



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

ЕНЕРГОМАШИНОСТРОИТЕЛЕН ФАКУЛТЕТ

Катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини”

маг. инж. Нушка Неджат Кехайова

**”ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО И ЧИСЛЕНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА
ИНОВАТИВНА ПЕРСОНАЛНА ВЕНТИЛАЦИОННА СИСТЕМА
ЗА ЛЕЖАЩО БОЛНИ”**

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”

Научни ръководители:

проф. д-р. инж. Петър Станков

проф. д-р. инж. Арсен Меликов

СОФИЯ, 2016г.

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 14.11.2016 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 27.03.2017г. от 13:00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-418 / 01.12.2016 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Проф.д.т.н. инж. Петър Станков– председател
2. Проф.д-р. инж. Емануил Агонцев – научен секретар
3. Проф.д.т.н. Иван Антонов
4. Проф.д.м.н Стефан Радев
5. Проф.д-р. инж. Милчо Ангелов

Рецензенти:

1. Проф.д-р. инж. Емануил Агонцев
2. Проф.д.м.н. Стефан Радев

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Енергомашиностроителен факултет на ТУ-София, блок №2, кабинет № 2340

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

Автор: маг. инж. Нушка Кехайова

Заглавие: Изследване на *”Експериментално и числено изследване на иновативна персонална вентилационна система за лежачо болни”*

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Съществуващите вентилационни системи, използвани най-често в съвременните болнични заведения, са скъпи, използват голяма част от пространството в сградите и консумират значителни количества енергия за транспорт и топлинна обработка на въздуха. Въпреки това те не успяват да предоставят достатъчно чист въздух за обитателите, като създават предпоставки за разпространяване на болести, предавани по въздушно капков и аерогенен път и увеличат риска от вътрешноболнични инфекции. Използваните вентилационни системи в болничните заведения разчитат предимно на разреждане на въздуха в помещенията, чрез подаване на големи количества външен въздух. Така концентрацията на замърсители и патогенни организми в сградата се понижава до безопасни нива, които не застрашават здравето на обитателите. Повишаването на кратността на въздухообмена в помещенията, обаче, повишава скоростта на въздуха и може да генерира течения, които да разнесат вирусите на големи разстояния. Разреждането на въздуха в болничните стаи не гарантира премахването на патогенните организми и опасността от избухването на епидемии остава значителна.

Нуждата от разработване и въвеждане в употреба на иновативни и надежни методи за вентилация е осезателна. Представеният дисертационен труд разработва и изследва ефективността на иновативна персонална вентилационна система, която се стреми да подобри качеството на въздуха, дишан от болничните обитатели. Системата намалява риска от разпространението на инфекции и опасността от взаимно заразяване, като същевременно открива потенциал за спестяване на енергия, използвайки значително по-малки количества приточен въздух.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на дисертационния труд е комплексно експериментално и теоретично изследване на експлоатационните характеристики на устройство за персонална вентилация, HBVCU системата, в болнични стаи.

За постигане на поставената цел е необходимо да бъдат решени следните задачи:

- Да се проведе пълномащабно опитно изследване в лабораторни условия с цел охарактеризиране, оценяване и подобряване на системата по отношение на степента на улавяне на издишания от пациента въздух. Оптимизация на взаимодействието на генерираните от HBVCU системата локални струи с цел подобряване на топлинната среда, създадена от системата.
- Да се проведе симулационно изследване с цел оценка на потенциала на HBVCU системата за спестяване на енергия в болнични помещения при понижена кратност на въздухообмена на общообменната вентилация.
- Да се изследва ефикасността на системата по отношение на степента на улавяне на инфектиран респираторен въздух и комфорта на пациентите в болничното легло

чрез събиране на субективна информация относно локалната организация на течението, генерирано от HBIVCU системата.

- Да се създаде база от данни относно субективната оценка за прилагането на изследваната иновативната вентилационна системата в болнични стаи, в това число относно подобряване на естетичния и функционалния дизайн на персоналната вентилация.
- Да се проведе симулационно, числено изследване на работата на HBIVCU системата с цел повишаване на нейната ефективност по отношение на степента на улавяне на издишан от пациента въздух.

Научна новост

Изследване на функционалните и експлоатационните характеристики на иновативна персонална вентилационна система за намаляване на риска от разпространение на заразни болести.

Практическа приложимост

Създаването на комфортна и здравословна болнична среда е от изключително голямо значение за бързото възстановяване на болните и за ефективната работа на медицинския персонал. Предпазването на пациентите, персонала и посетителите от болести, предавани по въздушно-капков и аерогенен път може да бъде осъществено чрез ефективен локален (близо до зоната на дишане) контрол въздух на издишания (вероятно инфектиран) въздух от болните пациенти. Иновативната персонална вентилационна система, която е обект на дисертационното изследване, има потенциал да осъществи ефективно намаляване на риска от разпространение на нозокомиални инфекции при понижени енергийни разходи. Проведеното изследване показва, че иновативната персонална вентилационна система успява да понижи концентрацията на замърсен издишан въздух в помещението без да създава предпоставки за топлинен дискомфорт на болничните обитатели. HBIVCU системата може да намери широко приложение в съвременните болници, създавайки безопасна среда за възстановяване на болните и за работа на медицинските служители.

Апробация

1. 54^{-та} годишна конференция на Русенски Университет „Ангел Кънчев“, Русе, 2015
2. Numerical Heat Transfer DAAD Course, Kopaonik, Serbia, 2015
3. Indoor Air Conference, Ghent, Belgium, 2016
4. 12-th International Course for Young Researchers DAAD, Pamporovo, Bulgaria, June 2016

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 5 броя научни публикации, от които 2 самостоятелни.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от **144** страници, като включва увод, 5 глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **95** литературни източници, като **89** са на латиница и **6** на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо **84** фигури и **19** таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

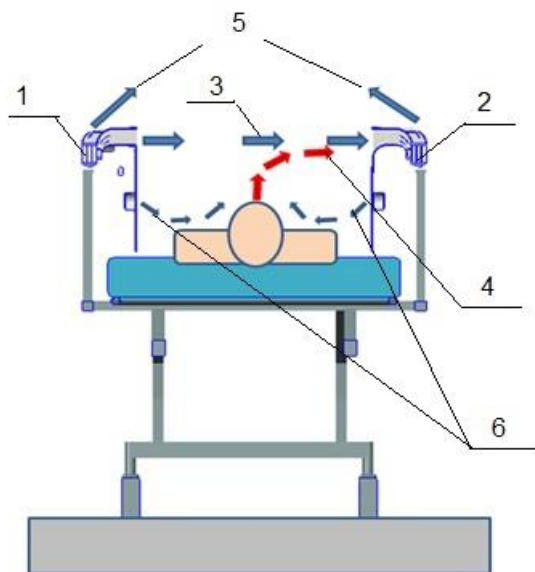
ГЛАВА 1. ОБЗОР ПО ПРОБЛЕМА: ЗАЩИТА ОТ БОЛЕСТИ, ПРЕДАВАНИ ПО ВЪЗДУШНО КАПКОВ И АЕРОГЕНЕН ПЪТ ЧРЕЗ ВЕНТИЛАЦИЯ.

В първа глава са разгледани въпроси, свързани с предаването на болести по въздушно капков и аерогенен път, опасността от взаимно заразяване и възникването на нозокомиални инфекции. Представени са съвременните изисквания към изграждането и вентилирането на болнични помещения и са дискутирани някои от основните предимства и недостатъци на най-често използваните методи за вентилация в болнични стаи. В Глава 1 са представени различни методи за защита от инфекциозни болести, предавани по въздушно капков и аерогенен път и подробно описание на иновативната персонална система за вентилация в болнични стаи, която е обект на дисертационното изследване. Системата носи наименованието „Болнично легло с интегрирана вентилационна и въздухопречистваща система - HBIVCU (Hospital Bed Integrated Ventilation and Air Cleaning Unit)“.

Един от главните източници на заразяване в лечебните заведения е респираторната активност на обитателите (пациенти, лекари, медицински сестри, санитарни, посетители и др.). За да бъде намалено развитието на нозокомиални инфекции международните норми и стандарти препоръчват кратността на въздухообмена (англ. Air Changes per Hour - ACH) в инфекциозните отделения да бъде повишена до 12 ACH, а в обикновените болнични стаи до 6 ACH [11], [21], [27]. Съществуващите практики за ограничаване на риска от взаимно заразяване чрез вентилация разчитат единствено на разреждане на замърсения въздух с външен, приемайки че се осъществява добро смесване между въздуха в помещението и приточния въздух [18]. В случай, че болничната вентилация е неправилно или неефективно проектирана, вместо намаляване на опасността от заразяване, може да се постигне обратния ефект на подпомагане на разпространението на патогени в съседните стаи на инфекциозното отделение. Някои автори [71] докладват, че заразяването с туберкулоза сред медицинския персонал е силно свързано с неадекватно вентилиране в болниците. Изследвания върху причините за избухването на най-голямата епидемия на ТОРС в болницата Prince of Wales в Хонг Конг също установяват, че разпространението на вируса в Отделение 8-А, е било резултат от неправилно организирана вентилация [59], [89]. Идентифицирането и изолирането на инфектирания пациент е от голямо значение, но може да се окаже трудно, защото симптомите на заболяването понякога остават латентни в продължение на дни.

За да се намали разпространението на замърсен респираторен въздух е важно издишаният въздух около инфектирания човек да се изведе извън помещението преди да се смеси с вътрешния въздух. Иновативната вентилационна система, която е обект на изследване в дисертационния труд, се основава на контрол върху източника на замърсяване и насочване на въздушното течение [67], [68]. Вентилационната система носи наименованието Hospital Bed Integrated Ventilation and Air Cleaning Unit (HBIVCU) и е патентована в Европа (EP 09165736.1) и САЩ (US 61/226,542). HBIVCU системата може да намали риска от взаимно заразяване в болниците, като доставя чист въздух в зоната на дишане на пациента в болничното легло и локално изсмуква издишания от болния въздух, който най-вероятно е носител на патогени. Принципът на работа на вентилационната система е показан на Фигура 1.7.а). Две въздухоразпределителни кутии (1 и 2) са монтирани от двете страни на болничното легло, близо до главата на пациента. Те са свързани с основния пречистващ и

въздухоподаващ блок на системата, който е инсталиран на гърба на леглото от страната на главата на пациента.



