

Моделиране на течението в конфузора на аеродинамична тръба

А. Ахмедов, Кр. Тужаров, Г. Попов, Ив. Желева, К. Климентов, Ив. Николаев

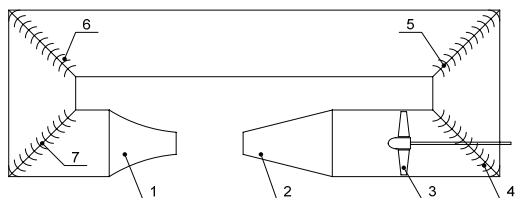
Abstract: In the present paper is investigated the air flow through the nozzle of aerodynamic tube by simulation software COSMOSFloWorks. It has received preliminary information about work of nozzle, which has been used for its design.

Key words:

ВЪВЕДЕНИЕ

Повечето задачи от експерименталната аеродинамика са свързани с изучаване на движението на тяло относно неподвижния въздух - права задача (натурно изследване). Но може явлението да се обърне и да се изследва движението на въздуха при неподвижно тяло - обратна задача (моделно изследване). Моделните изследвания се провеждат в аеродинамична тръба (фиг. 1). За да има пълно съвпадение на законите на обтичане на телата при правата и обратната задача е необходимо да се изключат от опита допълнителните явления свързани с това, че в аеродинамичната тръба потока не е безграничен, а е съизмерим с размерите на изследваното тяло.

Аеродинамичната тръба (фиг. 2) в лабораторията на катедра ТХПТ на РУ „Ангел Кънчев“, е с размери на изходното сечение на конфузора 0,45 x 0,45 m и максимална скорост на въздушния поток в работната зона $v_{\max} \approx 38 \text{ m/s}$. Международният стандарт определя минимални размери на моделните колела на лопатковите хидравлични машини при които е възможно спазването на критериите на подобие. При крилните колела минималният възможен диаметър на модела е $d_{\min} = 250 \text{ mm}$ при скорост на въздуха $v_{\max} \approx 30 \text{ m/s}$.



Фиг. 1 Аеродинамична тръба със затворен контур

1 – конфузор; 2 – колектор (дифузор); 3 – осов вентилатор; 4, 5, 6 и 7 ъглови решетки

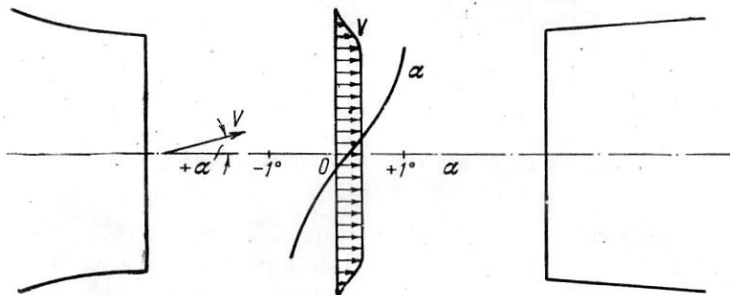


Фиг. 2 Аеродинамичната тръба в лабораторията на катедра ТХПТ

ИЗЛОЖЕНИЕ

За постигане на по-голяма точност на измерванията при изпитване на модели с по-големи размери се приема скоростта на въздуха да се намали до $v_{\max} \approx 20 \text{ m/s}$, а изходното сечение на конфузора да се увеличи. Тъй като основното предназначение на тръбата е създаването на праволинейно равномерно движение на въздушния поток, то изходно изискване към нея е получаването на качествен поток. Друго предназначение на конфузора е да ускори въздуха до скоростта в работната част. Праволинейността и равномерността се създават от геометрията на вътрешните контури на стените. Линейността е в размерите е в границите 1/200..1/1000. Успоредността им с оста на турбината и ъглите на установяване на лопатките на

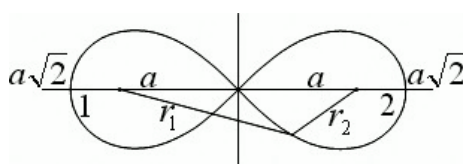
вентилатора е с точност $\pm 0,25^\circ \dots \pm 0,5^\circ$. От фиг. 3 се вижда, че ядрото на скоростното поле в едно от сеченията на работната част е равномерно. В него се помещава изследваното тяло. От ядрото на потока към границите му скоростта намалява до нула. Стремешът е ядрото на потока да е възможно най-голямо, а областта на напречния градиент на скоростта да е малка.



