_2 = 2\Pi r_2 c_{2u}$, otrzymamy $\dot{V}/c_{2u} = \text{const}$. Jest to równanie prostej przechodzącej przez początek układu współrzędnych. Wiadomo, że wydajność będzie odpowiadać punktom przecięcia

krzywej z krzywą wyrażającą zależność $c_{2u} = f(\dot{V})$ dla wirnika. Krzywa $c_{2u} = f(\dot{V})$ może być wykreślana na podstawie obliczeń wirnika.

W dobrze zaprojektowanych wentylatorach wymiary obudów powinny być tak dobrane, aby minimalna wydajność była równa wydajności optymalnej dla η_{\max} .

Dla obliczeń praktycznych można przyjąć jeden człon równania (7):

$$A = 2R_2 \Pi \frac{\dot{V}}{B\Gamma_2} \quad (8)$$

To równanie przedstawia sobą równanie spirali Archimedesesa, której konstrukcję wykonano przy użyciu kwadratu konstruktorskiego dla $a = A/4$.

Jeżeli rozwinięcie spirali określimy zgodnie ze wzorami (2), (3), (6) i (7), to teoretycznie przy ustalonym kącie α_2 nie powinna ona oddziaływać ujemnie na przepływ w obudowie i wirniku tylko dla $\varphi = \varphi_n$.

A. Wszelaczyński [1] w wyniku szeroko przeprowadzonych badań wykazał, że najwyższą sprawność uzyskują wentylatory promieniowe w obudowie o zarysie wg kwadratu konstruktorskiego, aproksymującego spiralę Archimedesesa. Zarys obudowy wykonany wg wiru potencjalnego (spirała logarytmiczna) nie zapewniał tak wysokiej sprawności. Wobec powyższego zachodzi pytanie, czy tak wyznaczony zarys obudowy spiralnej wentylatora promieniowego gwarantuje przy najwyższej sprawności minimalny hałas.

W celu wyjaśnienia tego zagadnienia przeprowadzono badania trzech wirników w czterech różnych obudowach.

PARAMETRY GEOMETRYCZNE WIRNIKÓW I OBUDÓW

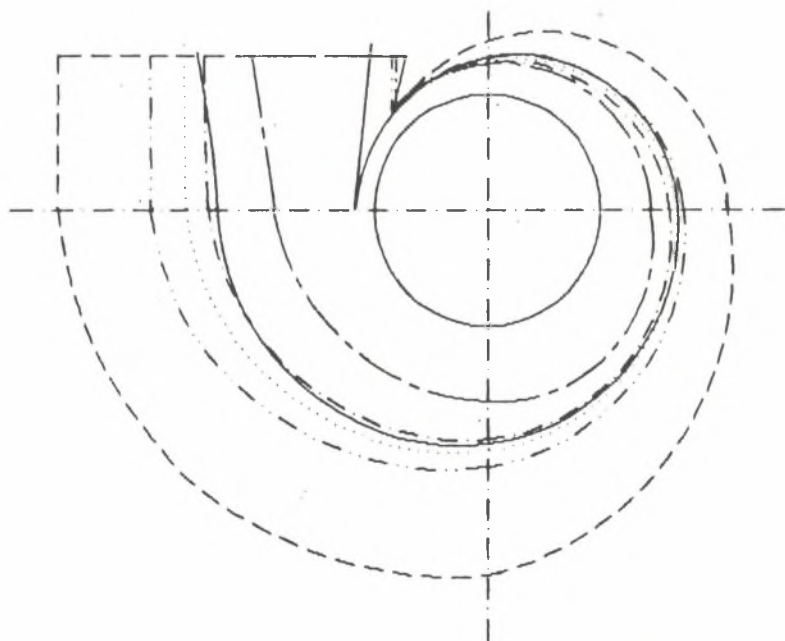
Do badań wpływu kształtu obudowy na poziom emitowanego ciśnienia akustycznego promieniowego wentylatora użyto trzech wirników o średnicy zewnętrznej $D_2 = 720$ mm i 12 płaskich jednołukowych łopatkach, o stosunku średnic $D_1/D_2 = 0,55$ i szerokości względnej $b_1/D_1 = 0,46$. Kąt pochylenia łopatki na wlocie $\beta_1 = 23^\circ$, a na wylocie β_2 odpowiednio równym 35° , 43° i 50° . Kąt pochylenia tarczy przedniej jednakowy dla wszystkich wirników $\gamma = 24^\circ$. Każdy z wirników badano w 4 obudowach o spiralach:

