ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1993
Seria: ENERGETYKA z. 118 Nr kol. 1221

Stanisław FORTUNA
Zakład Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Akademia Górniczo–Hutnicza, Kraków

Witold OLEJARCZYK
Olkuska Fabryka Wentylatorów „Owent", Olkusz

HAŁAŚLIWOŚĆ WŁAŚCIWA WENTYLATORA WYSOKOCIŚNIENIOWEGO Z KIEROWNICĄ WLOTOWĄ

Streszczenie. W artykule przedstawiono wartości hałaśliwości właściwej wentylatora wysokociśnieniowego w punktach optymalnej pracy o zróżnicowanym kręcie gazu napływającego do wieńca łopatkowego. Zmienny kręt realizowano za pomocą osiowego aparatu kierowniczego. Aparat kierowniczy obok języczka obudowy spiralnej w istotny sposób wpływa na głośność wentylatora. Hałaśliwość właściwa L w punkcie optymalnym zależy od stopnia zawirowania strugi i wynosi 43 dB dla zerowego kąta łopatek kierownicy do 55 dB dla kąta 70 stopni. W otoczeniu punktu optymalnego poszczególnych krzywych zawirowania hałaśliwość nieznacznie się zmienia. W przedziale pracy wyrażonym stosunkiem V/V równym 0,7 do 1,3 przyrost L wynosi od 1 do 3 dB. Hałaśliwość właściwa wyznaczona w badaniach własnych jest zmienna i osiąga wartości niższe od wartości stałej zaproponowanej przez Beranka.

SPECIFIC NOISINESS OF A HIGH PRESSURE FAN BY CONTROLLING THE SWIRL AT THE INLET

Summary. The paper presents the values of the specific noisiness of high pressure fans in the points of optimum operation at variable gas spin reaching the blade rim. The variable spin was obtained with the use of axial guide vanes. The guide vanes, together with the cut – off of the spiral casing, significantly influences the noisiness of the fan. The specific noisiness L in the optimum point depends on the degree of the stream spin and equals from 43 dB for a zero angle of the guide vanes to 55 dB for the angle of 70 degrees. The noisiness varies insignificantly around the optimum point of a particular spin curve. Within the range of operation expressed by the ratio V/V equaling 0,7 to 1,3 increase L_N ranges between 1 to 3 dB.

DER EIGENLÄRM EINES HOCHDRUCKVENTILATORS MIT EINTRITTSLEITRAD

Zusammenfassung. Es wurden die Werte des Eigenlärms des Hochdruckventilators in den Punkten optimaler Arbeit mit veränderlichem Drall am Schaufelradeintritt dargestellt. Die Veränderlichkeit des Dralls wurde mit Hilfe eines axialen Leitradapparat realisiert. Der Leitapparat zusammen mit der Zunge des Spiralgehäuse hat einen bedeutenden Einfluß auf den Ventilatorlärm. Der Eigenlärm L im optimalen Arbeitspunkt hängt von dem Wirbelgrad der Strömung ab und beträgt von 43 bis 55 dB. Im Arbeitsbereich V/V 0,7 bis 1,3 der Anstieg von L von 1 bis 3 dB ist. Der gemessene Eigenlärm ist veränderlich und kleiner als die konstante Werte von Beranek.

1. WPROWADZENIE

Zagadnienia akustyczne kierownic wlotowych są mało rozpoznane. Wlotowy aparat kierowniczy steruje kątem napływu strug na wieniec wirnika, a przez to pozwala regulować osiągi wentylatora. Na skutek przecinania strug gazu napływającego do wirnika przez jego łopatki wytwarza się duży hałas zwany hałasem wirowania w odróżnieniu od hałasu mechanicznego i turbulencyjnego. Hałas ten zależy od kątów ustawienia łopatek kierownicy. Istniejące w literaturze wzory do obliczania poziomu mocy akustycznej wypromieniowanej przez wlot lub wylot wentylatora nie pozwalają przewidywać hałasu wentylatora pracującego z kierownicą. Znany i sprawdzony wzór Beranka określa poziom mocy akustycznej wypromieniowanej w optymalnym punkcie pracy dla strug niezawirowanych, przy czym istnieją rozbieżności poglądów co do tego, jakie wartości hałaśliwości właściwej przyjmować w tym wzorze. Jedni uważają, że hałaśliwość właściwa w punkcie optymalnym jest stała dla różnego typu wentylatorów. Beranek proponuje przyjmować zawsze jedną wartość $\bar{L}_N$ równą 57±4 dB. Inni sądzą, że zależy ona od wskaźnika szybkobieżności, czyli od rodzaju schematu aerodynamicznego wirnika. Takiego zdania jest między innymi Bommes.

