Относно проектирането на осови вентилатори

Тодор Чакъров

Regarding the design of axial fans: *In the work are considered important questions related to the design of axial fans. Such are the limits of the nominal volume flow and total pressure, as well as the choice of hub ratio and the number of the working blades. It discusses the design of the vane system of variable circulation along the height of the blade. It presents a new methodology for creating a spatial model of the blade.*

Keywords: *axial fan, method of particular points, total pressure, hub attitude, circulation, spatial model.*

ВЪВЕДЕНИЕ

На базата на "*метода на особеностите*" е създаден софтуер за решение на об-ратна хидродинамична задача за токов слой с постоянна дебелина. Програмите служат за проектиране на лопатъчните системи на едностъпални осови вентилатори със заден направляващ апарат. При това е предвидена възможност за пресмятане с постоянна или променлива циркулация Γ по височината на лопатката. Тези програмни продукти, написани на FortranPS-4, са [1]:

AXVENT0 - за работно колело с постоянна Γ ;

AXVENT1 - за работно колело с променлива Γ;

AXVEN0NA - за направляващ апарат с постоянна Γ;

AXVEN1NA - за направляващ апарат с променлива Γ.

Във всяка програма се решава задача за синтез (обратната задача) на лопатъчна решетка в поредица от цилиндрични сечения (например 6), разположени между външния диаметър d_2 и вътрешния (главинния) - d_1. Работната лопатка се „набира" от пресметнатите профили в тези сечения.

В програмните пакети AXVENT0 и AXVEN0NA лопатката се оразмерява с една и съща циркулация Γ по височината.

Освен това се прилага формулата за оптимална стъпка по Попов - Панов [2]. за j-тото сечение с диаметър d_j

$$\bar{t}_j = \frac{4\pi\varphi_j}{\psi_j}\bar{k}_j\sqrt{1+\mathrm{ctg}\beta_{\infty j}^2}\ . \tag{1}$$

Съгласно Ойлеровото турбинно уравнение

$$\mathrm{ctg}\beta_{\infty j} = \frac{1}{\varphi_j} - \frac{\psi_j}{4\varphi_j} \tag{2}$$

- за работното колело и

$$\mathrm{ctg}\beta_{\infty j} = -\frac{\psi_j}{4\varphi_j} \tag{3}$$

- за направляващия апарат,

където $\beta_{\infty j}$ е ъгълът между направлението на „несмутеното течение" и фронта на решетката – за j-тото сечение. $\bar{k}_j = \frac{k}{b_j}$ е относителната кривина.

Това осигурява аксиално направление на течението в енергообменното пространство (липса на радиална компонента на скоростта) и от там – и висока ефективност на енергообмена.

Във формулите (1), (2) и (3) коефициентите за j-тото сечение на дебит φ_j и на

налягане ψ_j се пресмятат от тези на машината φ_m и ψ_m

$$\varphi_j = \varphi_m \frac{d_2}{d_j}; \quad \psi_j = \psi_m \left(\frac{d_2}{d_j}\right)^2 \tag{4}$$

$$\varphi_m = \frac{4Q_v}{\pi\left(d_2^2 - d_1^2\right)u_2}; \quad \psi_m = \frac{2p_v}{\rho u_2^2} \tag{5}$$

В (5) Q_v и p_v са номиналните дебит и пълно налягане, $u_2 = \pi \frac{n}{30}\frac{d_2}{2}$ е периферната скорост на върховото сечение, а ρ - плътността на въздуха.

Когато вентилаторът се оразмерява за сравнително по-високо налягане и се запазва постоянна циркулация Γ по височината на лопатката тя се получава с много голяма хорда при главинното сечение. За да не се получи „застъпване" на профилите при това сечение (за d_1) е необходимо да се задоволява условието

$$Zb_1 \cos\beta_{\infty 1} < \pi d_1, \tag{6}$$

където Z е броя на лопатките, b_1 - хордата, $\beta_{\infty 1}$ - ъгълът на поставяне при главината.

Ако това условие не е изпълнено лопатката се "подрязва" (т.е. плавно се намалява хордата й от някакво средно сечение до главинното), за да се получи конструктивно изпълнима. За целта се използват програмите AXVENT1 и AXVEN1NA.

ВАЖНИ ВЪПРОСИ, СВЪРЗАНИ С ПРОЕКТИРАНЕТО

Тук не се разглежда подробно оразмеряването на лопатките със споменатите програмни продукти, а се разискват няколко съществени въпроса.

1. Какви са допустимите граници на задаваните входни параметри – дебит Q_v, пълно налягане p_v, периферна скорост u_2 (или честота на въртене n и външен диаметър d_2)? Това може да се изясни например от фиг. 1 [3] , в която Брусиловский дава ориентировъчни области за работа на различни типове вентилатори. От пресметнатите по (5) коефициенти φ_m и ψ_m се преценява проектираният вентилатор дали попада в областта ***I*** за работа на осови вентилатори. Ако не попада в тази област трябва да се променят стойностите на φ_m и ψ_m до навлизане в нея. За целта може да се променят както Q_v и p_v, така и n и d_2.