- logarytmicznej, o kącie rozwinięcia α_3 , liczonej wg (3) i (4), oznaczonej symbolem (a),
- rozwiniętej wg kwadratu konstruktorskiego (b),

- dla której promień wodzący uzależniono od średnicy zewnętrznej wirnika D_2 (c),
- z luźno rozwiniętą taśmą bez języczka (d).

Zgodnie z rysunkiem 1 i danymi w tabeli 1 odległość języczka obudowy od wirnika wynosiła $\Delta r/D_2 = 0,2$. Jest to odległość optymalna dla tego typu wentylatorów ustalona na podstawie badań własnych [3] i literatury przedmiotu [4]. Promień zaokrąglenia języczka wynosił $r/R_2 = 0,032$. Początek spirali leżał na prostej nachylonej do promienia rozwinięcia spirali R_0 pod kątem $\vartheta_j = 45^\circ$ we wszystkich obudowach z wyjątkiem obudowy (b), gdzie $\vartheta_j = 0^\circ$. Szerokość względna obudowy $B/b_2 = 2,6$ ($b_2 = 94\text{mm}$, $B = 245\text{mm}$).

.....	obudowa (a) dla wirnika 1
-----	obudowa (a) dla wirnika 2
— · — · — · — · — · — ·	obudowa (a) dla wirnika 3
—————	obudowa (b)
-----	obudowa (c)
-----	obudowa (d)



Rys. 1. Zarys kształtów badanych obudów

Fig. 1. Shapes of investigated housings

Pomiary hałasu wentylatorów wykonano metodą przewodową zgodnie z zasadami opisanymi w pracy [2].