Prawdziwy dylemat pojawia się, gdy zachodzi potrzeba określenia mocy akustycznej wentylatora współpracującej z kierownicą wlotową przy zmieniających się zawirowaniach. W literaturze nie spotyka się żadnych danych dotyczących tego problemu, a ma on istotne znaczenie szczególnie w jednostkach dużych, gdzie kierownica jest często jedyną metodą regulacji parametrów wentylatora, jak i całego systemu technologicznego. Hałaśliwość wenty-

latorów bardzo wyraźnie wzrasta wraz ze wzrostem krętu, zwłaszcza w wentylatorach wysoko obciążonych mocą.

W katalogach fabrycznych nie podaje się danych akustycznych dotyczących kierownic, przez co dobór tłumików i projekty dotyczące izolowania systemu mogą być błędne, gdy przyjmie się dane akustyczne dla wentylatora bez kierownicy. Doświadczenia wskazują na wzrost hałasu wraz z zawirowaniem nawet do 10 dB. Pominięcie więc takiego faktu nie jest dopuszczalne.

Celem artykułu jest wyznaczenie wartości hałaśliwości właściwej ze wzoru Beranka na podstawie eksperymentalnych danych akustycznych wentylatora wysokociśnieniowego (σ = 0,13) uzyskanych dla obszernego zakresu krętów. Opracowanie wykresu wartości hałaśliwości właściwej w funkcji kąta ustawienia łopatek aparatu kierowniczego albo wskaźnika szybkobieżności będzie pewnym uogólnieniem pozwalającym obliczać moc akustyczną (właśnie ze wzoru Beranka) innego, lecz również wysokociśnieniowego wentylatora pracującego z kierownicą.

2. METODA OKREŚLANIA MOCY WYPROMIENIOWANEJ PRZEZ WENTYLATORY PROMIENIOWE

Panuje pogląd, że wzór Beranka o postaci:

$$L_N = \bar{L}_N + 101g\dot{V} + 201g\ 0{,}102 \cdot \Delta P_c \tag{1}$$

gdzie: $\bar{L}_N$ = 57±4 dB,
$\dot{V}$ – wydajność [m^3/s],
ΔP_c – spiętrzenie [Pa],

dobrze opisuje zależność mocy akustycznej od wydajności i spiętrzenia wentylatora w punkcie optymalnym. Dyskusyjny jest jednak sposób doboru $\bar{L}_N$. Prawidłowość doboru $\bar{L}_N$ decyduje o przydatności wzoru (1) do praktycznego zastosowania.

Bommes, jak wspomniano wcześniej, uzależnia hałaśliwość właściwą od wskaźnika szybkobieżności. Wykazał tym samym, że zależy ona od typu wentylatora, wbrew temu, co sądzono wówczas, kiedy powstawały wzory Beranka czy Judina. Obecnie hałaśliwość właściwą traktuje się jako funkcję wielu zmiennych. Kręt na wlocie jest jedną z nich. Badania tych funkcji są dość skomplikowane, dlatego hałaśliwość właściwą jako stały człon we wzorze będącym sumą funkcji logarytmicznej wydajności i spiętrzenia uzależniono od

stopnia zawirowania strug na wlocie wyrażonego kątem α lub wskaźnikiem szybkobieżności σ. Pozwala to udokładnić dobór hałaśliwości właściwej dla innych wysokociśnieniowych wentylatorów.

W artykule przeprowadzono rozpoznanie, czy L_N jest funkcją zawirowania strugi na wlocie i stanu dławienia dla różnych zawirowań.