б)

а)

Фигура.1.7.а) HBIVCU принцип на работа: 1- подаваща въздухоразпределителна кутия (подаващ отвор); 2- изсмукваща въздухоразпределителна кутия (локален смукател); 3- хоризонтална струя; 4 –респираторен въздух; 5 – вертикална (наклонена) въздушна завеса с посока нагоре; 6 – вертикална въздушна завеса с посока надолу , б) Прототип HBIVCU системата, инасталиран на стандартно болнично легло от клас А

HBIVCU системата има два режима на работа. При първия режим HBIVCU системата е свързана със смукателния въздуховод на общообменната вентилация в болничната стая. Издишаният от пациента (потенциално заразен) въздух, се улавя от локалния смукател (2) и се извежда от помещението. При втория режим- уловеният респираторен въздух се пречиства от основния блок на системата с помощта на UV светлина или друг пречиствателен метод и се връща обратно в болничната стая.

Принципът на работа, показан на Фигура 1.7.а) е следният: чист въздух се подава от подаващия отвор (1) в хоризонтално направление. Генерираната хоризонтална струя (3) увеличава и насочва издишания от пациента в леглото въздух (4) към локалния смукател на HBIVCU системата (2), където респираторния въздух се улавя и в зависимост от режима на работа на HBIVCU се извежда извън помещението или се пречиства и подава обратно в стаята. Чист въздух се подава от системата и във вертикално направление – нагоре (5) и надолу (6). Целта на двете вертикални въздушни завеси с посока нагоре (5) е да предпазват пациента от заразяване с инфекциозен въздух, издишан от лекаря или друг обитател на болничното помещение (медицинска сестра, посетител и др.). Двете вертикални завеси с посока надолу (6) доставят чист въздух в зоната на дишане на пациента и охлаждат областта около главата. Температурата на въздуха на хоризонталната струя (3) може да бъде регулирана от пациента в болничното легло. HBIVCU системата осигурява три степени на загряване и три степени на охлаждане на въздуха от струята. Пациентът също така може да контролира и дебита на подаване от хоризонталната струя и двете

вертикални въздушни завеси. Прототипа на локалната болнична вентилация, монтиран на стандартно болнично легло от клас А, е показан на Фигура 1.7. б).

ГЛАВА 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕЧЕНИЕТО, СЪЗДАВАНО ОТ ПРОТОТИПА НА HBVCU СИСТЕМАТА

Глава 2 представя експериментално изследване на течението, генерирано от прототипа на HBVCU системата и анализ на получените данни. Опитното изследване е проведено на три етапа като на базата на получените резултати са внесени подобрения в дизайна на прототипа. Ефективността на HBVCU системата е оценена от гледна точка на:

- Степента на улавяне на издишан въздух от заразно болния.
- Топлинният комфорт, предопределен от течението, което HBVCU системата генерира

Представените резултати са получени в лабораторни условия при контролирани параметри на вътрешната среда. Експериментите са проведени в Международния Център за Изследване на Вътрешната Среда и Енергия (ICIEE) към Датския Технически Университет (DTU).

Методи

За да бъдат оценени характеристиките на болничното легло с интегрирана локална вентилационна система (Глава 1) е проектиран експеримент, който симулира работата на устройството при реални условия. Пълномащабният експеримент е проведен в лабораторно помещение, което пресъздава стандартна единична болнична стая.[7], [11], [21]. Помещението е широко – 3 m, дълго – 6 m, и високо - 3 m. Общообменната приточна вентилация подава 100% външен въздух без рециркулация с обем дебит от 104 L/s (7,1 ACH). Въздухът от стаята и част от външния въздух, внасян от HBVCU системата, се изсмукват през въздухоразпределителна решетка, разположена на стената. Схема на опитната постановка е представена на Фигура 2.1.

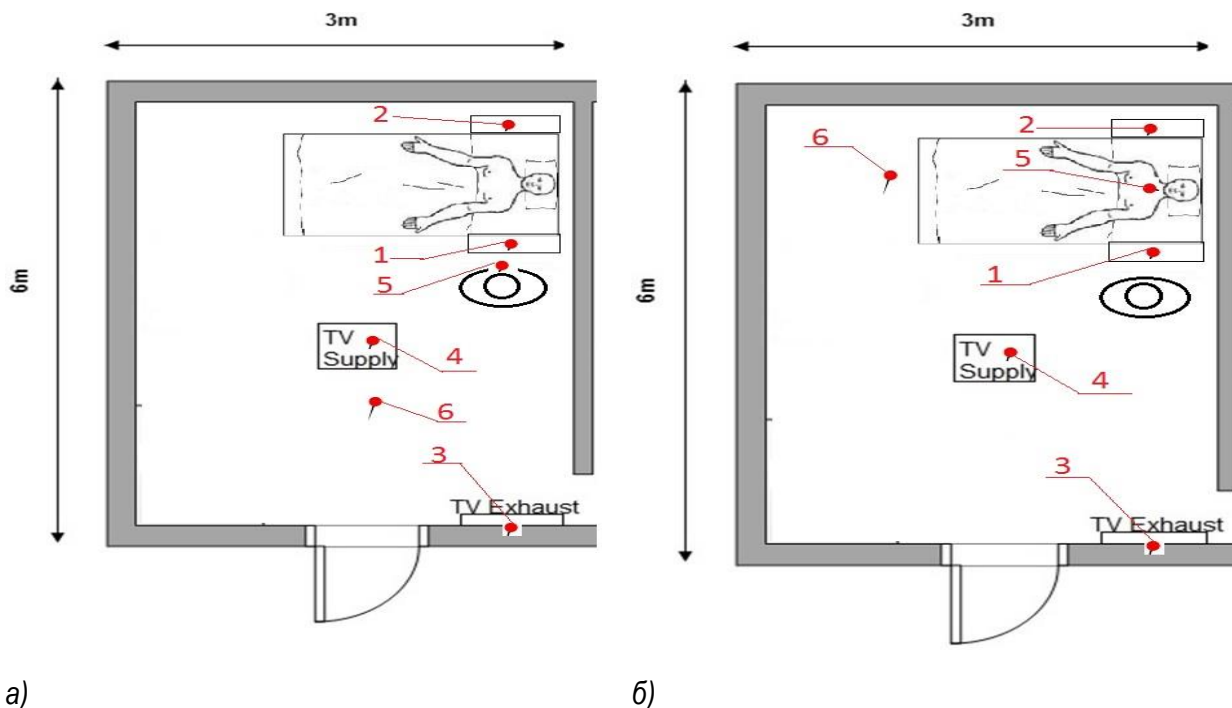


Фигура 2.1 Схема на опитната постановка: 1 – Приточна Въздухоразпределителна Решетка (В. Р.); 2 – Отвеждаща Въздухоразпределителна решетка; 3 – HBIVCU система (локална вентилация); 4 – Пациент; 5 – Лекар

В експерименталната стая са разположени пациент и доктор, стоящ до леглото. Дишащ топлинен манекен и топлинен модел на човек (ТМЧ) се използват, за да симулират доктора и/или пациента. Издишаният въздух от топлинния манекен е примесен с маркиращ газ, за да бъде симулиран замърсен или инфектиран респираторен въздух. Маркиращият газ, Фреон R134-а [20], се дозира през изкуствените дробове на манекена. Ефективността на локалната вентилация по отношение на намаляване на риска от разпространение на инфекциозни болести е оценена при два различни източника на зараза: болен пациент и болен лекар. При изследваните случаи, когато източника на зараза е болен пациент, пациентът се симулира от дишащия топлинен манекен, а доктора от ТМЧ. Топлинният манекен вдиша въздух през носа и издиша през устата. Хоризонталното разстояние между доктора и пациента е 0,65 m. По време на експериментите пациента лежи по гръб в леглото и е покрит с юрган. В случаите, когато източника на зараза е болен лекар, лекарят се симулира от топлинния манекен, а пациента от ТМЧ. Топлинният манекен отново диша през носа и издиша през устата

Степен на улавяне на издишан въздух от заразно болния.

Обемната концентрация (X) на R134-а се измерва в шест измервателни точки от помещението чрез системата INNOVA. Точките на измерване за случаите, когато източникът на зараза е болен пациент са показани на Фигура 2.17 -а, а за случаите, когато източникът на зараза е болен доктор са на Фигура 2.17- б.



Фигура 2.17 Точки на отчитане на концентрационните нива на маркиращ газ в случая, когато източник на зараза е а) болен пациент и б) болен лекар (обитател на помещението)

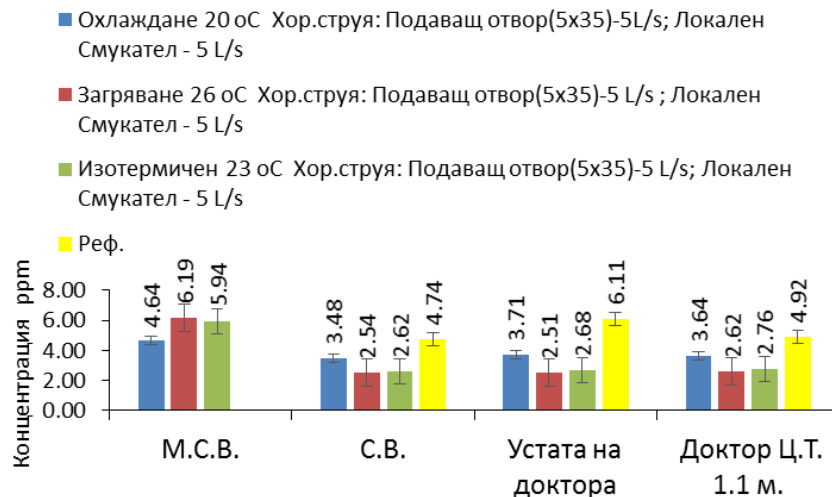
Нивото на концентрация на маркиращ газ, измерено в локалния подаващ отвор и общообменната приточна вентилация, се извеждат от нивото на маркиращ газ, измерено в точката на отчитане съгласно уравнение (2.2).

$$2.2. \Delta X_i = X_i - (X_{\text{локален подаващ отвор}} + X_{\text{приточна общообменна вентилация}})$$

Резултати от измерванията с маркиращ газ за случаите, когато източника на зараза е болен пациент

Ефект от работата на хоризонталната струя на HBIVCU системата

Представени са измерените концентрации на маркиращ газ (p_{prt}) като получените концентрации в референтния случай (когато HBIVCU системата не работи) са показани за сравнение. В сравнение с референтния случай, когато HBIVCU системата не работи, концентрацията на маркиращ газ при устата на доктора намалява до 39%, 56% и 59% съответно при охлаждаща, изотермична и загрята хоризонтална струя на HBIVCU системата.

