

FRI-9.3-1-THPE-13

ANALYTICAL PRESENTATION OF THE DIMENSIONLESS CHARACTERISTICS OF CENTRIFUGAL FANS

Prof. Gencho Popov, PhD

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone:
E-mail: gspopov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Kliment Klimentov, PhD

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone:
E-mail: kklimentov@uni-ruse.bg

Senior Assistant Boris Kostov, PhD

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone:
E-mail: bkostov@uni-ruse.bg

Engineer Alexandar Bozhinov, PhD Student

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone:
E-mail: a.bozhinov90@gmail.com

***Abstract:** This work consists of a good number of analytically presented characteristics of centrifugal fans. The found analytical equations, applied together with the well-known methods of similarity, have been used to determine the fan's main geometric sizes. The proposed method ensures a quick and automated way for the determination of these sizes, as well as provides an opportunity for its predictive characteristics, in case the specific speed of rotation is preliminary known, to be found.*

***Keywords:** Centrifugal Fan; Dimensionless Characteristic; Specific speed.*

ВЪВЕДЕНИЕ

В редица случаи, при необходимост от разработването на нов вентилатор, се използват данни от изследвания на модели, които са с много добри енергетични показатели. За целта е необходимо познаването на аеродинамичната схема на модела и неговата безразмерна характеристика. В литературата (Solomahova, T. S. & Chebaysheva, K. V., 1980) се дават такива схеми на вентилатори, които са широко изследвани и усъвършенствани.

Използването на представените графични зависимости за безразмерните показатели (коефициент на дебита φ , коефициент на налягане ψ , специфична честота на въртене n_y (n_q) и коефициента на полезно действие (к.п.д.) η) е свързано с известни неудобства и грешки. Много по-удобно би било, ако се познават аналитичните зависимости, описващи характеристиките. Това би дало възможност да се разработи подходящ софтуер за бързо реализиране на различни вариантни решения и избор на най-подходящ модел за проектирания вентилатор.

Целта на настоящата работа е на базата на представените в (Solomahova, T. S. & Chebaysheva, K. V., 1980) безразмерни аеродинамични характеристики на различни схеми на вентилатори да се получат в удобен за инженерни пресмятания вид аналитични зависимости, описващи характеристиките: $n_q = f(\varphi)$, $\psi = f(\varphi)$, $\eta = f(\varphi)$.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Аналитично представяне на кофициентните характеристики на серия едностъпални центробежни вентилатори

Обект на настоящата работа е серия от 52 едностъпални центробежни вентилатора, нормално изпълнение, разработени в Централния аерохидродинамичен институт „Жуковски“ (ЦАГИ) в Москва. Техните кофициентни характеристики и аеродинамични схеми са публикувани в (Solomahova, T. S. & Chebaysheva, K. V., 1980). Вентилаторите са със специфични честоти на въртене от $n_q = 2 \text{ min}^{-1}$ до $n_q = 14,4 \text{ min}^{-1}$. В таблица 1 са дадени: означението на вентилатора, стойностите на кофициентите φ и ψ при максимален к.п.д. η_{\max} на вентилатора, като и границите на работната област от характеристиките φ_{\min} и φ_{\max} , предписани от производителя..

Таблица 1. Означения на вентилаторите и стойности на безразмерните кофициенти при максимален к.п.д.

