

Stanisław FORTUNA

Akademia Górniczo - Hutnicza im. St. Staszica
w Krakowie

OCENA WPLYWU PARAMETRÓW GEOMETRYCZNYCH NA SPRAWNOŚĆ
WENTYLATORA PROMIENIOWEGO

Streszczenie. Za pomocą metody regresji krokowej wyznaczono empiryczne zależności sprawności wewnętrznej, liczby ciśnienia i wydajności w funkcji takich parametrów geometrycznych wirnika, których wpływ istotności był na poziomie 0,005. Oceniono jakość dopasowania wzoru do danych empirycznych oraz ustalono kolejność ważności parametrów geometrycznych na zmienne zależne.

1. Omówienie danych empirycznych

Zestaw danych empirycznych uzyskano z własnych badań wentylatorów promieniowych przeprowadzonych w kilku ostatnich latach w Zakładzie Maszyn i Urządzeń Przepływowych. Wentylatory badano na stanowisku pomiarowym w układzie ssawnym.

Wyznaczano maksymalną sprawność drogą doboru optymalnej obudowy o zarysie spirali logarytmicznej.

Wartości średnich kwadratowych błędów względnych wynosiły:

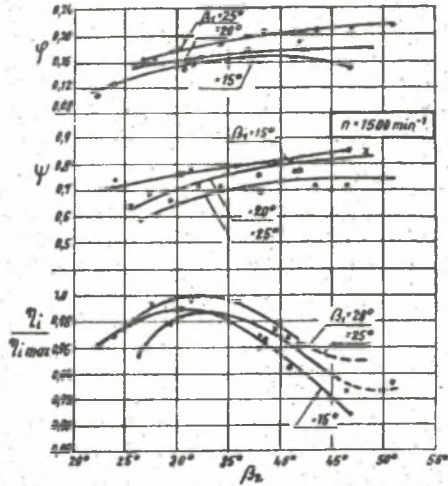
$$\bar{\sigma}_{\eta_i} = \pm 1,14 \%$$

$$\bar{\sigma}_{\psi} = \pm 0,5 \%$$

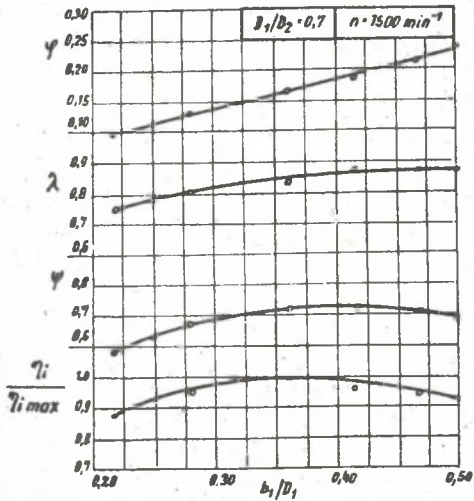
$$\bar{\sigma}_{\varphi} = \pm 0,98 \%$$

Metodę pomiaru i stanowisko badawcze opisano w lit. [3].

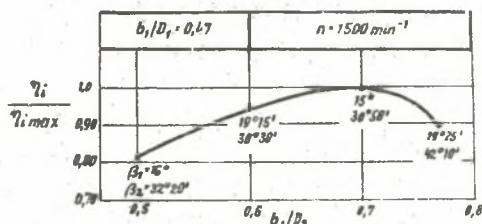
Wyniki badań wpływu pojedynczego parametru geometrycznego na sprawność wewnętrzną, liczbę ciśnienia i wydajności przedstawiono na rysunkach 1, 2, 3. Zaznaczone na wykresach punkty pomiarowe zostały wciągnięte do zestawu danych empirycznych, który obejmuje 108 wersji wirników i charakterystyk przepływowych. W zestawie danych niezależnych największą ilość razy zmieniały się kąty łopatkowe, szerokości wirnika, średnice koła, liczba łopatek i kąt nachylenia tarczy przedniej.



Rys.1. Wpływ kątów łopatkowych na sprawność, liczbę ciśnienia i wydajność.



Rys.2. Wpływ szerokości wirnika na sprawność, liczbę ciśnienia i wydajność.



Rys.3. Wpływ stosunku średnic na sprawność

2. Opis wybranej metody statystycznej

W celu określenia, które z parametrów geometrycznych wentylatora mają i według jakiego równania wpływ na parametry przepływowe oraz jaka jest kolejność istotności /ważności/ tych wpływów - do uogólnienia wyników badań, zastosowano metodę regresji krokowej. Metoda ta umożliwia zapis danych empirycznych w postaci wzoru z równoczesnym uporządkowaniem składników równania w kolejności zgodnej z wielkością ich wpływu na zmienną zależną.