3. OMÓWIENIE BADAŃ, ICH WYNIKÓW ORAZ WNIOSKI

Wentylator wysokociśnieniowy badano przepływowo i akustycznie na stanowisku ssawnym z wolnym wylotem. Osiowa kierownica siedmiołopatkowa usytuowana była na wlocie blisko wirnika. Za jej pomocą zadawano rozmaite wartości krętu zgodnego z obrotami wirnika. Każdorazową wartość krętu opisano wartością kątów ustawienia łopatek w aparacie kierowniczym, które wynosiły 0, 20, 30, 40, 50, 60, 70 stopni. Dalsze wartości kątów nie mają praktycznego zastosowania. Wyniki badań przepływowych zamieszczono na rysunku 1, gdzie wykreślono charakterystyki spiętrzenia, sprawności oraz mocy napędowej dla umownych warunków termodynamicznych przy stałych obrotach wynoszących 2960 obr./minutę.

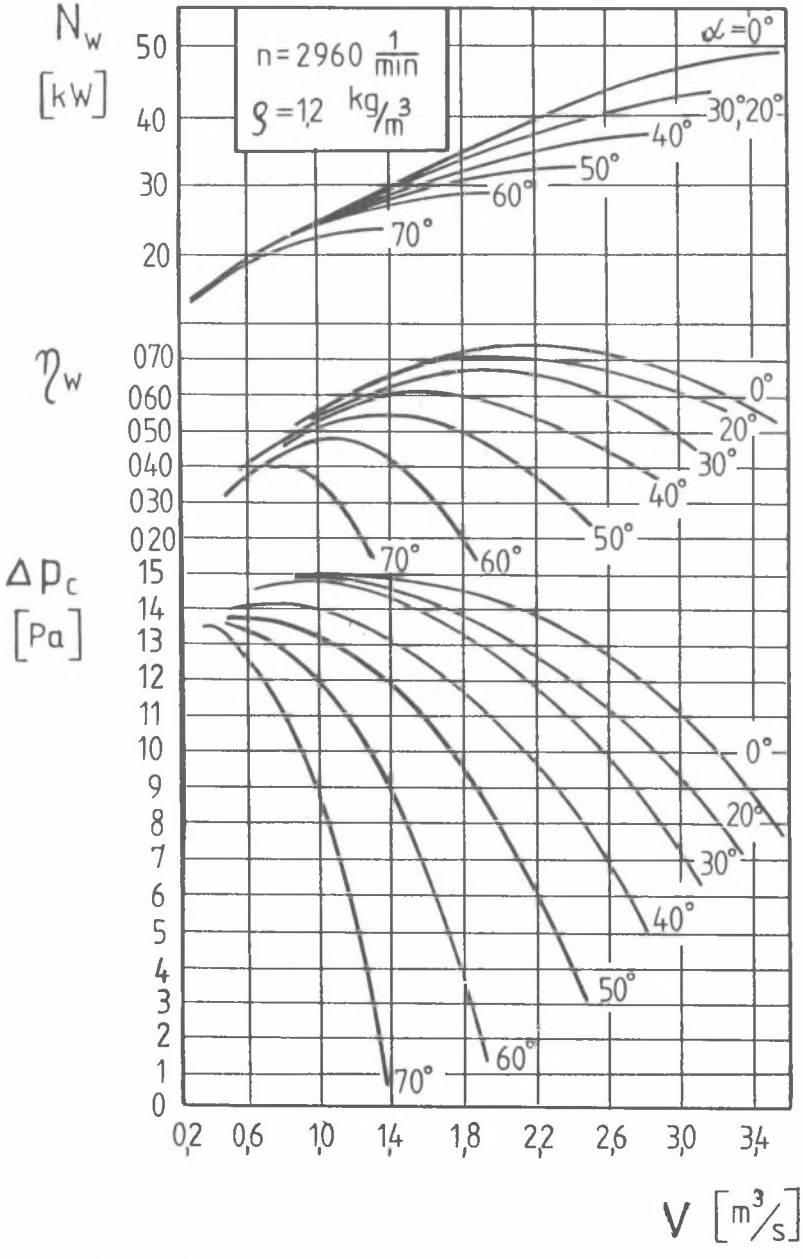
Badania akustyczne polegały na wyznaczeniu poziomu ciśnienia akustycznego L i poziomu dźwięku L_A od wydajności oraz widma w pobliżu punktu optymalnego zgodnie z odpowiednimi normami [3].

Wyniki akustyczne dla wybranych kątów ustawienia łopatek kierowniczych przedstawiono na rysunkach 2 i 3. Parametry przepływowo–akustyczne w punktach optymalnych dla wszystkich stanów zawirowania strugi podano w tabeli 1.

