

## **Числено моделиране на взаимодействието на турбулентна струя със смукателен отвор при нулев ексцентрицитет между двете секции**

Иван Денев

*Отделянето на вредни прахови и газови частици от различни технологични процеси налагат внедряването на коректно пресметната и оразмерена вентилационна инсталация за отвеждане на вредностите от работната среда.*

*В настоящата работа е направена числена симулация на процес на отвеждане на турбулентна струя и визуализиране на скоростните полета и профили, получени в характерни сечения. Получените данни дават информация за влиянието на началните параметри, върху разпространението на струята и взаимодействието и със смукателен отвор.*

Ключови думи: турбулентни струи, числено моделиране, смукателен отвор

## **Numerical modeling the interaction of turbulent jet with suction opening without eccentricity between sections**

Ivan Denev

*Separation of harmful dust and gaseous particles from various technological processes impose correctly dimensioned ventilation to evacuate the pollutants out of the working zone.*

*In this paper is presented numerical modeling of a process of leading off turbulent jet and visualization of velocity fields and profiles in some specific sections. The results gave information about the influence of inlet parameters to distribution of the jet and it's interaction with suction opening.*

Key words: turbulent jet, CFD modeling, suction opening

### **Въведение**

Голяма част от процесите в промишлените предприятия са съпроводени с отделяне на вредности в работната зона. Повишаването на концентрацията на тези вредни прахови и газови частици би довело до застрашаване здравето и физическото състояние на персонала, обслужващ прилежащото оборудване.

С цел подобряване на условията на труд и опазване здравето на персонала се проектират и изграждат вентилационни инсталации. В редица литературни източници [4], [5], [6], [7] са разгледани видовете вентилации, техните предимства и недостатъци, като в случаите на отделяне на вредности в работна зона най-подходяща е местната смукателна вентилация.

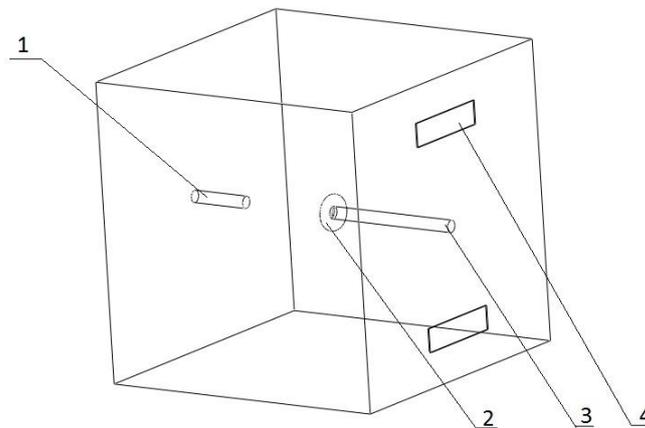
Конвенционалните методи за проектиране на смукателни вентилационни системи са сравнително бавни и внасят ненужно преоразмеряване, съпроводено с по-високи експлоатационни разходи.

Бързо развиващите се софтуерни продукти свързани с изчислителната механика на флуидите дават възможност за бързо пресмятане на конкретен случай и оразмеряване на инсталацията, съгласно максималното натоварване.

Основната цел на настоящата работа е да се реализира числено моделиране и симулиране на взаимодействието на турбулентна струя със смукателен отвор, разположени съсно с определено разстояние между смукателната и нагнетателната секции. Изследвано е влиянието на основните изходни параметри (скорости на изтичане и засмукване, разстояние между смукателя и нагнетателя) върху разпределението на скоростните полета и вида на улавяне от страна на смукателния отвор.

### Изграждане на геометричен модел

Разглежда се сравнително проста конструкция, представена на фиг. 1. Като под номер 1 е означен нагнетателния тръбопровод, подаващ турбулентната струя към смукателна дюза, означена с номер 2. Смукателния тръбопровод е означен с позиция 3, а за да се избегне повишаване или намаляване на налягането в модела, поради различията в подавания и засмукван дебити са предвидени компенсационни отвори 4. За изграждане на геометрията на модела е използвана комерсиална програма за 3D моделиране SolidWorks.



Фиг. 1 – геометричен модел за изследване взаимодействието на турбулентна струя със смукателен отвор

След построяване на модела и дефиниране на граничните условия за задачата се пристъпва към числената симулация. Преди това се задават уравненията за движение [3] които ще се решават с цел да се получи разпределението на исканите от нас величини. За целта е избран стандартен  $k$ - $\epsilon$  модел на турбулентност [2], базиран на транспортните уравнения за турбулентната кинетична енергия „ $k$ “ и скоростта на дисипация „ $\epsilon$ “.