№	Означение	φ	ψ	η_{\max}	n_q	φ_{\min}	φ_{\max}
		-	-	-	min^{-1}	-	-
1	Ц8-11	0.0125	1.54	0.58	2.013454	0.008	0.022
2	Ц6-12	0.01	1.28	0.66	2.068806	0.007	0.016
3	Ц8-13	0.02	1.65	0.70	2.418407	0.013	0.029
4	Ц7-15	0.019	1.4	0.72	2.666294	0.012	0.027
5	Ц6-18	0.02	1.11	0.69	3.255743	0.012	0.027
6	Ц8-18	0.038	1.67	0.65	3.303557	0.0225	0.055
7	Ц6-19	0.024	1.18	0.67	3.406602	0.012	0.0325
8	Ц10-20	0.065	2.06	0.62	3.691336	0.04	0.095
9	Ц7-21	0.045	1.49	0.82	3.916011	0.025	0.075
10	Ц7-22	0.038	1.32	0.64	3.940839	0.0225	0.0525
11	Ц8-23	0.063	1.68	0.66	4.234632	0.035	0.095
12	Ц6-24	0.037	1.16	0.75	4.284348	0.0225	0.056
13	Ц9-25	0.075	1.76	0.74	4.461937	0.04	0.14
14	Ц11-26	0.112	2.16	0.64	4.676232	0.07	0.15
15	Ц9-27	0.091	1.8	0.66	4.832742	0.055	0.145
16	Ц7-28	0.065	1.38	0.70	4.985109	0.035	0.095
17	Ц10-28	0.125	2.07	0.63	5.100404	0.08125	0.1775
18	Ц5-29	0.043	1.01	0.75	5.124135	0.022	0.069
19	Ц6-29	0.06	1.22	0.75	5.253311	0.03	0.09
20	Ц10-29	0.13	2.05	0.70	5.239425	0.04	0.21
21	Ц11-30	0.155	2.28	0.67	5.282531	0.1	0.215
22	Ц5-31	0.052	1.01	0.82	5.634923	0.03	0.07
23	Ц5-34	0.065	1.03	0.76	6.208063	0.035	0.1
24	Ц8-35	0.14	1.69	0.68	6.284581	0.08	0.22

25	Ц11-35	0.22	2.26	0.80	6.335156	0.125	0.325
26	Ц5-36	0.08	1.13	0.80	6.424857	0.045	0.125
27	Ц11-38	0.255	2.26	0.65	6.820498	0.175	0.35
28	Ц8-39	0.17	1.66	0.67	7.018927	0.09	0.24
29	Ц5-40	0.072	0.92	0.74	7.111361	0.042	0.12
30	Ц6-40	0.1	1.13	0.83	7.183209	0.06	0.135
31	Ц7-42	0.135	1.3	0.70	7.513403	0.07	0.2
32	Ц14-46	0.55	2.9	0.72	8.308262	0.35	0.8
33	Ц4-50	0.1	0.86	0.75	8.815633	0.05	0.14
34	Ц12-50	0.475	2.4	0.69	8.898477	0.35	0.675
35	Ц4-52	0.095	0.75	0.83	9.521233	0.055	0.12
36	Ц9-55	0.41	1.98	0.68	9.550374	0.25	0.575
37	Ц4-57	0.137	0.82	0.87	10.69368	0.08	0.18
38	Ц38-12	0.12	0.754	0.84	10.65834	0.08	0.16
39	Ц4-60	0.13	0.76	0.79	11.0278	0.08	0.18
40	Ц4-61	0.15	0.86	0.78	10.7969	0.08	0.2
41	Ц4-62	0.16	0.84	0.79	11.34953	0.1	0.22
42	Ц4-66	0.18	0.88	0.78	11.62523	0.12	0.24
43	Ц4-67	0.15	0.75	0.87	11.96402	0.08	0.2
44	Ц35-15	0.145	0.7	0.90	12.38762	0.09	0.19
45	Ц36-15	0.15	0.724	0.90	12.28483	0.09	0.185
46	Ц4-70	0.23	0.89	0.81	13.03013	0.14	0.27
47	Ц4-72	0.18	0.764	0.82	12.92539	0.13	0.25
48	Ц4-73	0.19	0.77	0.87	13.20189	0.125	0.245
49	Ц4-76	0.232	0.834	0.84	13.74032	0.15	0.29
50	Ц4-77	0.2	0.746	0.89	13.87038	0.14	0.26
51	Ц31-16	0.16	0.62	0.86	14.25258	0.11	0.2
52	Ц3-81	0.17	0.634	0.82	14.44724	0.12	0.21