Tabela 1

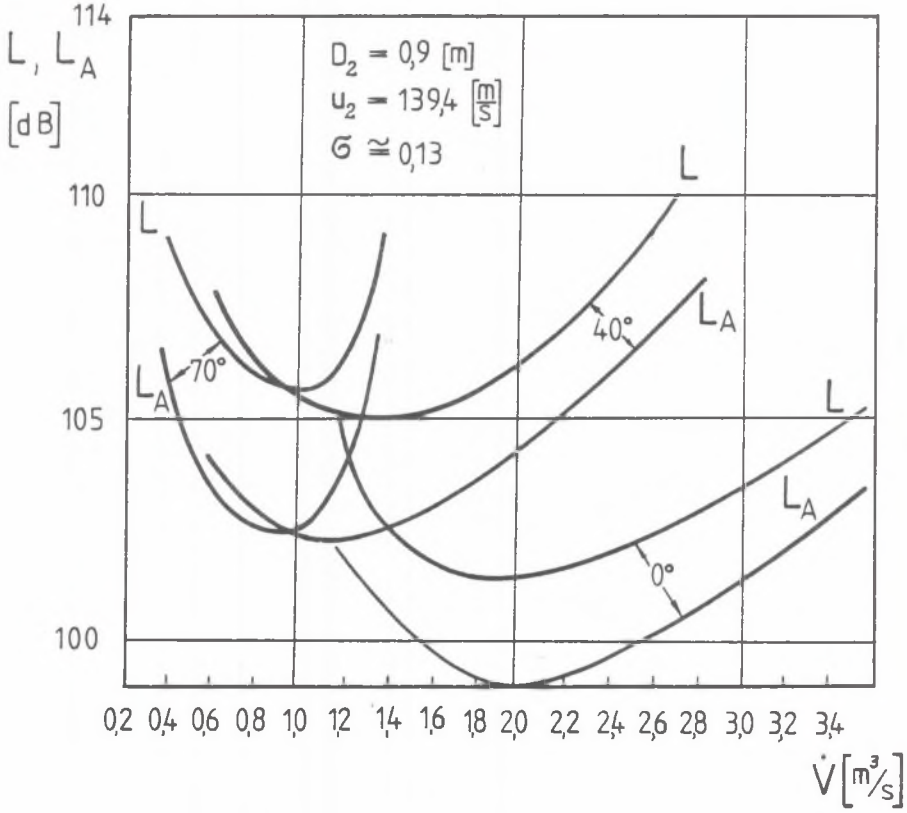
Zestawienie optymalnych parametrów przepływowych wentylatora wysokociśnieniowego dla różnych wartości krętu na wlocie

Lp.	Wydajność m^3/s	Spiętrzenie Pa	Sprawność %	Kąt łopatek °
1	2,2	13800	74,5	0
2	2,0	13255	71,5	20
3	1,9	12950	68,0	30
4	1,57	12280	62,0	40
5	1,34	12000	54,0	50
6	1,09	11331	48,0	60
7	0,8	10818	39,0	70



Rys. 1. Charakterystyka przepływowa wysokociśnieniowego wentylatora dla kilku stanów zawirowania strugi

