

# ОЦЕНКА НА ОСЕВАТА СИЛА В ПРОТОЧНА ВИХРОВА КАМЕРА С ИЗПРАВЯЩ АПАРАТ

ESTIMATION OF THE AXIAL FORCE IN VORTEX CHAMBER WITH FLOWSTRAIGHTENING GRID

ОЦЕНКА ОСЕВОЙ СИЛЫ В ПРОТОЧНОЙ ВИХРОВОЙ КАМЕРЕ СО СПРАМЛЯЮЩИМ АППАРАТОМ

Assoc. prof. dr. eng. Savov S.  
Faculty of Aviation – National Military University, D. Mitropolia, Bulgaria

**Abstract:** A new propulsion device is proposed in which the air stream is rotating and the propeller blades are static. Using the general theorems of mechanic propulsive force is estimated for limited number of design parameters sets. It is demonstrated that at proper selection of design parameters the flowtrough vortex chamber has an ejecting effect and creates greater propulsive force than the reactive force of the ejecting jet.

**KEYWORDS:** PROPULSION, PROPELLER, STATIC PROPELLER, VORTEX CHAMBER

## 1. Въведение

Вихровите камери се използват в редица технически устройства - вихрови реактори, циклонни сепаратори, устройства за разпръскване на аерозоли. Обикновено предмет на разглеждане е движението на флуида и неговото влияние върху ефективността на устройството. Величината на действащите върху камерата сили в сравнение с разрушаващите е незначителна и при проектирането на вихрови камери тези сили не са обект на специално изследване. Изглежда възможно при определени условия да се организира такова течение, за което действащите сили, и най-вече осевата, да са достатъчно големи за да се постави въпросът дали вихровата камера не може да се използва като пропульсивно устройство.

## 2. Постановка на задачата и метод за решаване

### 2.1. Постановка на задачата

Разглежда се течението в проточна вихрова камера, състояща се от въздухозаборник, вихрова камера с тангенциално подвеждане на ежектиращ флуид и изправящ апарат, който намалява тангенциалната съставна на скоростта (фиг. 1).

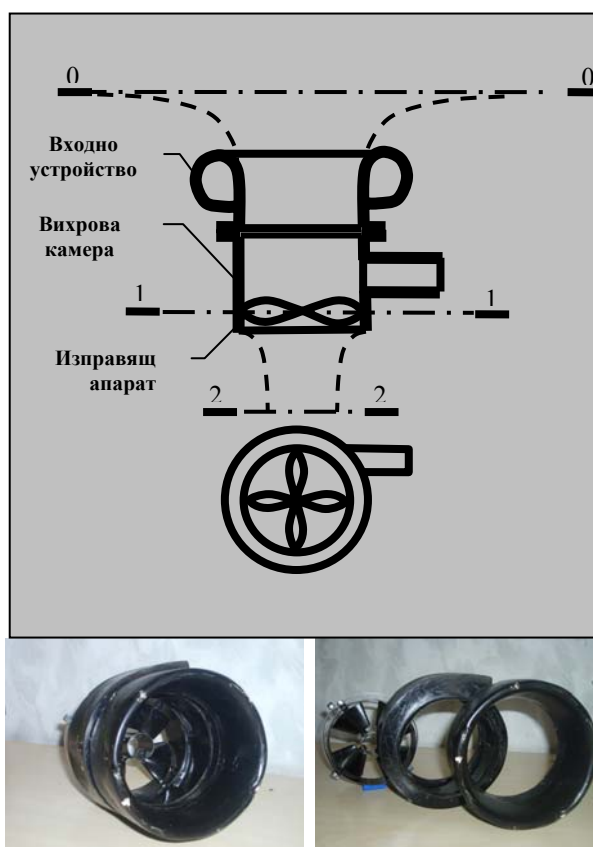
Зададени са:

- геометрията на вихровата камера чрез нейния радиус  $R$  и площта на напречното сечение на тангенциалния канал  $S$ ;
- скоростта на флуида в тангенциалния канал  $V$ ;
- плътността на флуида  $\rho$ ;
- характеристиките на изправящия апарат чрез коефициента на тягата  $\bar{\alpha}$  и коефициента на мощността  $\bar{\beta}$  на статичен режим [2].

Определят се:

- разходът на вторичния (засмукания) флуид и отношението му към разхода на ежектиращия флуид (степен на двуконтурност  $m$ );
- осевата сила  $T$ , действаща на изправящия апарат.

Избира се контролен обем с граници, съвпадащи с границите на струята засмукван въздух, стените на вихровата камера и струята изхвърлян въздух, между сечения 0-0 и 2-2. Сечение 0-0 е достатъчно далеч от въздухозаборника за да се счита въздухът за неподвижен, сечение 1-1 е в равнината на изправящия апарат и сечение 2-2 е в цилиндричната част на струята. За избрания контролен обем се изпълняват интегралните уравнения за масата, количеството движение, момента на количеството движение и енергията [1].