В границите от φ_{min} до φ_{max} характеристиките $\psi = f(\varphi)$, $\eta = f(\varphi)$ $n_q = f(\varphi)$ могат да бъдат апроксимирани с достатъчна точност с полиноми от втора степен от вида:

$$\psi = a + b\varphi + c\varphi^2 \quad (1)$$

$$\eta = d + e\varphi + f\varphi^2 \quad (2)$$

и

$$n_q = a_1 + b_1\varphi^2, \quad (3)$$

където a, b, c, d, e, f, a_1 и b_1 са безразмерни коефициенти.

С помощта на специализиран софтуер графичните зависимости $\psi = f(\varphi)$ и $\eta = f(\varphi)$ са представени чрез масиви от числени стойности, след което са апроксимирани с уравнения от вида (1) и (2) в средата на Excel. Получените коефициенти a, b, c, d, e и f , за всеки от вентилаторите, са дадени в таблица 2.

Таблица 2. Стойности на коефициентите a, b, c, d, e, f, a_1 и b_1 .

№	Означение	a	b	c	d	e	f	a_1	b_1
1	Ц8-11	1.1339	62.015	-2437.8	0.3351	31.591	-1084.9	1.528838	3049.117
2	Ц6-12	1.1706	45.901	-3391.9	0.3361	55.367	-2469.3	1.399133	6453.729
3	Ц8-13	1.1624	70.095	-2302.8	0.2047	47.378	-1154.4	1.502546	2345.799
4	Ц7-15	1.2747	42.362	-1841.3	0.2554	46.027	-1152.4	1.545695	3079.522
5	Ц6-18	1.1481	17.197	-951.25	0.2721	39.381	-945.69	1.915717	3326.666
6	Ц8-18	0.8788	41.708	-536.78	0.2903	18.561	-240.19	2.434289	578.6615
7	Ц6-19	1.4547	-4.6612	-283.46	0.4121	23.567	-526.44	1.948922	2455.909
8	Ц10-20	0.4026	52.545	-411.28	0.232	11.842	-90.21	2.615004	262.3633
9	Ц7-21	1.0794	19.812	-221.26	0.5679	10.861	-118.42	2.829464	482.2735
10	Ц7-22	1.1347	19.308	-377.22	0.2709	19.43	-259.34	2.473781	1006.406
11	Ц8-23	1.0366	20.218	-153.84	0.3633	9.4871	-75.311	3.124652	261.9167
12	Ц6-24	1.1448	12.346	-308.54	0.3795	19.537	-255.88	2.528073	1242.884
13	Ц9-25	1.2372	11.117	-51.281	0.5363	4.9177	-29.054	3.586073	131.7674
14	Ц11-26	0.4731	29.658	-129.84	0.1264	9.1403	-40.473	3.538065	93.03003
15	Ц9-27	1.2651	11.959	-67.01	0.4064	5.3376	-29.057	3.552353	149.8415
16	Ц7-28	1.1524	10.297	-102.89	0.3438	11.445	-92.247	3.335774	374.4231
17	Ц10-28	0.6783	21.22	-78.916	0.2061	6.6404	-25.684	3.898558	74.86588
18	Ц5-29	1.2114	0.3718	-101.65	0.4906	12.035	-136.83	2.963667	1072.194
19	Ц6-29	1.1562	8.4128	-119.72	0.4305	10.413	-84.881	3.17393	561.3048
20	Ц10-29	0.972	13.695	-42.799	0.3105	5.5495	-19.376	4.060957	66.08965
21	Ц11-30	0.2188	26.472	-83.659	0.0811	7.5811	-24.202	3.934936	56.75633
22	Ц5-31	1.2331	-1.4821	-71.508	0.5002	14.95	-166.66	3.186684	971.9116
23	Ц5-34	1.266	-0.8233	-43.878	0.4302	10.282	-76.585	3.524829	624.4815
24	Ц8-35	1.0528	8.2427	-26.599	0.4582	3.1402	-11.106	4.800563	73.08234
25	Ц11-35	1.5546	5.6106	-9.82	0.6026	2.2711	-5.7377	4.860566	26.27693
26	Ц5-36	1.0834	5.3612	-61.891	0.3569	11.044	-64.521	3.838498	412.4634
27	Ц11-38	-0.6726	22.234	-41.969	-0.0294	5.2299	-10.006	5.227902	26.51671
28	Ц8-39	1.2632	5.852	-19.549	0.376	3.6892	-11.265	4.805339	70.7808
29	Ц5-40	1.1741	0.4603	-54.674	0.3154	12.03	-84.364	3.033093	798.1289
30	Ц6-40	1.0888	4.5944	-49.176	0.5752	6.4644	-39.256	4.102703	349.9849
31	Ц7-42	1.1881	4.1284	-23.347	0.428	4.3242	-16.617	4.740791	143.9959
32	Ц14-46	1.4138	4.4916	-3.1675	0.3789	1.2261	-1.098	6.719096	4.918233
33	Ц4-50	1.2317	-0.8062	-28.158	0.3788	7.8764	-41.376	3.843721	503.2359
34	Ц12-50	0.3554	8.3303	-8.4334	-0.0268	2.8088	-2.737	6.616394	10.2919
35	Ц4-52	0.9131	4.2263	-62.743	0.1709	14.954	-84.681	3.75744	669.8565
36	Ц9-55	0.9836	4.5903	-5.3535	0.3194	1.7006	-2.0911	7.234719	13.97837
37	Ц4-57	1.0179	2.3268	-27.528	0.096	11.794	-44.218	4.365445	352.3676
38	Ц38-12	0.8281	4.0621	-38.722	0.0685	13.419	-56.826	4.209576	464.8119
39	Ц4-60	0.7636	3.1587	-25.024	1.4763	97.995	-374.47	5.560566	339.1142
40	Ц4-61	1.0148	1.9991	-20.389	0.3018	6.962	-25.097	5.009204	267.6669