Те се дефинират със следните транспортни уравнения:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + G_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - G_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (2)$$

където:

$G_k$  – генерация на турбулентна кинетична енергия в резултат на наличието на скоростен градиент.

$G_b$  - генерация на турбулентна кинетична енергия в резултат на подемната сила.

$Y_M$  – показва степента на увеличение на турбулентната кинетична енергия с цел компенсиране на затихването на скоростта на дисипация. Този коефициент отразява ефекта на свиваемост на флуида при високи числа на Мах.

Симулацията на процесите е проведена във Fluent модула на софтуерния продукт Ansys [1]. Решението е постигнато след приблизително 420 итерации, съгласно предварително зададените критерии.

### Резултати от численото решение

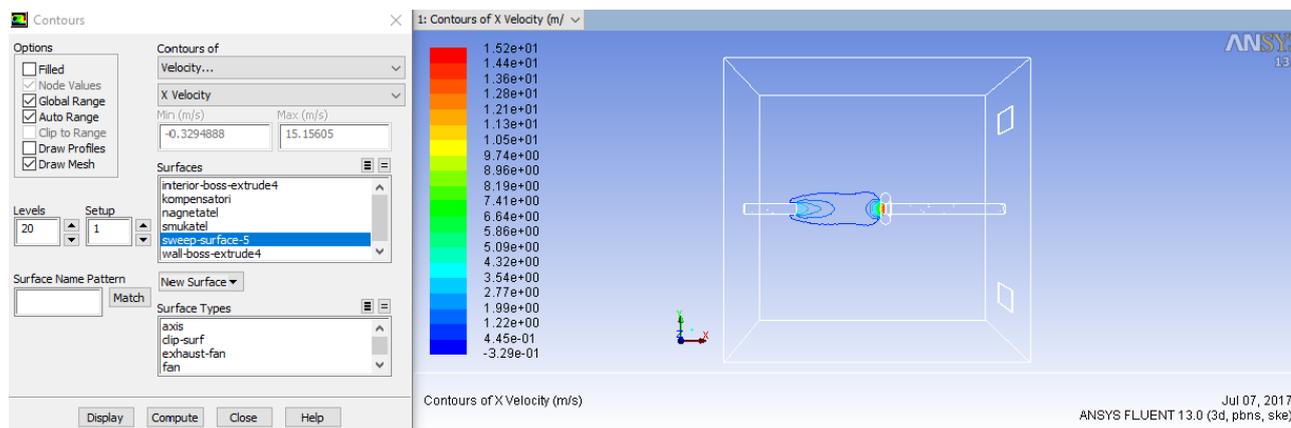
Получени са резултати за три варианта – свръхпълно, пълно и непълно улавяне на турбулентната струя от смукателния отвор. Изходните данни за трите разглеждани варианта са показани в табличен вид.

Вариант 1 – свръхпълно улавяне			Вариант 2 – пълно улавяне		
Наименование	Стойност	Размерност	Наименование	Стойност	Размерност
Размери на помещението			Размери на помещението		
По ос X	2500	mm	По ос X	2500	mm
По ос Y	2500	mm	По ос Y	2500	mm
По ос Z	2500	mm	По ос Z	2500	mm
Нагнетателна секция			Нагнетателна секция		
Диаметър Dн	100	mm	Диаметър Dн	100	mm
Дължина	300	mm	Дължина	300	mm
Смукателна секция			Смукателна секция		
Диаметър Dс	100	mm	Диаметър Dс	100	mm
Дължина	1200	mm	Дължина	1200	mm
Разстояние между двете секции, L	1000	mm	Разстояние между двете секции, L	1000	mm
Размери на компенсационни отвори 2 бр			Размери на компенсационни отвори 2 бр		
Дължина по ос Y	800	mm	Дължина по ос Y	800	mm
Широчина по ос Z	200	mm	Широчина по ос Z	200	mm
Параметри на струите			Параметри на струите		
Нагнетен дебит, Qн	0.0354	kg/s	Нагнетен дебит, Qн	0.06936	kg/s
Засмукан дебит, Qс	0.137208	kg/s	Засмукан дебит, Qс	0.13728	kg/s
Отношение на дебитите: Qс/Qн	3,88		Отношение на дебитите: Qс/Qн	1,98	
Ексцентрицитет	0	mm	Ексцентрицитет	0	mm