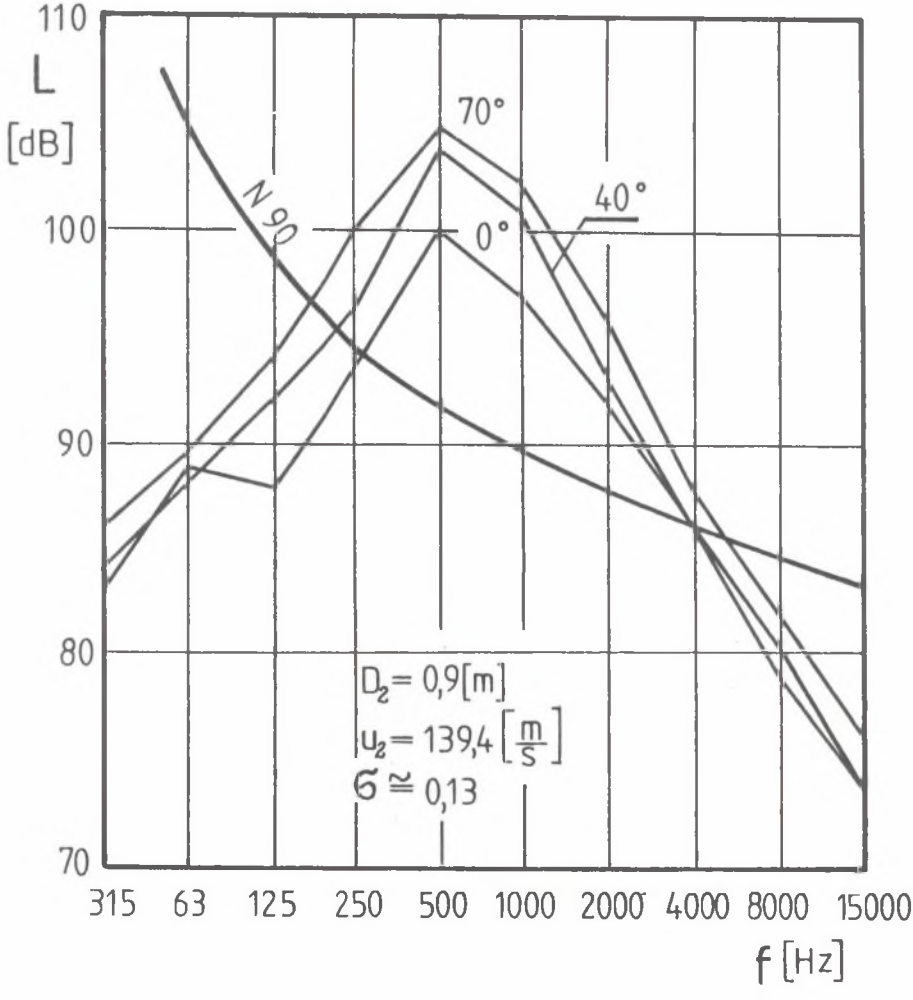
Fig. 1. Flow characteristic for high pressure fan for different stream swirl states



Rys. 2. Poziom ciśnienia akustycznego i dźwięku dla wybranych stanów zawirowania zmierzone w pobliżu punktu optymalnego

Fig. 2. Acoustic pressure and sound level for some inlet stream swirl curves

Minimum poziomu ciśnienia i poziomu dźwięku wypada bardzo blisko punktów optymalnych. Maksymalny poziom ciśnienia w widmie akustycznym zmierzono w sąsiedztwie częstotliwości łopatkowej (693 Hz) niezależnie od stopnia zawirowania gazu, co jest w pełni uzasadnione stałą prędkością obro-



Rys. 3. Widmo akustyczne dla wybranych stanów zawirowania zmierzone w pobliżu punktu optymalnego

Fig. 3. Acoustic spectrum for some swirl states near optimum point

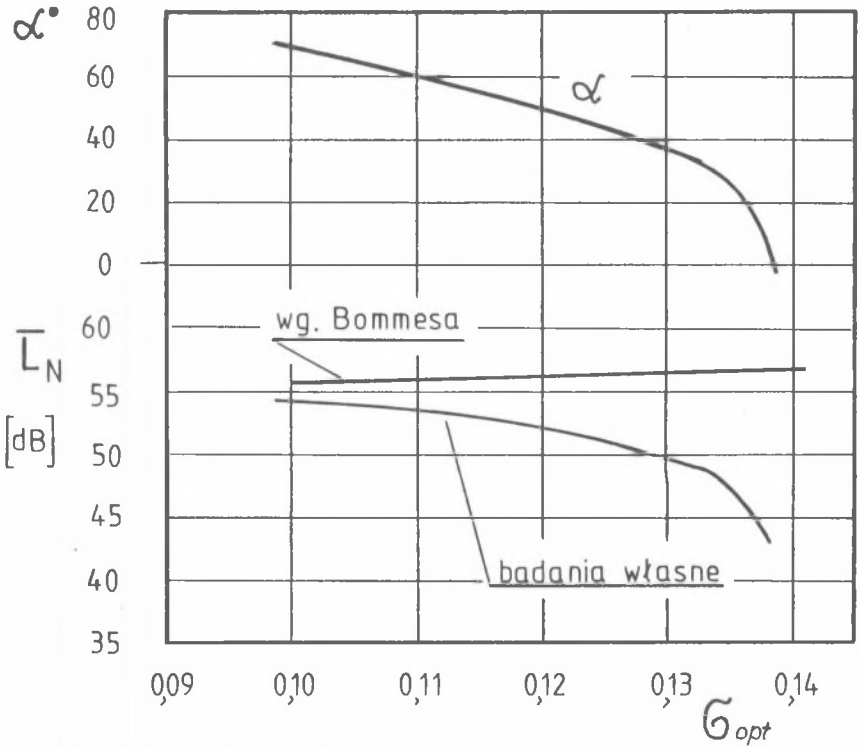
tową wirnika dla wszystkich stanów zawirowania gazu. Od wielkości zawirowania strugi zależy wartość poziomu ciśnienia akustycznego, wzrastając wraz ze zwiększeniem krętu.