W procedurze regresji krokowej konieczne jest zaproponowanie formuły wzoru empirycznego. Przedstawiono następujące cztery propozycje:

$$y_j = a_0 + \sum_{i=1}^9 /a_i x_i + b_i x_i^2 / \quad /1/$$

$$y_j = a_0 \cdot \prod_{i=1}^9 x_i^{a_i} \quad /2/$$

$$y_j = a_0 \cdot \exp / \sum_{i=1}^9 a_i x_i / \quad /3/$$

$$y_j = a_i \prod_{i=1}^9 x_i^{a_i} \cdot \exp / \sum_{i=1}^9 b_i x_i / \quad /4/$$

gdzie:

$j = 1, 2, 3$ - trzy zmienne zależne

- $J_1 = \eta_{1 \max}$ - sprawność wewnętrzna maksymalna,
 $J_2 = \psi_{\text{opt}}$ - liczba ciśnienia w punkcie maksymalnej sprawności,
 $J_3 = \varphi_{\text{opt}}$ - liczba wydajności w tym samym punkcie

oraz $i = 1, 2, \dots, 9$

- $x_1 = \beta_1 / ^\circ /$ - kąt łopatki u wlotu,
 $x_2 = \beta_2 / ^\circ /$ - kąt łopatki u wylotu,
 $x_3 = D_0 / \text{mm} /$ - średnica wlotowa do wirnika,
 $x_4 = D_1 / \text{mm} /$ - średnica u wlotu na łopatki,
 $x_5 = D_2 / \text{mm} /$ - średnica zewnętrzna wirnika,
 $x_6 = b_1 / \text{mm} /$ - szerokość wirnika u wlotu,
 $x_7 = b_2 / \text{mm} /$ - szerokość wirnika u wylotu,
 $x_8 = \gamma / ^\circ /$ - kąt tarczy nakrywającej,

natomiast a_0 , a_1 i b_1 oznaczają estymatory współczynników regresji.

Po wykonaniu obliczeń uznano, że propozycja formuły postaci /4/ była najtrafniejsza. Dalszy opis rezultatów obliczeń będzie dotyczyć danych uogólnionych za pomocą formuły:

$$y_j = a_0 \prod_{i=1}^9 x_i^{a_i} \exp \left/ \sum_{i=1}^9 b_i x_i \right/$$

$j=1, 2, 3$

Obliczenia wykonano na maszynie CYBER-72 stosując opracowaną przez Bennetta i Franklina procedurę regresji krokowej. W procedurze tej w jednym z pierwszych kroków oblicza się macierz współczynników korelacji oraz ogólną sumę kwadratów. Następnie, do tworzonej formuły wprowadza się zmienne niezależne w kolejności wyznaczonej przez wartości współczynników korelacji ze zmienną zależną w kierunku wartości malejących. Po wprowadzeniu kolejnej zmiennej do formuły, oblicza się jaką część ogólnej sumy kwadratów zawiera wzór składający się z wprowadzonych zmiennych oraz jaki jest w tym udział zmiennej wprowadzonej ostatnio. Proces wprowadzania następnych zmiennych wstrzymuje się, gdy udział ostatnio wprowadzonej zmiennej w ogólnej sumie kwadratów jest mniejszy od udziału granicznego ustalonego wcześniej. W obliczeniu przyjęto

udział graniczny określony na zwykle przyjmowanym poziomie 0,005.

Niezależnie od omówionych obliczeń właściwych regresji krokowej, liczone tradycyjne statystyki oceniające jakość dopasowania wzoru do danych empirycznych to jest współczynnik korelacji i statystykę F - Fishera.

3. Wyniki obliczeń

a/ dla zmiennej zależnej y_1 otrzymano wzór empiryczny postaci:

$$y_1 = x_1^{0,65} \cdot x_3^{1,257} \cdot x_7^{0,5} \cdot \exp \left\{ -10,08 - 0,026 x_1 - 0,00128 x_2 - 0,0015 x_4 + 0,0064 x_7 \right\}$$

wartość współczynnika korelacji $r = 0,846$

wartość statystyki F - Fishera $F = 35,9$

b/ dla zmiennej y_2 otrzymano wzór empiryczny postaci:

$$y_2 = \frac{x_2^{0,31} \cdot x_5^{1,38} \cdot x_7^{0,39}}{x_1^{0,178} \cdot x_3^{0,7} \cdot x_6^{0,52}} \exp \left\{ -5,3 + 0,047 x_9 \right\}$$