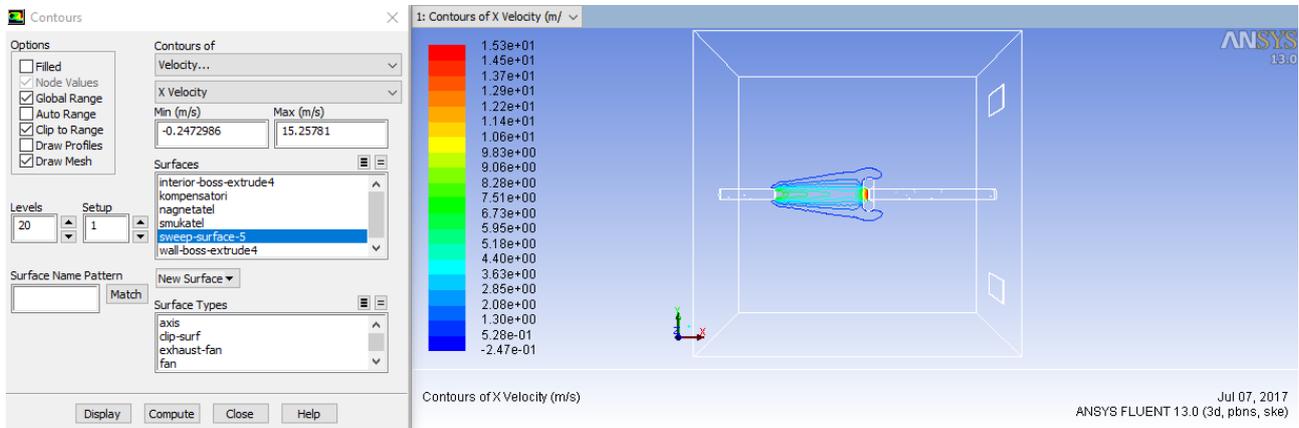
Вариант 3 – непълно улавяне		
Наименование	Стойност	Размерност
<b>Размери на кутията</b>		
По ос X	2500	mm
По ос Y	2500	mm
По ос Z	2500	mm
<b>Нагнетателна секция</b>		
Диаметър Dн	100	mm
Дължина	300	mm
<b>Смукателна секция</b>		
Диаметър Dс	100	mm
Дължина	1200	mm
Разстояние между двете секции, L	1000	mm
<b>Размери на компенсационни отвори 2 бр</b>		
Дължина по ос Y	800	mm
Широчина по ос Z	200	mm
<b>Параметри на струите</b>		
Нагнетен дебит, Qн	0.166404	kg/s
Засмукан дебит, Qс	0.136536	kg/s
Отношение на дебитите: Qс/Qн	0.82	
Ексцентрицитет	0	mm

Визуализация на получените скоростни полета са показани на фигури 2-4, като са направени сечения по оста на изтичане. Токовите линии ясно показват турбулентния характер на течението.

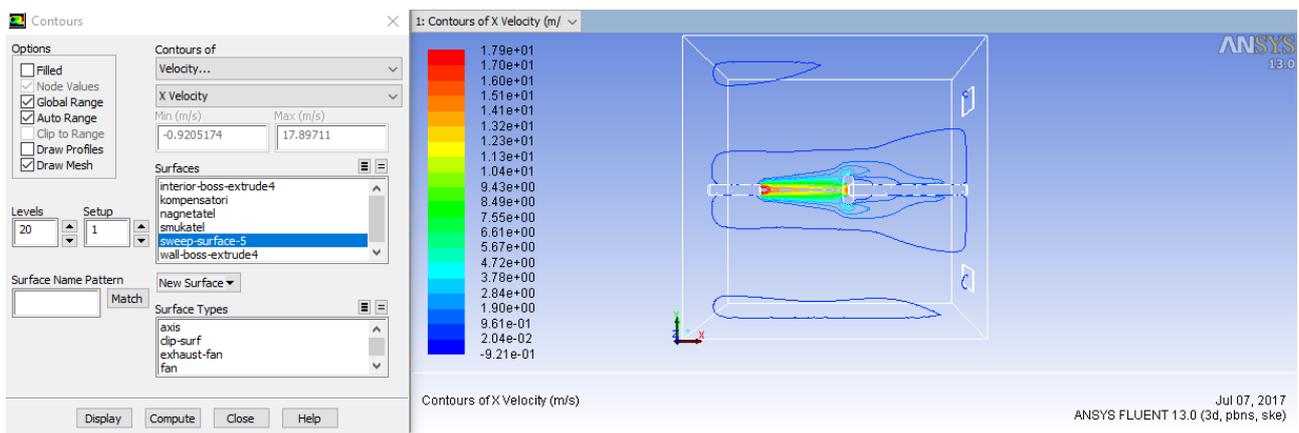
На фиг. 2 е показано полученото скоростното поле, изразено чрез токови линии на вариант със свръхпълно улавяне на нагнетяваната турбулентна струя от смукателния отвор. Следващия вариант на пълно улавяне е показан на фиг. 3, а вариантът на непълно улавяне е показан на фиг. 4.