Фиг. 1.  
Проточна вихрова камера с изправящ апарат

### 2.2. Допускания

- Приема се, че за течението са изпълнени следните условия:
- Флуидът е несвиваем.  
$$\rho_0 = \rho_1 = \rho_2 = \rho$$
- Течението е установено. Процесът на запуск на вихровото движение не се разглежда.
- Осевата и тангенциалната скорост в сечение 0-0 са пренебрежимо малки.  
$$v_0 = 0, \quad u_0 = 0.$$
- Триенето в стените на вихровата камера се пренебрегва.

- Тангенциалната скорост в сечения 1-1 и 2-2 е разпределена линейно по радиуса  
 $u = \omega.r$ .
- Осевата скорост е постоянна по радиуса  
 $v = const(r)$ .
- Изправящият апарат се разглежда като статично витло в завъртян поток.

### 2.3. Уравнения, описващи течението

Уравнение за постоянство на разхода за сечения 1-1 и 2-2:

$$(1) \quad \rho \cdot \pi r_1^2 \cdot v_1 = \rho \cdot \pi r_2^2 \cdot v_2$$

Уравнение за изменение на осевото количество движение за сечения 0-0 и 2-2:

$$(2) \quad T = \rho \cdot \pi r_1^2 \cdot v_1 \cdot v_2$$

където  $T$  - осева сила, действаща на изправящия апарат.

Уравнение за изменение на момента на количество движение за сечения 0-0 и 1-1:

$$(3) \quad \rho \cdot S \cdot V^2 \cdot r_1 = \int_0^{r_1} 2\pi \cdot dr \cdot v_1 \cdot \rho \cdot \omega_1 \cdot r \cdot r$$

Уравнение за изменение на момента на количество движение за сечения 0-0 и 2-2:

$$(4) \quad \rho \cdot S \cdot V^2 \cdot r_1 = \int_0^{r_2} 2\pi \cdot dr \cdot v_2 \cdot \rho \cdot \omega_2 \cdot r \cdot r + M$$

Уравнение за изменение на енергията за сечения 0-0 и 2-2:

$$(5) \quad \rho \cdot S \cdot V \cdot \frac{V^2}{2} - \int_0^{r_2} 2\pi \cdot dr \cdot v_2 \cdot \rho \cdot \frac{(v_2 + \omega_2 r)^2}{2} = M \cdot \omega_1 + T \cdot v_1$$

Формула за осевата сила, действаща на изправящия апарат:

$$(6) \quad T = \bar{\alpha} \cdot \rho \cdot \left(\frac{\omega_1}{2\pi}\right)^2 \cdot (2r_1)^4$$

Формула за въртящия момент, действащ на изправящия апарат:

$$(7) \quad M = \bar{\beta} \cdot \rho \cdot \left(\frac{\omega_1}{2\pi}\right)^3 \cdot (2r_1)^5 \cdot \frac{1}{\omega_1}$$

След извършване на интегрирането се получава система от пет нелинейни алгебрични уравнения:

$$(8) \quad r_1^2 \cdot v_1 = r_2^2 \cdot v_2$$

$$(9) \quad \bar{\alpha} \cdot \left(\frac{\omega_1}{2\pi}\right)^2 \cdot (2r_1)^4 = \pi r_1^2 \cdot v_1 \cdot v_2$$

$$(10) \quad S \cdot V^2 \cdot r_1 = 2\pi \omega_1 \cdot v_1 \cdot \frac{r_1^4}{4}$$

$$(11) \quad S \cdot V^2 \cdot r_1 = 2\pi \omega_1 \cdot v_2 \cdot \frac{r_2^4}{4} + \bar{\beta} \cdot \left(\frac{\omega_1}{2\pi}\right)^3 \cdot (2r_1)^5 \cdot \frac{1}{\omega_1}$$

$$(12) \quad S \cdot \frac{V^3}{2} - 2\pi v_2^3 \cdot \frac{r_2^2}{4} - 2\pi v_2 \omega_2^2 \cdot \frac{r_2^4}{4} - 2\pi v_2^2 \omega_2 \cdot \frac{r_2^3}{3} \int_0^{r_2} 2\pi \cdot dr \cdot v_2 \cdot \rho \cdot \frac{(v_2 + \omega_2 r)^2}{2} =$$

$$= \bar{\alpha} \cdot \left(\frac{\omega_1}{2\pi}\right)^2 \cdot (2r_1)^4 \cdot v_1 + \bar{\beta} \cdot \left(\frac{\omega_1}{2\pi}\right)^3 \cdot (2r_1)^5$$

където неизвестни са  $r_2$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ .