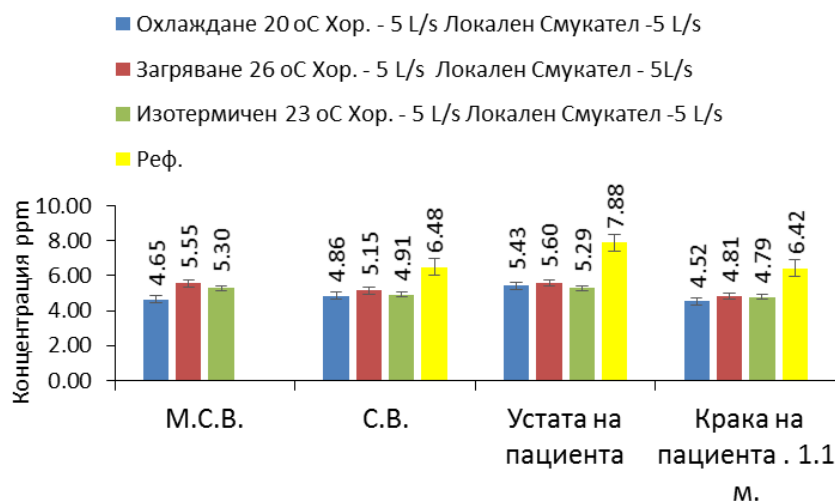


Фигура 2.19 Концентрация в ррт, измерена в четирите точки на отчитане при източник на зараза от болен пациент за приточен дебит на хоризонтална струя - 5 L/s, на двете вертикални струи – 2x0 L/s и дебит на местно изсмукване - 5 L/s

Резултати от измерванията с маркиращ газ за случаите, когато източника на зараза е болен лекар (или друг обитател на помещението).

Ефект от работата на хоризонталната струя на HBVCU системата

Фигура 2.22 показва резултати за нивата на концентрация на маркиращ газ (ppm) в съответните точки на отчитане (Фгура 2.17-б). Нивото на маркиращ газ, измерено при устата на пациента, намалява с приблизително 31% спрямо референтния случай, при който персоналната вентилационна система не работи .



Фигура 2.22 Концентрация в ррт, измерена в четирите точки на отчитане при източник на зараза от болен лекар за приточен дебит на хоризонтална струя - 5 L/s, на двете вертикални струи – 2x0 L/s и дебит на местно изсмукване от 5 L/s

При всички изследвани режими работата на прототипа на HBVCU системата води до намаляване на концентрациите на маркиращ газ в точките на отчитане в помещението в сравнение с измерените концентрации в референтния случай, когато локалната болнична вентилация не работи. Хоризонталната струя е по-ефективна при предпазване на лекаря от

излагане на заразен въздух, издишан от болен пациент в сравнение с предпазване на пациента от замърсен въздух, издишан от болен лекар.

Въпреки отчетеното намаляване на концентрациите на маркиращ газ в измервателните точки в опитното помещение, ефективността на прототипа на HBIVCU системата по отношение на степента на улавяне на издишан замърсен въздух, има нужда от подобрене. Ефективността на прототипа може да бъде подобрена чрез внасяне на промени в размерите на изходящия отвор на подаващата дюза и локалния смукател, както и чрез увеличаване на дебита на изсмукване на локалната вентилация [14].

Промените, внесени в дизайна на HBIVCU системата, са направени на два етапа:

1. Подобрения в системата - Първи Етап

На базата на резултатите, представени в предходната точка на дисертационния труд, бяха внесени корекции в дизайна на подаващия отвор на подаващата дюза и локалния смукател на прототипа на HBIVCU. Целта на направените корекции е да повиши ефективността на системата по отношение на степента на улавяне на издишан, замърсен въздух и да подобри топлинния комфорт. Ефективността на въведените промени в дизайна на системата е оценена чрез провеждането на физически измервания.

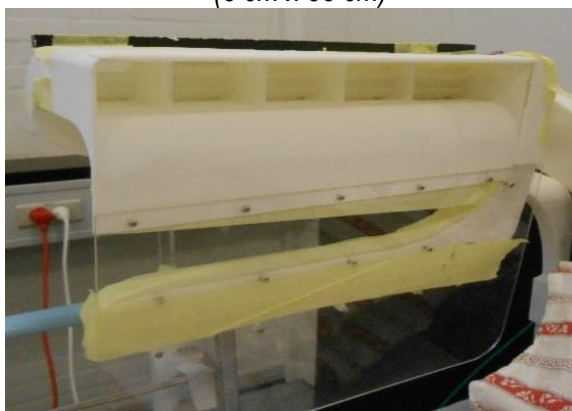
На Фигура 2.27 е показано сравнение между оригиналния и модифицирания дизайн на прототипа на HBIVCU системата. Направени са визуализации на течението, измервания с маркиращ газ и измервания с термоанемометри. Измерванията показват, че ефективността на HBIVCU системата може да бъде подобрена чрез оптимизиране на подаващия отвор на хоризонталната струя и на локалния смукател.



1) Първоначални размери на подаващия отвор (5 cm x 35 cm)



2) Коригирани размери на подаващия отвор (1 cm x 25 cm)



1) Първоначални размери на локалния смукател (5cm x 35 cm)

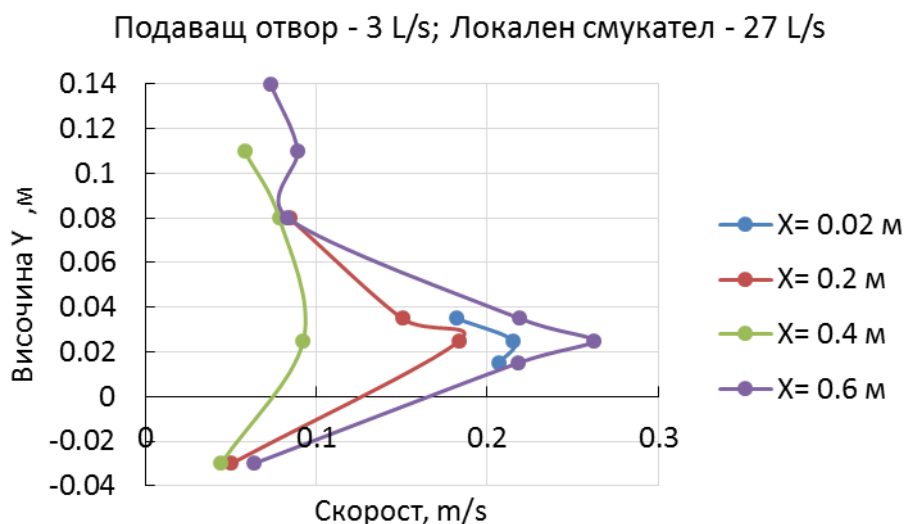


2) Коригирани размери на локалния смукател (23 cm x 40 cm)

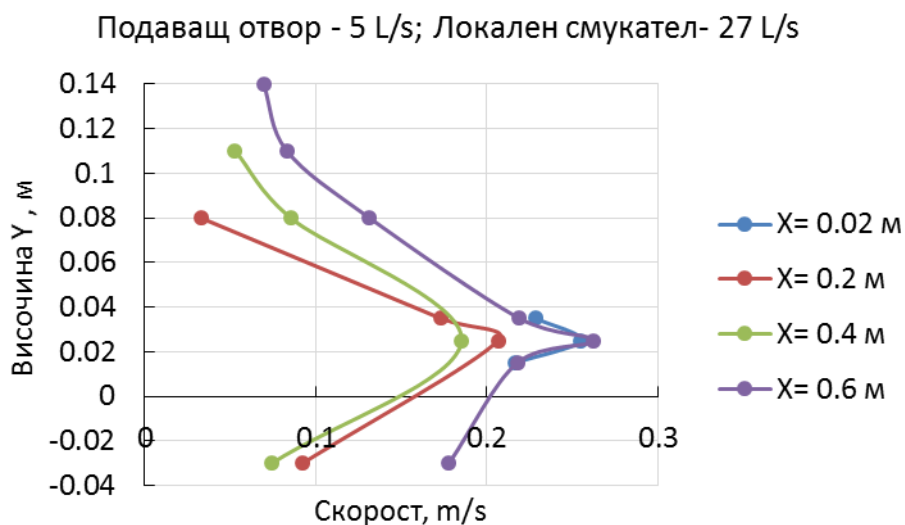
Фигура 2.27 Сравнение между първоначалния и модифицирания дизайн на подаващия отвор и локалния смукател.

Скоростното поле, генерирано от хоризонталната струя на HBVCU системата, е изследвано с помощта на четири нискоскоростни термоанемометрични сонди. Скоростните профили са измерени при следните параметри на течението през подаващия отвор и локалния смукател: Локален смукател – напречно сечение 23 см x 40 см и дебит 27 L/s; Подаващ отвор – напречно сечение 5 см x 35 см и дебит 3 L/s ; Подаващ отвор – напречно сечение 5 см x 35 см и дебит 5 L/s.

Изменението на скоростта по направление на ос $Y[m]$ за двата дебита е представено съответно на Фигура 2.32 и Фигура 2.33, имат сходно поведение. Най- високи стойности са отчетени по дължина на оста на симетрия на подаващия отвор и локалния смукател. В началния участък на подаващия отвор при дебит от 3 L/s средната стойност на измерените скорости по дължина на оста на симетрия ($Z=0,025m$) е 0,18 m/s със стандартно отклонение от 0,024, което е стойност близка до изчислената (0,17 m/s). За дебит от 5 L/s измерената средна скорост по дължина на оста на симетрия е 0,22 m/s със стандартно отклонение от 0,044, което също е близко до първоначалната изчислена скорост по дебит (0,24 m/s).

