



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

Енергомашиностроителен факултет

Катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“

маг. инж. Иван Николаев Денев

**СИМУЛАЦИЯ НА СИСТЕМИ И ПРОЦЕСИ ПРИ ЕВАКУАЦИЯ НА
ВРЕДНОСТИ ОТ РАБОТНА СРЕДА**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"**

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.1 Машинно инженерство

Научна специалност: Механика на флуидите

Научен ръководител: проф. д-р инж. Иван Славейков Антонов

СОФИЯ, 2018 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“ към Енергомашиностроителен факултет на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 15.06.2018 г..

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 08.10.2018 г. от 13,00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-214 / 20.06.2018 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Проф. д-тн инж. Иван Славейков Антонов – председател
2. Доц. д-р инж. Ангел Костадинов Терзиев – научен секретар
3. Проф. д-тн инж. Петър Станков Йорданов
4. Проф. д-р инж. Милчо Стоянов Ангелов
5. Проф. д-р инж. Генчо Стойков Попов

Рецензенти:

1. Проф. д-р инж. Милчо Стоянов Ангелов
2. Доц. д-р инж. Ангел Костадинов Терзиев

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Енергомашиностроителен Факултет на ТУ-София, блок №2, кабинет № 2344.

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“ на Енергомашиностроителен факултет. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Иван Денев

Заглавие: Симулация на системи и процеси при евакуация на вредности от работна среда

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Актуалността на поставения проблем може да се разгледа от три гледни точки:

- Проектантска – методите използвани и към момента за проектиране на вентилационни инсталации в промишлени предприятия са остарели, като основните използвани методики са от 80-те години на 20 век. С развитието на изчислителната техника и подобряване на възможностите на софтуерните продукти за моделиране и симулиране възниква и възможността те да бъдат използвани за по-лесно и бързо проектиране на смукателни системи за отвеждане на вредности при технологични процеси;
- Икономическа гледна точка – използваните методики за проектиране на вентилационни инсталации внасят ненужно преоразмеряване, от където следва и по-висока енергоемкост, както при самото внедряване на системата така и за последващите експлоатационни разходи;
- Безопасност на работната среда - разглежда се актуалността на проблема по отношение на здравословните и безопасни условия на труд – работата в силно замърсена среда оказва негативно влияние върху хората, а една подробно представена аеродинамична картина на течението при процеса на евакуиране на вредности спомага за максимално намаляване на тяхната концентрация в работната зона.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Основната цел на дисертационния труд са създаване на нов модел за числени симулации на елементи от смукателни вентилационни инсталации за отвеждане на вредности от работна среда.

Необходимостта от проучване в областта на численото моделиране на процесите при евакуиране на вредности идва на практика от остарелите методи за изчисляване на подобен тип системи, а развитието на софтуерните продукти е една опция за подобряване на процеса на тяхното проектиране.

За постигането на целта залегнала в дисертационния труд, се предвижда да бъдат извършени следните задачи:

- Математическо моделиране на взаимодействието на турбулентна струя (замърсител) и смукателна дюза;
- Провеждане на числена симулация на взаимодействие на турбулентна струя със смукателна дюза;
- Провеждане на експериментални изследвания и сравнение с известни такива, с цел валидиране на модела;

- Създаване на модел за анализ на съществуващи устройства за отвеждане на замърсен въздух от работна среда.

Научна новост

Реализиран е математичен модел на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор, приложим в софтуерни продукти за провеждане на числени симулации на процеса.

Практическа приложимост

Получените резултати от числените симулации и изведените зависимости могат да бъдат използвани при проектиране на смукателни устройства, с цел реализиране на пълно улавяне на замърсена струя, следствие от различни производствени процеси.

Публикации

Работата по дисертацията е докладвана на конференции на ЕМФ в Созопол и на Научна конференция на Русенски университет Ангел Кънчев. Приложени са 4 статии към настоящия дисертационен труд:

1. Денев Ив., Някои аспекти на взаимодействие на струя, носеща вредности със смукателен спектър, Сборник доклади Хидроаеродинамика , хидро- и пневмотехника дизайн и технологии за облекло и текстил, Том II ЕМФ 2016, стр. 18-24, ISSN 1314-5371.

2. Denev Iv., Tsankov P., Velichkova R., Experimental study interaction of isothermal turbulent jet with suction opening, PROCEEDINGS OF UNIVERSITY OF RUSE - 2016, Volume 55, book 1.2. pages 190-194., ISSN 1311-3321

3. Денев Ив., Числено моделиране на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор при нулев ексцентрицитет между двете секции, Сборник доклади Хидроаеродинамика , хидро- и пневмотехника дизайн и технологии за облекло и текстил, Том II ЕМФ 2017, стр. 52-57, ISSN 1314-5371.

4. Denev Iv., Tsankov P., Antonov Iv., Numerical modeling the interaction of turbulent jet with suction opening with presence of an angle between sections, PROCEEDINGS, Volume 56, book 1.2., Thermotechnics. Hydro- and Pneumotechnics.Ecology and environmental protection., pages 80-85, ISSN 1311-3321

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от **205** страници, като включва увод, 7 глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **80** литературни източници, като **58** са на латиница и **20** на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо **178** фигури и **47** таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР

В литературния обзор са разгледани видовете замърсители, отделяни при различни технологични процеси. Основно те се делят на три групи: прахови аерозоли, пушеци и дим, на които дисперсната фаза представлява твърди частици; мъгла с течни частици; пари и газове. Като проектирането на вентилационни инсталации зависи пряко от конкретния вид замърсител. При наличие на такъв с относително тегло значително по-голямо или по-малко от това на въздуха трябва да се подходи към правилно разположено смукателно устройство за улавяне на този замърсител.

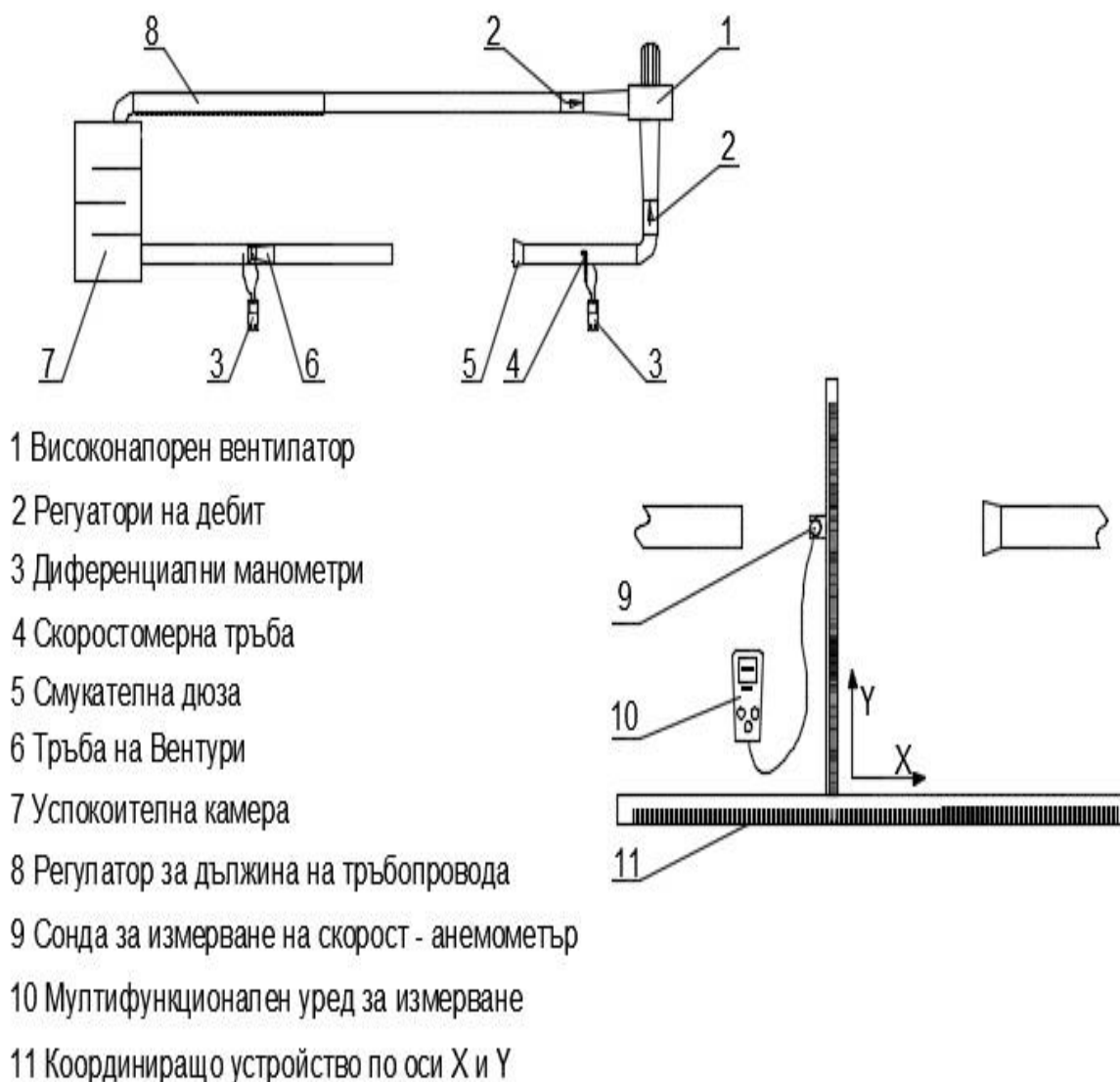
Разгледани са двата основни типа вентилационни системи. Това са общообменната вентилация и местната смукателна вентилация. Ефективността на местните смукателни системи при отвеждане на вредности от работните зони е по – висока от тази на общообменните, защото концентрацията на вредни вещества в отработения въздух чрез местни смукатели е в пъти по – висока, от тази на общообменните вентилационни системи. За постигане на същата чистота на въздуха в работната зона при общообменна вентилация са необходими многократно по-големи дебита, което е съпроводено и с по-високи експлоатационни разходи.

След разглеждане на вариантите за отвеждане на вредности в технологичните предприятия и запознаване с методите за пресмятане на местни смукателни инсталации, както и с възможностите, които предлагат съвременните софтуерни продукти за извършване на компютърни симулации, може да бъде отчетено слабото използване към момента на изчислителната техника при проектиране на подобен тип инсталации. Това дава основание да бъде реализирана компютърна симулация на процеса на взаимодействие на замърсена турбулентна струя със смукателен отвор.

ГЛАВА 2. ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧАТА. ОПИТНА ПОСТАНОВКА. ЕСПЕРИМЕНТАЛНА ЕКИПИРОВКА

Необходимостта от провеждане на натурен експеримент в глава втора от дисертацията е да се изяснят скоростните профили на турбулентната струя при нейното взаимодействие със смукателен отвор, както и да се провери до колко получените резултати от числените методи са адекватни и могат да бъдат използвани с достатъчна точност в инженерната практика. За целта е разработен стенд, представен на фиг. 2.1. на който са извършени експериментални опити и получените резултати са сравнени с известни такива, които в последствие са използвани и за проверка на резултатите от числените симулации.