Фиг. 2 – Токови линии на струята при 3,88 пъти повече засмукан дебит – свръхпълно улавяне

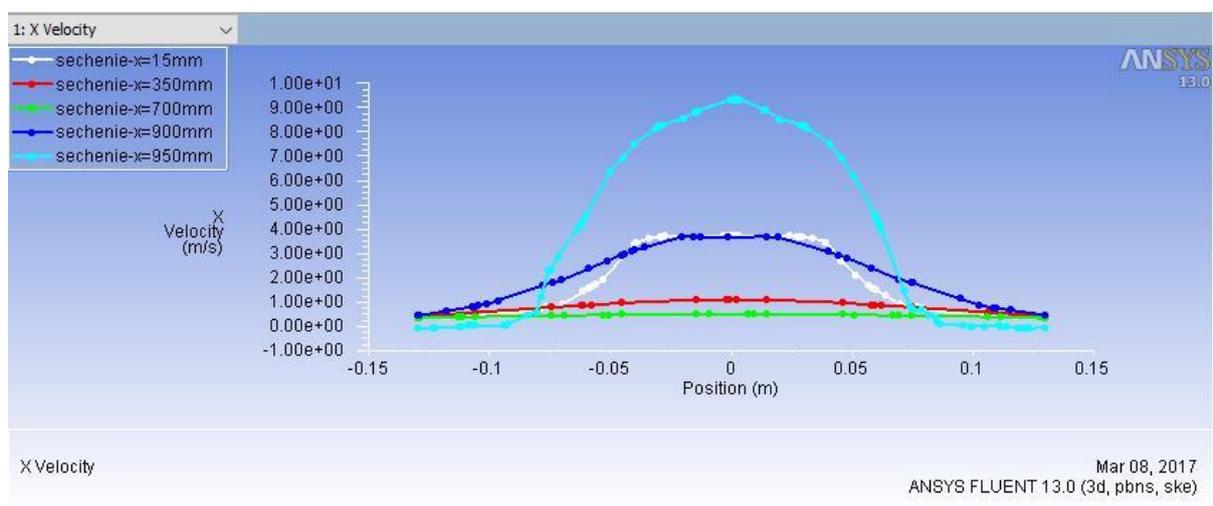


Фиг. 3 – Токови линии на струята при 1,98 пъти повече засмукан дебит – пълно улавяне

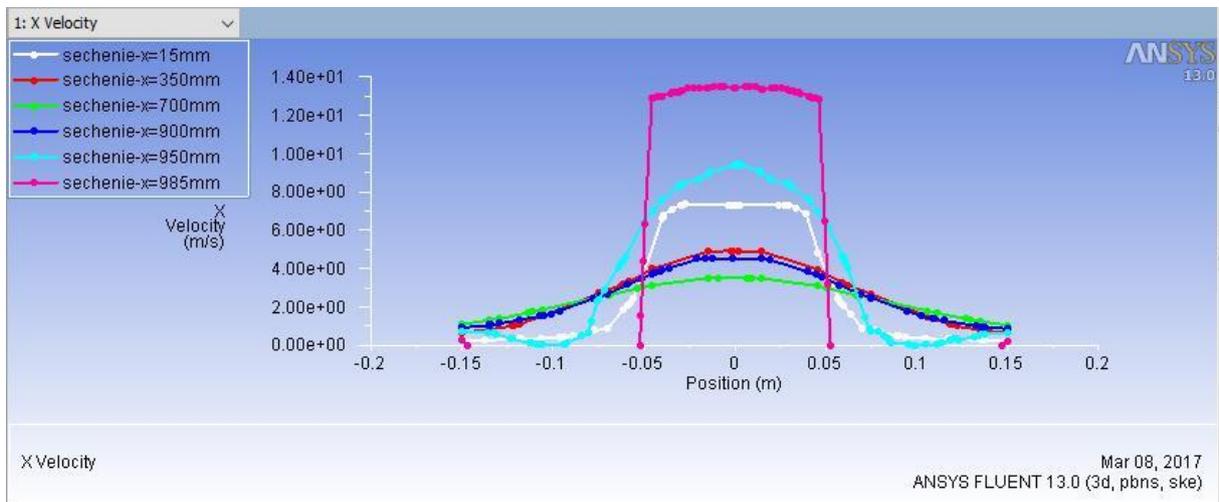


Фиг. 4 – Токови линии на струята при 1,22 пъти повече нагнетен дебит – непълно улавяне