Wyniki przedstawione na omówionych wykresach były wykorzystane do obliczeń hałaśliwości właściwej ze wzoru (1). Poziom mocy potrzebny do wzoru (1) obliczano ze wzoru:

$$L_N = L_{śr} + 20 \lg r_p + 8 \tag{2}$$

gdzie: $L_{śr}$ – średnia wartość zmierzonego ciśnienia akustycznego,
r_p – długość promienia usytuowania mikrofonu,
8 – stała odpowiadająca pomiarowi w przestrzeni półkulistej.

Tą metodą można określić zależność hałaśliwości właściwej od wskaźnika szybkobieżności obliczonego dla parametrów optymalnych zestawionych w tabelce 1. Zależność tę wykreślono na rysunku 4. Podano też graficzną zależ-

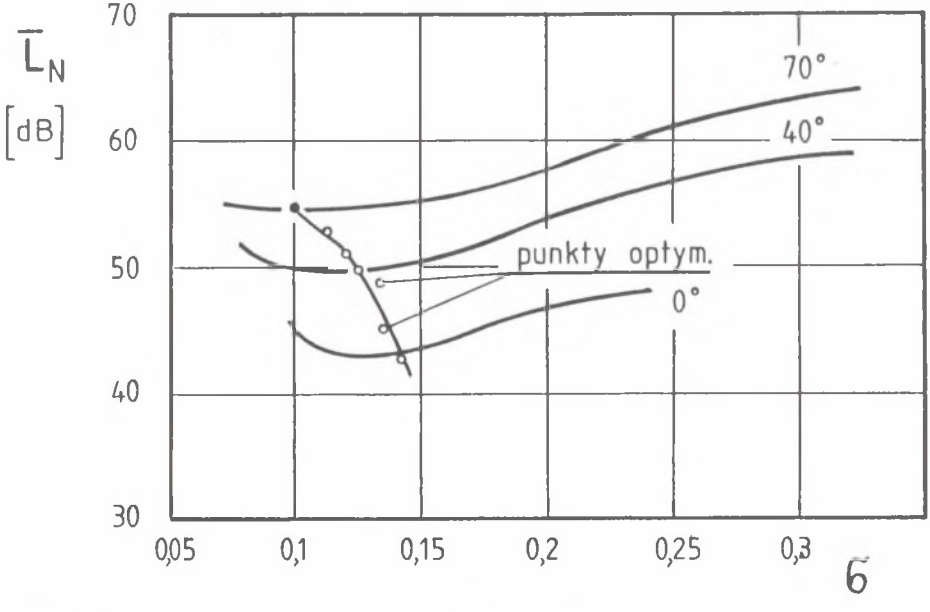


Rys. 4. Zależności hałaśliwości właściwej od kątów ustawienia łopatek kierownicy i odpowiadających im wartości wskaźników szybkobieżności obliczonych w punkcie optymalnym

Fig. 4. Relationships between noisiness and angles of stator blades

ność kąta ustawienia łopatek α od wskaźnika szybkobieżności σ_{opt} oraz zależność Bommesa.