Схема на опитната постановка



Фиг. 2.1. Схема на опитната постановка

2.2. Предварителни изследвания на взаимодействието на турбулентна струя със смукателен отвор на опитната уредба

Извършени са серия от експерименти при различни отстояния на смукателната дюза от нагнетателния тръбопровод L/r_0 , както и при различно съотношение на засмукания и нагнетения дебити Q_s/Q_n . Първоначално е направено измерване на разпределението на скоростта при свободна изотермична турбулентна струя.

За дебитът във всяко сечение, съгласно [2] може да се запише:

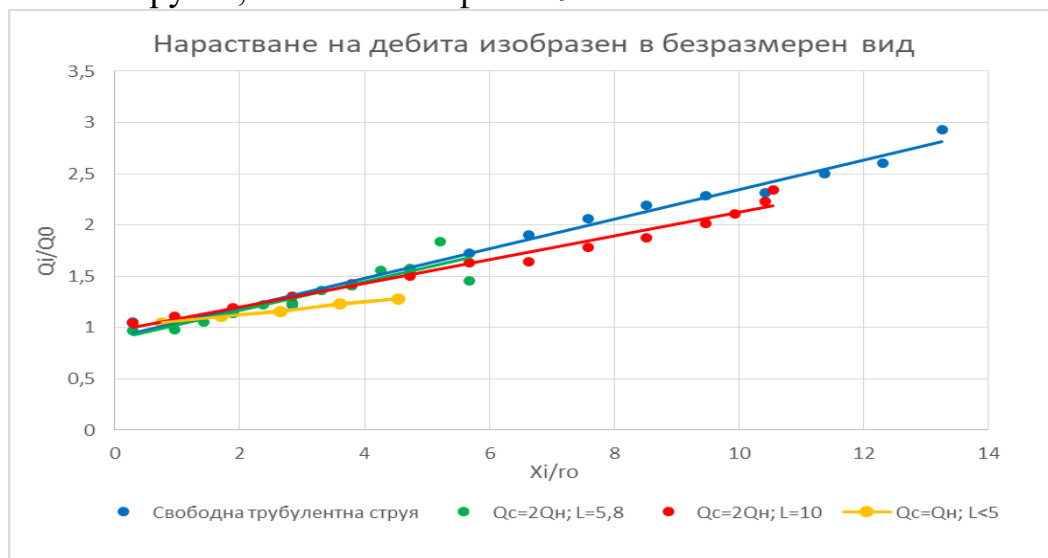
$$(2.1) \quad Q = 2\pi \int_0^{\delta} u r dr = 2\pi u_{max} \delta^2 \int f \eta d\eta$$

където: r – радиус на струята в даденото сечение;

u – скорост на струята в сечението;

δ – дебелина на граничния слой в сечението.

Построена е графична зависимост за дебитите в различни сечения по дължина на струята, показана на фиг. 2.9.

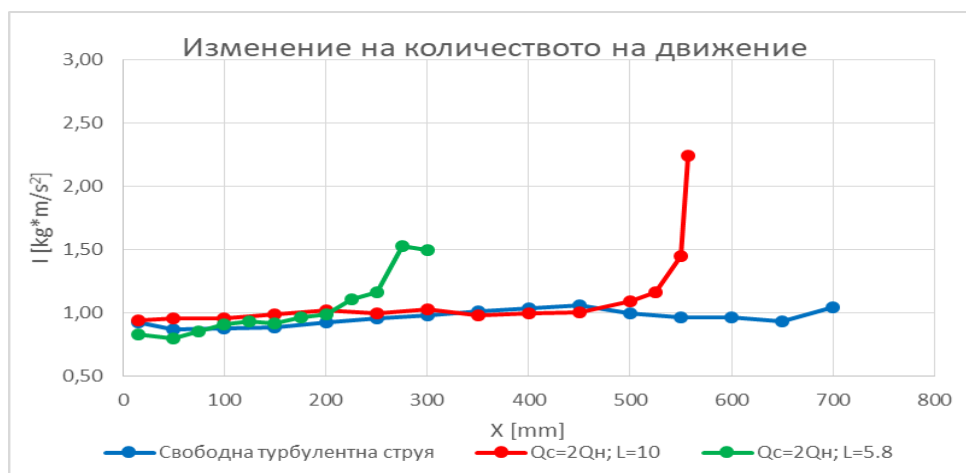


Фиг. 2.9. Изменение на дебита по продължение на струята

Що се отнася до количеството на движение интересното в случая на взаимодействие на струята със смукателен отвор е рязкото повишаване в зоната на влияние на смукателя, показано на фиг. 2.10. Количеството на движение може да бъде изразено чрез уравнение (2.2) и както е известно за свободна турбулентна струя се запазва константа по цялата и дължина:

$$(2.2) \quad \pi \rho u_0^2 r_0^2 = 2\pi \rho \int_0^\delta u^2 r dr = const$$

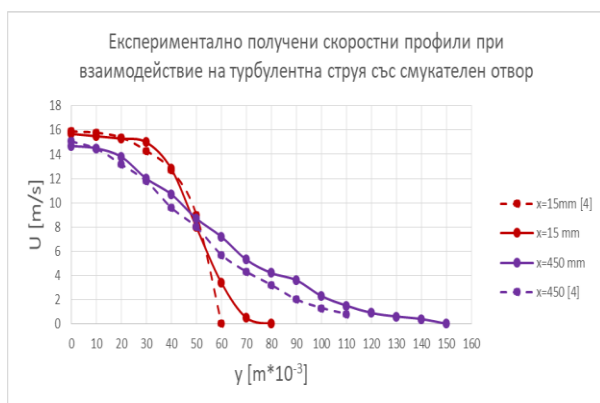
Повишаването на количеството на движение при наличие на смукателен отвор се обуславя от взаимодействието на турбулентната струя със смукателния спектър и повишаването на скоростта на втичане в смукателя.



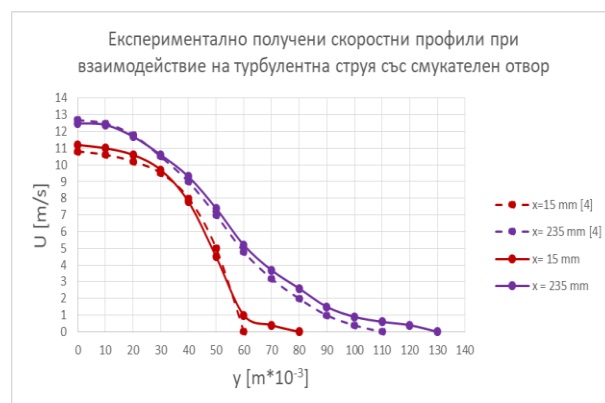
Фиг. 2.10. Изменение на количеството на движение по продължение на струята

Анализът на получените резултати от проведеното експериментално изследване на взаимодействието на турбулентна струя със смукателен отвор показва специфичното за случая повишаване на количеството на движение в областта на смукателния отвор, както и по-малкия дебит в сравнение със свободна турбулентна струя. Също така се придобива представата за влиянието на отношението на засмуквания и подаващия дебити Q_c/Q_n върху вида на улавяне от страна на смукателния отвор, което е основна част при избора и оразмеряването на местни смукатели, с цел да бъдат евакуирани отделяните вредни вещества в работната зона.

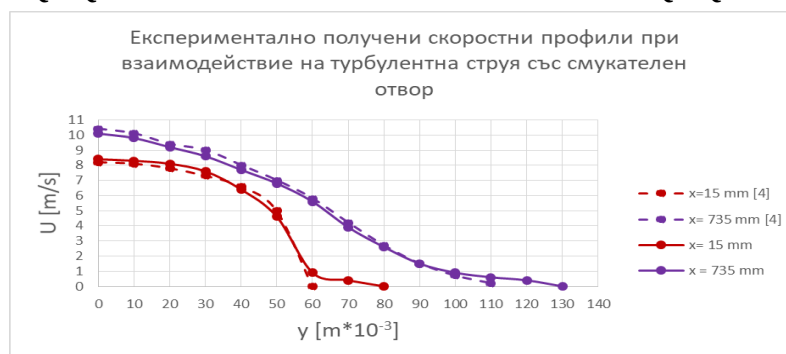
За проверка на адекватността на получените резултати от проведеното експериментално изследване са използвани литературни данни от [17], като са сравнени скоростните профили на струята по характерни сечения. На фиг. 2.11., 2.12 и 2.13. е представено сравнение на получените скоростни профили при проведено експериментално изследване на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор с такива от литературни данни. Получава се добро съвпадение на резултатите, като отклонението е в границите от 3 до 6%.



Фиг. 2.11. Сравнение на скоростни профили, получени от експеримента с такива от литературен източник при $\bar{L}=10$ и отношение на дебитите $Q_c/Q_n=1$



Фиг. 2.12. Сравнение на скоростни профили, получени от експеримента с такива от литературен източник при $\bar{L}=5$ и отношение на дебитите $Q_c/Q_n=1.5$



Фиг. 2.13. Сравнение на скоростни профили, получени от експеримента с такива от литературен източник при $\bar{L}=15$ и отношение на дебитите $Q_c/Q_n=2$

ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ НА ПРОЦЕСИТЕ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НА ТУРБУЛЕНТНА СТРУЯ СЪС СМУКАТЕЛЕН ОТВОР

За да бъде успешно моделиран процесът на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор е необходимо познатите уравнения за движение от вида на Навие-Стокс да бъдат преработени. Изводът на тези диференциални уравнения, направен в [2], [19], [73], в напрежения има вида:

$$(3.1) \quad \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{3} \mu \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \mu_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{3} \mu_t \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)$$

$$(3.2) \quad \rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{3} \mu \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \mu_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{3} \mu_t \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)$$

$$(3.3) \quad \rho \frac{\partial w}{\partial t} + \rho u \frac{\partial w}{\partial x} + \rho v \frac{\partial w}{\partial y} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{3} \mu \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \mu_t \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{3} \mu_t \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)$$

Прибавя се и уравнението за непрекъснатост:

$$(3.4) \quad \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0$$

Уравнението за топлообмена има вида:

$$(3.5) \quad \rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left[(\lambda + \lambda_t + \lambda_n) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[(\lambda + \lambda_t + \lambda_n) \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[(\lambda + \lambda_t + \lambda_n) \frac{\partial T}{\partial z} \right] + q_v$$

Където c_p – специфичен топлинен капацитет при постоянно налягане; λ – коефициент на топлопроводност; λ_t – коефициент на турбулентна топлопроводност; λ_n – коефициент на лъчист топлообмен; q_v – интензивност на вътрешните източници на топлина.

Така изведената система уравнения може да бъде изразена със следното характеристично уравнение:

$$(3.6) \quad \frac{\partial}{\partial t} (\rho \Phi) + \text{div}(\rho V \Phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad} \Phi) + S,$$

където Φ е зависимата променлива; Γ – коефициент на дифузия на Φ ; S – източников член на съответното Φ . Техните стойности са дадени в табл. 3.1:

Табл.3.1. Стойности на Γ и S за всяко Φ

Φ	Γ	S
1	0	0
u	$\mu + \mu_t$	$\Gamma \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{3} \frac{\partial}{\partial x} \Gamma \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)$
v	$\mu + \mu_t$	$\Gamma \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{3} \frac{\partial}{\partial y} \Gamma \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)$
w	$\mu + \mu_t$	$\Gamma \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{3} \frac{\partial}{\partial z} \Gamma \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)$
T	$\lambda + \lambda_t + \lambda_\pi$	q_v

Решението на самото характеристично уравнение (3.6) се извършва по схема в крайни разлики като се прави последователно за всяко Φ . В програмните продукти за числено моделиране на турбулентни течения са заложили редица модели за определянето на μ_t , като в зависимост от характера на самото течение може да бъде заложен различен модел на турбулентност.