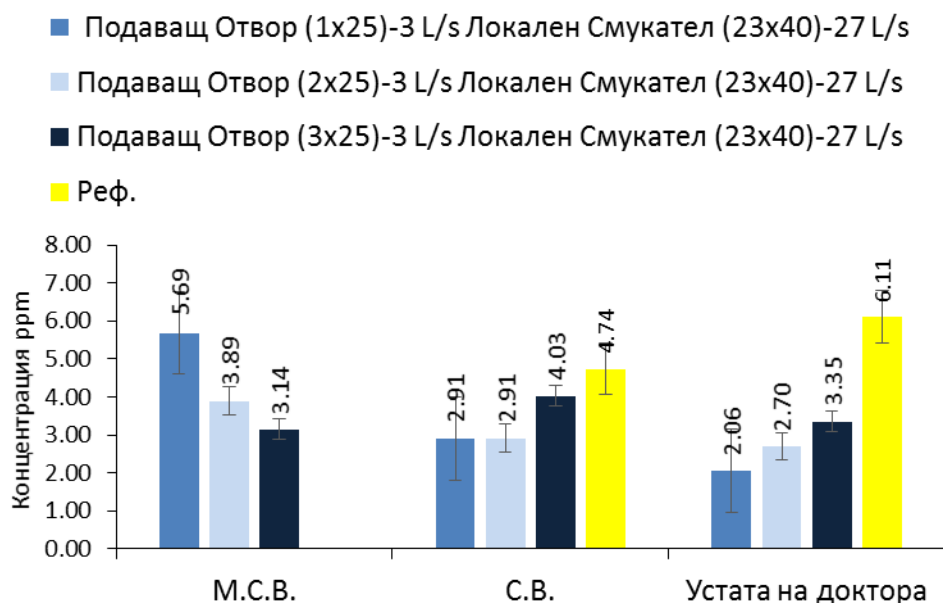


Фигура 2.32 Скоростен профил на хоризонталната струя на HBVCU системата при приточен дебит от 3 L/s и дебит на засмукване от 27 L/s



Фигура 2.33 Скоростен профил на хоризонталната струя на HBVCU системата при приточен дебит от 5 L/s и дебит на засмукване от 27 L/s

На Фигура 2.34 е представено влиянието на напречното сечение на подаващия отвор на хоризонталната струя върху ефективността на HBVCU системата за три различни размери на отвора: 1 cm x 25 cm, 2 cm x 25 cm и 3 cm x 25 cm. Концентрацията на маркиращ газ при устата на доктора намалява в сравнение с референтния случай с 66%, 55% и 45% за напречно сечение съответно от 1 cm x 25 cm, 2 cm x 25 cm и 3 cm x 25 cm. Внесените корекции в геометрията на прототипа на HBVCU системата намаляват концентрацията на маркиращ газ в точката на отчитане при устата на доктора почти два пъти в сравнение с оригиналния дизайн, при който напречното сечение на подаващия отвор е 5 cm x 35 cm (Фигура 2.19).



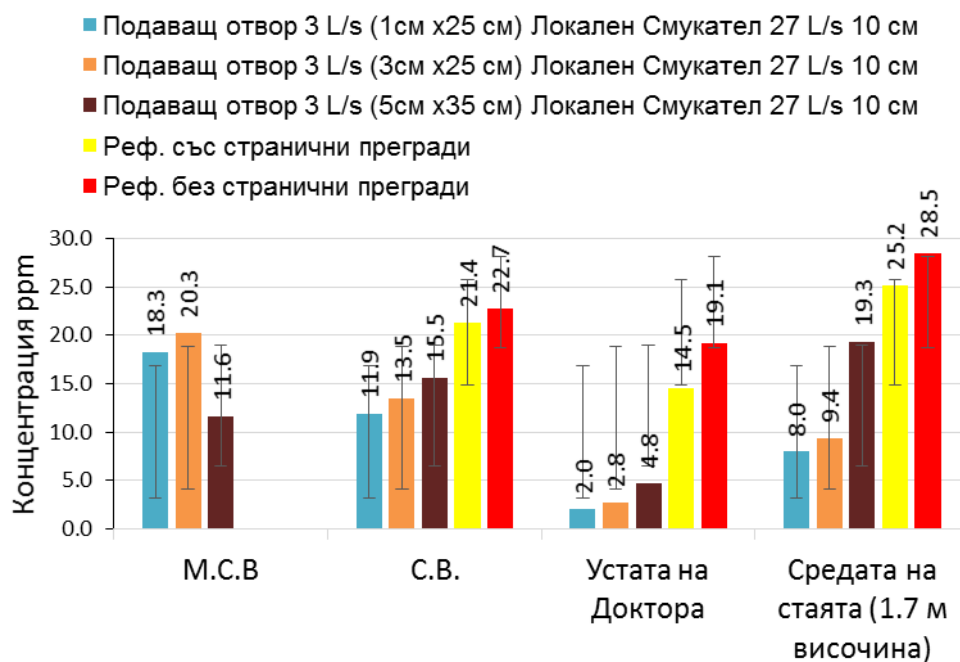
Фигура 2.34 Концентрации в ррт, получени при различно напречно сечение на подаващия отвор на хоризонталната струя на HBVCU системата в случай на болен пациент с преходен режим на дишане

2. Подобрения в системата - Втори Етап

При този етап на изследването са изработени два нови елемента - подаваща дюза и смукател. Размерите и формата на дюзата и смукателя са подбрани на базата на резултатите, получени от предходните измервания и препоръките за проектиране на тези устройства от Батурин [14]. Във Втори Етап на изследването е направено оценяване на влиянието на геометрични и хидравлични характеристики (форма и размери на подаващата дюза и локалния смукател, начална скорост и дебит на подаване и изсмукване) върху степента на улавяне на издишания от пациента въздух.

Влияние на напречното сечение на подаващия отвор върху степента на улавяне на издишан въздух

Нивото на концентрация на маркиращ газ (ppm) в точката на отчитане при устата на доктора намалява със съответно 86%, 81% и 74% при напречно сечение от 1cm x 25 cm, 3 cm x 25 cm и 5cm x 35 cm в сравнение с референтния случай. Въз основа на получените резултати може да бъде направено заключението, че оптималното напречно сечение на подаващия отвор е 1cm x 25 cm.



Фигура 2.42 Сравнение между резултатите (концентрация в ppm), получени с различно напречно сечение на подаващия отвор

Чрез въведените промени в дизайна на HBVCU системата нейната ефективност по отношение на степента на улавяне на издишан въздух от пациента в болничното легло е увеличена.

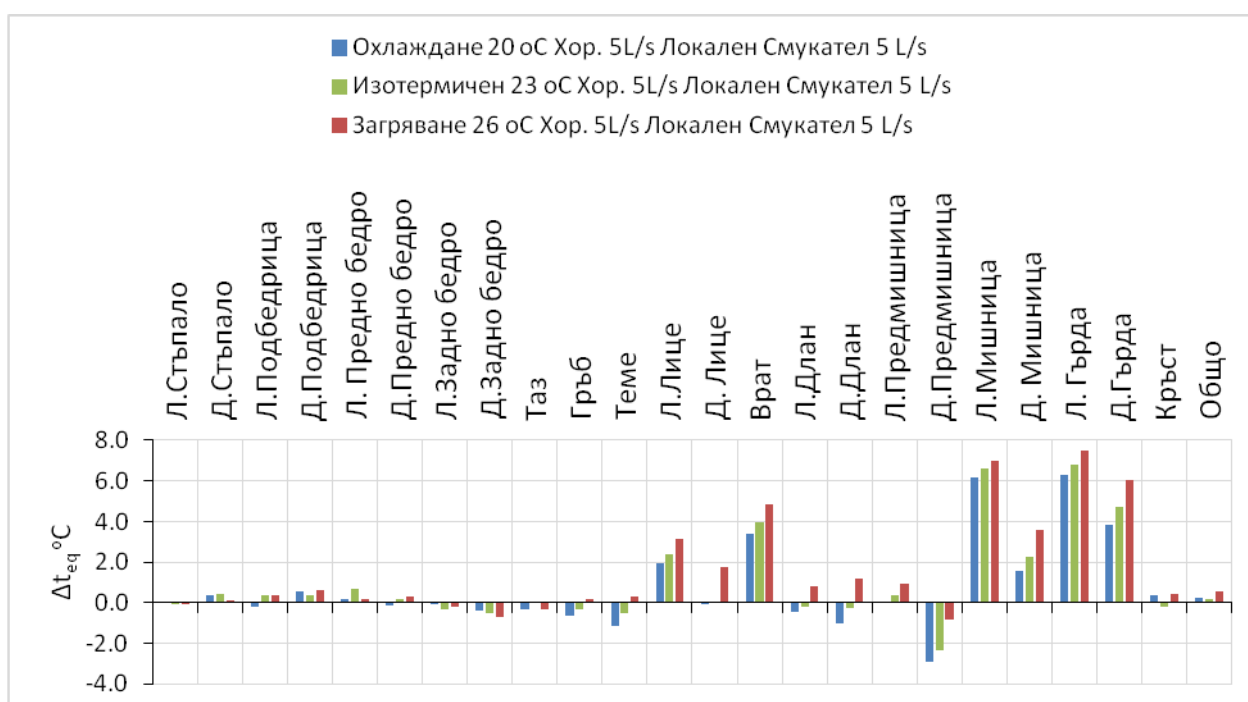
Топлинен комфорт, генериран от прототипа на HBVCU системата. Измервания с топлинен манекен

Ефектът на охлаждане (топлинният комфорт), предопределен от вентилационната система, се оценява чрез пресмятане на разликата между еквивалентната температура [88], измерена в конкретния режим на работа на HBIVCU системата и еквивалентната температура, измерена в референтния случай. При референтния случай локалната болнична вентилация не работи. Ефектът на охлаждане се пресмята чрез следното уравнение (2.3.):

$$2.3. \Delta t_{eq} = t_{eq,i} - t_{eq,i,ref}$$

Където $t_{eq,i}$ и $t_{eq,i,ref}$ (°C) са еквивалентната температура на сегмента или цялото тяло на манекена, получени при една и съща температура на въздуха съответно при работа на локалната вентилация и при изключена локална вентилация.

Охлаждащ ефект на хоризонталната струя



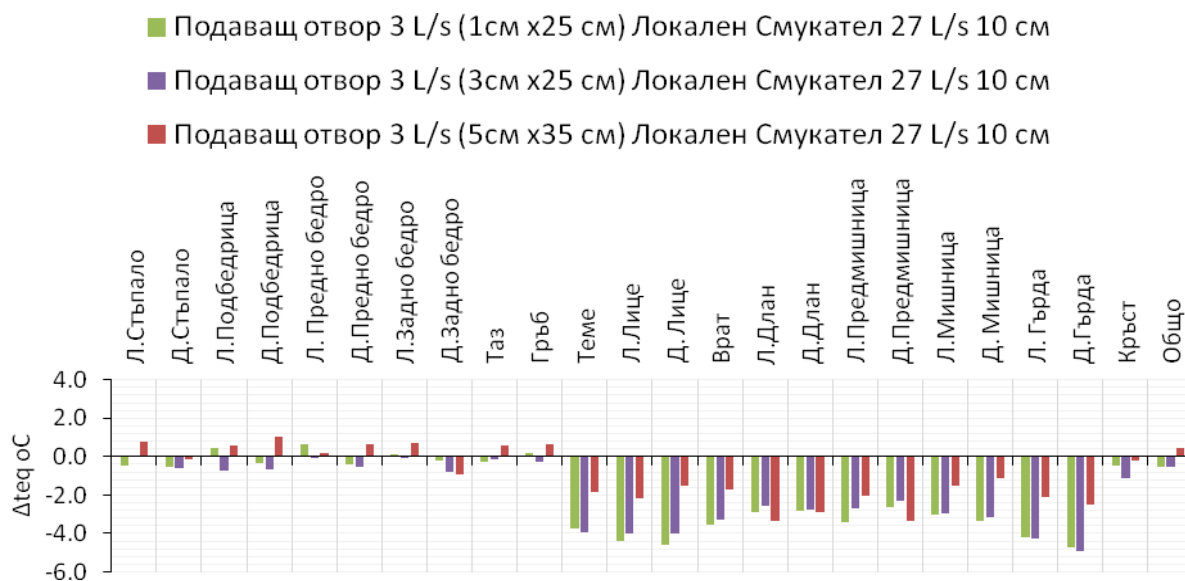
Фигура 2.25 Разлика в еквивалентната температура Δt_{eq} за сегментите от тялото на манекена, изложени на течението, генерирано от HBIVCU системата при хоризонтална струя с дебит – 5 L/s и температура на струята от – 20°C, 23°C и 26°C

Топлинната среда, генерирана от прототипа на HBIVCU системата е нееднородна. Наблюдават разлики в ефекта на охлаждане между сегментите от лявата и дясната страна на тялото на манекена, изложени на течението. Опасенията са, че нееднородния ефект на охлаждане може да има негативно влияние върху топлинния комфорт на пациентите в леглото и да предизвикат локален дискомфорт поради различия в конвективния топлообмен.