Parametry geometryczne obudów

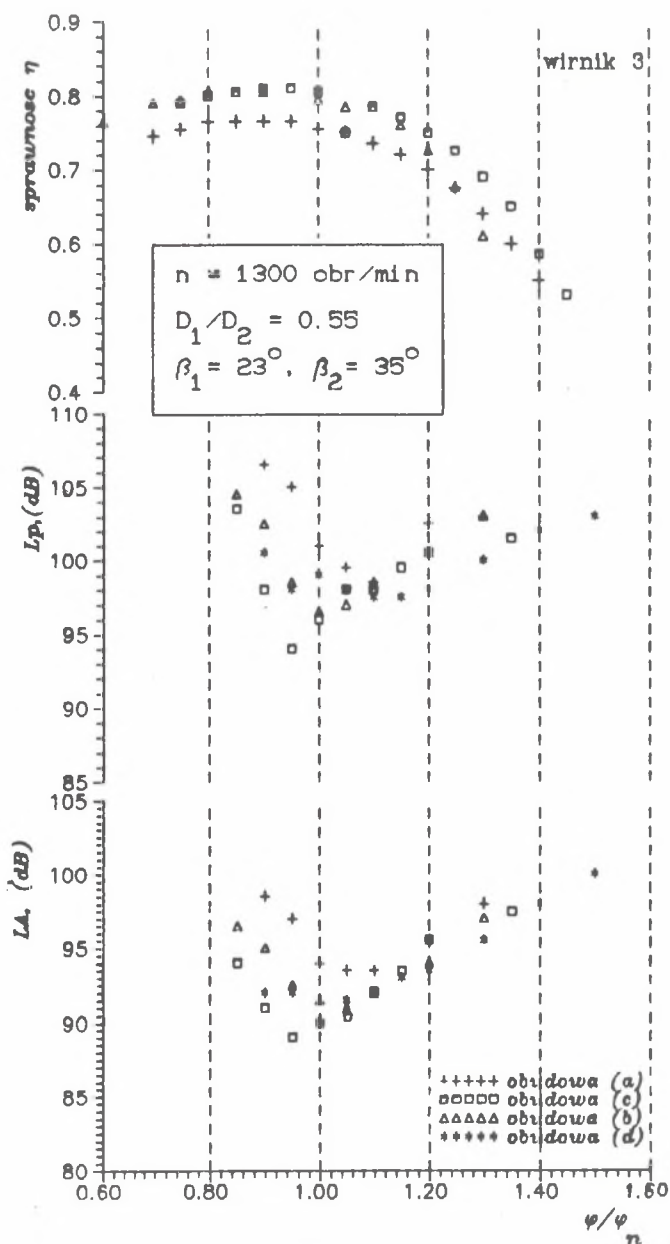
Tabela 1

Lp.	Rodzaj obudowy	ϑ_j	Promień obudowy ^{*)}				Wys. okna wylot. C
			R _{90°}	R _{180°}	R _{270°}	R _{360°}	
1	(a) wirnik 1	45°	63,2	79,9	100,6	127,1	89,6
2	(a) wirnik 2	45°	62,8	78,7	98,9	124,0	85,4
3	(a) wirnik 3	0°	65,7	86,1	113,0	148,5	103,2
4	(b)	45°	64,6	81,9	101,4	119,4	69,4
5	(c)	45°	61,2	72,5	83,7	95,0	66,7
6	(d)	–	72,9	105,5	165,3	173,6	122,2

^{*)} wymiary podano w % D₂, D₂ = 720 mm

CHARAKTERYSTYKI PRZEPLYWOWE I AKUSTYCZNE

Maksymalne sprawności badanych modeli wirników współpracujących z wyżej wymienionymi obudowami niewiele różnią się między sobą, jak to wynika z krzywych na rysunku 2. Na rysunku tym przedstawiono również poziom dźwięku i poziom mocy akustycznej w funkcji stosunku φ/φ_n dla wirnika 3 badanego w poszczególnych obudowach. Podobne przebiegi krzywych otrzymano dla pozostałych wirników 1 i 2. Położenie punktu minimalnego hałasu emitowanego przez wentylator jest ściśle związane z jego sprawnością. Natomiast położenie punktu maksymalnej sprawności zależy nie tylko od parametrów geometrycznych wirnika, lecz również od kształtu rozwinięcia obudowy. Zmiana kąta rozwinięcia spirali powoduje przesunięcie maksymalnej sprawności w kierunku większych lub mniejszych wydajności i zmianę jej wartości. Jak wynika z przedstawionych krzywych, punkt maksymalnej sprawności nie pokrywa się z punktem minimalnego hałasu emitowanego przez wentylator. Ze zmianą wydajności tak w kierunku mniejszych, jak również w kierunku większych wartości poziom hałasu rośnie. Z przebiegu krzywych widać, że wartość poziomu hałasu w mniejszym stopniu niż sprawność zależy od kształtu zastosowanej obudowy. Najniższy poziom dźwięku w punkcie maksymalnej sprawności uzyskano dla obudowy (c).



Rys. 2. Zależność poziomu dźwięku, mocy i sprawności od φ/φ_n dla wirnika 3 w czterech obudowach