От проведеното проучване върху турбулентните модели [24], [30], [35], [37], [39], [62], [77], може да се счита, че k- ϵ моделът, от групата турбулентни модели с две диференциални уравнения е практичен и с висока точност пресмята турбулентни течения близки до изотермични условия, и такива в относително големи помещения (свободни турбулентни струи). За конкретния случай на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор това е оптималния избор на турбулентен модел, като единствено е необходимо да бъдат прецизирани граничните условия за получаване на адекватни резултати.

За численото моделиране на процеса на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор е използван софтуерен продукт Ansys Fluent, където за затваряне на системата уравнения (3.1 ÷ 3.3), с цел моделиране на турбулентния вискозитет „ μ_t “ се използва стандартен k- ϵ модел на турбулентност, който се базира на транспортните уравнения за турбулентната кинетична енергия „k“ и скоростта на дисипация „ ϵ “, съответно уравнения (3.12) и (3.13):

$$(3.12) \quad \rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P + G_k - \rho \epsilon$$

$$(3.13) \quad \rho \frac{D\epsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + (C_{1\epsilon} G_k - C_{2\epsilon} \epsilon) \frac{\epsilon}{k}$$

където:

P - е генерация на „k“ поради деформация на осредненото по време течение;

$$(3.14) \quad P = -\rho \overline{u_i' u_j'} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = 2\mu_t S_{ij} - \frac{2}{3}(\mu_t S_{kk} + k)S_{kk}$$

G_k – генерация на турбулентна кинетична енергия в резултат на наличието на скоростен градиент [3] .

$$(3.15) \quad G_k = -\rho \overline{u_i' u_j'} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

А съгласно хипотезата на Бусинекс за G_k може да се запише:

$$(3.16) \quad G_k = \mu_t S^2$$

където S представлява модул от тензора на вътрешните напрежения:

$$(3.17) \quad S \equiv \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}$$

$\mu_t = C_\mu \rho k^2 / \varepsilon$ – турбулентен вискозитет. Стандартните стойности на константите в уравненията са [23]:

$$C_\mu = 0.09 \quad C_{\varepsilon 1} = 1.44 \quad C_{\varepsilon 2} = 1.92 \quad \sigma_k = 1 \quad \sigma_\varepsilon = 1.3$$

Заложени са също уравнението за запазване на масата (3.18), уравнение за запазване на количеството на движение (3.19) и енергийно уравнение (3.20):

$$(3.18) \quad \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0$$

$$(3.19) \quad \rho \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = F_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \right]$$

$$(3.20) \quad \frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla(\vec{v}(\rho E + p)) = \nabla(k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\bar{\tau}_{eff} \cdot \vec{v})) + S_h$$

Където k_{eff} представлява ефективен коефициент на топлопроводност и се описва със следната зависимост:

$$(3.21) \quad k_{eff} = k + k_t,$$

съответно k_t е турбулентна топлопроводност;

E – пълната (обща) енергия се описва от зависимост (3.22):

$$(3.22) \quad E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2}$$

като h е енталпията и за идеални газове е валидно уравнение (3.23)

$$(3.23) \quad h = \sum_j Y_j h_j$$

Y_j е масова фракция на j -тия компонент.

За енталпията е валидно:

$$(3.24) \quad h_j = \int_{T_{ref}}^T c_{p,j} dT, \text{ където } T_{ref} = 298,15K,$$

$\vec{J}_j$ – дифузионен поток за j -тия компонент;

$\bar{\tau}_{eff}$ -девиаторен тензор на напреженията [57];

$$(3.25) \quad \bar{\tau}_{eff} = \mu_{eff} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) - \frac{2}{3} \mu_{eff} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij}$$

S_h – включва топлинна енергия, получена вследствие химична реакция или някакъв друг вид енергия, освобождавана от обемен източник, както и следствие от радиационен топлоизточник.

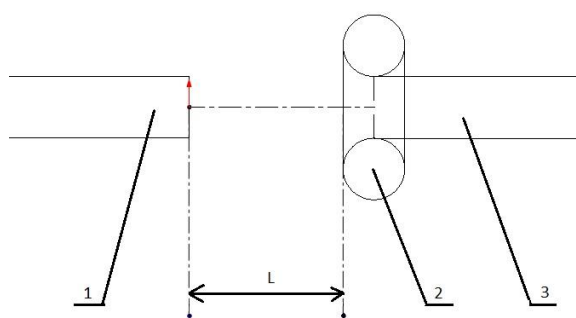
ГЛАВА 4. АЛГОРИТЪМ НА РАБОТА. ИЗГРАЖДАНЕ НА ГЕОМЕТРИЧЕН МОДЕЛ И ДИСКРЕТИЗИРАНЕ НА ИЗЧИСЛИТЕЛНАТА ОБЛАСТ. НАСТРОЙКА НА ГРАНИЧНИ УСЛОВИЯ В КОМПЮТЪРНАТА СРЕДА НА ANSYS FLUENT

Предимствата на моделирането с помощта на CFD пред методите, базирани на експеримент са следните:

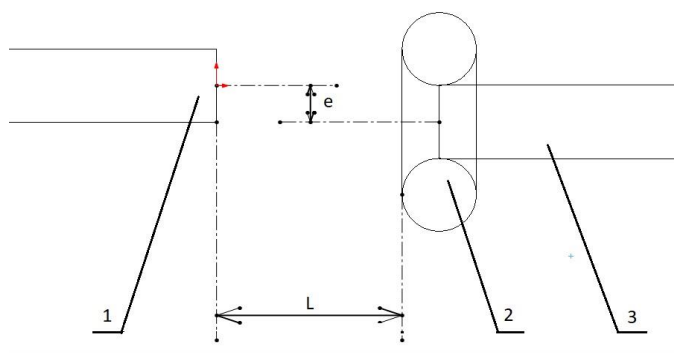
- Значително намаляване на времето и средствата за разработка;
- Възможност за изследване на системи, в които провеждането на контролирани експерименти е невъзможно (прекалено големи или много малки системи);
- Възможност за изследване на системи поставени в потенциална опасност (изследване на различни бедствени сценарии);
- Почти неограничено ниво на детайлност на получените резултати.

4.1. Създаване на геометричен модел

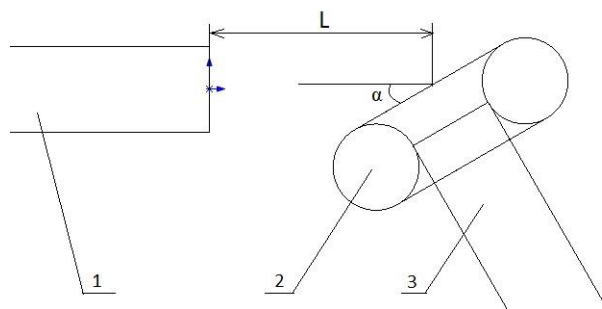
За конструирането на геометричните модели, използвани за решаване на задачата на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор в следващите глави от дисертационния труд е използван софтуерния продукт SolidWorks [69]. Предимствата, поради които е избран точно този софтуер за 3D моделиране е опростения интерфейс на програмата и възможността за лесен импорт на построенния модел в среда на ANSYS, за извършване на последващите операции от моделирането и симулирането на процеса. На фигури 4.2., 4.3. и 4.4. са показани три варианта на разположение на подаваща и засмукваща секции, симулирани в последващите глави от дисертационния труд.



Фиг. 4.2. Построяване на геометричен модел в среда на SolidWorks на вариант на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор, разположени съосно



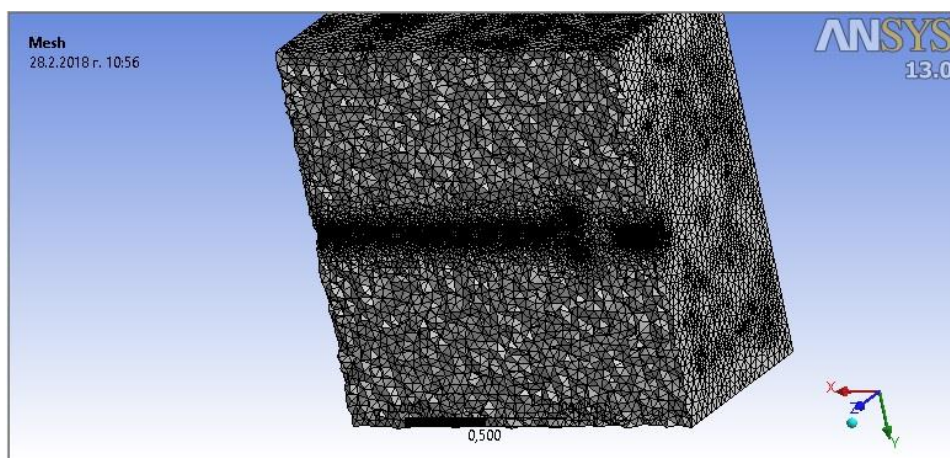
Фиг. 4.3. Построяване на геометричен модел в среда на SolidWorks на вариант на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор, при наличие на ексцентрицитет между секциите



Фиг. 4.4. Построяване на геометричен модел в среда на SolidWorks на вариант на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор, при наличие на ъгъл между секциите

4.2. Дискретизиране на изчислителната област (създаване на изчислителна мрежа)

Създаването на изчислителната мрежа е един от основните етапи за коректното провеждане на симулацията [64]. След като е зареден геометричния модел в средата на Ansys Fluent, в раздел “mesh” се настройва едрината на мрежата като се променя от „coarse” (едра), на “fine” (ситна). Избран е омрежващ елемент „tet/hybrid”, като изчислителната зона се запълва с клетки с формата на правилни триъгълни пирамиди. Така реализирана изчислителна мрежа е показана на фиг. 4.12.