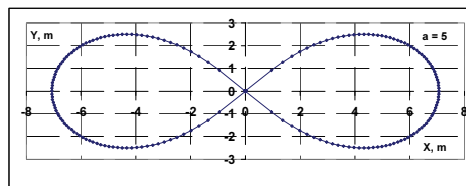
Фиг. 3 Ядро на скоростно поле

Състоянието на потока в другите части на тръбата има значение само доколкото може да повлияе на качеството на потока в работната част.

Особеност на тръбата с затворена циркулация (фиг. 1) се състои в това, че постепенно разширяващият се дифузор преминава в конфузор. Приема се изходното сечение на модела на конфузора да е правоъгълно поради компоновката на тръбата и модела на ветроколелото, което ще бъде изследвано. Размерите са $A \times B = 0,45 \times 0,45$; $0,45 \times 0,6$; $0,5 \times 0,7$ с хидравлични радиуси съответно $R=0,112$; $0,128$ и $0,146$ m.



а - Общ вид



б - Конкретни размери, $a = 0,5$

фиг. 4 Лемниската на Бернули

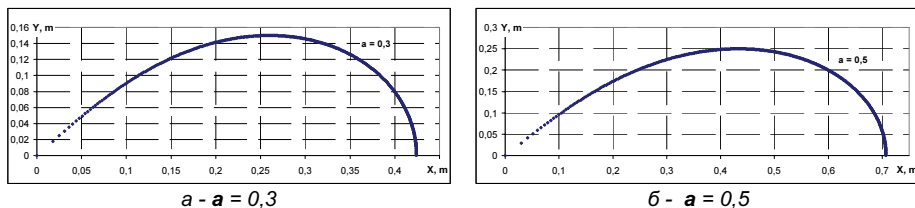
Формата на очертанието на стените на дюзата е криволинейна (фиг. 4) по уравнението на лемниската:

$$(1) \quad r = a\sqrt{2\cos(2\varphi)}$$

където a е параметърът, който определя геометричния размер на лемниската; φ - ъгълът на развитие.

Построението е направено за интервала $\varphi = 0 \div 45^\circ$. Ползва се най-подходящата част от кривата в този интервал. Правоъгълното изходно сечение и дължината на конфузора изискват различни стойности на параметъра a удовлетворяващи височината A , ширината B на това сечение, фиг. 5.

Лемниската е построена чрез програмния продукт Microsoft Excel в цилиндрична координатна система.

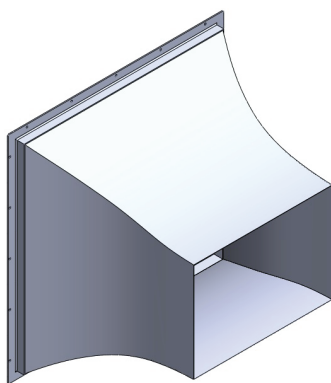


а - $a = 0,3$ б - $a = 0,5$
 фиг. 5 Лемнискати
 с различни стойности на параметъра a за интервала $\varphi = 0 \div 45^\circ$

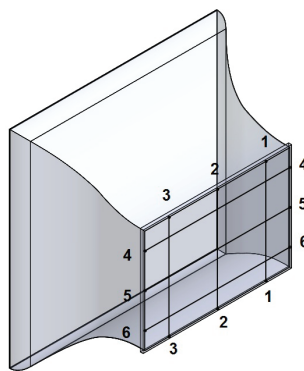
Дължината на модела на конфузора е $L=0,5; 0,73; 0,91$ за $A \times B = 0,5 \times 0,7$; $L=0,51; 0,59; 0,745$ за $A \times B = 0,45 \times 0,60$; $L=0,82$ за $A \times B = 0,45 \times 0,45$. Изследван е и конфузор с прави стени с дължина $L=0,865; 0,950$ за $A \times B = 0,45 \times 0,45$.