wartość współczynnika korelacji $r = 0,922$

wartość statystyki F - Fishera $F = 81,3$

c/ dla zmiennej y_3 otrzymano wzór empiryczny postaci:

$$y_3 = \frac{x_2^{1,05} \cdot x_7^{1,38}}{x_6^{1,16}} \exp \left\{ -5,8 - 0,013 x_2 \right\}$$

wartość współczynnika korelacji $r = 0,84$

wartość statystyki F - Fishera $F = 61,9$

Jak wynika z przedstawionych powyżej wzorów kolejność istotności zmiennych niezależnych jest następująca /w nawiasie podano współczynnik korelacji po wprowadzeniu kolejnej zmiennej/.

Na y_1 istotny wpływ mają: x_3 /0,598/, e^{x_2} /0,624/, x_1 /0,669/, x_7 /0,712/, e^{x_7} /0,809/, e^{x_1} /0,843/, e^{x_4} /0,846/.

Na y_2 istotny wpływ mają: e^{x_9} /0,79/, x_2 /0,856/, x_1 /0,870/, x_5 /0,892/, x_3 /0,901/, x_7 /0,918/, x_6 /0,922/.

Na y_3 istotny wpływ mają: x_7 /0,787/, x_2 /0,814/, x_6 /0,834/,
 e^{x_2} /0,840/.

4. Określenie błędu

Według wzorów empirycznych obliczono wartości y_j /n/ i wyznaczone błędy względne ze wzoru $j=1,2,3$

$$\delta y_1 = \frac{y_{1p} - y/n}{y_{1p}}$$

Średni błąd obliczony dla n danych $\bar{\delta y}_1 = 4\%$.

Wartość y_{1p} wzięto z pomiaru, wartość y_1/n obliczono ze wzoru empirycznego. Dla zmiennych zależnych y_2 i y_3 błędy średnie obliczone w ten sam sposób wynoszą:

$$\bar{\delta y}_2 = 6\%$$

$$\bar{\delta y}_3 = 4\%$$

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Zestaw danych empirycznych zawierał około 1000 zmiennych niezależnych, w gąszczu których metodami statystycznymi wyszukano pewne związki matematyczne. Wzory empiryczne trzech zmiennych zależnych z uwagi na stosunkowo małe błędy znajdują zastosowanie praktyczne do przewidywania parametrów pracy na podstawie geometrii wirnika. Na podstawie czysto matematycznej zależności można wnioskować o fizycznym przebiegu zjawiska.

Jest więc pewnym zaskoczeniem, że najistotniejszy wpływ na sprawność ma średnica wlotowa D_0 przed kątami łopatek. Kolejność ważności parametrów geometrycznych na ogół zgadza się z równaniami fizycznymi przepływu przez wirnik.

Jakość dopasowania wzoru do danych empirycznych można polepszyć zawężając przedziały zmienności lub usuwając nieliczne dane przypadkowe.

Literatura

- [1] Draper N.R., Smith H.: Analiza regresji stosowanej. PWN, Warszawa 1973.
- [2] Bennett C.A., Franklin N.L.: Statistical analysis in chemistry and chemical industry. J.Wiley and Sons. 1954. Appendix 6A.
- [3] Fortuna S.: Wpływ parametrów geometrycznych wirnika na sprawność wentylatora promieniowego. Rozpr. dokt. Kraków 1979.
- [4] Sentek J., S. Fortuna: Modelluntersuchungen an Ventilatoren. ИЛН 28, /1977/ Nr 11.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Chmielniak

Wpłynęło do Redakcji maj 1985 r.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА КОЭФФИЦИЕНТ
ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ВЕНТИЛЯТОРА

Р е з ю м е

При помощи математической статистики установлены эмпирические зависимости коэффициента полезного действия, коэффициента давления и производительности от геометрических параметров ротора, которых влияние существенности было на уровне 0,005. Оценено качество подбора формулы к эмпирическим данным, а также определена очерёдность влияния геометрических параметров на параметры течения.

ESTIMATION OF THE EFFECT OF GEOMETRIC PARAMETERS ON THE
EFFICIENCY OF RADIAL FANS

S u m m a r y

Empirical relationships of internal efficiency, pressure number and output on geometric rotor parameters with significance effect levels of 0,005 has been determined using the stepwise regression method. The quality of matching the formula to empirical data has been estimated. The order of importance of the geometric parameter effects on the dependent variables has been established.