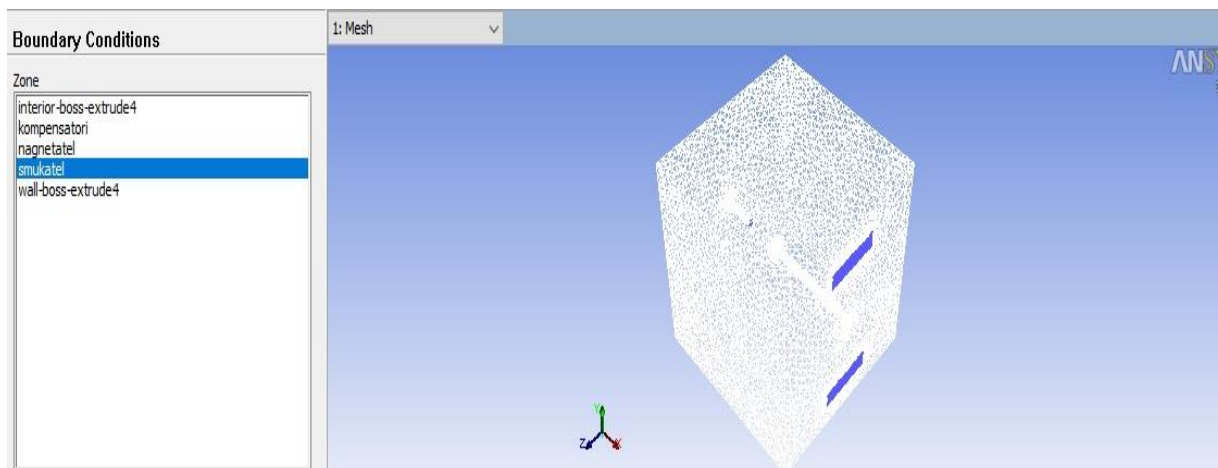
Фиг. 4.12. Визуализация на построената изчислителна мрежа

4.3. Избор на модел за решаването на задачата

В модулта Fluent на програмния продукт Ansys се избира турбулентен модел [38], по който да бъдат извършени пресмятанията. След проведенният анализ в глава трета, относно турбулентните модели е избран стандартен k-ε модел.

4.4. Избор на гранични условия

На фиг. 4.17. са показани основните зони, за които се поставят граничните условия. Това са: Нагнетател – зоната на изпускане на вредности; Смукател – смукателната дюза за улавяне на вредностите и компенсатори – отвори служещи за регулиране на налягането в помещението (в зависимост от отношението на подадения и засмукан дебити те играят ролята на инфилтратор или ексфилтратор).



Фиг. 4.17. Поставяне на гранични условия за решаване на задачата

Граничното условие за нагнетателната секция е mass flow inlet. При всеки разглеждан вариант се задава масовия дебит на отделяните вредности. За смукателната дюза се поставя гранично условие outlet vent. При него отново се задава масов дебит, този път за смукателната част. Настройката на компенсационните отвори е съответно с pressure inlet когато дебитът на засмукване е по-голям от този на отделените вредности и pressure outlet, когато засмукания дебит е по-малък от дебита на вредностите. По този начин се поддържа постоянно налягане в помещението.

4.5. Настройка на параметрите на решението

При избора на типа уравнения за момента на количество на движение, турбулентната кинетична енергия и скоростта на дисипация е избран модел от втори ред.

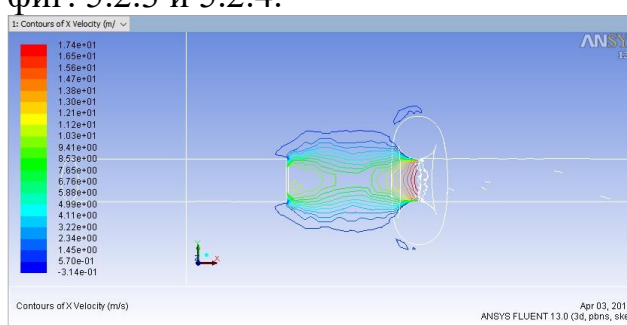
Приблизителният брой итерации след които се постига решението на задачата е 301 (!301 solution is converged).

ГЛАВА 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО И ЧИСЛЕНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЗАИМОДЕЙСВИЕТО НА ТУРБУЛЕНТНА СТРУЯ, СЪОСНО РАЗПОЛОЖЕНА СЪС СМУКАТЕЛЕН ОТВОР

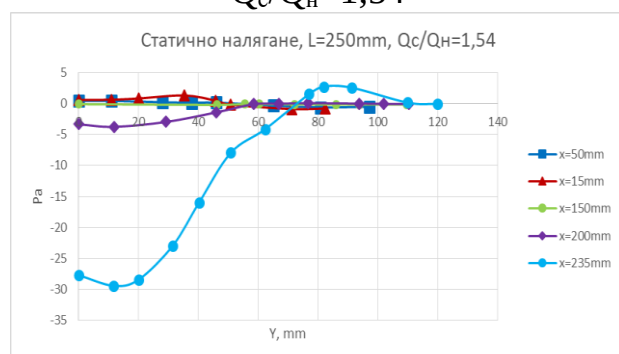
В настоящата глава са разгледани три варианта при различно отстояние между нагнетателния въздуховод и смукателната дюза. Първият вариант е при разстояние $L = 250 \text{ mm}$, вторият при $L = 500 \text{ mm}$ и третият съответно при $L = 750 \text{ mm}$. Към всеки от вариантите са направени изследвания при различно

отношение на засмукван към нагнетяван дебити (Q_c/Q_n). За по-добро онагледяване граничните условия, използвани за различните варианти са представени в табличен вид. Получените решения от проведените симулации, са показани под формата на графики, а също така са дадени и токовите линии на течението, след което получените данни са обобщени и анализирани.

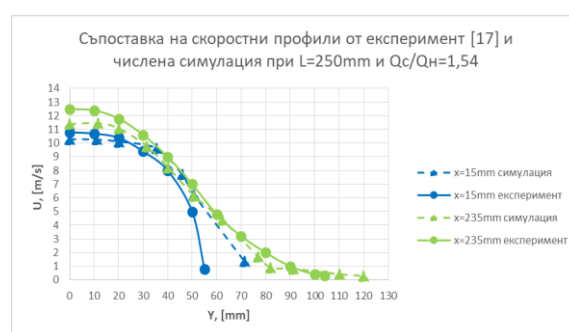
За оценка на точността от компютърните симулации, скоростните профили в характерни сечения от струята са сравнени с такива, получени по експериментален път. На фиг. 5.2.1 са показани токовите линии на вариант при реализиране на пълно засмукване на турбулентната струя от страна на смукателната дюза, съответно на фиг. 5.2.2 е дадена съпоставката на скоростните профили, получени от числената симулация с тези от експеримента. Данни относно пълното и статично налягания са показани на фиг. 5.2.3 и 5.2.4.



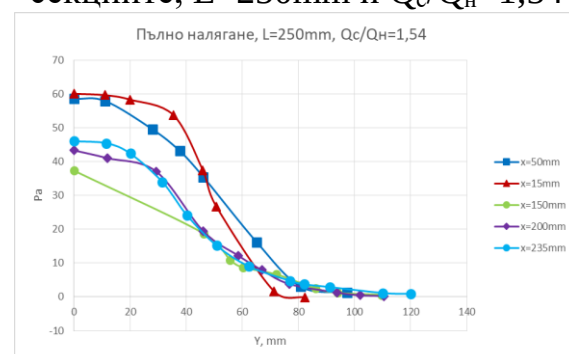
Фиг. 5.2.1. Токови линии на вариант на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор, съсно разположени при $L=250\text{mm}$ и $Q_c/Q_n=1,54$



Фиг. 5.2.3. Данни за статичното налягане при вариант на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор при наличие на съсност, $L=250\text{mm}$ и $Q_c/Q_n=1,54$



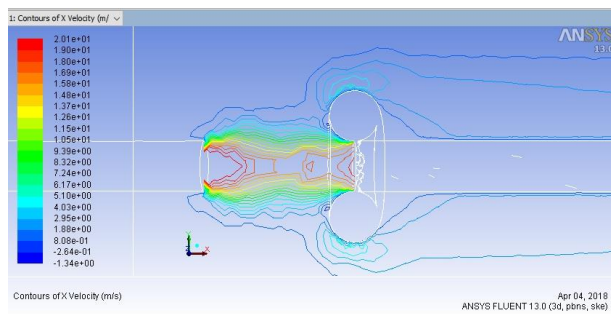
Фиг. 5.2.2. Съпоставка на скоростните профили в характерни сечения от експеримент и от числена симулация при съсност между секциите, $L=250\text{mm}$ и $Q_c/Q_n=1,54$



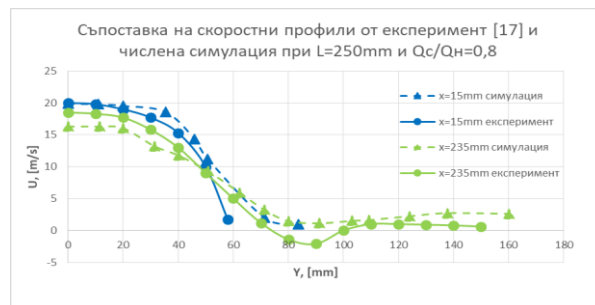
Фиг. 5.2.4. Данни за пълното налягане при вариант на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор при наличие на съсност, $L=250\text{mm}$ и $Q_c/Q_n=1,54$

Вариант с реализирано непълно улавяне на струята е показан на фиг.5.2.13. Съпоставката на получените скоростни профили от компютърната

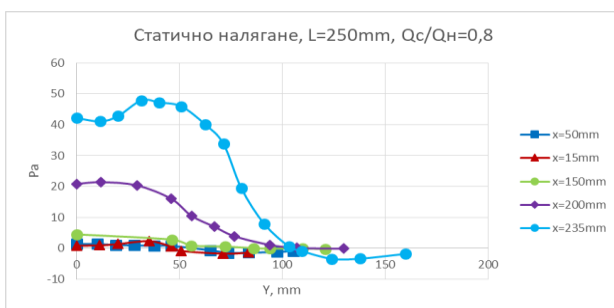
симулация и от експеримента са дадени на графиката, показана на фиг. 5.2.14, а данните за пълно и статично налягания съответно на фиг. 5.2.15 и 5.2.16.



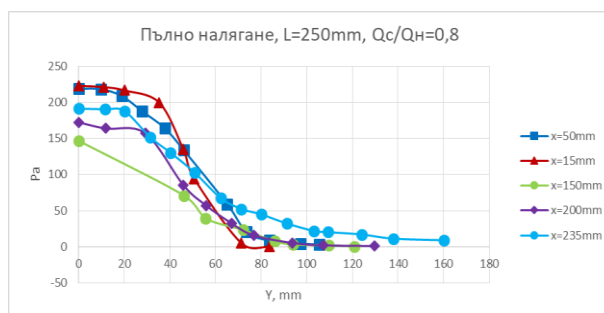
Фиг. 5.2.13. Токови линии на вариант на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор, съсно разположени при $L=250\text{mm}$ и $Q_c/Q_n=0,8$



Фиг. 5.2.14. Съпоставка на скоростните профили в характерни сечения от експеримент и от числена симулация при съсност между секциите, $L=250\text{mm}$ и $Q_c/Q_n=0,8$



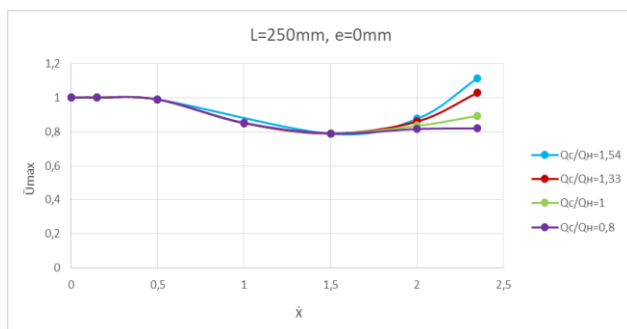
Фиг. 5.2.15. Статично налягане при вариант на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор при наличие на съсност, $L=250\text{mm}$ и $Q_c/Q_n=0,8$



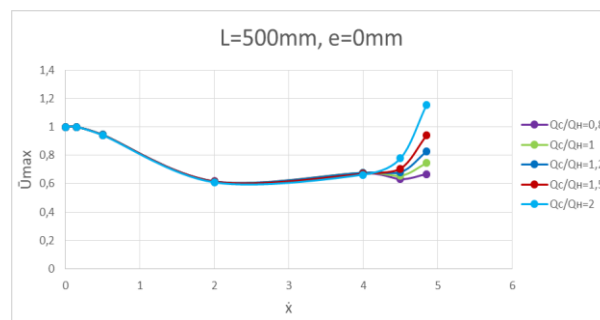
Фиг. 5.2.16. Пълно налягане при вариант на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор при наличие на съсност, $L=250\text{mm}$ и $Q_c/Q_n=0,8$

След обработката на данните от всички разгледани варианти са обобщени безразмерни графики фиг. 5.5.1, 5.5.2 и 5.5.3, отнасящи се до моментната скорост в дадено сечение по дължина на струята, отнесена към скоростта на изтичане, във функция от разстоянието X , което представлява разстоянието до даденото сечение, отнесено към диаметъра на изпускателния въздуховод.