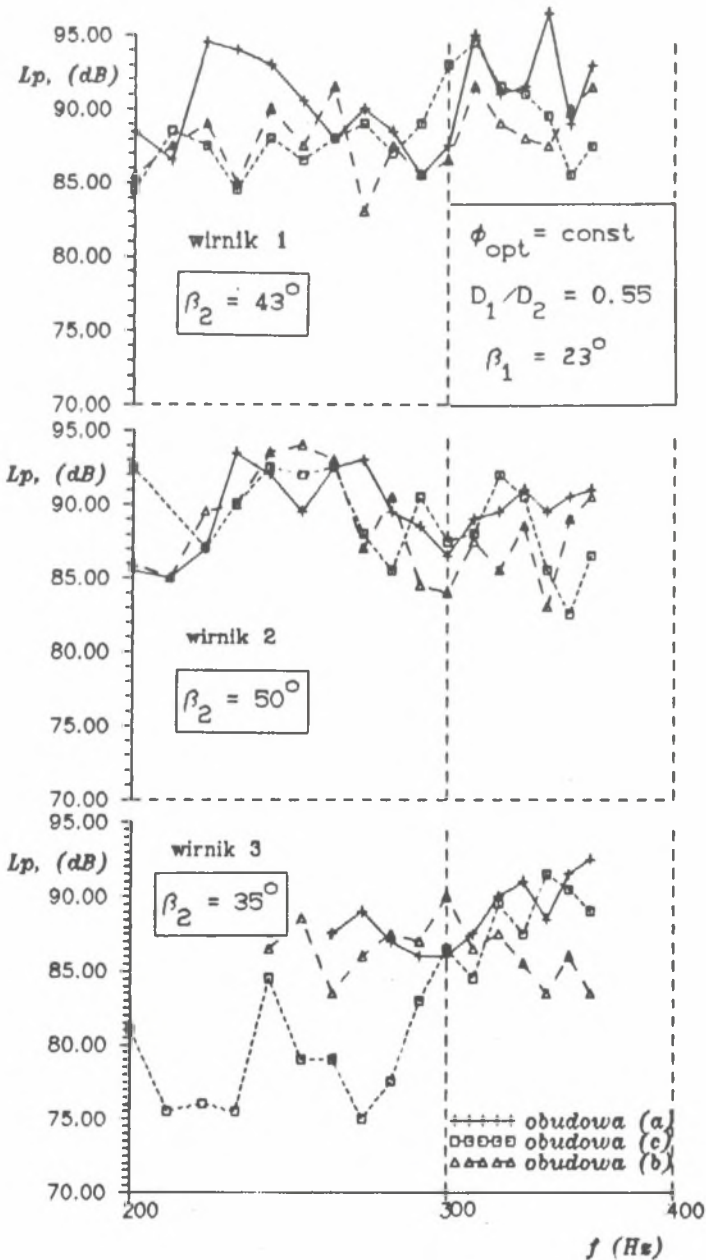
Fig. 2. Relationships between sound level, power, efficiency and φ/φ_n for rotor 3 in four housings

Cechą charakterystyczną wirników pracujących w obudowie (c) oprócz wysokiej sprawności jest niski stosunek φ/φ_n i wysoka liczba ψ . W pozostałych obudowach hałas generowany przez wentylator przyjmuje wyższe wartości. We wszystkich badanych obudowach zarówno większym, jak i mniejszym wartościom φ_{opt} odpowiada wzrost poziomu mocy akustycznej. Minimum hałasu przesuwają się w kierunku mniejszych wydajności. Maksymalnej sprawności uzyskanej przez poszczególne modele odpowiada minimum emitowanego hałasu. W luźniejszej obudowie przepływ jest dość równomierny, a występowanie przypadkowych impulsów oddziałujących na jego charakter mniejsze. Dla niewielkich wartości liczby wydajności φ dominuje dźwięk emitowany ze stałych części wentylatora, podczas gdy hałas – będący wynikiem przepływu płynu przez kanały wirujące – przeważa dla wysokich φ . W wyniku wzajemnego oddziaływania obu źródeł w pobliżu otrzymuje się minimum dźwięku [4].

Zmiana kształtu zarysu obudowy spiralnej wpływa również w znacznym stopniu na wartość poziomu mocy akustycznej w częstotliwości przejścia łopatki. Ilustrują to krzywe na rysunku 3. Najniższy poziom ciśnienia akustycznego pierwszej harmonicznej dla $\varphi = \varphi_{opt}$ uzyskał wirnik 3 w obudowie (c). W pozostałych obudowach poziom mocy akustycznej pierwszej harmonicznej w funkcji częstotliwości zmienia się w sposób nieuporządkowany.