Охлаждащ ефект на хоризонталната струя след въведените промени от Втори Етап на изследването

След въведените промени в дизайна на системата от Втори Етап е оценен охлаждащия ефект на хоризонталната струя на HBIVCU системата за трите тествани

напречни сечения на подаващия отвор: 1 см x 25 см, 3 см x 25 см и 5 см x 35 см и дебит от 3 L/s. Резултатите, показани на Фигура 2.46, показват, че и при трите напречни сечения на подаващия отвор са наблюдава охлаждане на сегментите от тялото на манекена, изложени на течението. Асиметрията в охлаждането на сегментите от лявата и дясната страна на тялото на манекена, която е измерена при първоначалния дизайн на системата, е намалена. Това дава основание да бъде направено заключение, че условията на локалната топлинна среда в болничното легло, са подобрени след внесените промени от Втори Етап на изследването.



Фигура 2.46 Разлика в еквивалентната температура Δt_{eq} за сегментите от тялото на манекена

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА НА ПОТЕНЦИАЛА НА HBIVCU СИСТЕМАТА ЗА СПЕСТЯВАНЕ НА ЕНЕРГИЯ

В съвременните болници контролирането на нозокомиални инфекции се осъществява чрез подаване на повече чист въздух, който разрежда замърсения вътрешен въздух. Повишената кратност на въздухообмена в болничните помещения увеличава консумацията на енергия и ресурси, но същевременно не гарантира ефективно премахване на патогенните организми. Тя генерира по-високи скорости на въздуха в обитаемите помещения и може да предизвика топлинен дискомфорт от течение при лежащо болните пациенти, които имат понижен метаболизъм, а често и повишена телесна температура.

Системата HBIVCU е иновативна вентилационна система, която може да подобри качеството на вдишания от обитателите въздух и намали риска от заразяване с инфекции, предавани по въздушно-капков и аерогенен път при понижена кратност на въздухообмена на общообменната вентилация в помещението. Използването на HBIVCU има потенциал да намали енергийните разходи в болничните заведения, прилагайки заедно или по отделно на някои от следните стратегии за спестяване на енергия:

1. *Намаляване на кратността на въздухообмена на общообменната вентилация в помещението поради високата ефективност на персоналната вентилация по отношение както на доставянето на чист въздух в зоната на дишане на пациента, така и на улавянето на издишания от него въздух т.е. премахването на патогенните организми от въздуха в помещението.*
2. *Разширяване на допустимите граници за температура на въздуха в болничните стаи поради способността на персоналната вентилация да създава комфортен микроклимат в обитаемата зона.*
3. *Доставяне на чист въздух от персоналната вентилация, само когато обитателите са в помещението.*

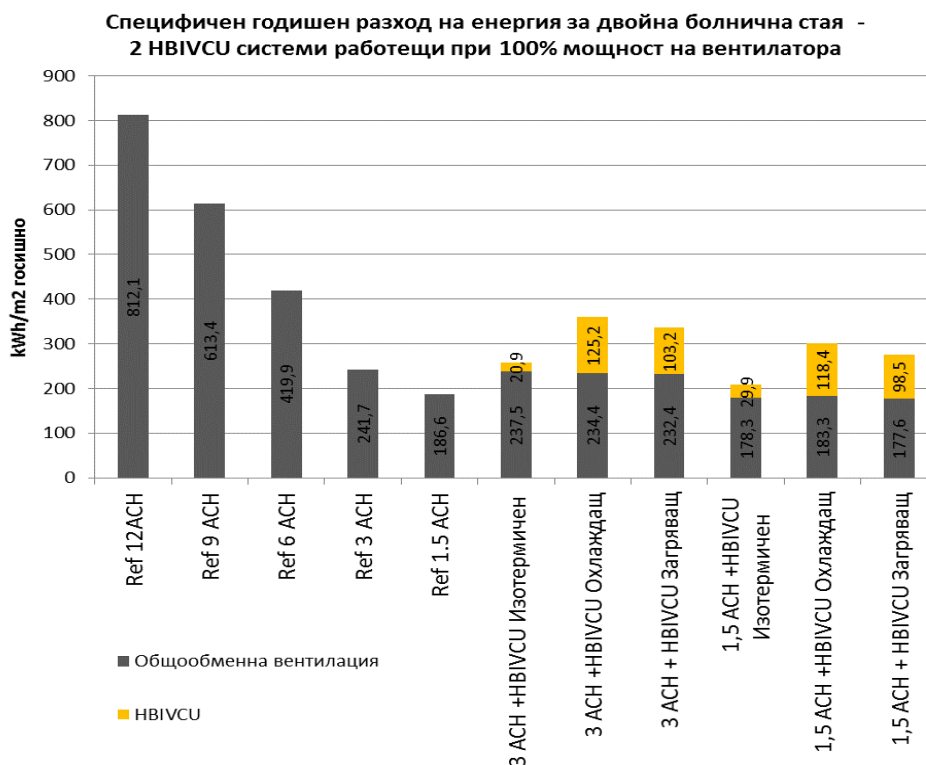
Глава 3 представя резултати от симулационно изследване на потенциала за спестяване на енергия чрез използването на HBIVCU системата в комбинация с общообменна вентилация с понижена кратност на въздухообмена, в съответствие със Стратегия 1 и 3.

За да бъде оценен потенциала на HBIVCU системата за спестяване на енергия, е направено симулационно изследване с помощта на софтуерното приложение IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE). Входните параметри към симулационния модел са описани според Европейският стандарт EN 15265 (2006) [22]. В изследването са симулирани стандартна единична и двойна болнични стаи от болница, която е разположена в Копенхаген (Дания). Локацията има характерен студен климат. Симулационният модел използва базата данни на ASHRAE IWEC като входящ параметър, описващ външните климатични условия.

Потенциалът за спестяване на енергия чрез HBIVCU е оценен чрез сравняване на консумираната енергия от работа на системата съвместно с общообменна вентилация с кратност на въздухообмена от 1,5 ACH и 3 ACH и консумираната енергия при самостоятелна работа на общообменната болничната вентилация при 6, 9 и 12 ACH. Процентът спестена енергия се оценява на базата на съотношението между годишния разход на първична енергия (брутна потребена енергия) в различните случаи. Брутната потребена енергия се измерва в kWh/m² и оценява какво количество енергия трябва да се достави в системата, за да бъдат създадени желаните топлинни условия на вътрешната среда.



Фигур 3.2 Годишен разход на първична енергия в единична болнична стая с а) работеща 24 часа HBIVCU система при мощност на вентилатора от 100%



Фигура 3.4 Годишен разход на първична енергия в двойна болнична стая с а) две работещи 24 часа HBIVCU системи при мощност на вентилатора от 100%

При всички симулирани случаи използването на HBIVCU системата в комбинация с общообменна вентилация с понижена кратност на въздухообмена (1,5 ACH и 3 ACH) води до намаляване на енергийните разходи в болничните помещения, спрямо случаите на общообменна вентилация с кратност на въздухообмена от 6, 9 и 12 ACH.

ГЛАВА 4. СУБЕКТИВНА ОЦЕНКА НА РАБОТАТА НА ИНОВАТИВНАТА ПЕРСОНАЛНА ВЕНТИЛАЦИОННА СИСТЕМА (HBIVCU)

В Глава 4 е описано организирането, провеждането, анализирането на резултати от експеримент с участието на хора. Целта на изследването е да бъде получена и анализирана субективната оценка на група хора относно качеството на визуалната среда и микроклимата (качество на въздуха, топлинен комфорт и риск от локален топлинен дискомфорт – основно усещане за течение), в обикновено болнично легло и болнично легло, съоръжено с HBIVCU система.

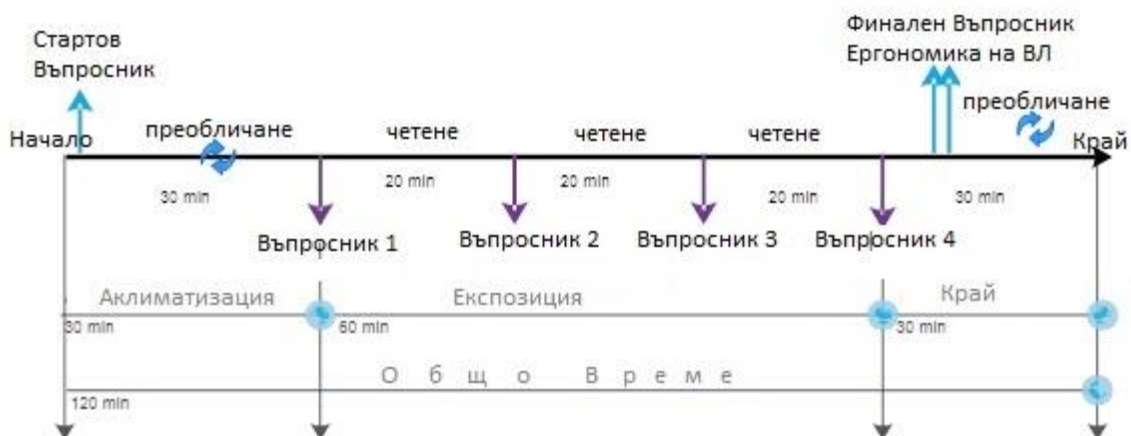
Методи

Експериментите с участието на хора са проведени в две съседни помещения, като всяко от тях имитира стандартна единична болнична стая. Размерите на всяка от опитните стаите са: 6 m x 3 m x 3 m (Д x Ш x В).