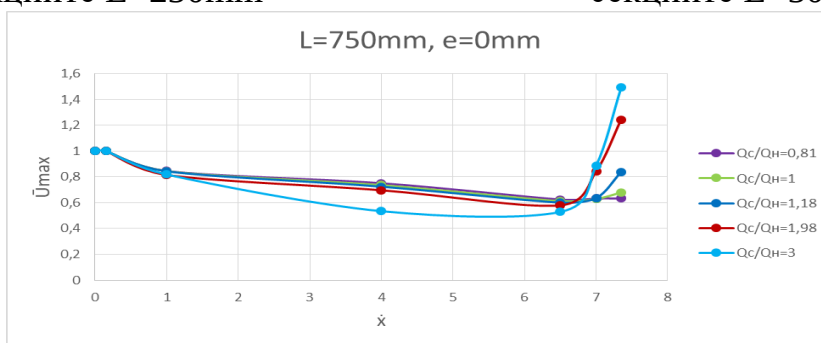
От тях се наблюдава първоначалното спадане на моментната скорост, което е нормално за свободна турбулентна струя, характерното в случая на нейното взаимодействие със смукателно устройство е рязкото повишаване на тази скорост в зоната на влияние на смукателя. От графиките точно се вижда на какво разстояние от дюзата започва това влияние. За различните варианти тя варира в границите от 0,5 до 0,8 диаметъра на въздуховода.



Фиг. 5.5.1. Изменение на максималната скорост за различни отношения на подаван и засмукван дебити при разстояние между секциите $L=250\text{mm}$

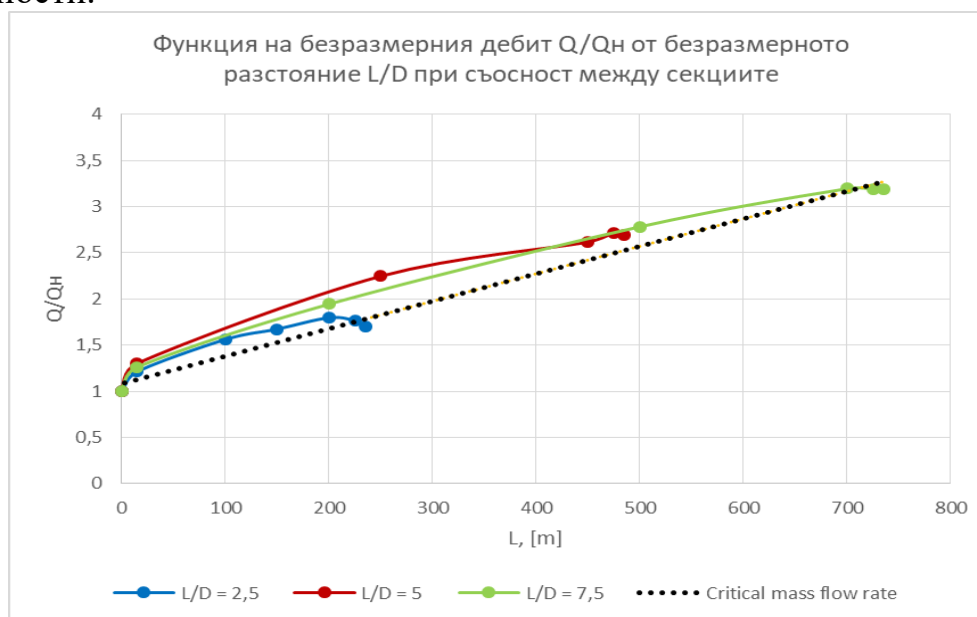


Фиг. 5.5.2. Изменение на максималната скорост за различни отношения на подаван и засмукван дебити при разстояние между секциите $L=500\text{mm}$



Фиг. 5.5.3. Изменение на максималната скорост за различни отношения на подаван и засмукван дебити при разстояние между секциите $L=750\text{mm}$

На база на получените от числените симулации данни са направени графики, отразяващи отношението на дебита в дадено сечение към дебита на замърсената струя. На фиг. 5.5.4. е показана графиката, отнасяща се до вариант със съосно разположение на смукателната дюза и зоната на отделяне на вредности.



Фиг. 5.5.4. Отношение на дебита на струята в дадено сечение, към началния дебит при съосно разположение на смукателната дюза и зоната на изтичане

на вредностите

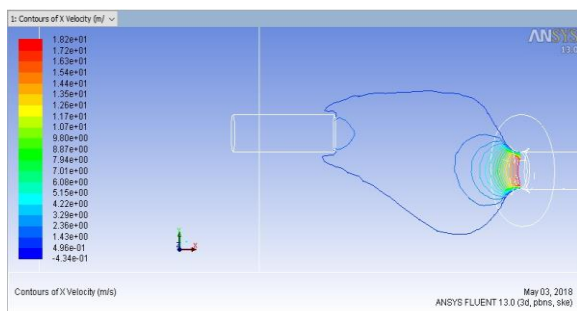
От изведената графична зависимост е определен минималния дебит на смукателния участък за постигане на пълно засмукване на замърсената струя. Вижда се, че при отстояние на смукателната дюза от повърхността на отделяне на вредности равна на 2,5 пъти диаметъра на въздуховода ще бъде необходим 1,6 пъти по-голям дебит от този на отделените вредности. Съответно при $L/D=5$ ще е необходим 2,6 пъти повече дебит на засмукване от този на отделяне на вредности, а при разстояние $L/D=7,5$ този дебит ще бъде 3,2 пъти дебита на отделяните вредности в работната зона.

ГЛАВА 6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО И ЧИСЛЕНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЗАИМОДЕЙСВИЕТО НА ТУРБУЛЕНТНА СТРУЯ СЪС СМУКАТЕЛЕН ОТВОР, ПРИ НАЛИЧИЕ НА ЕКСЦЕНТРИЦИТЕТ МЕЖДУ ПОДАВАЩИЯ И ЗАСМУКВАЩ ВЪЗДУХОВОДИ

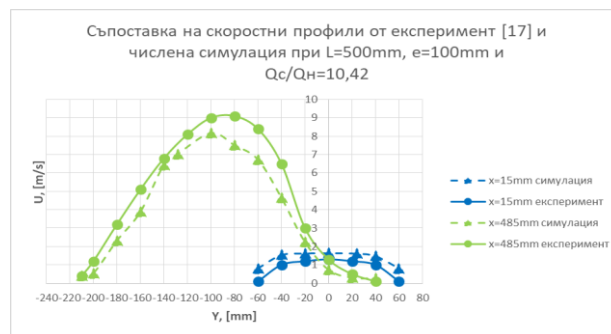
В зависимост от технологичния процес, както и конструктивни особености в оборудването не винаги е възможно съсно разположение на смукателната част с повърхността на отделяне на вредности. Също така за отвеждането на струя замърсител с относително тегло различно от това на околния въздух е по-удачно разположението на смукателя, транслиран в радиално направление спрямо зоната на изпускане на вредностите. В глава 6 са разгледани варианти на взаимодействие на замърсена турбулентна струя със смукателна дюза, при наличие на ексцентricитет между тях.

В настоящата глава са реализирани три варианта при различно отстояние между нагнетателния въздуховод и смукателната дюза. Първият вариант е при разстояние $L=250\text{ mm}$, вторият при $L=500\text{ mm}$ и третият съответно при $L=750\text{ mm}$. Към всеки от вариантите са направени изследвания при различно отношение на засмукван към нагнетяван дебити (Q_c/Q_n) и различна трансляция между двете секции в радиално направление. Резултатите от проведените симулации, са показани графично. Дадени са и токовите линии на течението, за онагледяване характера на засмукване при различните отношение на дебити и нивото на трансляция на секциите.

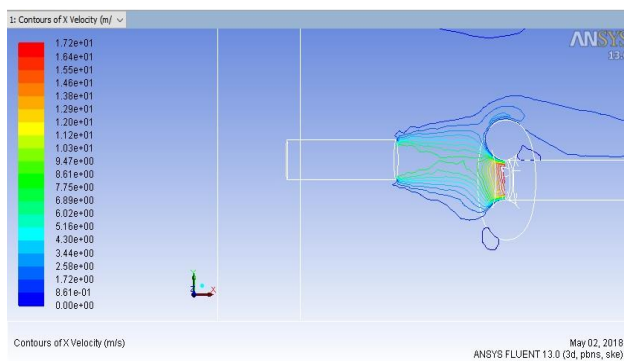
Вариант с реализирано непълно улавяне на струята е показан на фиг.6.3.13. Съпоставката на получените скоростни профили от компютърната симулация и от експеримента са дадени на графиката, показана на фиг. 6.3.14. Случай с непълно засмукване на замърсената струя е даден на фиг. 6.2.5, като скоростните профили в характерни сечения, получени от компютърната симулация са сравнени с такива от натурен експеримент и са дадени на фиг. 6.2.6.