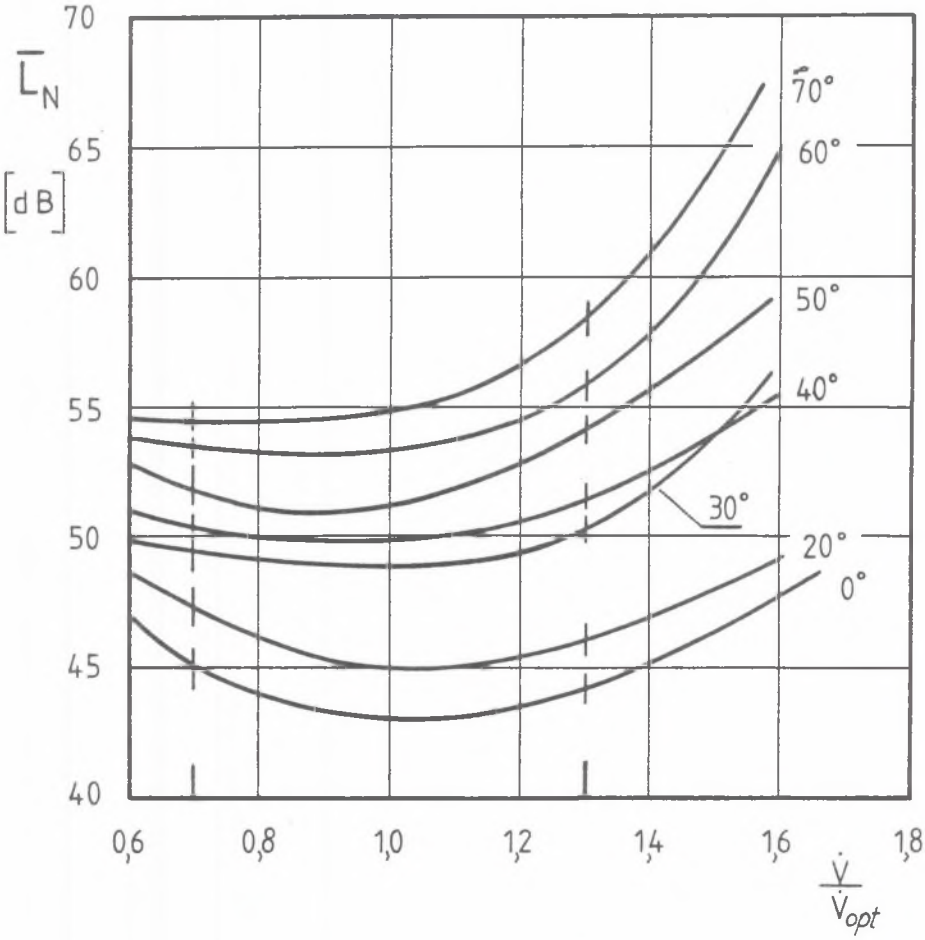
Krzywa α kojarzy wartości wskaźnika szybkobieżności z wartościami kątów łopatek kierownicy. Stanowi ona funkcję w całym przedziale kątów 0 ÷ 70°. Otrzymane na rysunku 4 uogólnienie pozwala dobierać wartości $\bar{L}_N$ dla optymalnego punktu pracy przy różnych zawirowaniach strugi w wentylatorach wysokociśnieniowych. Wskaźnik szybkobieżności, oprócz roli wskaźnika kształtu jest również wskaźnikiem stanu zawirowania. Obydwie te role wskaźnika szybkobieżności wymagają dalszych badań i wyjaśnienia wzajemnych relacji. Pierwszą tego próbą jest wykres na rysunku 5, gdzie pokazano łącznie hałaśliwość dla optymalnych wskaźników szybkobieżności oraz dla wskaźników odpowiadających punktom krzywej spiętrzenia. Podstawowym wnioskiem wynikającym z tego wykresu jest stwierdzenie, że w sąsiedztwie punktów optymalnych poszczególnych krzywych zawirowania hałaśliwość zmienia się nieznacznie i zależy od stanu zawiro-



Rys. 5. Hałaśliwość właściwa w funkcji wskaźników szybkobieżności określonych w punktach optymalnych i jego sąsiedztwie

Fig. 5. Noisiness in function of high– speed index in optimum points

wania. Na lewo i prawo od punktów optymalnych leżących na odciętej $\dot{V}/\dot{V}_{opt} = 1$ wykresu na rysunku 6 hałaśliwość przyrasta dla wszystkich przedstawionych tu zawirowań. Z przebiegu krzywych widoczna jest pewna symetria zmian hałaśliwości. Potwierdza się znane wcześniej spostrzeżenie, że przy zmianie wydajności o 30 % od wydajności optymalnej hałaśliwość wzrasta nie więcej niż o dwa dB. Należy je zastrzec tylko do małych kątów zawirowania. Natomiast ze wzrostem kątów ustawienia łopatek



Rys. 6. Hałaśliwość właściwa w sąsiedztwie punktu optymalnego dla różnych wartości krętu na wlocie do wirnika

Fig. 6. Noisiness near optimum point for different spin values on rotor's inlet

ponad 30 stopni zmniejszenie wydajności poniżej optymalnej bardzo nieznacznie podwyższa wartości $\overline{L}_N$, jak to łatwo dostrzec na krzywych 60 i 70 stopni.