Тридесет и двама човека (17 мъже и 15 жени) участват в експеримента. Оценката на участниците относно параметрите на средата и качеството на въздуха в болничните легла е получена с помощта на стандартизирани въпросници. Във въпросниците се използват скалата за приемливост от стандарта EN 15251 2007, [28], скалата за оценка на топлинната следа на ASHRAE [8] и непрекъснатата скала от нула до сто.

Експерименталното изследване е проведено в рамките на две седмици. Участниците са разделени на 16 групи. Всяка група е съставена от 2 субекта, които участват в две експериментални сесии (по една сесия всяка седмица). Експерименталните сесии са с продължителност от 2 часа, през които субектите са изложени на едно от двете тестови условия: Болнично легло с интегрирана локална вентилация (Вентилирано Легло - **ВЛ**) и Болнично легло без интегрирана локална вентилация (Не-Вентилирано Легло - **НВЛ**).

Условията на средата в двете тестови помещения са идентични. В помещенията е организирана общообменна вентилация без рецикулация. Температурата на въздуха се поддържа в рамките на 23°C, а кратността на въздухообмена до 9 h⁻¹. Относителната влажност на въздуха в стаята не се контролира, но се измерва непрекъснато ~42% (±1.5%). Прилаганата експериментална процедура е схематично представена на Фигура 4.5



Фигура 4.5 Схема на експерименталната процедура

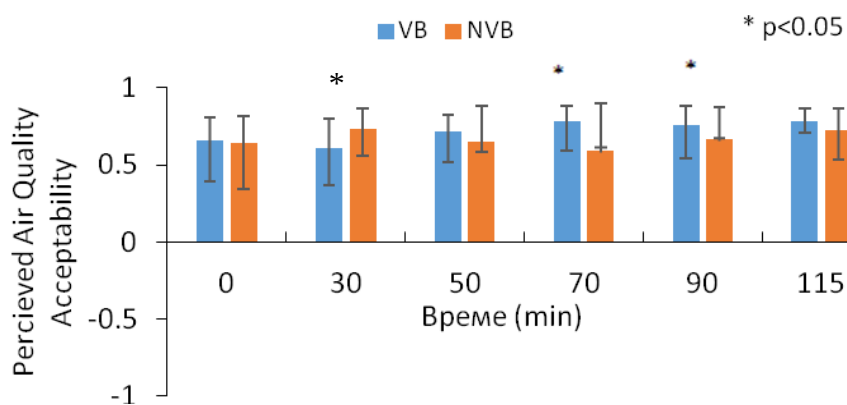
Анализ на получените резултати

Базата данни, генерирана от субективния вот, се изследва за статистическа значимост с помощта на комерсиалния софтуер SPSS [73], [77]. Всяка извадка от 32 стойности (генерирани от вота на 32-ма участници) се тества, за да се определи вида на разпределението. За целта се използва теста за нормално разпределение на Шапиро-Уилк. Приетото ниво на значимост (стойността p) е 0.05. Резултатите от теста на Шапиро-Уилк показват, че получените от експеримента данни, нямат нормално разпределение. В случай на не-Гаусово разпределени данни в последващия анализ се прилагат тестовете на Уилкоксън, Фридман и Ман-Уитни [26], [57], [82], [85].

На базата на индивидуалните оценки на субектите за изследваните величини е пресметната медианата за всеки от отговорите (в случай на не- Гаусово разпределени данни). На фигурите статистическата грешка е показана чрез 25/75 персентили (квартили). Всички статистически значими резултати с ниво на значимост по- малко от 0.05 са означени с „*“.

Приемливост на качеството на вдишания въздух (англ. Perceived Air Quality Acceptability - PAQ Acceptability)

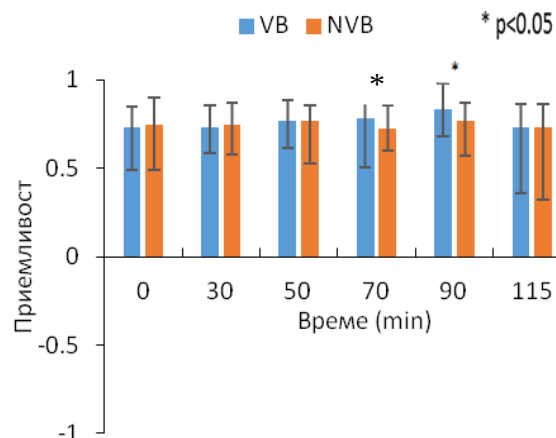
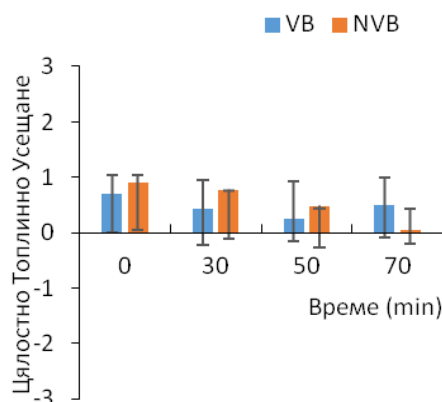
На Фигура 4.7 са показани резултатите от субективния вот за приемливостта на качеството на вдишания въздух в двете болнични легла. С течение на времето приемливостта на качеството на вдишания въздух във ВЛ случая нараства ($p=0.000$, Тест на Фридман). Приемливостта на PAQ във ВЛ случая е по- висока в сравнение с тази в НВЛ случая, но значимо различие във вота между двете условия се наблюдава само за отделни времеви интервали (30-та, 70-та и 90-та минута). С течение на времето няма промяна в приемливостта на PAQ в НВЛ.



Фигура. 4.7 Приемливост на качеството на въздуха. Скалата за оценяване на приемливостта е: -1 “напълно неприемливо”, -0,01 “неприемливо”, 0,01 “неприемливо”, 1 “напълно неприемливо” (DS EN 15251, 2007)

Цялостно Топлинно Усещане и Приемливост (англ. Overall Thermal Sensation - OTS)

На Фигура 4.8 а) са представени резултати от вота на субектите за цялостното топлинно усещане. То е гласувано от субектите между „леко топло“ и „неутрално“. Вота в двата тествани случая намалява с течение на времето, но статистически значима разлика в гласовете на субектите не се наблюдава. Фигура 4.8 б) представя оценките на субектите относно приемливостта на цялостното топлинно усещане. С течение на времето приемливостта във ВЛ случая се повишава ($p=0.043$, Тест на Фридман), но разликите между ВЛ и НВЛ случая са статистически значими само за някои времеви интервали.



Фигура 4.8 а) Цялостно топлинно усещане. Използваната скала отговаря на: -3 “студено”, -2 “хладно”, -1 “леко хладно”, 0 “неутрално”, 1 “леко топло”, 2 “топло”, 3 “горещо”

Фигура 4.8. б) Приемливост на цялостното топлинно усещане. Използваната скала отговаря на: -1 “ясно неприемливо”, -0,01 “просто неприемливо”, 0,01 “просто приемливо”, 1 “ясно приемливо”

Фигура 4.8 Цялостно топлинно усещане и приемливост на цялостното топлинно усещане

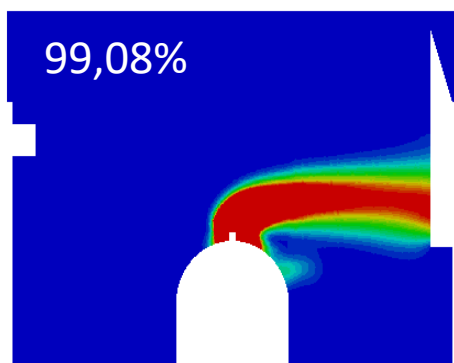
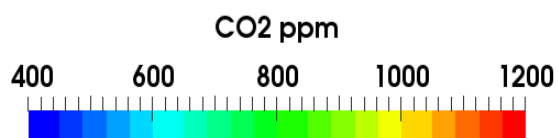
При използването на HBIVCU системата се отчита тенденция за подобряване на качеството на вдишания въздух. Участниците в опита оценяват микроклимата в болничното легло във ВЛ и НВЛ случая като приемлив. Не се наблюдава статистически значима разлика в цялостното топлинно усещане и приемливост между ВЛ и НВЛ случая. Резултатите от текущото изследване не показват негативен ефект от работата на вентилационната система върху топлинния комфорт и качеството на микроклимата в болничното легло.

ГЛАВА 5. ЧИСЛЕНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕЧЕНИЕТО, ГЕНЕРИРАНО ОТ HBIVCU СИСТЕМАТА.

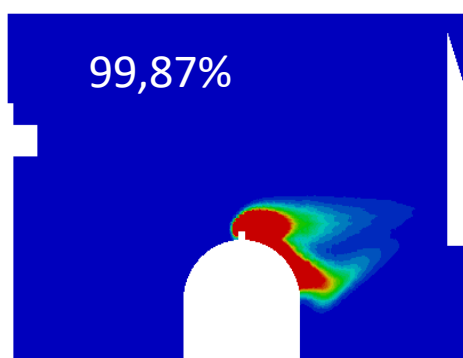
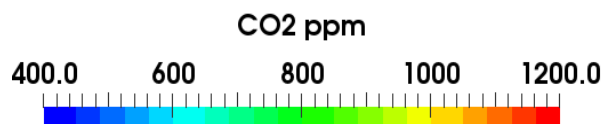
В тази глава е представено числено изследване на влиянието на формата на скоростния профил в изходящото сечение на подаващия отвор и дебита на изсмуквания въздух от локалния смукател на HBIVCU системата върху ефективността на нейната работа по отношение на степента на улавяне на издишан въздух от пациента чрез използване на средствата на изчислителната механика на флуидите (CFD). Представени са и резултати от числено изследване за разпространението на маркиращ газ CO_2 [ppt], който се използва за симулиране на замърсен респираторен въздух, издишан от пациента в болничното легло. Показано е разпределението в равнината XY (60 cm x 80 cm) за напречно сечение, перпендикулярно на точката на издишване (устата/ носа на пациента) на разстояние по оста Z=-10 cm. Степента на уловен издишан въздух от местния колектор при различните тествани начални скоростни профили и дебити на изсмукване е представена в [%].