Освен това в ЦАГИ [4] са установени експериментално границите на съществуване на високоефективни осови вентилатори – фиг. 2. На нея по ординатата е нанесен комплексът $\nu\varphi_m/\psi_m$, по абсцисата - $\mathrm{ctg}\beta_1$, а като параметър $\nu = d_1/d_2$. Добре е проектираната машина да попада в съответното поле.

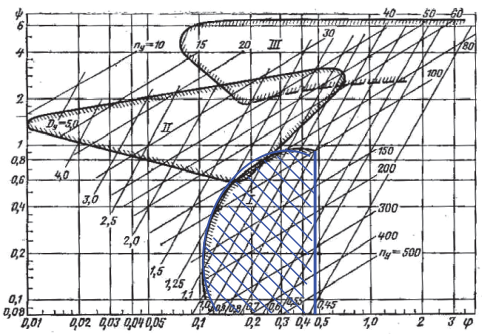
При промяна на n и d_2.трябва да се следи, от якостна гледна точка, стойността на периферната скорост u_2. По литературни данни $u_2 < 80 \div 100$ m/s [4] , но тази стойност трябва да се съобразява с технологията на фирмата производител.

2. Важен въпрос е изборът на „главинното отношение" $\nu = \frac{d_1}{d_2}$ и броят Z на лопатките.

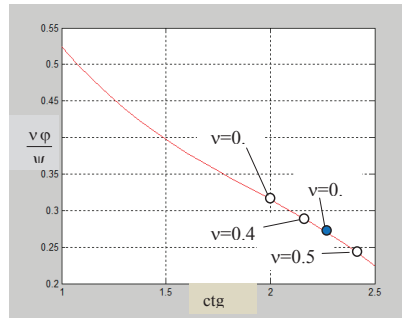
Съгласно препоръката на Марциновски [5] е добре $\nu = \frac{d_1}{d_2} \approx 0.5$.

При избора на дебита Q_V и налягането p_V трябва да се задоволява и условието на Стрелетцки [6] за т.н. вихрово ядро

$$\frac{\varphi_m}{\tilde{\psi}_m} \geq \frac{1}{2\nu} \tag{7}$$



Фиг. 1



Фиг. 2

С въвеждане на препоръката на Марциновски $\nu = 0.5 \rightarrow \frac{\varphi_m}{\tilde{\psi}_m} \geq 1$.

Ако се окаже, че условието на Стрелетцки не е задоволено, трябва да се коригират Q_V и p_V или n и d_2 до задоволяването му.

Натрупаният опит от известни фирми, както и в катедра "Хидроаеродинамика и хидравлични машини" при ТУ-София, показва, че добри осови вентилатори се получават с брой на работните лопатки $Z_k = 6$. Обикновено броят на лопатките на направляващия апарат Z_a се избира с една или две в повече или по-малко - примерно $Z_a = 4; 5; 7; 8$.

3. Възможността за „подрязване на лопатката" за постигане на по-високо налягане, т.е. използване на програмите AXVENT1 е възмож-но, но не добро решение. То-ва води до понижаване на КПД. Постигането на по-високо налягане може да се реалиизира чрез осов вентилатор с двойни лопатки [7].

4. Използването на споменатите по-горе прог-рамни продукти е свързано с технологията на изработване на моделите за отливане на лопатките.

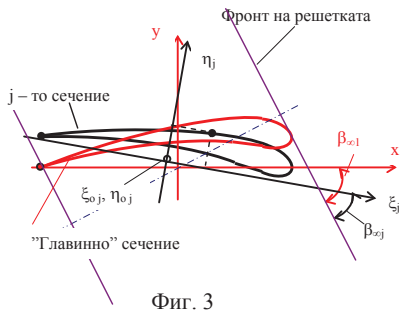
След пресмятането на лопатъчните профили в определен брой цилиндрични сечения, те се изработват от ламарина. Подреждат се в тези сечения, като се запояват върху метална ос на съответните ъгли на поставяне. Оста на лопатка-та, около която се завъртат сеченията се избира около средата на профила. Полученият „скелет" се залива с епоксидна смола, която след втвърдяване се обработва, докато контурите на ламаринените профили се покажат на повърхността.

За технологии, които изискват директно проектиране на пространствен модел на работна или направляваща лопатка, е необходимо да се преработят данните с пресметнатите координати в равнините (x, y). За целта първо се извършва равнинна трансформация на всички j - сечения в базовата равнина (x, y) - принадлежаща на главинното сечение. При тази трансформация всяко j сечение се завърта на ъгъл $\alpha_j = \beta_{\infty 1} - \beta_{\infty j}$. След това се пресмята и третата координата z_{ij}.

