

Jan RADWAŃSKI
Eugeniusz PRYSOK
Andrzej WAJSPRYCH

PRZYBLIŻONA METODA OBLICZANIA CHARAKTERYSTYK AKUSTYCZNYCH
WENTYLATORÓW PROMIENIOWYCH TYPU WPWD^{x)}

Streszczenie. W pracy podano metodę obliczania charakterystyk akustycznych promieniowych wentylatorów dwustrumieniowych na podstawie znajomości: parametrów termodynamicznych, prędkości obrotowej oraz średnicy zewnętrznej wirnika. Praca może być wykorzystana przy projektowaniu powyższych wentylatorów oraz służyć do określenia ich poziomu ciśnienia akustycznego w nowo projektowanych instalacjach.

Spis oznaczeń:

- L_p - poziom mocy akustycznej [dB],
- L_p - wielkość stała dla danego typu wentylatora - "hałasliwość właściwa",
- L_f - poziom ciśnienia akustycznego dla wybranego pasma częstotliwości,
- \dot{V} - wydajność wentylatora [m^3/s],
- \dot{V}_0 - wydajność odniesienia, $\dot{V}_0 = 1 m^3/s$,
- Δp_c - spiętrzenie całkowite wentylatora [N/m^2],
- Δp_{c0} - spiętrzenie odniesienia; $\Delta p_{c0} = 1 N/m^2$,
- $\Delta^* p_c$ - spiętrzenie całkowite wentylatora [kg/m^2],
- $\Delta^* p_{c0}$ - spiętrzenie odniesienia; $\Delta^* p_{c0} = 1 kg/m^2$,
- L - poziom ciśnienia akustycznego [dB],
- \bar{L} - "hałasliwość właściwa" odniesienia do poziomu ciśnienia akustycznego,
- $\Delta L_{f_{sr}}$ - poprawka korekcyjna,
- f - wybrane częstotliwości [Hz],
- u - prędkość obwodowa wirnika [m/s],
- d - średnica zewnętrzna wirnika wentylatora [m],

^{x)} Badania prowadzono przy współpracy z Zespołem Ciepłych Maszyn Wirnikowych.

n - obroty wentylatora $\left[\frac{1}{s}\right]$,
 z - liczba łopatek wentylatora.

1. Wstęp

Wentylatory promieniowe dwustrumieniowe instalowane są w różnych instalacjach: przemysłowych, technologicznych i odpylających. W związku z tym istnieje potrzeba znajomości ich ciśnienia akustycznego podczas rzeczywistych warunków pracy.

W niniejszej pracy podano metodę wyznaczania częstotliwościowych charakterystyk akustycznych powyższych wentylatorów na podstawie znanych parametrów termodynamicznych, prędkości obrotowej, średnicy zewnętrznej wirnika oraz wyznaczonej stałej "hałaśliwości właściwej" odniesionej do poziomu ciśnienia akustycznego i obliczonych wykresów poprawek korekcyjnych, ujmujących wpływ poszczególnych częstotliwości na poziom ciśnienia akustycznego.

Praca ma na celu uzupełnienie danych zawartych w literaturze przedmiotu [1, 2, 3, 4, 5, 6] a dotyczących wyznaczania charakterystyk akustycznych wentylatorów promieniowych dwustrumieniowych i ich ciśnienia akustycznego.

2. Problem określenia stałej "hałaśliwości właściwej" L i wykresów poprawek korekcyjnych ΔL_{fsr}

Na podstawie empirycznej formuły Beranka można określić poziom mocy akustycznej wentylatora promieniowego na podstawie znajomości jego parametrów termodynamicznych.

$$L_p = \bar{L}_p + 10 \lg \frac{\dot{V}}{\dot{V}_0} + 20 \lg \frac{\Delta^* p_c}{\Delta^* p_{c0}} \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

Dla układu SI wzór Beranka przyjmie postać

$$L_p = \bar{L}_p + 10 \lg \frac{\dot{V}}{\dot{V}_0} + 20 \lg \frac{\Delta p_c}{\Delta p_{c0}} - 19,83 \quad .$$

Ponieważ w praktyce operuje się poziomem ciśnienia akustycznego przy znanej odległości dokonywania pomiarów od urządzenia, dlatego też w pracy obliczono stałą L odniesioną do ciśnienia akustycznego, przy $R_p = \text{const} = 1,0 \text{ m}$.