Z przeprowadzonych obliczeń i przedstawionych wykresów można stwierdzić następujące prawidłowości:

- Hałaśliwość właściwa zależy od stanu zawirowania strug gazu na wlocie zarówno dla punktów optymalnych, jak też punktów pracy leżących w innych miejscach krzywych spiętrzenia. Dla kątów większych od 30 stopni będzie można przyjąć, że przyrost o 10 stopni powoduje wzrost $\overline{L}_N$ o 1 dB.
- Hałaśliwość właściwą można będzie uważać za stałą w sąsiedztwie punktu optymalnego, gdyż w badaniach własnych stwierdzono, że w przedziale 0,7 ÷ 1,3 $\dot{V}_{opt}$ różnica hałaśliwości wynosi co najwyżej 2 do 3 dB. W zawężonym przedziale wydajności różnice są mniejsze, a więc możliwe do pominięcia.
- Należy uznać, że hałaśliwość właściwa nie jest wielkością stałą, lecz funkcją wielu parametrów geometrycznych i krętu u wlotu. Uwzględnienie wpływu pojedynczych parametrów nie ma praktycznego sensu. Dlatego należy poszukiwać funkcji pomiędzy hałaśliwością a wskaźnikami pracy takimi jak szybkobieżności bądź wielkością zawirowania. Tylko w indywidualnych przypadkach hałaśliwość można uznać za stałą.
- Teoretyczne badania zjawisk akustycznych w wentylatorach powinny iść w kierunku połączenia z eksperymentem w celu poszukiwania związków pomiędzy hałaśliwością a wskaźnikami pracy wentylatora. Będzie można wówczas wykorzystać wzory o postaci wzoru Beranka. Takie podejście zapewni dostatecznie dobre opanowanie problemów akustyki wentylatorów na użytek eksploatacyjny.

LITERATURA

[1] Puzyna Cz.: Zwalczanie hałasu w przemyśle, Warszawa, WNT 1974.
[2] Żyszkowski Z.: Miernictwo akustyczne, Warszawa, WNT 1987.
[3] Polska norma : PN–72/M–43120. Wentylatory. Metody pomiaru hałasu.
[4] Eck B.: Ventilatoren, Springer Verlag, 1972.
[5] Fortuna S.: Wykonanie badań przepływowych i akustycznych wentylatora WPFO–28.... Praca nie publikowana 1993.
[6] Katalog, Wentylatory przemysłowe. Fabryka Wentylatorów „Fawent" 1971.
[7] Kuczewski S.: Wentylatory. WNT, Warszawa 1978.
[8] Engel Z., Panuszka R.: Podstawy akustyki, Wyd. AGH, Kraków 1989.

Abstract

The paper presents values of the specyfic noisiness of high–pressure fans at the points of their optimum operation with variable spin of gas reaching the blade rim. The variable spin was obtained by the use of axial guide vanes. The guide vanes, together with the spiral casing cut off both influence the noisiness of a fan. The specific noisiness L at the optimum point depends on the degree of the stream spin and equals from 43 dB for a zero angle of the guide vanes to 55 dB for the angle of 70 degrees. The noisiness varies insignificantly around the optimum point of a particular curve. Within the operation range expressed by ratio V/V equaling 0,7 to 1,3 increase LN ranges between 1 to 3 dB. The determined specific noisiness is variable and its value is lower than the constant value proposed by Berank. The specific noisiness should not be regarded as constant quantity but as a function of various geometrical parameters and flow conditions of the impeller, so, practically the influence of same single parameters only should not be taken into account. It would be more reasonable to look for a dependence between the noisiness and some fan characteristics such as the high–speed quantity or the swirl quantity. In some particular cases only, the noisiness may be regarded as constant.