### 3. Процедура за решение

Символното решаване на системата (8-12) води до следното уравнение за  $\omega_1$ :

$$(13) \quad S \cdot \frac{V^3}{2} - 2\pi \cdot \left(\frac{\bar{\alpha}}{\pi^3} \cdot \frac{r_1^5}{S \cdot V^2} \cdot \omega_1^3\right) \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{2\pi^2 S^2 V^4}{\alpha r_1^6 \omega_1^4} - \frac{2\pi}{3} \left(\frac{\bar{\alpha}}{\pi^3} \cdot \frac{r_1^5}{S \cdot V^2} \cdot \omega_1^3\right)^2 \cdot$$

$$\cdot \frac{S V^2 \omega_1 - \bar{\beta} \frac{\omega_1^3}{\pi^3} \cdot 4 r_1^4}{\bar{\alpha} r_1^8 \omega_1^4} \cdot S V^2 \left(\frac{2\pi^2 S^2 V^4}{\alpha r_1^6 \omega_1^4}\right)^{\frac{3}{2}} -$$

$$- \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\bar{\alpha}}{\pi^3} \cdot \frac{r_1^5}{S V^2} \cdot \omega_1^3 \cdot \left(\frac{S V^2 \omega_1 - \bar{\beta} \frac{\omega_1^3}{\pi^3} \cdot 4 r_1^4}{\bar{\alpha} r_1^8 \omega_1^4} \cdot S V^2\right)^2 \cdot \left(\frac{2\pi^2 S^2 V^4}{\alpha r_1^6 \omega_1^4}\right)^2 =$$

$$= \bar{\beta} \left(\frac{\omega_1}{2\pi}\right)^3 (2r_1)^5 + \bar{\alpha} \left(\frac{\omega_1}{2\pi}\right)^2 (2r_1)^4 \cdot \frac{2 S V^2}{\pi \omega_1 r_1^3}$$

Останалите неизвестни се получават по формулите:

$$(14) \quad r_2 = \sqrt{\frac{2\pi^2 S^2 V^4}{\alpha r_1^6 \omega_1^4}}$$

$$(15) \quad \omega_2 = \frac{S V^2 \omega_1 - \bar{\beta} \frac{\omega_1^3}{\pi^3} \cdot 4 r_1^4}{\bar{\alpha} r_1^3 \omega_1^4} \cdot S V^2$$

$$(16) \quad v_2 = 2 \frac{\bar{\alpha}}{\pi^2} \cdot \frac{r_1^5}{S V^2} \cdot \omega_1^3$$

$$(17) \quad v_1 = \frac{2 S V^2}{\pi \omega_1 r_1^3}$$

### 4. Резултати

С цел предварителна оценка на ефективността на проточната вихрова камера с изправящ апарат като пропульсивно устройство за няколко варианта на вихрови камери е решена система (8-12) чрез числено намиране на корените на уравнение (13) и използване на формули (14-17). Резултатите са приведени в таблица 1.

Таблица 1

	$\bar{\alpha} = 0.4$	$\bar{\beta} = 0.25$			$r_1 = 0.05$	$m$			
$S, m^2$	$V, m/s$	$SV, m^3$	$\rho SV^2, N$	$\omega_1, s^{-1}$	$v_1, m/s$	$\pi^2 v_1, m^3$	$T, N$	$m = \frac{\pi^2 v_1}{SV}$	$\frac{T}{\rho SV^2}$
0.0004	15.0000	0.0060	0.1103	290.0000	1.5814	0.0124	0.1045	2.0690	0.9478
0.0004	30.0000	0.0120	0.4410	580.0000	3.1627	0.0248	0.4180	2.0690	0.9478
0.0002	15.0000	0.0030	0.0551	230.0000	0.9970	0.0078	0.0657	2.6087	1.1923
0.0002	30.0000	0.0060	0.2205	435.0000	2.1085	0.0166	0.2351	2.7586	1.0662
0.0001	30.0000	0.0030	0.1103	360.0000	1.2739	0.0100	0.1610	3.3333	1.4605

## 5. Заключение

Резултатите от разчета позволяват в рамките на направените предположения да се твърди, че при подходящ избор на параметрите, проточната вихрова камера с изправящ апарат създава ежектиращ ефект и реализира по-голяма осева сила, отколкото реактивната сила на струята ежектиращ въздух.

Направените предположения тепърва трябва да бъдат строго доказани чрез натурно или числено моделиране и на този етап следва да се разглеждат като цел, която може да се реализира с подходящ избор на геометрията.

## Литература

1. Маджирски В. Механика на флуидите, Техника, София, 1992.
2. Стоянов С. Х., Хасъмски А.И., Аеродинамика на въздушните витла, ВИ, София, 1988.