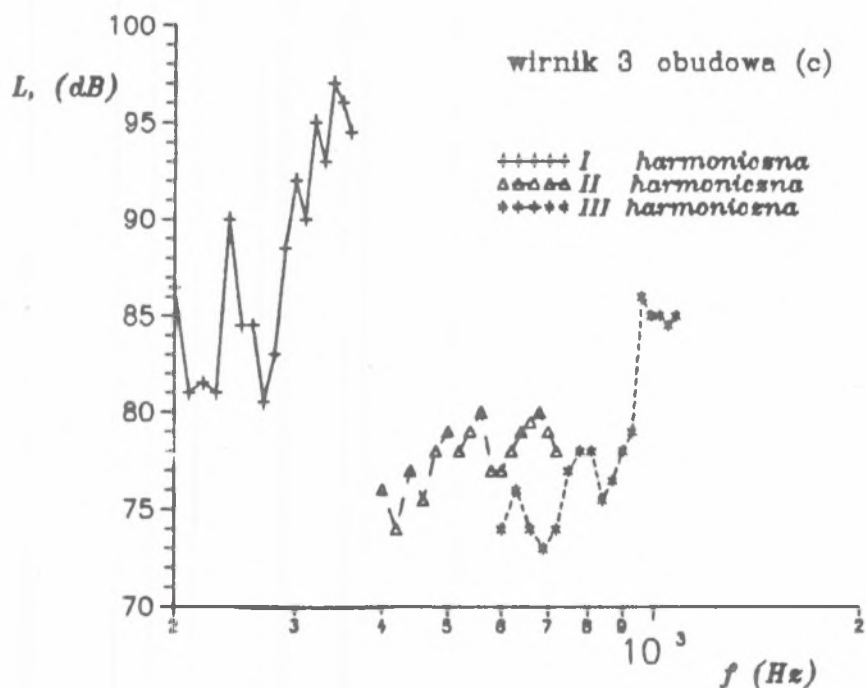
Wynika stąd, że na poziom mocy w częstotliwości przejścia łopatki zarys obudowy spiralnej nie ma wyraźnego wpływu.

Wartości tego poziomu dla różnych kształtów zarysu spirali odzwierciedla występowanie rezonansu obudowy. Charakterystyka częstotliwościowa podstawowego tonu łopatki ($H = 1$) pokazuje w prawie regularnych przedziałach występowanie maksymalnego rezonansu obudowy, czemu na krzywej odpowiadają maksima poziomu ciśnienia akustycznego, z równocześnie występującymi bardziej lub mniej silnymi minimami, których przebieg zależy od kształtu łopatki wirnika i od obudowy. Zwraca uwagę silnie tłumiący wpływ obudowy na charakterystykę częstotliwościową występującą w punkcie minimalnego hałasu. Ponadto z diagramów na rys. 4 wynika, że pomiędzy charakterystykami częstotliwości pierwszej, drugiej i następnych harmonicznych nie występuje najmniejsza identyczność. Nasuwa się przypuszczenie, że przyczyną należy szukać w kształcie kanałów międzyłopatkowych, które w powiązaniu z języczkiem i obudową wielostronnie wpływają na własności rezonansowe obudowy. Silne występowanie efektu rezonansu obudowy ma miejsce w całym zakresie wydajności wentylatora i znacznie różni się od obrotami. Na rysunku 4 pokazano charakterystyki częstotliwościowe pierwszej harmonicznej otrzymane dla wirnika 3 badanego w obudowie (c). Wyznaczony wykładnik liczby Macha wynosi $\beta = 2,4$. Jego wartość w zależności od rodzaju obudowy waha się od 2,4 do 2,7, czyli mieści się w granicach ustalonych na



Rys. 3. Poziom mocy akustycznej pierwszej harmonicznej w funkcji częstotliwości

Fig. 3. Acoustics power level of first harmonic in function of frequency



Rys. 4. Przebieg pierwszej, drugiej i trzeciej harmonicznej

Fig. 4. First, second and third harmonic

drodze rozważań teoretycznych, tzn. że może zmieniać się z drugą potęgą (źródło monopolowe) aż do trzeciej (źródło dipolowe) liczby Macha.