Formuła Beranka sprowadza się wówczas do postaci

$$L = \bar{L} + 10 \lg \frac{\dot{V}}{\dot{V}_0} + 20 \lg \frac{\Delta P_c}{\Delta P_{c_0}} - 19,83 \text{ [dB]}. \quad (2)$$

Za pomocą (2) wyznaczono stałą \bar{L}

$$\bar{L} = L - 10 \lg \frac{\dot{V}}{\dot{V}_0} - 20 \lg \frac{\Delta P_c}{\Delta P_{c_0}} + 19,83 \text{ [dB]}. \quad (3)$$

Na podstawie wyników badań uzyskano wartości ciśnień akustycznych dla różnych typów wentylatorów promieniowych dwustrumieniowych, a następnie dla każdego z typoszeregów określono średnią wartość "hałaśliwości właściwej".

$$\bar{L}_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} L_i}{n}. \quad (4)$$

Indywidualne charakterystyki akustyczne wentylatorów uzyskane na podstawie wyników badań posłużyły do obliczenia poprawki korekcyjnej ΔL_f , ujmującej wpływ poszczególnych pasm częstotliwości na poziom ciśnienia akustycznego.

$$L = \bar{L}_{sr} + 10 \lg \frac{\dot{V}}{\dot{V}_0} + 20 \lg \frac{\Delta P_c}{\Delta P_{c_0}} - 19,83 \text{ [dB]} \quad (5)$$

$$\Delta L_f = L_f - 10 \lg \frac{\dot{V}}{\dot{V}_0} - 20 \lg \frac{\Delta P_c}{\Delta P_{c_0}} - \bar{L}_{sr} + 19,83 \text{ [dB]} \quad (6)$$

$$\Delta L_f = L_f - L \text{ [dB]} \quad (6a)$$

$$\Delta L_f = f\left(\frac{u}{d}; \frac{f \cdot d}{u}\right).$$

Do obliczenia poprawek korekcyjnych ΔL_f powyższych typów wentylatorów reprezentujących różne typoszeregi dla kolejnych pasm częstotliwości (o częstotliwościach środkowych: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000) sporządzono wykres $\Delta L_f = f\left(\frac{u}{d}; \frac{f \cdot d}{u}\right)$. Uzyskano kilka krzywych, które nastę-

nie uśredniono, dzięki czemu uzyskano uśredniony wykres poprawek korekcyjnych dla wybranego typoszeregu

$$\Delta L_{f_{sr}} = f\left(\frac{u}{d}; \frac{f \cdot d}{u}\right).$$

W ten sposób (6) można zapisać jako

$$L_f = L_{sr} + 10 \lg \frac{\dot{V}}{V_0} + 20 \lg \frac{\Delta P_0}{\Delta v_{c_0}} + \Delta L_{f_{sr}} - 19,83 \text{ [dB]} \quad (7)$$

$\Delta L_{f_{sr}} = 0$ dla całkowitego poziomu ciśnienia akustycznego i wówczas $L_f = L$.

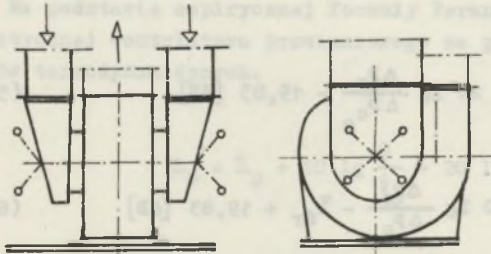
Moc akustyczną wentylatora można obliczyć za pomocą formuły [7]

$$L_p = L + 20 \lg R_p + 11 \text{ [dB]} \quad (8)$$

3. Wyznaczenie wartości ciśnień akustycznych wentylatorów typoszeregu

WFWD-1,8

Podstawę opracowania niniejszej metody stanowiły wyniki badań akustycznych uzyskane podczas pomiarów ruchowych, tzn. w rzeczywistych warunkach pracy za pomocą aparatury firmy Brüel und Kjaer zgodnie z [6, 7]. Punkty