41	Ц4-62	0.8393	3.684	-22.307	0.1656	7.8369	-24.384	5.252478	240.7152
42	Ц4-66	0.596	6.1584	-25.356	0.0436	7.9207	-21.33	5.672335	191.3224
43	Ц4-67	0.502	8.1239	-42.572	-0.1813	14.882	-52.21	4.656265	351.748
44	Ц35-15	0.6774	3.0607	-22.354	0.4019	8.1185	-30.902	5.83963	358.4017
45	Ц36-15	0.7309	4.2781	-29.154	-0.1739	15.536	-55.909	5.224642	331.2625
46	Ц4-70	0.3123	7.3864	-21.181	0.0257	6.9222	-15.301	7.438771	108.7695
47	Ц4-72	0.7192	3.2086	-16.527	-0.0458	9.2671	-24.773	5.65871	232.465
48	Ц4-73	0.1218	6.8198	-16.301	0.1055	8.0937	-21.625	10.07042	69.00739
49	Ц4-76	0.4872	5.3662	-16.655	-0.0049	7.4845	-16.559	7.014818	129.8041
50	Ц4-77	0.4984	5.1266	-19.248	-0.2661	11.79	-29.758	6.350033	193.4312
51	Ц31-16	0.7624	1.8328	-17.465	-0.1029	12.959	-42.156	5.362981	367.6058
52	Ц3-81	0.8824	1.7482	-18.611	-0.4022	14.679	-43.844	4.088426	368.7035