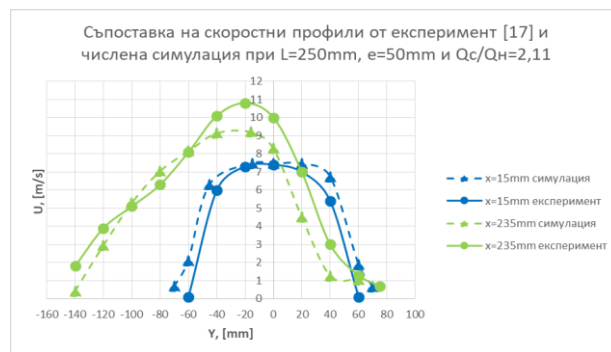
Фиг. 6.3.13. Токови линии на вариант на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор при $L=500\text{mm}$, $e=100\text{mm}$ и $Q_c/Q_n=10,42$



Фиг. 6.3.14. Съпоставка на скоростните профили в характерни сечения от експеримент и от числена симулация при ексцентрицитет между секциите $e=100$, разстояние между тях $L=500\text{mm}$ и отношение на дебитите $Q_c/Q_n=10,42$



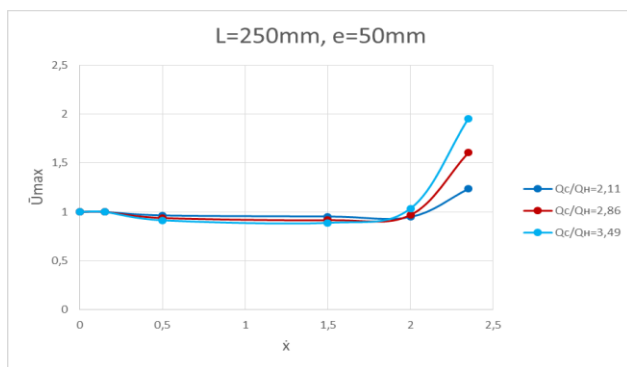
Фиг. 6.2.5. Токови линии на вариант на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор при $L=250\text{mm}$, $e=50\text{mm}$ и $Q_c/Q_n=2,11$



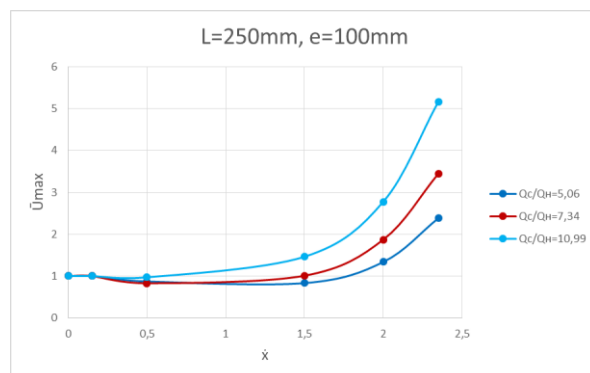
Фиг. 6.2.6. Съпоставка на скоростните профили в характерни сечения от експеримент и от числена симулация при ексцентрицитет между секциите $e=50$, разстояние между тях $L=250\text{mm}$ и отношение на дебитите $Q_c/Q_n=2,11$

След обработката на данните от всички разгледани варианти са обобщени безразмерни графики фиг. 6.5.1, 6.5.2 и 6.5.3, 6.5.4, 6.5.5., 6.5.6. и 6.5.7, отнасящи се до моментната скорост в дадено сечение по дължина на струята, отнесена към скоростта на изтичане, във функция от разстоянието X , което представлява разстоянието до даденото сечение, отнесено към диаметъра на изпускателния въздуховод.

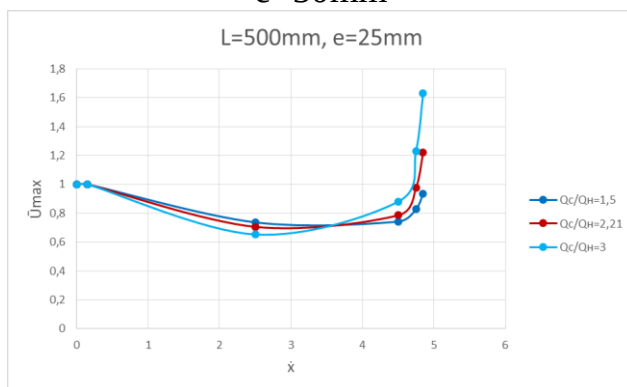
От тях се вижда зоната на влияние на смукателния отвор върху замърсената струя, като за получаване на пълно улавяне, при увеличаване на ексцентрицитета, влиянието на смукателя рязко се разширява към зоната на отделяне на вредностите.



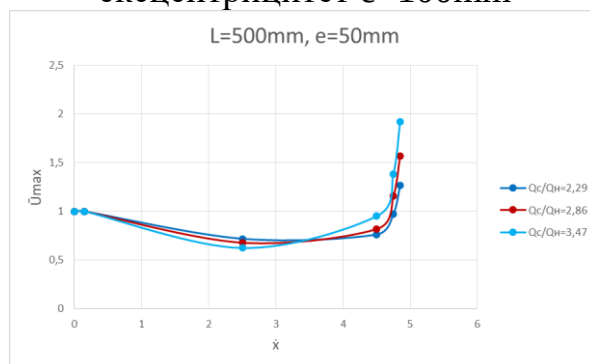
Фиг. 6.5.1. Изменение на максималната скорост за различни отношение на подаван и засмукван дебити при разстояние между секциите $L=250\text{mm}$ и эксцентрицитет $e=50\text{mm}$



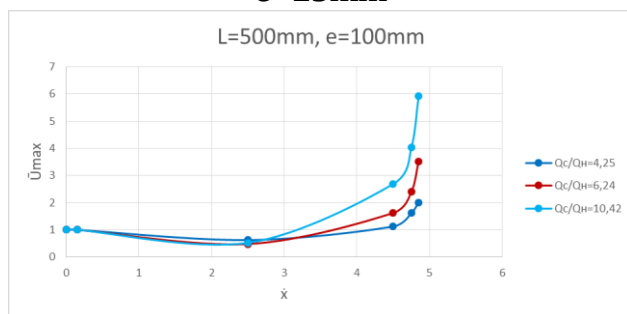
Фиг. 6.5.2. Изменение на максималната скорост за различни отношение на подаван и засмукван дебити при разстояние между секциите $L=250\text{mm}$ и эксцентрицитет $e=100\text{mm}$



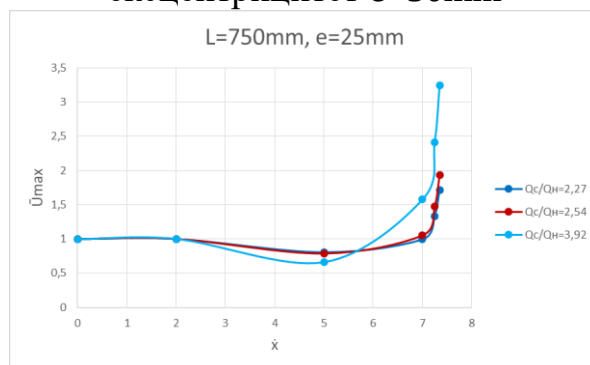
Фиг. 6.5.3. Изменение на максималната скорост за различни отношение на подаван и засмукван дебити при разстояние между секциите $L=500\text{mm}$ и эксцентрицитет $e=25\text{mm}$



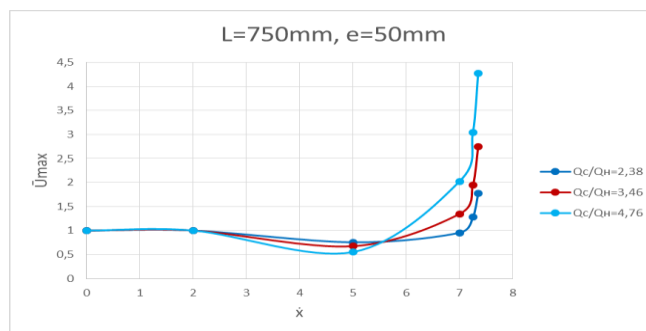
Фиг. 6.5.4. Изменение на максималната скорост за различни отношение на подаван и засмукван дебити при разстояние между секциите $L=500\text{mm}$ и эксцентрицитет $e=50\text{mm}$



Фиг. 6.5.5. Изменение на максималната скорост за различни отношение на подаван и засмукван дебити при разстояние между секциите $L=500\text{mm}$ и эксцентрицитет $e=100\text{mm}$

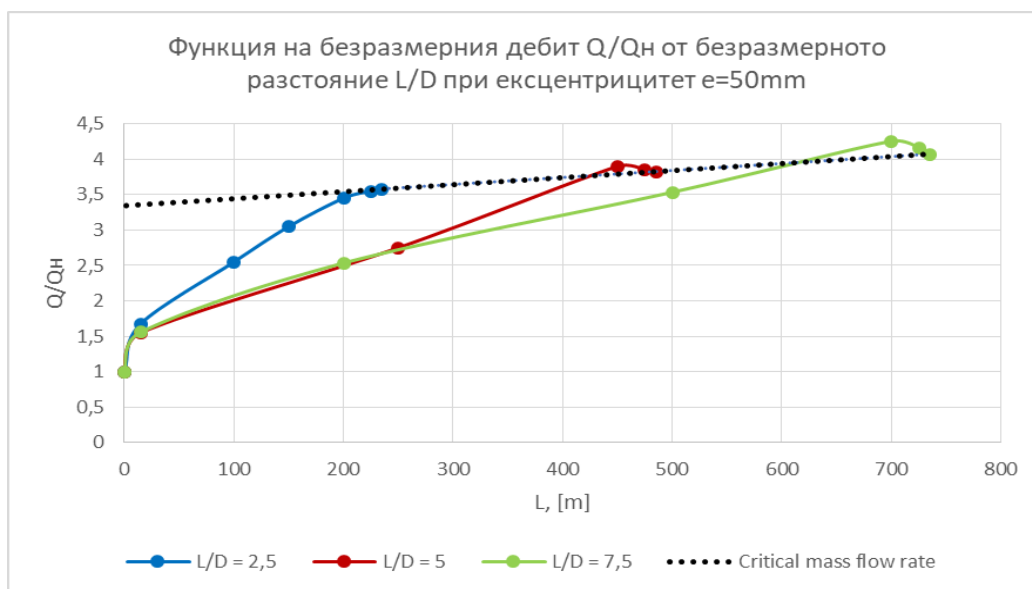


Фиг. 6.5.6. Изменение на максималната скорост за различни отношение на подаван и засмукван дебити при разстояние между секциите $L=750\text{mm}$ и эксцентрицитет $e=25\text{mm}$



Фиг. 6.5.7. Изменение на максималната скорост за различни отношение на подаван и засмукван дебити при разстояние между секциите $L=750\text{mm}$ и ексцентрицитет $e=50\text{mm}$

На база на получените от числените симулации данни са направени графики, отразяващи отношението на дебита в дадено сечение към дебита на замърсената струя. На фиг. 6.5.9. е представена подобна графика и за вариант с наличие на ексцентрицитет от 50mm между смукателната дюза и повърхността на изпускане на вредности.



Фиг. 6.5.9. Отношение на дебита на струята в дадено сечение, към началния дебит при ексцентрицитет от 50mm между смукателната дюза и зоната на изтичане на вредностите

Построена е линията на минималния дебит за постигане на пълно засмукване на замърсената струя. Вижда се, че при разстояние $L/D=2.5$ необходимия дебит е 3,5 пъти от този на отделените вредности. При разстояние на смукателната дюза от зоната на отделяне на замърсителя $L/D=5$, дебитът необходим за пълното улавяне ще бъде 3,8 пъти по-голям от дебита на изпускания замърсител и съответно при $L/D=7.5$ ще бъде необходим дебит на смукателя равен на 4,1 пъти дебитът на отделяния замърсител.

Като заключение може да се каже, че при нарастване на разстоянието между смукателния и нагнетателния въздуховоди и увеличаване на ексцентрицитета между тях, за да бъде постигнато пълно засмукване на замърсената струя от страна на смукателната дюза е необходимо значително по-голямо отношение на засмукан към нагнетен дебити в сравнение със същото разположение. Точката на започване на влиянието на смукателя $\dot{x}_c$ придобива по-малка стойност с увеличаване на разстоянието „L“ и ексцентрицитета между секциите „e“.