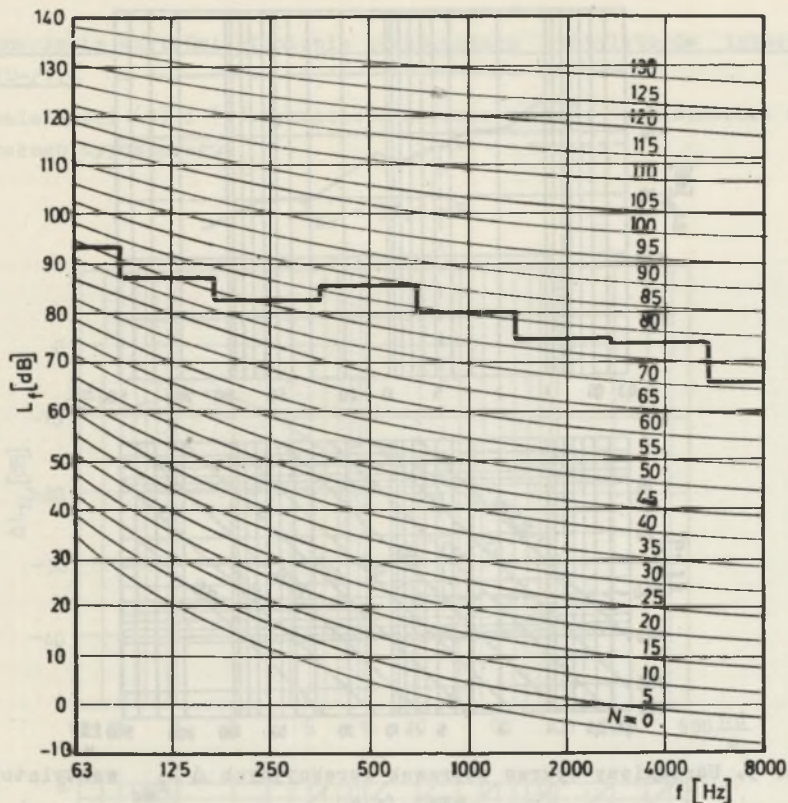
o - miejsca usytuowania mikrofonu

Rys. 1. Schemat pomiarowy

1. Na podstawie pomiarów akustycznych wentylatorów reprezentujących typoszereg WFWD-1,8 obliczone za pomocą (3) i (4) średnią wartość "hałaśliwości właściwej" całego typoszeregu.

$$L_{sr} = 35 \text{ dB}.$$

co przedstawia rys. 3.



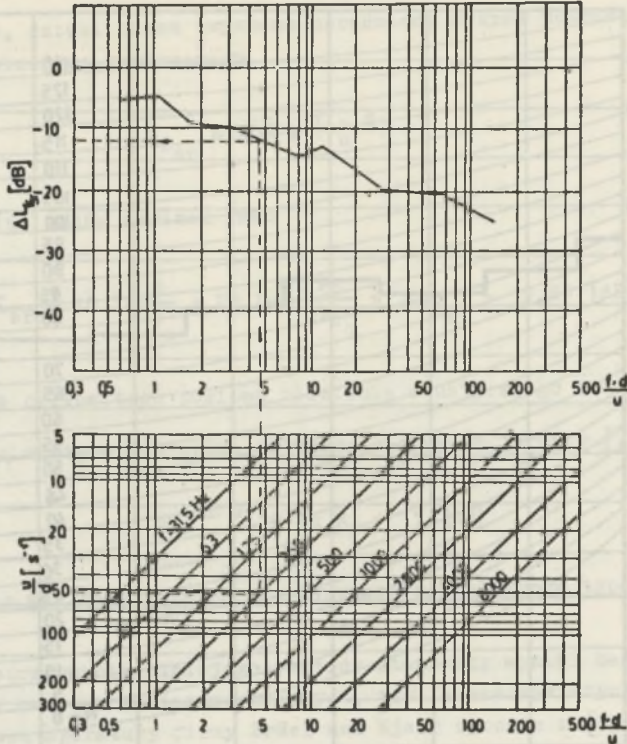
Rys. 2. Indywidualna charakterystyka akustyczna wentylatora WFWD-90/1,8

Wartości poprawek $\Delta L_{f_{\acute{s}r}}$ mają znak ujemny. Formuła określająca wartość ciśnienia akustycznego wentylatorów reprezentujących typoszereg WFWD-/1,8 ma postać:

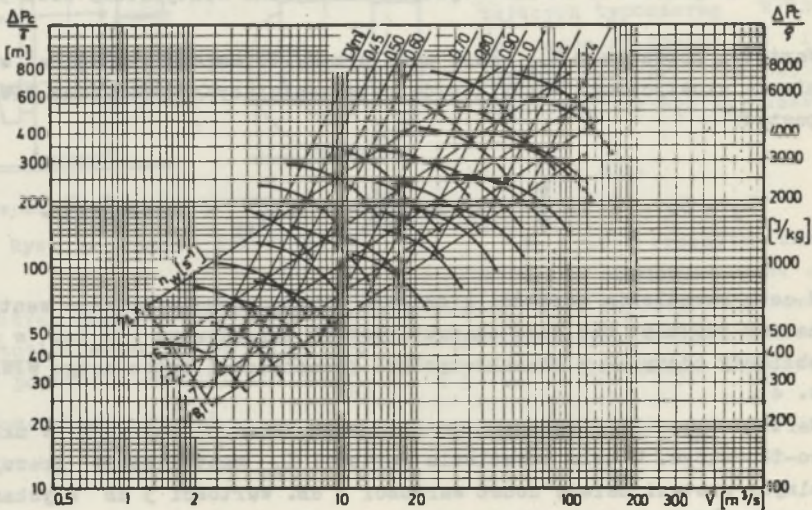
$$L_f = 35 + 10 \lg \frac{\dot{V}}{\dot{V}_0} + 20 \lg \frac{\Delta p_c}{\Delta p_{c0}} + \Delta L_{f_{\acute{s}r}} - 19,83 \text{ [dB]}. \quad (9)$$

W celu określenia wartości ciśnienia akustycznego wybranego wentylatora należy posłużyć się jego charakterystyką przepływową [5] lub w sposób przybliżony odczytać z charakterystyki przepływowej typoszeregu WFWD-/1,8 (rys. 4).

Wartość $L_{\acute{s}r} = 35$ dB odnosi się do wentylatorów pracujących w układzie ssąco-tłoczącym. W celu określenia wartości $L_{\acute{s}r}$ wentylatorów pracujących z wolnymi wlotami należy dodać wartości 3 dB. Wartości 3 dB uzyskano na podstawie badań w warunkach ruchowych.



Rys. 3. Uśredniony wykres poprawek korekcyjnych $\Delta L_{r, sr}$ wentylatorów WPWD-/1,8

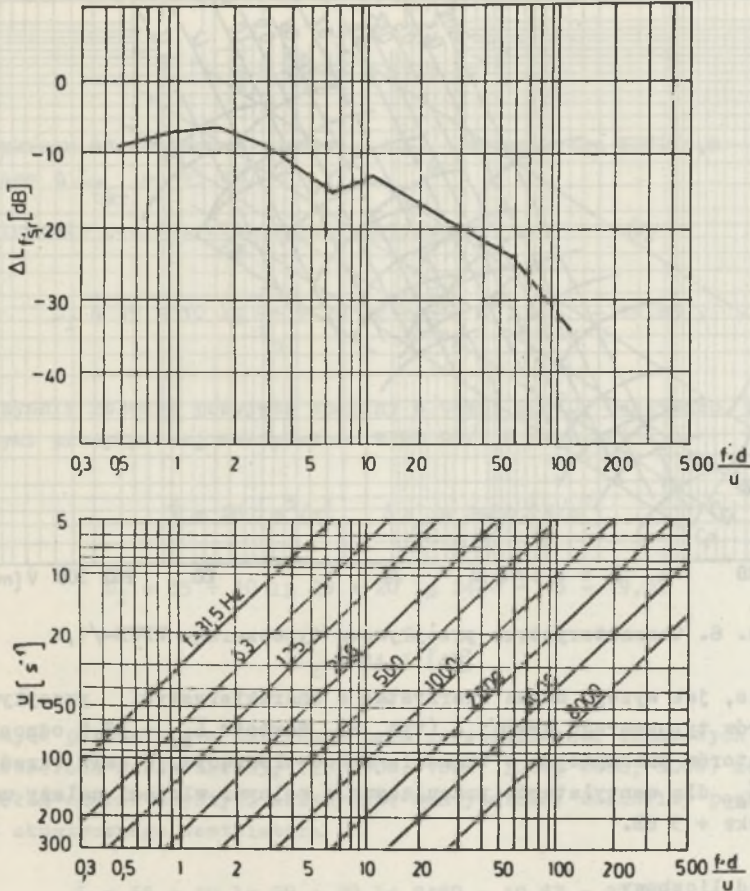


Rys. 4. Charakterystyka przepływowa typoszeregu WPWD-/1,8

4. Wyznaczenie wartości ciśnienia akustycznego wentylatorów typoszeregu WPWD-/1,4

Z zależności (3) i (4) wyznaczono średnią wartość "hałaśliwości właściwej" całego typoszeregu.