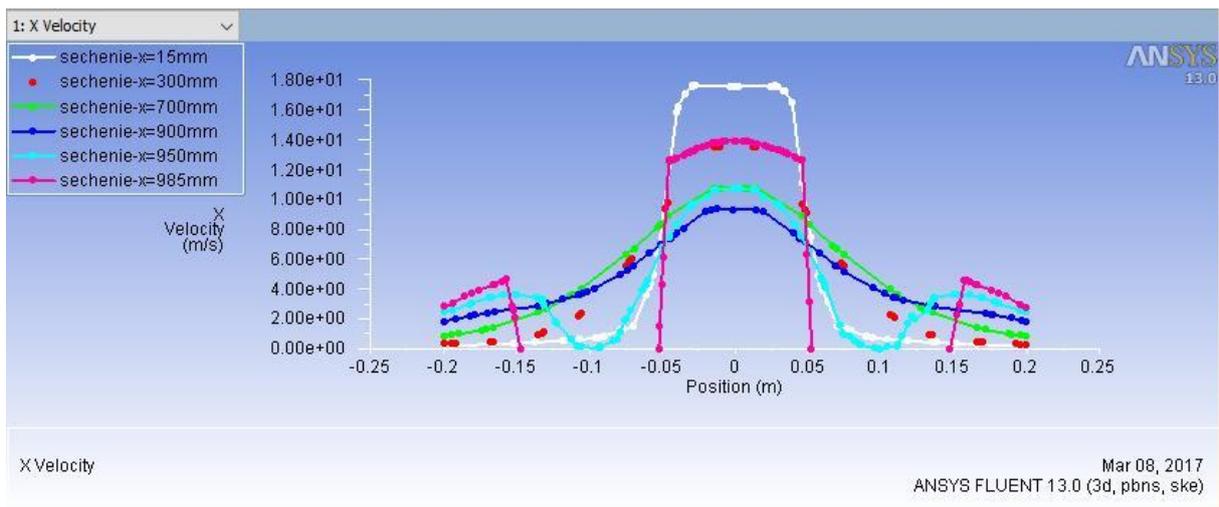
Разгледани са и скоростните профили в характерни сечения, надлъжно на изтичащата струя и визуализирани на фиг 5-7. Така оформени, те могат да послужат за сравнение на получените данни от числената симулация с такива от натурен експеримент, което предстои да бъде разгледано на по-късен етап.



Фиг. 5 - Скоростни профили при вариант на свръхпълно улавяне



Фиг. 6 - Скоростни профили при вариант на пълно улавяне



Фиг. 7 - Скоростни профили при вариант с непълно улавяне

## Заклучение

В работата е направено числено решение на взаимодействието на турбулентна струя със смукателен отвор при наличие на съосност между нагнетателния и смукателния тръбопроводи. Построен е геометричен модел на поставената задача. Дадени са началните и гранични условия, като за решаване на така формулираната задача е приложен стандартен k-ε модел на турбулентност. Визуализирани са на базата на числената симулация скоростните полета и скоростните профили в характерни сечения.

## Литература:

1. Ansys Fluent 12.0 User's guide, 2009

2. Wilcox D. Turbulence modeling for CFD, 2006
3. Антонов И.С., Приложна механика на флуидите, София 2009 г
4. Денев Ив., Някои аспекти на взаимодействие на струя, носеща вредности със смукателен спектър, Научна конференция ЕМФ'2016, Созопол, Том II, стр. 18-24 ISSN 1314-5371
5. Кадах А., Числено моделиране на двуфазна турбулентна струя, взаимодействаща със смукателен спектър, автореферат на дисертация, София 1993
6. Пенев С., Промислена вентилация и обезпрашаване, София 2001 г.
7. Фарид А., Взаимодействие между турбулентна струя и смукателен спектър, автореферат на дисертация, София 1989

докт. Иван Денев, Технически университет – София, катедра „ХАД и ХМ“, e-mail: [ivan\\_denev.eng@abv.bg](mailto:ivan_denev.eng@abv.bg)