Oddziaływanie obudowy jako źródła dodatkowych impulsów akustycznych w wentylatorze promieniowym oraz zjawisko występowania rezonansu obudowy można wytłumaczyć występowaniem wtórnych przepływów w obudowie. Obszary wtórnego przepływu w pobliżu bocznych ścian obudowy, zmiany ciśnień i prędkości są w omawianym przypadku źródłami generowania impulsów akustycznych. Z kolei własności tłumiące obudowy można tłumaczyć jako wynik częściowej kompensacji ciśnień akustycznych fali promieniowanej przez wypływ z wirnika z falą odbitą od ścian obudowy. Jak wynika z przedstawionych badań, różnorodność impulsów mających wpływ na poziom mocy akustycznej emitowanej przez wentylator nie pozwala w sposób jednoznaczny wskazać na dominujący wpływ jednego z nich. Dlatego wyniki uzyskane w dalszych badaniach będą stanowić podstawę do jakościowego ujęcia zjawiska.

WNIOSKI KOŃCOWE

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zgodnie z krzywymi przedstawionymi na rysunku 2 kształt zarysu obudowy spiralnej w niewielkim stopniu wpływa na wartość poziomu mocy akustycznej generowanej przez wentylator. Wybór kształtu obudowy spiralnej wg kwadratu konstruktorskiego prawie zawsze gwarantuje oprócz maksymalnej sprawności minimum hałasu.

Nieznaczne odstępstwa od optymalnych wymiarów obudowy wynikłych z obliczeń nie powodują wzrostu poziomu ciśnienia akustycznego wentylatora.

Zarys obudowy nie wpływa na poziom mocy akustycznej generowanej przez wentylator dla $\varphi/\varphi_n > 1$. Natomiast rezonansowe własności obudowy spiralnej wentylatora promieniowego można wykorzystać do obniżenia poziomu ciśnienia akustycznego w częstotliwości przejścia łopatki.

LITERATURA

- [1] Wszelaczyński A.: Modele wysokosprawnych wentylatorów promieniowych, Przegląd Mechaniczny, 1968, 151.
- [2] Prync-Skotniczny K.: Wpływ wybranych parametrów konstrukcyjnych promieniowego wentylatora na widmo emitowanej przezeń mocy akustycznej, Praca doktorska AGH, Kraków 1981.
- [3] Gniewek-Grzybczyk B.: Badanie hałasu powstającego na skutek niejednorodności strumienia w wentylatorach promieniowych, Zesz. Nauk. AGH, 1981, 136.
- [4] Bommers L.: Lärminderung bei einem Radialventilator kleiner Schnelläufigkeit unter besonderer Berücksichtigung von Zungenform, Zungenabstand und Schaufelzahl, HLH, 1980, 31, 5, 173–179 Teil 1, 31, 6, 210–218 – Teil 2.

Abstract

The paper presents the influence of the radial fan casing profile on the level of acoustic power generated by the fan.

The influence of the casing as a source of additional acoustic impulses in the radial fan and the phenomenon of the casing resonance may be explained as results of secondary flows in the casing. The secondary flow surfaces by the casing side walls and the changes of pressure and velocity generate acoustic impulses. The damping properties of the casing may be explained as a result of the partial compensation of the acoustic wave radiated by the outflow from the impeller by the wave returning from the side of the casing. The results of tests carried out on the casing profile show that, in accordance with curves illustrated in figure 2, the spiral casing profile has little influence on the level of acoustic power generated by the fan. The choice of the spiral casing profile by means of a construction square secures the achievement of maximal efficiency and minimal noise. Slight changes of the casing select dimensions which are results of calculations do not influence the level of the fan acoustic power. Also, for $\varphi/\varphi_n > 1$ the casing profile has no influence on the acoustic power.