$$\bar{L}_{\text{śr}} = 33,5 \text{ dB}$$



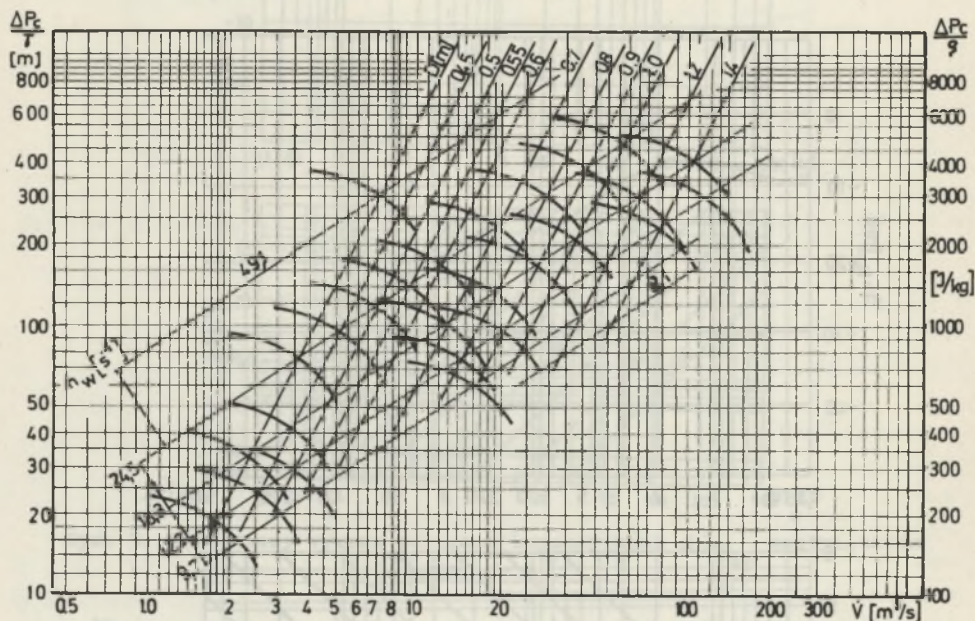
Rys. 5. Uśredniony wykres poprawek korekcyjnych ΔL_f wentylatorów WPWD-/1,4

Za pomocą (6) i analizy indywidualnych częstotliwościowych charakterystyk akustycznych, uzyskano uśredniony wykres poprawek (rys. 5)

$$\Delta L_{f \text{ śr}} = f \left(\frac{u}{d} ; \frac{f \cdot d}{u} \right)$$

Formuła określająca wartości ciśnienia akustycznego wentylatorów reprezentujących typoszereg WPWD-/1,4 ma postać

$$L_f = 33,5 + 10 \lg \frac{\dot{V}}{\dot{V}_0} + 20 \lg \frac{\Delta P_c}{\Delta P_{c_0}} + \Delta L_{f_{\text{sr}}} - 19,83 \text{ [dB]} \quad (10)$$



Rys. 6. Charakterystyka przepływowa typoszeregu WPWD-/1,4

Podobnie, jak wyżej, można skorzystać z charakterystyki przepływowej wentylatorów typoszeregu WPWD/1,4 (rys. 6). Wartość $L_{\text{sr}} = 33,5$ odnosi się do wentylatorów pracujących w układzie ssąco-tłoczącym. W celu określenia wartości L_{sr} dla wentylatorów pracujących z wolnymi wlotami należy uwzględnić poprawkę + 3 dB.