Проверено е влиянието на ексцентричността на входното и изходното сечение ($e = \frac{a_{\text{вх}} - a_{\text{изх}}}{2} = 0; 0,25 \text{ m}$) и свиването на потока в конфузора ($\varepsilon = \frac{S_{\text{вх}}}{S_{\text{изх}}} = 2,9; 3,7; 4,9$).

За определяне на параметрите на въздушното течение се решават уравненията на Навие – Стокс с помощта на програмния продукт SolidWorks и интегрираната в него система за флуиден анализ COSMOSFloWorks. За целта се използва персонален компютър с четириядрен процесор Intel Core i5-520M (2,4 GHz, 3 MB L2 cash), RAM 4 GB DDR3, Video Card – NVIDIA GeForce GT 320 M DDR3, 1 GB.



а - Реален вид

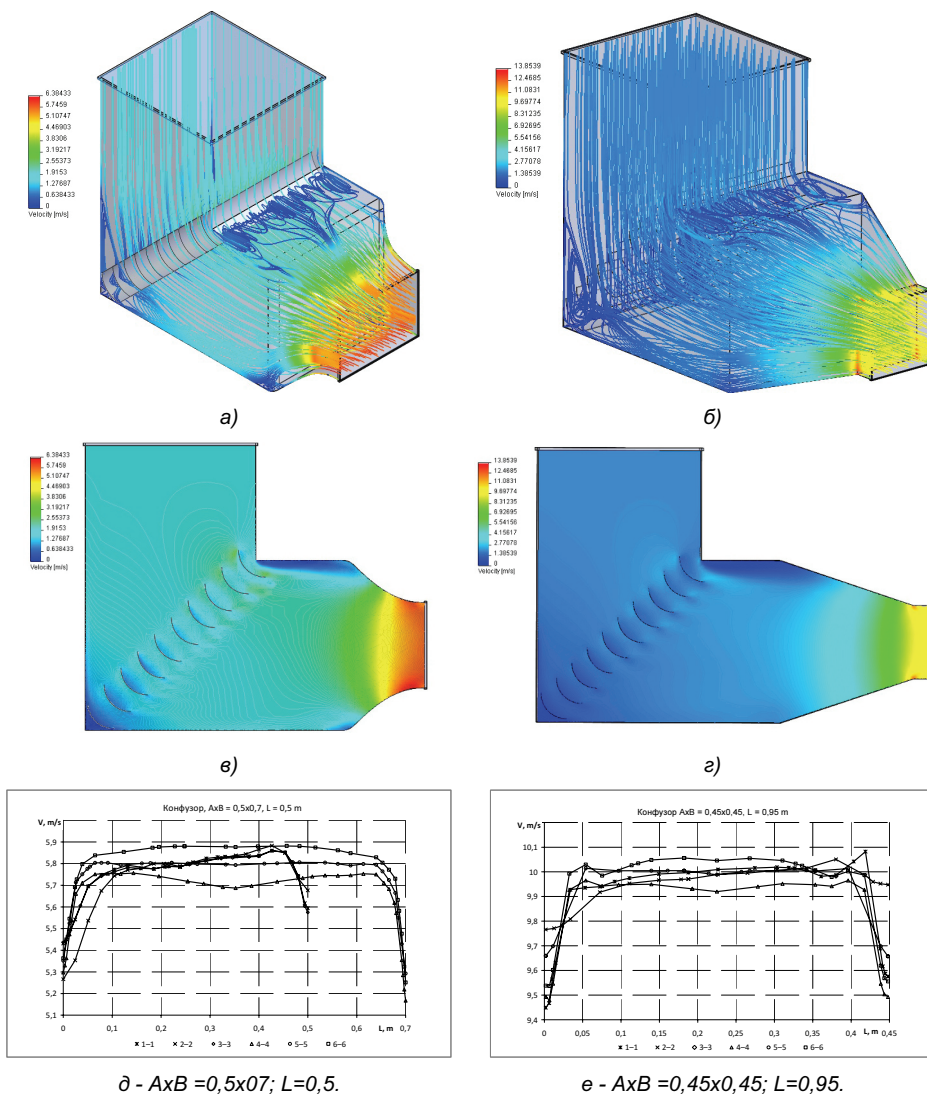


б - Контролни линии от изходното сечение

фиг. 6 Модел на конфузора

Моделирането започва със създаване на 3D модел на конфузора чрез CAD система SolidWorks (фиг. 6). Той е създаден чрез изтегляне, пресичане и комбиниране на твърди тела.

Преди стартиране на изчислителната процедура се дефинират физическите характеристики на изследваното течение. Използва се предлаганата от COSMOSFloWorks опция COSMOSFloWorks Wizard. От съответните менюта се избират мерни единици - в система SI, вид на анализа – вътрешен тип (флуида преминаващ през модела на конфузора). Вид на флуида – въздух, несвиваем. Стените на модела се приемат хидравлически гладки. Зоната, в която се провеждат изчисленията е ограничена от геометрията на изследвания обект.



фиг. 7 Резултати от изследването

Изчислителната мрежа е генерирана автоматично от софтуера. Граничните условия, с които се работи представляват, типични стойности на: скорост на въздушен поток на входа на модела $v = 2 \text{ m/s}$, налягане на изхода $p = 101\,000 \text{ Pa}$. Използвани са повечето опции по подразбиране предлагани от програмата.

