

## Стенд за изследване на въздушни завеси

Емануил Георгиев, Детелин Марков, Петър Станков

**Air curtains test rig:** The purpose of the study is to present a test rig for experimental investigation of air curtains. A specially designed automatic jig device for precise positioning of the measuring probe was developed. An experimental measurement with a thermoanemometer at 3 different discharge velocities of an air curtain unit under isothermal conditions in one plane was performed. The obtained results allow a characterization of the velocity field.

**Key words:** Air curtain, test rig, jig device, experimental measurement, turbulent airflow.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Въздушните завеси се използват за разделяне без физическа бариера на две зони: помещения с различни термодинамични параметри на вътрешната среда, вътрешна от външна среда или за защита на някаква зона от обмяна на материя – прах, влага, замърсители, насекоми и т.н., [6]. Основната цел е да се генерира невидима въздушна бариера, която намалява обмяната на материя или енергия между двете зони. Въздушните завеси са полезни в ситуации, когато традиционните прегради между две помещения са неприемливи поради практически или икономически причини или от съображения за безопасност.

Въздушните завеси биват вертикални или хоризонтални, инсталират се от вътрешната или от външната страна на входа на защитеното пространство, като най-често имат опцията да работят с възможност за допълнително подгряване чрез електрически нагреватели, а в редки случаи са вързани към тръбна система с течаща топла/студена вода. Работят с въздух от средата, в която са инсталирани като въздухът се подава през отвор или отвори с правоъгълно сечение, генерирайки правоъгълна свободна турбулентна струя или система от струи.

Развитието на едно свободно течение се определя от състоянието му в изходящото сечение (условията на изтичане) и условията на средата [5]. Необходимо е в изходящото сечение да се познават изменението във времето на скоростно поле и полето на статичното налягане, при нестационарна постановка, или полето на средната скорост, турбулентните характеристики, полето на статичното налягане и корелациите скорост – налягане, при квазистационарна постановка [4].

На базата на експериментално и теоретично изследване на течения от този клас, могат да се формулират следните параметри, определящи развитието на правоъгълна свободна турбулентна струя: конфигурацията на канала преди изходящото сечение (1); размери на отвора от който изтича струята (2); отношението на страните на отвора (3); скоростен профил в изходящото сечение (4); тип на граничния слой (5); число на Рейнолдс –  $Re$  (6); число на Max –  $M$  (7); ниво на турбулентност  $\epsilon_u$  (8); разпределение на турбулентната интензивност в изходящото сечение (9); условия на средата (10), [1, 2, 3, 4, 5].

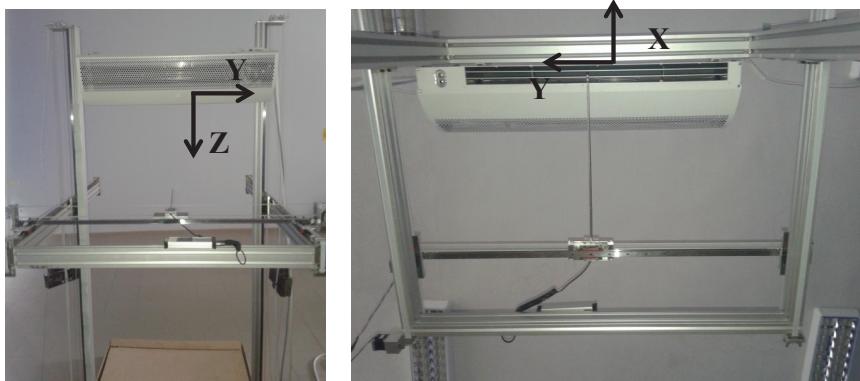
### ИЗЛОЖЕНИЕ

В настоящата статия е представен стенд за изследване на въздушни завеси, както и резултати експериментално изследване проследяващо изменението на скоростта по дължината на струята при 3 различни начални скорости на изтичане и изотермични условия.

На Фиг. 1. са показани фронтален изглед и изглед отдолу на опитната уредба, заедно с устройството за генериране на въздушни завеси. Експерименталната установка е изградена на територията на Технически Университет – София. Стендът е съставен от профилирани алюминиеви греди, сглобени чрез гайки в разглобяемо

съединение с габаритни размери 2,5 x 1,1 m [Височина x Широчина]. Рамката е мобилна, в основата си е правоъгълник с размер 1,6 x 1,1 m [Дължина x Широчина], под който са сложени 8 броя колела със спирачка. Основата на стенда, както и странищите са покрити от ПДЧ със същия размер, като по този начин течението не се смущава от рамката. Към вертикалните алюминиеви профили на стенда са присъединени профилирани водещи релси и по 1 брой линейни съчмени лагери на всяка от тях. Координатното устройство, представляващо П-образна рамка, сглобена от същия тип алюминиеви профили, е захванато към стенда чрез присъединителни планки, монтирани на линейните лагери. По този начин е осигурено движението по вертикалната ос Z. Върху успоредните рамена на П-образната рамка са поставени други 2 броя профилирани водещи релси с линейни лагери, а перпендикулярно върху тях е монтирана последната профилирана релса с линеен лагер, като по този начин е реализирано движението по другите 2 оси (X и Y).