ГЛАВА 7. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО И ЧИСЛЕНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЗАИМОДЕЙСВИЕТО НА ТУРБУЛЕНТНА СТРУЯ СЪС СМУКАТЕЛЕН ОТВОР, ПРИ НАКЛОН МЕЖДУ ПОДАВАЩИЯ И ЗАСМУКВАЩ ВЪЗДУХОВОДИ

Много често в инженерната практика от чисто конструктивна гледна точка е невъзможно изпълнението на смукателна вентилация, разположена съсно с повърхността на отделяне на вредностите. Такива например са случаи при различни вани за закаляване на детайли, където пространството над източника на замърсяване се използва от кранове за подаване и отвеждане на детайлите. При този случай е необходимо проектирането на смукателните устройства, разположени под ъгъл спрямо първоизточника на замърсяване. Те се наричат още бордови смукатели.

Наличието на подобен тип инсталации е предпоставка за разглеждането и на вариант за засмукване на вредности с помощта на смукател, разположен под ъгъл спрямо източника на замърсяване. В настоящата глава от дисертационния труд са направени моделни изследвания в зоната на взаимодействие на замърсена струя със смукателна дюза, разположена под ъгъл спрямо повърхността на изпускане на вредности.

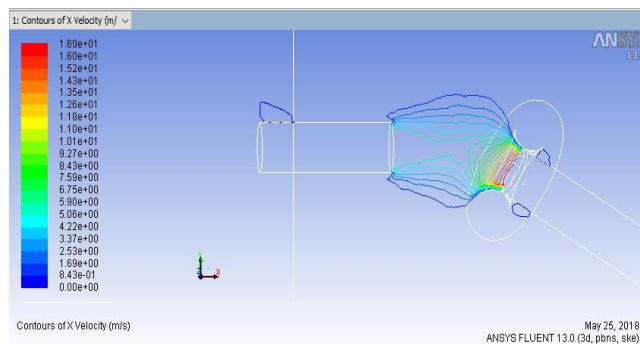
Реализирани са три варианта при разстояние между смукателната дюза и източника на замърсяване от 250mm и наклон между тях от 30°. Първият вариант е при нулев ексцентрицитет $e=0\text{mm}$, вторият при $e=50\text{mm}$ и третият съответно $e=100\text{mm}$. Към всеки от вариантите са направени изследвания при различно отношение на засмукван към нагнетяван дебити (Q_c/Q_n).

Проведени са и числени симулации с разделяне на смукателната секция на два клона и съпоставка на получените токови картини при двата варианта.

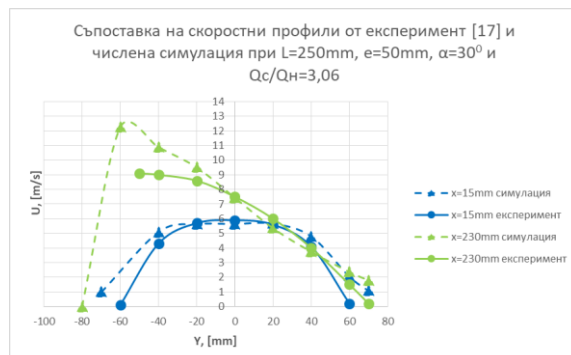
Резултатите от проведените симулации, са показани графично. Дадени са и токовите линии на течението, за онагледяване характера на засмукване при различните отношение на дебити и нивото на трансляция на секциите.

На фиг. 7.3.3 е показан вариант с реализирано пълно улавяне на турбулентната струя от страна на смукателя, а сравнението на скоростните профили от симулацията с такива от експеримент е показано на фиг. 7.3.4.

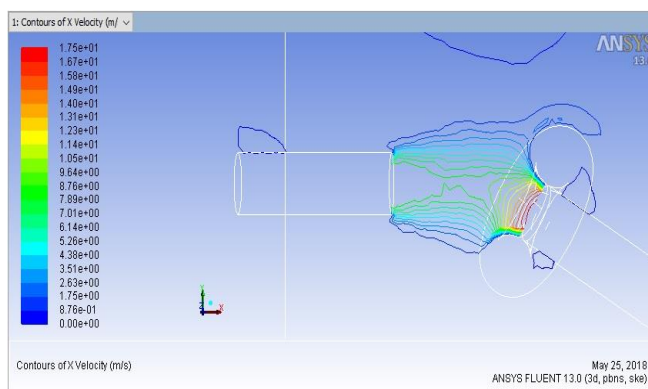
Вариант с непълно засмукване е показан съответно на фиг. 7.3.5 и 7.3.6.



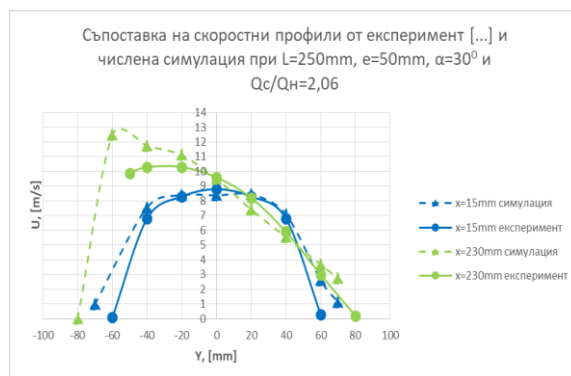
Фиг. 7.3.3. Токови линии на вариант на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор при $L=250\text{mm}$, $\alpha=300^\circ$, $e=50\text{mm}$ и $Q_c/Q_n=3,06$



Фиг. 7.3.4. Съпоставка на скоростните профили в характерни сечения от експеримент и от числена симулация при наклон между секциите $\alpha=300^\circ$, $e=50\text{mm}$, разстояние между тях $L=250\text{mm}$ и отношение на дебитите $Q_c/Q_n=3,06$



Фиг. 7.3.5. Токови линии на вариант на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор при $L=250\text{mm}$, $\alpha=300^\circ$, $e=50\text{mm}$ и $Q_c/Q_n=2,06$

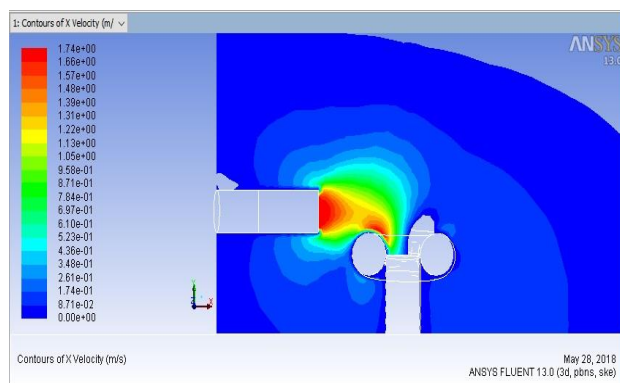


Фиг. 7.3.6. Съпоставка на скоростните профили в характерни сечения от експеримент и от числена симулация при наклон между секциите $\alpha=300^\circ$, $e=50\text{mm}$, разстояние между тях $L=250\text{mm}$ и отношение на дебитите $Q_c/Q_n=2,06$

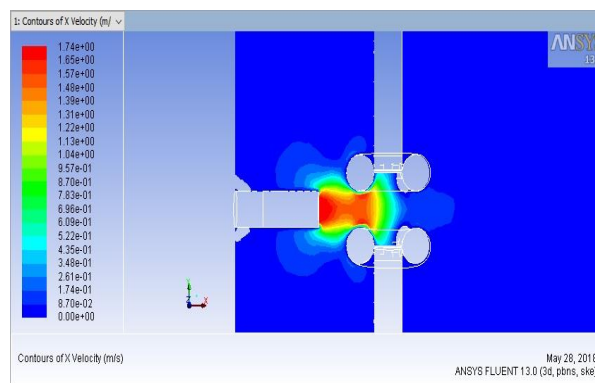
Като разновидност на смукателните устройства, разположени по ъгъл спрямо повърхността на изтичане на вредности е разгледан и вариант с бордови смукатели. Реализирани са симулации с използването на един и два

смукателя, запазвайки равенство на дебитите. Получените токови картини при двата варианта са показани на фиг. 7.5.1 и фиг. 7.5.2.

От тях се вижда, че разделянето на смукателната част на два клона спомага за по-доброто улавяне. Откъсването, извън смукателния спектър на замърсената струя е по-малко и съответно качеството на въздуха в помещението ще бъде по-добър.



Фиг. 7.5.1. Разпределение на скоростното поле при вариант с един смукател



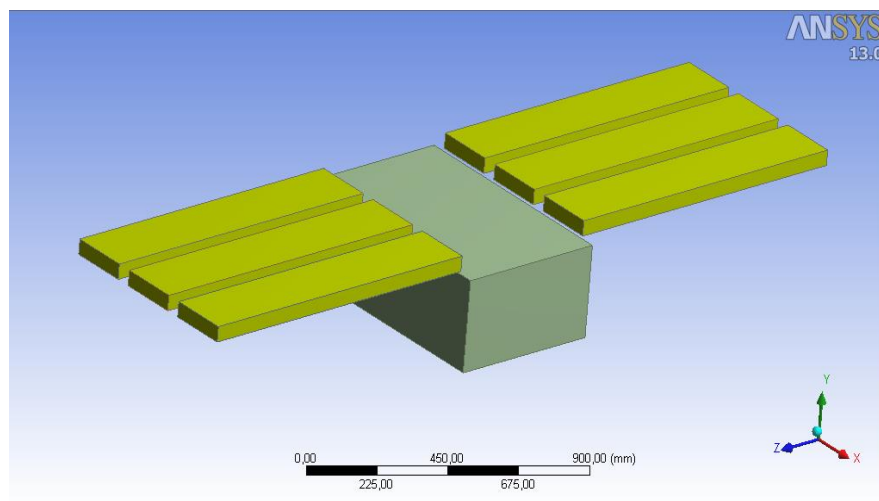
Фиг. 7.5.2. Разпределение на скоростното поле при вариант с два смукателя

От фиг. 7.5.1. се вижда, че разсейването на замърсената струя е много по-голямо в сравнение с варианта с две смукателни секции – фиг. 7.5.2.

В зависимост от възможностите за монтаж може да се премине към вариант за проектиране с две смукателни дюзи, за по-пълно улавяне при използване на еднакво количество засмукан дебит, съответно равни мощности на вентилаторите и по-висока енергийна ефективност на цялата инсталация.

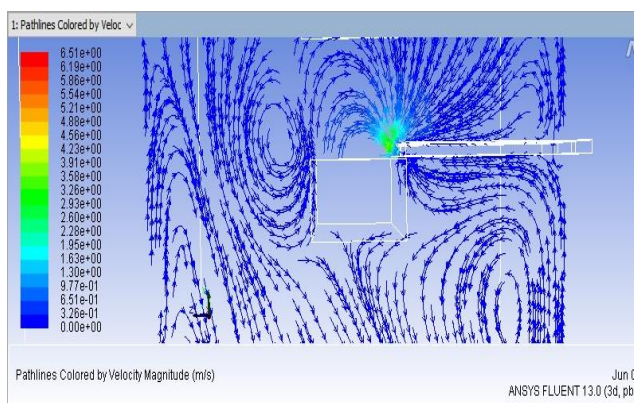
Реализирани са и варианти на отвеждане на замърсена турбулентна струя от реална вана. Моделът на задачата е представен на фиг. 7.5.3.