5. Przykład liczbowy

Według powyższej metody przeprowadzono obliczenia ciśnienia akustycznego wentylatora WPWD 90/1,8 pracującego w układzie ssąco-tłoczącym dla:

$$n = 16,33 \text{ [s}^{-1}\text{]},$$

$$f = 250 \text{ [Hz]},$$

a) określenie średnicy zewnętrznej wentylatora d_z

$$d_z = 90 \cdot 1,8 = 162,0 \text{ cm} = 1,62 \text{ [m]},$$

b) obliczenie wartości $\frac{u}{d}$

$$u = \pi \cdot d_z \cdot n = \pi \cdot 1,62 \cdot 16,33 = 83,18 \text{ [m/s]},$$

$$\frac{u}{d} = \frac{83,18}{1,62} = 51,3 \text{ [s}^{-1}\text{]} .$$

Z wykresu uśrednionych poprawek $\Delta L_{f_{\text{śr}}}$ typoszeregu WPWD/1,8 (rys. 4) odczytano $\Delta L_{f_{\text{śr}}} = -13 \text{ dB}$,

c) obliczenie poziomego ciśnienia akustycznego

$$L_f = 35 + 10 \lg \frac{\bar{V}}{V_0} + 20 \lg \frac{\Delta p_c}{\Delta p_{c_0}} + \Delta L_{f_{\text{śr}}} - 19,83 .$$

Jako czynnik roboczy przyjęto spaliny o temp. 200°C . Odczytano z charakterystyki przepływowej wentylatora WPWD 90/1,8 (rys. 5)

$$\bar{V} = 28 \text{ [m}^3\text{/s]} \quad \Delta p_c = 2480 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

$$L_f = 35 + 10 \lg 28 + 20 \lg 2480 - 13 - 19,83$$

$$L_f = 84,5 \text{ [dB]}$$

Postępując podobnie dla kolejnych pasm częstotliwości oktaowych (o częstotliwościach średnich: 63, 125, 500, 1000, 2000, 4000, 8000) można uzyskać pełną charakterystykę akustyczną wentylatora. Całkowity poziom ciśnienia akustycznego wentylatora

$$L = 35 + 10 \lg 28 + 20 \lg 2480 - 19,83 = 97 \text{ dB} .$$

6. Wnioski i uwagi

Jak wynika z porównania charakterystyk akustycznych, uzyskanych bezpośrednio z pomiarów i na drodze obliczeniowej za pomocą przedstawionej metody, dokładność wynosi $\pm 2 \text{ dB}$. Przedstawiona metoda pozwala na ocenę ciśnienia akustycznego lub mocy akustycznej w nowo projektowanych instalacjach na podstawie znajomości parametrów termodynamicznych średnicy wirnika i prędkości obrotowej bez dokonywania pomiarów.

Wyznaczając częstotliwościowe charakterystyki akustyczne za pomocą podanej metody można dokonywać analizy wpływu poszczególnych częstotliwości na poziom ciśnienia akustycznego a także zbadać, jakie dominaty mają największy wpływ na poziom ciśnienia akustycznego.

LITERATURA

- [1] BACK O.: Ventilatoren entwurf und Berechnung, Halle (Salle), 1955.
- [2] ECKERT B.: Sprężarki osiowe i promieniowe, Warszawa, PWT, 1959.
- [3] JUDIN E.Ja.: Borba s szumom, Jzdatielstwo litieratury po stroitielstwu, Moskwa, 1964.
- [4] Kuczewski S.: Wentylatory promieniowe - teoria i podstawy projektowania, WNT, Warszawa, 1966.
- [5] Praca zbiorowa: Katalog - Wentylatory przemysłowe, WKC, Warszawa, 1971.
- [6] PUZYNA Cz.: Zwalczanie hałasu w przemyśle.
- [7] PN-72/M-43120: Wentylatory-metody pomiaru hałasu.
- [8] PN-71/M-01300: Hałas maszyn i urządzeń - metody wyznaczania parametrów akustycznych.

ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА АКУСТИЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ ТИПА ВПВД С ДВУХСТОРОННИМ ВСАСЫВАНИЕМ

Резюме

В работе представлено метод расчёта характеристик акустических центробежных вентиляторов с двухсторонним всасыванием на основе: термодинамических параметров, скорости вращения, а также внешнего диаметра рабочего колеса. Работа может быть использована при проектировании вентиляторов, а также служить для определения уровня звукового давления ново проектируемых установок.

CALCULATION METHOD OF ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF THE CENTRIFUGAL FRANS TYPE WPWD

Summary

This work presents the method of calculating acoustic characteristics of the centrifugal fans basing on given thermodynamic, rotation speed and impeller eye diameter parameters. The results of this paper may be made use of in designing of the above mentioned fans as well as in determining their acoustic pressure level in the newly designed installations.