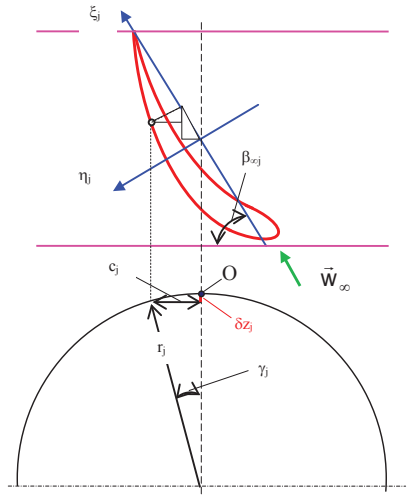
Споменатите програмни продукти са преработени на MATLAB 6.5, като са до-пълнени с описаната по-долу трансформация.

а) Равнинна трансформация

След пресмятане на кординатите x_{ij} [mm], y_{ij} [mm] се определят точките, около която ще се завъртат решетките в отделните сечения – за главинното сечение x_{o1}, y_{o1} и за съответното текущо сечение x_{oj}, y_{oj} - фиг.3. Тези точки се избират около средата на профила. Тук с "i" се индексира точката от контура, а с "j" – сечението.



Фиг. 3



Фиг. 4

Определят се координатите ξ_{oj}, η_{oj} на началото на завъртяната и изместена координатна система – в базовата координатна система (за главинното сечение).

$$\left.\begin{aligned} \zeta_{oj} &= x_{o1} - x_{oj}\cos\alpha_j - y_{oj}\sin\alpha_j; \\ \eta_{oj} &= y_{o1} + x_{oj}\sin\alpha_j - y_{oj}\cos\alpha_j, \end{aligned}\right\} \quad (8)$$

където $\alpha_j = \beta_{\infty 1} - \beta_{\infty j}$.

Пресмятат се координатите ξ_{ij}, η_{ij} на профилите в завъртяното j –то сечение, но в базовата координатна система (свързана с главинното сечение).

$$\left.\begin{aligned} \xi_{ij} &= x_{ij}\cos\alpha_j + y_{ij}\sin\alpha_j + \xi_{oj}; \\ \eta_{ij} &= y_{ij}\cos\alpha_j - x_{ij}\sin\alpha_j + \eta_{oj}. \end{aligned}\right\} \quad (9)$$

b) Определяне на третата координата z_{ij}

Трансформираните в равнините лопатъчни решетки следва да се огънат и в съответните цилиндрични повърхнини. С това се оформят окончателно пространствено огънатите ("изметнати") лопатки.

На фиг. 4 е показана идеята за огъването и определяне на третата координата z_{ij}.

$$c_{ij} = \xi_{ij}\cos\beta_j + \eta_{ig}\sin\beta_j; \quad \sin\gamma_{ij} = \frac{c_{ij}}{r_j};$$

$$\delta z_{ij} = r_j - r_j\cos\gamma_{ij} = r_j(1-\cos\gamma_{ij}) = r_j(1-\sqrt{1-\sin^2\gamma_{ij}});.$$

Ако за начало на кординатата z се избере точка O (върху главината с радиус

r_1), то:

$$z_{ij} = r_j - r_1 - \delta z_{ij} \tag{10}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За успешното проектиране на осови вентилатори са необходими програмни продукти за синтезиране на профилите в отделните цилиндрични сечения. Осен това е необходимо да се решават редица допълнителни задачи, вкл. получаване на три-мерен модел. Решаването на тези задачи се оказва от съществено значение за пос-тигане на високоефективни машини – с висок КПД и ниско шумово ниво.

Литература

[1]. Чакъров Т., Записки по хидродинамични решетки, Авангард прима, 2008.
[2]. Попов М., Л.Панов, Об определении оптимального относительного шага прямолинейной решетки тонкого профиля, Rev. Roum. Sci. Techn.–Mec.Appl.,Tom12, N5, Bucarest, 1967
[3]. Брусиловский И.В., Аэродинамика осевых вентиляторов, Машиностроение, 1984
[4]. Брусиловский И.В., Аэродинамика и акустика осевых вентиляторов, ЦАГИ, 2004.
[5]. Златарев П., Помпи, компресори и вентилатори, Техника, 1981.
[6]. Marcinowski H.,Optimalprobleme bei Axialventilatoren, Heizung, Lüftung, Haustechnik, 1957.
[7]. Streletzky M.,Gleichgewichtsformen von Strömungen mit konstanten Drall inzylindrischen Rotationshohlräumen, Voith Forschung und Konstruktion, 1958.
[8]. Панов Л., Т.Чакъров, Г.Генчев, Осов вентилатор с двойна лопатъчна решетка, Известия на ВМЕИ "Ленин", т. XXXIII, кн.1, 1975.

За контакти:

Доц. д-р Тодор Чакъров, ТУ-София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини”, GSM +359 888 74 39 90, E-mail: todorchakarov@abv.bg.

Докладът е рецензиран.