Решението дава голямо количество данни, които илюстрират течението. В случая интерес представляват разпределението на скоростта, онагледено с токови линии (фиг. 7а, б), с разноцветни полета (фиг. 7в, г), диаграми на разпределението на скоростта по контролни линии от изходното сечението (фиг. 7д, е) и таблично (Табл. 1, Табл. 2). Машабите на стойностите на скоростта са представени с цветна скала дадена в лявата страна на фигурите.

РЕЗУЛТАТИ ОТ СИМУЛАЦИЯТА И АНАЛИЗ.

За оценка на качеството на потока се използват следните показатели: формата на профила на разпределението на скоростта, неравномерността на разпределението на скоростта, наличието на вихрови зони пред и в конфузора.

От фиг. 7 се вижда силно изразена вихрова зона в горната част на аеродинамичната тръба пред конфузора. Тя се наблюдава и в краищата на последните лопатки от ъгловата решетка. Част от вихрите навлизат в конфузора. Тази зона и навлизането ѝ в конфузора се влияят от формата и дължината му. Дюзите с криволинейни стени (фиг. 7а) имат по-малка вихрова област от тези с праволинейни (фиг. 7б). По-късите дюзи влияят по-слабо на течението от вихровата област. Вихрите навлизат дълбоко в конфузора. Хидравличното съпротивление на дъжгите ги гаси и те остават само във входното сечение.

На фиг. 7 са дадени диаграмите на разпределението на скоростта по шест контролни линии от изходното сечение (фиг. 6б). При правоъгълния конфузор може да се приеме, че разпределението на скоростта по всички вертикални линии (1-1, 2-2, 3-3) е еднакво. Различават се само скоростите по горната част на средната линия 2-2 на разстояние 0,1 m от стената. Това се обяснява с влиянието на вихровата зона пред конфузора. Въпреки съвпадането на профилите разпределението на скоростта не е равномерно. Скоростите в горната част на профила са по-големи от тези в долната част. Причината е инерционните сили в коляното пред дюзата и недостатъчната изправяща способност на ъгловата решетката.