Направени са симулации при едностранно разположени бордови смукатели, двустранно разположени смукатели, както и един вариант при неработеща местна смукателна инсталация, т.е. наличие на общообменна такава. Резултатите за скоростните линии на трите разгледани варианта са дадени на фиг. 7.5.4 – 7.5.6.

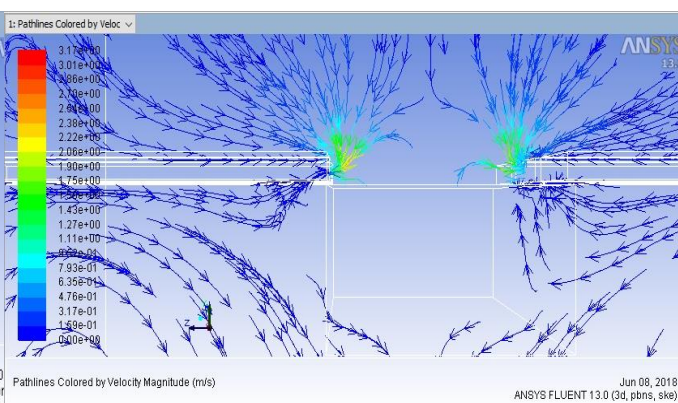


Фиг. 7.5.3. Модел на вана, отделяща вредности и бордови смукатели за тяхното евакуиране

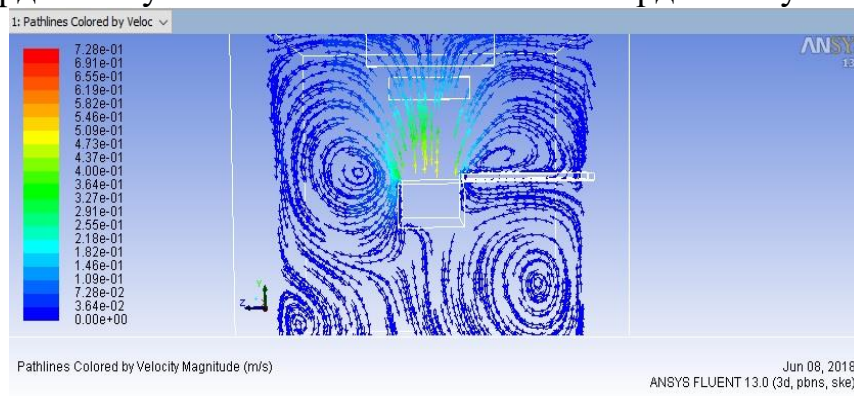
За трите варианта са използвани еднакви дебити на отделяните вредности от ваната, както и равни дебити на засмукване при вариантите с едностранно разположени и двустранно разположени бордови смукатели.



Фиг. 7.5.4. Скоростни линии при евакуиране на замърсена струя от вана с едностранно разположени бордови смукатели



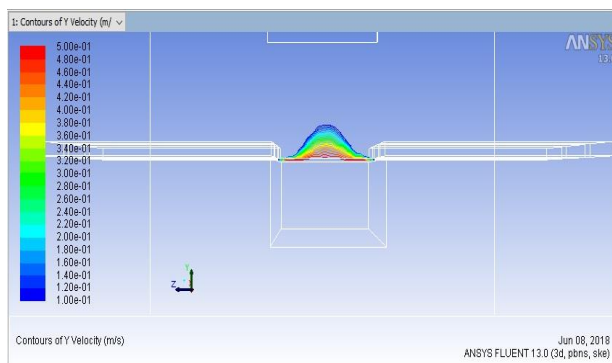
Фиг. 7.5.5. Скоростни линии при евакуиране на замърсена струя от вана с двустранно разположени бордови смукатели



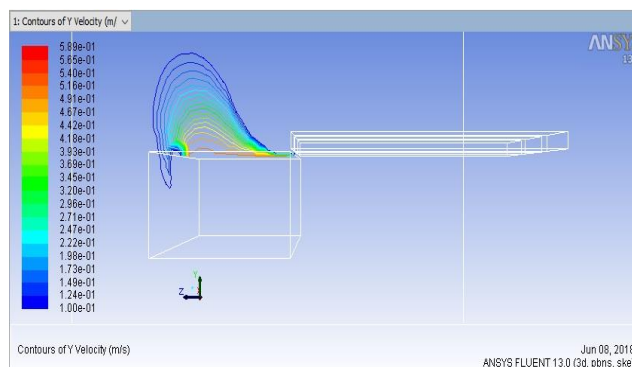
Фиг. 7.5.6. Скоростни линии при евакуиране на замърсена струя от вана с неработеща местна смукателна вентилация

От предложените варианти за евакуиране на вредности от повърхността на дадена вана се вижда много по-доброто отвеждане, което се получава при двустранно разположени бордови смукатели. Цялостната картина показва и местата, на които се получават циркуляционни зони.

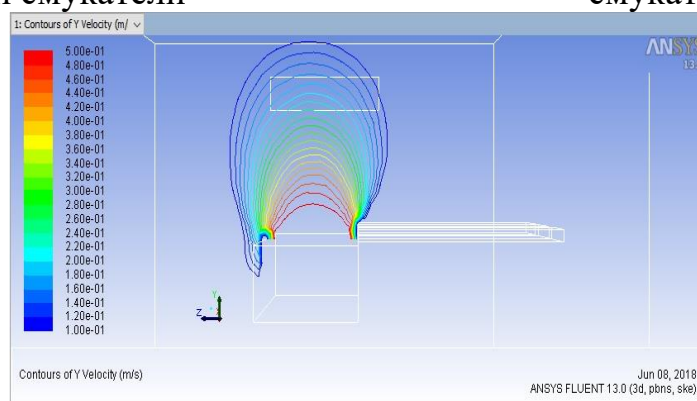
Разгледани са и контурите на скоростната компонента по вертикала за трите предложени варианта на евакуиране на замърсената струя. Те са показани на фиг. 7.5.7. – 7.5.9.



Фиг. 7.5.7. Контури на скоростната компонента по вертикала при вариант с двустранно разположени бордови смукатели



Фиг. 7.5.8. Контури на скоростната компонента по вертикала при вариант с едностранно разположени бордови смукатели



Фиг. 7.5.9. Контури на скоростната компонента по вертикала при вариант с неработеща местна смукателна вентилация

След направени сечения по височина на разпространение на струята е установено, че при използване на двустранно разположени бордови смукатели замърсената струя се издига до 0,28m, в случай на едностранно разположени смукатели достига височина от 0,51m, а при неработеща местна вентилация издигането на замърсената струя е до тавана на помещението. Като извод може да се каже, че при еднакви условия за предпочитане е двустранно разположение на бордовите смукатели за по-пълно улавяне на замърсената струя и съответно с по-ниски експлоатационни разходи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дисертационния труд са разгледани три основни варианта при използване на смукателни устройства за отвеждане на вредности от работна зона в промишлени помещения. Това са при съосност между смукателя и повърхността на отделяне на вредностите, наличие на ексцентрицитет между смукателната дюза и зоната на отделяне на вредности и третият вариант – смукателна част, разположена под ъгъл спрямо повърхността, отделяща замърсителите (бордови смукатели).

Проведени са числени симулации за всеки от посочените видове, като за тях са разгледани случаи за пълно и непълно улавяне на замърсената струя от смукателния отвор. Получените резултати от проведените компютърни симулации са сравнени с данни от проведен натурен експеримент, като отклоненията са в рамките на 5-8% и по този начин се показва адекватност на направените модели.

На база на получените от числените симулации данни са направени графики, отразяващи отношението на дебита в дадено сечение към дебита на замърсената струя показани в предходните глави от дисертационния труд. Тези графики могат да бъдат използвани при проектирането на смукателни инсталации, за по-бързото определяне на необходимия дебит на смукателната част, знаейки отделяното количество вредности от даден технологичен процес.

Освен графичните зависимости за определяне на необходимия дебит за реализиране на пълно засмукване на отделяните вредности са изведени и уравнения за вариант при съосност между зоната на изпускане на вредностите и смукателната дюза 8.1 и при наличие на ексцентрицитет между тях от 50 mm 8.2:

$$(8.1) \quad Q_{\text{см.кр}} = 1,31 \ln L - 5,46$$

$$(8.2) \quad Q_{\text{см.кр}} = 0,42 \ln L + 1,25,$$

където $Q_{\text{см.кр}}$ – дебитът, необходим за получаване на пълно улавяне на замърсената струя от страна на смукателната дюза при дадено разстояние между зоната на отделяне на вредностите и смукателя L .

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Научно приложни приноси от дисертационния труд

- Реализиране на математичен модел, отразяващ взаимодействието на струя със смукателна дюза;
- Доказване с нови средства от изчислителната механика на флуидите на съществени страни от взаимодействието на турбулентна струя (замърсител) със смукателно устройство;
- Експериментално потвърждаване на резултатите от проведената симулация и доказване адекватността на метода;

- Изведени са аналитични зависимости при анализ на ефективността на съществуващи системи за отвеждане на вредности от работни помещения.

Приложни приноси

- Създаване на метод за числени симулации на съществуващи устройства за евакуиране на вредности.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Денев Ив., Някои аспекти на взаимодействие на струя, носеща вредности със смукателен спектър, Сборник доклади Хидроаеродинамика , хидро- и пневмотехника дизайн и технологии за облекло и текстил, Том II ЕМФ 2016, стр. 18-24, ISSN 1314-5371.

2. Denev Iv., Tsankov P., Velichkova R., Experimental study interaction of isothermal turbulent jet with suction opening, PROCEEDINGS OF UNIVERSITY OF RUSE - 2016, Volume 55, book 1.2. pages 190-194., ISSN 1311-3321

3. Денев Ив., Числено моделиране на взаимодействие на турбулентна струя със смукателен отвор при нулев ексцентрицитет между двете секции, Сборник доклади Хидроаеродинамика , хидро- и пневмотехника дизайн и технологии за облекло и текстил, Том II ЕМФ 2017, стр. 52-57, ISSN 1314-5371.

4. Denev Iv., Tsankov P., Antonov Iv., Numerical modeling the interaction of turbulent jet with suction opening with presence of an angle between sections, PROCEEDINGS, Volume 56, book 1.2., Thermotechnics. Hydro- and Pneumotechnics.Ecology and environmental protection., pages 80-85, ISSN 1311-3321

SIMULATION OF SYSTEMS AND PROCESSES IN THE EVACUATION OF POLLUTANTS FROM A WORKING AREA

Ivan Nikolaev Denev, M. Sc. eng.

Abstract

The development of computational fluid dynamics is a prerequisite for replacing outdated methods of designing ventilation systems by numerical simulations of the process of interaction of contaminated jet with suction nozzle.

The aim of the PhD thesis is creation and experimentation of a new model for numerical simulations of elements of local exhaust ventilation installations for evacuation of pollutants from a working zones.

Main scientific contributions of the thesis are:

- Implementation of a mathematical model reflecting the jet interaction with a suction nozzle;
- Proving by new sides in computational fluid dynamics of essential aspects of the turbulent jet (pollutant) interaction with the suction device;
- Experimental confirmation of the results of the simulation and proving the adequacy of the method;
- Conclusion of analytical dependencies in the analysis of the effectiveness of existing local exhaust ventilation systems;
- Creating a method for numerical simulations of existing evacuation devices.