За определяне на коефициентите a_1 и b_1 от уравнение (3) е използвана зависимостта (Solomahova, T. S. & Chebaysheva, K. V., 1980):

$$n_q = \frac{138}{g^{0,75}} \varphi^{0,5} \psi^{-0,75}. \quad (4)$$

След заместване на коефициента на налягане в уравнение (4) с израза (1), за n_q се получава:

$$n_q = \frac{138}{g^{0,75}} \varphi^{0,5} (a + b\varphi + c\varphi^2)^{-0,75}. \quad (5)$$

След приравняване на десните части на уравнение (3) и (5) се получава изразът:

$$\frac{138}{g^{0,75}} \varphi^{0,5} (a + b\varphi + c\varphi^2)^{-0,75} = a_1 + b_1\varphi^2. \quad (6)$$

При известни стойности на коефициентите a, b и c , определени по-рано, с помощта на процедура в средата на Matlab са получени стойностите на коефициентите a_1 и b_1 , дадени в таблица 2.

Изчисляване на вентилатор по подобие

При известни стойности на n_q и коефициентите a, b, c, d, e, f, a_1 и b_1 за серията от вентилатори, лесно може да се подбере подходяща аеродинамична схема и да се определят размерите на вентилатор по подобие. Последователността на изчисленията е следната:

1. При зададени стойности на пълното налягане p , дебита Q и честотата на въртене n на вентилатора, се пресмята специфичната честота на въртене n_q по зависимостта:

$$n_q = \frac{nQ^{0,5}}{p^{0,75}}. \quad (7)$$

2. Избира се вентилатор с най-близката по стойност n_q от таблица 1.
3. Изразява се коефициентът на дебита от уравнение (3) и се пресмята по получената зависимост:

$$\varphi = \sqrt{\frac{n_q - a_1}{b_1}}. \quad (8)$$

4. Пресмята се коефициентът на налягане на вентилатора по зависимост (1).
5. Пресмята се диаметърът на работното колело D_2 по формулата:

$$D_2 = \frac{60}{\pi n} \sqrt{\frac{2p}{\rho\psi}}, \quad (8)$$

където $\rho, kg/m^3$ е плътността на въздуха (газа).

6. Всички линейни размери l_i на новопроектирания вентилатор се получават по зависимостта:

$$l_i = D_2 \frac{l_{iM}}{100}, \quad (9)$$

където l_{iM} е съответният размер от аеродинамичната схема на избрания за модел вентилатор.

Прогнозни характеристики в работната област на проектирания вентилатор могат да се получат по следния начин:

1. Задават се стойности на коефициента на дебита φ_i в диапазона от φ_{min} до φ_{max} .
2. Пресмята се дебитът Q_i на вентилатора, при зададените стойности на φ_i , по зависимостта:

$$Q_i = \frac{\pi^2 n D_2^3}{240} \varphi_i. \quad (10)$$

3. Пресмята се налягането p_i на вентилатора по формулата:

$$p_i = (a + b\varphi_i + c\varphi_i^2) \frac{\rho\pi^2 n^2 D_2^2}{7200}. \quad (11)$$

4. Пресмята се коефициентът на полезно действие η_i на вентилатора по зависимостта:

$$\eta_i = d + e\varphi_i + f\varphi_i^2. \quad (12)$$

ИЗВОДИ

Получените уравнения на безразмерните харктеристики на серия центробежни вентилатори, дават възможност за по-точно и автоматизирано проектиране на вентилатори по подобие.

REFERENCES

Bruk, A. D., Matikashvili, T. I., Nevelson, M. I., Raer, G. A., Solomahova, T. S. & Judin, E. J. (1975). *Centrobezhnaye ventiljataray*. Pod red. na T. S., Solomahova (avt.), Mashinostroenie, Moskva.

Solomahova, T. S. & Chebaysheva, K. V. (1980). *Centrobezhnaye ventiljataray*. Aerodinamicheskie shemay i harakteristiki. Mashinostroenie, Moskva.