Таблица 1

Форма	Правоъгълен изход									Кръгъл изход
	Праволинейни стени		Криволинейни (по лемниската) стени						Ексцентричен изход	
Размери m	0,45x0,45		0,45x0,45	0,45x0,6			0,5x0,7		0,5x0,7	d=0,7
	L=0,865	L=0,95	L=0,83	L=0,51	L=0,59	L=0,745	L=0,5	L=0,73	L=0,73	L=0,5
V_{MIN} , m/s	9,61	9,43	9,45	7,19	7,04	6,95	5,33	5,34	5,43	4,85
V_{MAX} , m/s	9,89	9,94	10,08	7,55	7,48	7,51	5,85	5,81	5,84	5,31
V_{AVR} , m/s	9,83	10,15	10,28	7,48	7,69	7,45	5,89	5,85	5,94	5,35
Неравномерност, σ	0,028	0,049	0,062	0,047	0,057	0,074	0,087	0,079	0,069	0,085

Обратното явление се наблюдава по хоризонталните линии (4-4, 5-5, 6-6). Те съвпадат при стените, а са изместени в областта на ядрото също по причина на инерционните сили. Въпреки изместването им, разпределението на скоростта е равномерно. То се влияе не само от течението пред конфузора, но и от дължината му, кривината на стените и степента на свиване на потока $n=S_1/S_2$. По-голямата дължина, плавното изменение на кривината и по-голямата степен на свиване намаляват неравномерността на скоростното поле. От тези фактори най-значим е свиването на течението. Това се вижда от фиг. 7г, е. При конфузора с прави стени благодарение на голямото свиване скоростите по всички линии са практически равни и разпределението е равномерно.

Докато данните от фиг. 7 дават по-скоро качествена оценка, то данните от табл.

1 и табл. 2 показват количествено влиянието на разгледаните фактори върху равномерността на разпределението на скоростта в изходното сечение на конфузора.

Таблица 2

Конфузор $A \times B = 0,5 \times 0,7$; $L=0,5$						
Контролни линии от изходното сечение	1–1	2–2	3–3	4–4	5–5	6–6
$V_{\min}$, m/s	5,43	5,26	5,43	5,16	5,29	5,25
$V_{\max}$, m/s	5,85	5,88	5,85	5,75	5,8	5,88
V_{avr} , m/s	5,73	5,73	5,73	5,61	5,72	5,72
Неравномерност, σ	0,074	0,107	0,073	0,104	0,089	0,11

ИЗВОДИ

1. Равномерността на разпределението на скоростта се подобрява от увеличаването на свиването $n=S_1/S_2$ на потока, плавността на аеродинамичния контур в областта на конфузора, по-голямата дължина на дюзата.

2. За правоъгълен конфузор с размери $A \times B = 0,5 \times 0,7$; $L=0,5$ отклонението на скоростта от средната ѝ стойност в цялото сечение е 0,079 а за ядрото 0,006. Препоръчителните граници са $\pm(0,5..0,75)\%$. Следователно той осигурява необходимото качество на потока.

Литература

- [1]. Аилямковский А. А., Собачкин А. А., Одинцов Е. В., Харитонович А. И., SolidWorks - Компютърно моделирование в инженерной практике., Петербург 2005.
- [2]. Горлин С. М., Слезингер И. И., Аэромеханические измерения. Москва, Наука, 1964.
- [3]. Каравасилев О., Недялков В., Нанчев А., Кожухаров М., Сапунджиева А., SolidWorks – Разширени възможности, София ТехноЛогика ЕООД 2008.
- [4]. Стоянов Ц., Каравасилев О., Нанчев А., Недялков В., SolidWorks – Книга за потребителя, София ТехноЛогика ЕООД 2006.

За контакти:

Ахмед Ахмедов, докторант, "Топлотехника, хидро и пневмотехника", Русенски университет "Ангел Кънчев"РУ „А. Кънчев“; e-mail: aahmedov@uni-ruse.bg

Доц. д-р Красимир Тужаров, Катедра - "Топлотехника, хидро и пневмотехника", Русенски университет "Ангел Кънчев", e-mail: tujarov@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.