Изчислителната област обхваща обема на въздуха в стандартна единична болнична стая с размери 6 m x 3 m x 3 m (дължина x ширина x височина). Симулираното легло с инсталирана HBIVCU система е разположено в ъгъла на стаята. Размерите на правоъгълния подаващия отвор на хоризонталната струя са 5 cm x 35 cm, а размерите на входящото сечение на локалния смукател са 35 cm x 40 cm. Изследвани са три начални скоростни профили в изходящото сечение на подаващия отвор и два дебита на изсмукване от локалния смукател: 10 l/s и 27 l/s

Изчислителната област е дефинирана за целия обем на помещението. Изчислителната мрежа е от тип съставна поли-мрежа. Общият брой на контролните обеми в изчислителната област е 1008542. От интерес за симулационното изследване е областта от помещението, която обхваща зоните между подаващата и изсмукващата въздухоразпределителна кутия и главата на пациента. Броят на контролните обеми в зоната на интерес е 179756, а размерите на зоната са 200 cm x 60 cm x 80 cm (дължина x ширина x височина).

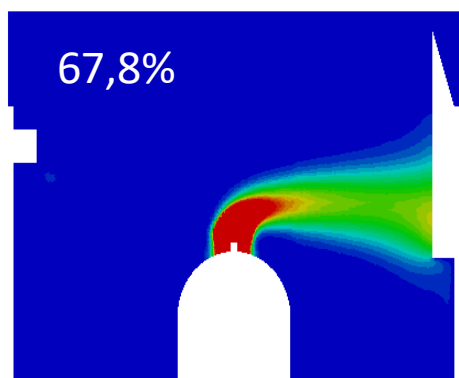
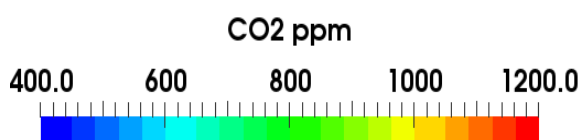


а) $Z=-10$ см; Случай 1: VP1; дебит на изсмукване: 10 L/s

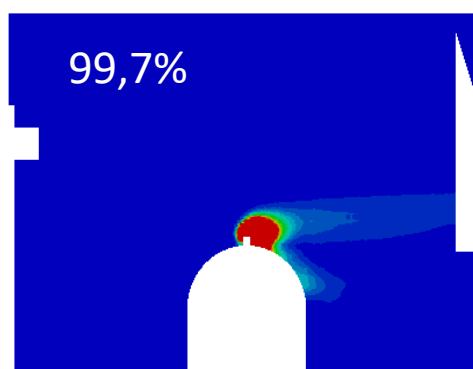
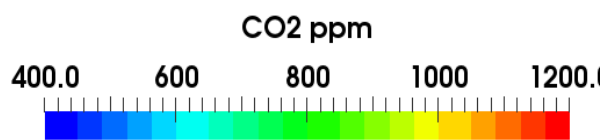


б) $Z=-10$ см; Случай 2: VP1; дебит на изсмукване: 27 L/s

Фигура 5.13 Разпределение на маркиращия газ CO2, използван за симулиране на замърсен респираторен въздух в XY равнината на струйното течение за скоростен профил VP1

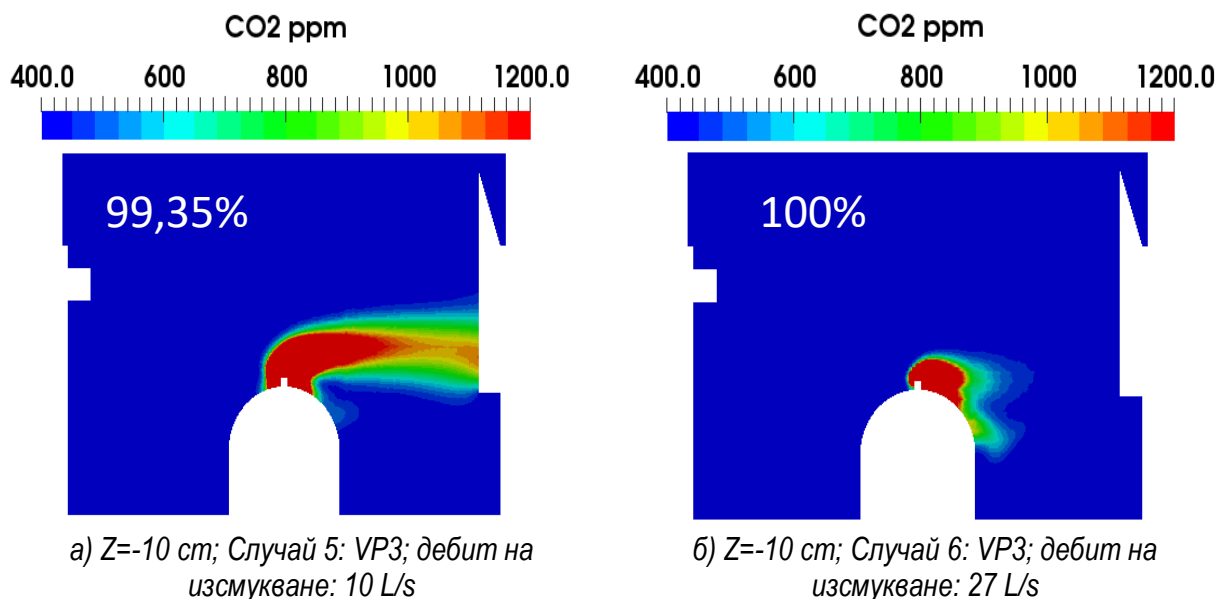


а) $Z=-10$ см; Случай 3: VP2; дебит на изсмукване: 10 L/s



б) $Z=-10$ см; Случай 4: VP2; дебит на изсмукване: 27 L/s

Фигура 5.14 Разпределение на маркиращия газ CO2, използван за симулиране на замърсен респираторен въздух в XY равнината на струйното течение за скоростен профил VP2



Фигура 5.15 Разпределение на маркиращия газ CO₂, използван за симулиране на замърсен респираторен въздух в XY равнината на струйното течение за скоростен профил VP3

Ефективността на всеки от симулираните режими по отношение на степента на улавяне на издишания въздух (потенциален носител на патогени) е оценена на базата на количеството маркиращ газ, уловено от локалния смукател. Степента на улавяне на респираторен въздух е получена като съотношение между количеството маркиращ газ [mg/s], внесено в системата и количеството маркиращ газ [mg/s], през равнината на входа на локалния смукател. Уловеното количество CO₂ е най- високо при начален скоростен профил VP3 и дебит на изсмукване от 27 L/s. В този симулиран режим локалният смукател успява да улови 100% от издишания от пациента въздух.

ИЗВОДИ ОТ ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Намаляване на риска от разпространение на нозокомиални инфекции може да бъде постигнато, когато замърсения въздух от респираторната активност на обитателите се извежда извън помещението преди да се смеси с въздуха в стаята. Използването на HBIVCU системата в болнични стаи намалява рисковете от взаимно заразяване. Това потвърждават измерванията на ефективността на системата по отношение на степента на улавяне на издишан въздух чрез маркиращ газ. В сравнение с референтния случай (когато местната вентилация не работи) HBIVCU системата намалява нивата на маркиращ газ във всички точки на отчитане в помещението. Изследването на ефективността на системата при различни източници на замърсяване (болен пациент или болен лекар/ друг обитател) показва, че прототипът на HBIVCU системата намалява риска от взаимно заразяване по-ефективно в случаите, когато източникът на зараза е пациент, лежащ в болничното легло. Ефективността на системата по отношение на уловен, издишан въздух може да бъде подобрена чрез изследване на влиянието на геометричните параметри на подаващия отвор и локалния смукател върху степента на улавяне на издишан въздух (Втори Етап, Глава 2).

HBIVCU е проектирана за продължителен период на експлоатация. Поради тази причина, характеристиките на генерирания от локалната вентилация микроклимат, са от изключително значение за здравето и комфорта на пациента. Топлинният комфорт, който

персоналната вентилационна система генерира в болничното легло, е оценен чрез измервания с топлинен манекен. Прототипът на HBIVCU системата генерира нееднородна топлинна среда, което води до неравномерно охлаждане на сегментите от тялото на манекена, изложени на течението. Наблюдават се разлики в ефекта на охлаждане между лявата и дясната страна на манекена, които могат да окажат негативно влияние върху топлинния комфорт на пациентите в леглото и да предизвикат локален дискомфорт от течение. Внесените промени в дизайна на HBIVCU системата имат за цел да подобрят както степента на улавяне на издишан, замърсен въздух, така и да подобрят качеството на микроклимата в болничното легло. След внесените промени в дизайна на подаващата и смукателната дюза на HBIVCU системата, генерираната хоризонтална струя охлажда всички сегменти от тялото на топлинния манекен, изложени на течението. В сравнение с оригиналния прототип на системата, при който се наблюдава асиметрия в охлаждащия ефект между лявата и дясната страна на манекена, при новия дизайн на подаващата и смукателната дюза (Етап Втори) охлаждащият ефект между лявата и дясната страна е идентичен. Използването на разликата в еквивалентната температура Δt_{eq} като индекс за оценяване на вътрешната топлинна среда не е достатъчно, за да бъдат направени заключения относно топлинния комфорт на обитателите. Необходима е субективна оценка на топлинната среда.

Международните стандарти препоръчват кратност на въздухообмена в инфекциозните отделения от 12 АСН, а в нормалните болнични стаи от 6 АСН, [11], [21], [27]. Повишената кратност на въздухообмена в болничните помещения увеличава консумацията на енергия и ресурси, но същевременно не гарантира ефективно премахване на патогенни организми. Системата HBIVCU е иновативна вентилационна система, която може да подобри качеството на вдишания от обитателите въздух и намали риска от заразяване с инфекции, предавани по въздушно-капков и аерогенен път при понижена кратност на въздухообмена на общообменната вентилация в помещението. По този начин енергията, необходима за топлинна обработка и пренос на въздуха, може да бъде намалена. Проведените енергийни симулации в Глава 3 показват, че използването на HBIVCU системата в комбинация с общообменна вентилация от смесващ тип с кратност на въздухообмена от 1,5 АСН и 3 АСН е ефективна стратегия за спестяване на енергия, както за единична така и за двойна болнична стая. Кратност на въздухообмена на общообменната вентилация от 1,5 АСН не успява да поддържа оперативната температура в симулираните помещения в границите, препоръчани от медицинските норми и стандарти. Охлаждането в симулираните болнични стаи се осигурява единствено от общообменната вентилация. При кратност на въздухообмена от 1,5 АСН общообменната вентилация в помещението не успява да компенсирa топлинния товар, генериран в помещението от обитателите, болничното оборудване и вентилираните легла. Използването на HBIVCU в зависимост от графика на присъствие на обитателите в болничната стая е ефективна стратегия за намаляване на консумацията на енергия.