Измервателният инструмент се захваща за координатното устройство чрез специално създаден за целта държач, съставен от 2 стягащи се една към друга планки с изрязани в тях канали. За задвижването на П-образната рамка по трите координатни оси се използват 3 броя стъпкови мотора Nema 17, всеки комплектован с драйвер A4988. Драйверите се управляват от контролер Arduino Mega 2560. Всички електронни компоненти – драйвери, контролер, захранване са прибрани в кутия с охлаждане генерирано от малък 12 волтов вентилатор. Софтуерът за управление на контролера и респективно на стъпковите мотори е написан в средата за програмиране Arduino. Желаното линейно преместване, независимо за коя ос се задава софтуерно. Въртящият момент на стъпковите мотори се предава чрез отворен зъбен ремък T5-16. Ремъкът е опънат посредством създадени за целта обтегачи – планки, присъединени към стенда, на които са монтирани зъбни ролки. Валът, на която е поставена зъбната ролка е лагеруван на 2 места. Стъпковият мотор задвижващ П-образната рамка по вертикалната ос Z е подложен на най-тежък режим на работа, преодолявайки тежестта на цялата рамка. За да бъде облекчена работата на мотора, две противотежести с равно тегло и общ сбор равен на теглото на П-образната рамка са захванати за вертикалните зъбните ремъци симетрично – от външната страна на вертикалните греди на стенда и се уравновесяват взаимно. По този начин рамката има възможност да застава в произволно положение по височина дори без мотора да работи и се предотвратява падане при внезапно спиране на тока. Общата грешка от позициониране на измервателния инструмент е ± 1mm на линеен метър.



а) Фронтален изглед

б) Изглед отдолу

Фиг. 1. Стенд за изследование на въздушни завеси

Устройството за генериране на въздушни завеси, Фигура 2, е окачено на болтове, закрепени към стенда. Болтовете са захванати към два хоризонтални алуминиеви профила, които са част от рамката. Те могат да се движат нагоре и надолу и по този начин да се регулира височината, на която се поставя устройството за генериране на въздушна завеса.

Изследваните режими са при три различни начални скорости на изтичане  $V_0 = 8, 9$  и  $10 \text{ m/s}$ , в режим без допълнително загряване от устройството за генериране на въздушна завеса и без разлика в налягането от двете страни на правоъгълната струя. Стендът за изследване на въздушни завеси бе поставен близо до средата на залата, в която се намира – лаб. 2126А. По време на експеримента атмосферното налягане и температурата в лабораторията са измервани от барометър и термометър разположени в средата на залата. Засмукваният от работното колело въздух посредством отвори разположени отпред и предимно отгоре на кутията се подава през правоъгълния отвор разположен отдолу на устройството за генериране на въздушна завеса. Точките на измерване на термоанемометъра са по оста Z, която започва от пресечната точка на диагоналите на правоъгълника в изходящото сечение на устройството за генериране на въздушна завеса и сочи надолу (по течението). Първата измервателна точка по ос Z е на разстояние 1 см от устройството за генериране на въздушни завеси, като следващата е на 5 см и следва стъпка от 5 см до достигане на разстояние от 175 см. Последната точка на измерване по оста Z се намира на 178 см от центъра на изходящото сечение, тъй като при нея П-образната рамка достига основата на стенда. Спрямо началото на координатната ос X измерените точки са 3 – на разстояние -5 см, 0 см и +5 см, като тези точки се запазват едни и същи при всички измерени височини. По оста Y няма преместване на координатното устройство.



Фиг. 2. Устройство за генериране на въздушна завеса

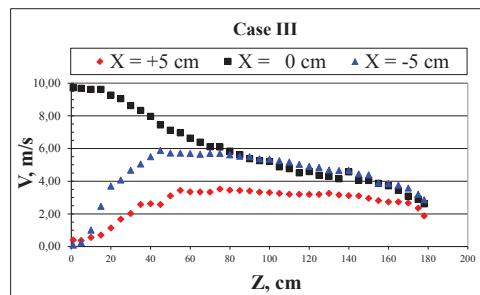


Фиг. 3. Термоанемометър SwemaAir300 и измервателна сонда SWA 31

За целите на експерименталното изследване бе използван измервателен уред – термоанемометър SwemaAir300 заедно с измервателна сонда SWA 31 – Фиг. 3. Обхватът на сондата е от  $0,1 \div 30 \text{ m/s}$  и температура от  $-10 \div 45^\circ\text{C}$ . Точността на измервателната сонда е  $\pm 4,5\%$  от измерената стойност – за скорости в диапазона от  $1,1 \div 30 \text{ m/s}$  при температура различна от  $20^\circ\text{C}$ . Зададената стъпка на измерване на уреда е 0,25 sec. Продължителността на измерване във всяка една точка е 10 sec, като по този начин броят на записите в тази точка е 40. На базата на тези записи уредът отчита максималната и минимална измерена скорост и температура, като пресмята, също така, средната скорост и стандартното отклонение.