Взаимодействието между хоризонталната струя и двете вертикални въздушни завеси на персоналната болнична вентилация е сложно и създава комплексно, нееднородно температурно поле. Поради тази причина е трудно да бъдат направени заключения относно топлинния комфорт на пациентите само на база на измерената от топлинния манекен еквивалентна температура. Топлинният комфорт, предопределен от прототипа на HBIVCU системата, може да бъде охарактеризиран чрез събиране и анализ на данни относно субективната оценка на топлинната среда в леглото, получена при експлоатация на прототипа в лабораторни условия. При използването на HBIVCU системата се отчита тенденция за подобряване на качеството на вдишания въздух. В края на периода на експозиция субектите оценяват въздуха във ВЛ случая като значително по-свеж в сравнение

с НВЛ случая ($p=0,045$, тест на Уилкоксън). Участниците в опита оценяват микроклимата в болничното легло във ВЛ и НВЛ случая като приемлив. Не се наблюдава статистически значима разлика в цялостното топлинно усещане и приемливост между ВЛ и НВЛ случая. По-голямата част от субектите дават положителна оценка на нивото на контрол върху температурата и дебита на въздуха, доставян от вентилационната система. Единственото оплакване на участниците в експерименталното изследване е свързано с визуалната среда, предопределена от HBIVCU системата. Дизайнът на прототипа трябва да бъде подобрен така, че да не пречи на периферното зрение на пациентите в леглото.

Характеристиките на едно свободно течение се определят от състоянието му в изходящото сечение и условията на средата [6]. Целта на генерираната хоризонтална струя от HBIVCU системата е да увеличи и насочва издишания от пациента в леглото въздух към локалния смукател, където въздухът се улавя и отвежда към пречистващия елемент на системата. Количеството на въздуха, което хоризонталната струя успява да увлече от околната среда, определя и количеството замърсен, издишан въздух, което струята ще улови и насочи към локалния смукател на HBIVCU системата. Ефективността на персоналната вентилационна система по отношение на степента на улавяне на издишан от пациента в болничното легло въздух се влияе от големината и разпределението (профилът) на скоростта в изходящото сечение на подаващия отвор. Проведените симулационни изследвания показват, че уловеното количество маркиращ газ CO_2 при Случай 6, VP3 и дебит на изсмукване от 27 L/s, е 100 %. От получените числени резултати, за случай 5 и случай 6, следва, че степен на улавяне от 100% може да бъде постигната със скоростен профил VP3 при дебит на изсмукване по-малък от 27 L/s (вероятно 12 L/s), което допълнително би подобрило енергийната ефективност на HBIVCU системата.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

При разработване на дисертационния труд са получени резултати, които представляват научно-приложни и приложни приноси към развитието на вентилационната техника и технологии.

Научно – приложни приноси

- Разработена е процедура за симулационно изследване и оценяване на потенциала за спестяване на енергия в единична и двойна болнична стая при използване на HBIVCU системата в комбинация с общообменната вентилация.
- Разработена е изчислителна процедура за изследване на свойствата на течението генерирано от HBIVCU системата в единична болнична стая при изотермични условия.
- Създадена е процедура за анализ на данни от анкетно проучване относно субективната оценка на качеството на въздуха и топлинната среда в болнично легло съоръжено с инсталирана персонална вентилационна система.

Приложни приноси

- Изследвани са експериментално характеристиките на генерираното от HBIVCU системата сложно течение, които оказват влияние върху скоростното поле. Изследването е проведено чрез визуализация с дим и измервания с термоанемометър, а също и чрез маркиращ газ за оценка на степента на улавяне на издишания от пациента въздух.
- Проведено е експериментално изследване за определяне на топлинното взаимодействие между генерираното от HBIVCU системата течение и лежащо болен, с помощта на топлинен манекен.
- Подобрен е функционалния дизайн на HBIVCU системата на базата на параметрично изследване на влиянието на геометрични характеристики (форма и размери на подаващата дюза и локалния смукател), както и на дебита на подаване през дюзата и изсмукване през локалния смукател върху степента на улавяне на издишан въздух от пациент, лежащ в болничното легло.
- Създадена е база данни с резултати от симулационно изследване на потенциала за спестяване на енергия при различни сценарии на използване на вентилационната системата, HBIVCU, и общообменната вентилация в единични и двойни болнични стаи.
- Създадена е база данни със субективната оценка на хората, с които е тествана иновативната вентилационна система, HBIVCU, относно качеството на въздуха, топлинната, акустичната и визуалната среда, както и по отношение на проявлението на SBS симптоми.
- Създадена е база данни с оценки и препоръки на субектите, участващи в оптимното изследване, относно подобряване на функционалния дизайн (скоростно поле, контролиране на течението и температурата на системата) и на естетичния дизайн на персоналната вентилационна системата.
- Оценено и анализирано е влиянието на дебита на засмукване на местния смукател при различни начални скоростни профили в изходящото сечение на подаващия отвор върху степента на улавяне на издишан, респираторен въздух от пациента, лежащ в леглото.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. **Кеhayова N**, Bolashikov Z., Melikov A., Stankov P., "Experimental investigation of the velocity field of the HBIVCU system", Ruse University Science Works vol. 54, series 1.2, Ruse, Bulgaria, October 2015, pp.155-159
2. **Кеhayова N.**, "Energy – saving potential of the HBIVCU system", Ruse University Science Works vol. 54, series 1.2, Ruse, Bulgaria, October 2015, pp.160-164

3. **Kehayova N**, Bolashikov Z., Melikov A., “Assessment of the local and whole body heat exchange in a hospital bed equipped with the HBIVCU prototype”, Numerical Heat Transfer DAAD Course, Kopaonik, Serbia, September 2015, pp-??
4. **Kehayova N**, Bolashikov Z., Melikov A., “ Subjective Evaluation of the Microenvironment Generated by a Hospital Bed with Localized Ventilation System”, Indoor Air Conference, Ghent, Belgium, , July 2016
5. **Kehayova N**, “A numerical study of the velocity field generated by a novel hospital bed installed ventilation” 12-th International Course for Young Researchers DAAD, Pamporovo, Bulgaria, June 2016, pp-117-118

SUMMARY

The title of the PhD thesis is “Experimental and Numerical Study of a Novel Personalized Hospital Bed Ventilation System”.

The purpose of the hospital ventilation is to provide high quality environment (thermal and air quality) that stimulates patients’ healing and performance of medical staff. In modern hospitals ventilation is one of the most important methods for control of the spread of airborne cross infection. Therefore, ventilation should also be able to remove or dilute the pathogen-laden aerosols that could be present in the hospital wards and thus reduce the risk of airborne transmission of infectious agents. One of the main pollutant sources in hospital premises might be the respiratory activity of the occupants. For this reason the hospital ventilation should be designed differently from the ventilation in commercial and residential buildings. In order to control the spread of airborne infection the standards and guidelines recommend ventilation rates of 12 ACH (and more) in infectious wards and 6 ACH in recovery wards and normal patient rooms. However, ineffective ventilation instead of decreasing the risk of cross infection may promote the spread of pathogens in the hospital wards.

A possible solution to avoid the spread of contaminants in hospital premises is the use of personalized ventilation (PV). Personalized Ventilation is reported to be an effective way for improving occupants’ air quality and exposure to indoor generated pollution source. The hospital bed with installed localized ventilation system is an advanced air distribution system that decreases the risks of cross-infections in hospitals by locally exhausting the polluted (might be infected) air from the respiratory activity of the patient in the bed. Two diffusers are installed on the bed on the two sides of the patient lying in the bed. One of the diffusers supplies clean air which entrains the polluted air by the patient and directs it toward the second diffuser where it is exhausted. Thus the exhaled/coughed air from a sick person at the bed is evacuated before it is mixed with the background room air and provides protection of the medical staff and other patients in the hospital room from getting infected with airborne diseases.

The objective of the thesis is to perform an experimental and theoretical study of the operational characteristics (exhaled air removal effectiveness, thermal comfort, energy saving potential and etc.) of the novel localized hospital bed ventilation system, called Hospital Bed Integrated Ventilation and Air Cleaning Unit (HBIVCU).

Chapter 1 describes the mechanisms for transmission of airborne diseases, the principle of cross – infection and the spread of nosocomial infections. Some of the commonly used ventilation methods in hospitals are described. The chapter discusses the pros and cons of some of the main air cleaning techniques and provides a detailed description of the operational principle of the HBIVCU system.

Chapter 2 presents experimental investigation of the flow, generated by the HBIVCU system. The experimental study was conducted in three stages and based on the obtained results the functional

design of the system was improved. The effectiveness of HBIVCU was evaluated with respect to the exhaled air removal and the thermal comfort, provided in the hospital bed. Full scale physical measurements were performed in test chambers with controlled parameters of the indoor environment.

The focus of Chapter 3 is to study the energy consumption and the energy-saving potential of a hospital bed with installed ventilation and cleaning unit (HBIVCU) by means of simulations with IDA-ICE software. The energy consumption of a single and of a double patient hospital room with and without installed HBIVCU unit was compared. The simulated hospital rooms were located in cold climate. The results reveal that the use of the HBIVCU with reduced background mixing ventilation is an effective energy saving strategy for both double and single patient hospital rooms. Decreasing the background mixing ventilation and operating the HBIVCU only when the patients are in the bed was proven to be an effective method for reducing the energy costs.

Chapter 4 studies the response of 32 subjects (17 males and 15 females) to the local environment generated at a hospital bed with installed ventilation and cleaning unit (HBIVCU). Two hospital beds, one bed with and one bed without HBIVCU, were located in two separate rooms that mimic a single person hospital. The thermal conditions in the rooms were identical. During two exposure periods of 60 min the response of each subject was collected when lying in the bed with and the bed without HBIVCU. Subjective responses were collected via questionnaires. The response of the subjects to the local thermal environment at the two beds was similar. There was a tendency for the perceived air quality to be better in the bed with HBIVCU compared to the bed without the HBIVCU installed. The subjects voted feeling comfortable in the bed with the ventilation unit. The local ventilation was not disturbing their movement and the subjects commented that they would like to have such unit installed on their bed if they were to stay in a hospital.

In Chapter 5 is presented a numerical study of the influence of the velocity profile in the cross-section of the supply opening and the flow rate of the local exhaust on the evacuation effectiveness of the HBIVCU system. The results from the performed CFD simulation show the spread of tracer gas (CO_2), which is used to simulate infected exhaled air. The evacuation effectiveness of the system was evaluated for the 3 tested velocity profiles by calculating the ratio between the amount of tracer gas (CO_2) generated by the person lying in the hospital bed to the amount of CO_2 captured in the local exhaust of the system.