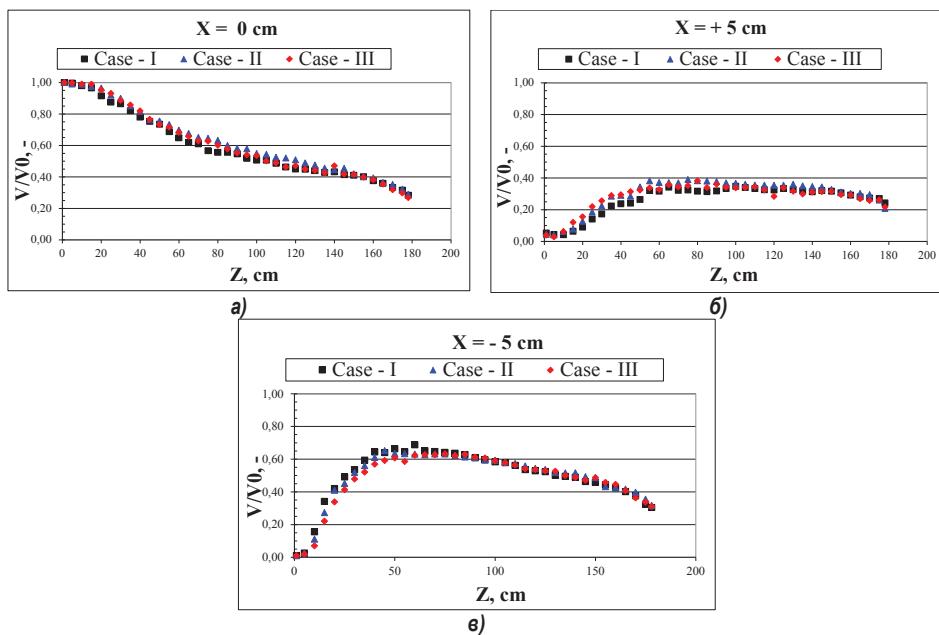
На Фиг. 4. е представено изменението на скоростта по дължината на струята (Z) при начална скорост на въздушната завеса  $V_0 = 10 \text{ m/s}$ , за трите точки на измерване по ос X. За  $Z > 80 \text{ cm}$  надолу по течението се наблюдават по-големи скорости при  $X =$

-5 см, от колкото при  $X = 0$  см (геометричния център на изходящото сечение), т.е. струята се отклонява навътре към защитеното пространство.



Фиг. 4. Изменение на скоростта по дължината на струята при  $V_0 = 10 \text{ m/s}$

На Фиг. 5. е представено изменението на скоростта по дължината на струята в безразмерен вид ( $V/V_0$ ) при при  $X = -5, 0$  и  $+5$  см при трите скорости. Независимо от различните начални скорости се наблюдава един и същи характер на изменението на скоростта по дължината на течението.



Фиг. 5. Изменение на скоростта по дължината на струята в безразмерен вид при  $V_0 = 8, 9, 10 \text{ m/s}$  и  $X = 0 \text{ cm}$  – a);  $X = +5 \text{ cm}$  – b);  $X = -5 \text{ cm}$  – c)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оста на струята не съвпада с оста Z, което е характеристика на устройството, което генерира струята – предопределено от формата на камерата след работното колело на вентилатора и преди изходящото сечение на струята.

От представените графики се вижда, че по отношение на изменението на скоростта по дължина на струята течението е автомоделно.

## Литература

- [1]. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй, Наука, 1984.
- [2]. Кузов К. А. Меликов, М. Лозанова, Макроструктура свободно турбулентной струи с прямоугольным начальным сечением, материалы в национального конгресса теоретической и прикладной механики, Варна, Сентябрь 1985, т.2, с.657, 1985.
- [3]. Ларюшкин М. А., Некоторые закономерности влияния начального уровня турбулентности на развитие турбулентной струи, Труды МЭИ, вип. 524, с. 26, 1981.
- [4]. Марков Д., П. Станков, Анализ на эксперименталните изследвания върху правоъгълна турбулентна струя, Научна Сесия ВМЕИ Ленин, 1989.
- [5]. Станков П., Д. Марков, Фактори определящи развитието на правоъгълна турбулентна струя, Научна Сесия ВМЕИ Ленин, 1989.
- [6]. Georgiev E., D. Markov, P. Stankov, On the influence of the pressure difference on air curtain behavior, Annual conference, Ruse, 2014.

## За контакти:

Маг. инж. Емануил Георгиев, Катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, Технически Университет – София, тел.: 02/ 965-33 05; e-mail: emanuileg@tu-sofia.bg

Гл. ас. д-р инж. Детелин Марков, Катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, Технически Университет – София, тел.: 02/ 965-33 05; e-mail: detmar@tu-sofia.bg

Проф. дтн инж. Петър Станков, Катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, Технически Университет – София, тел.: 02/ 965-33 05; e-mail: peter.stankov@abv.bg

Докладът е рецензиран.