

Лабораторен стенд на еднозонова система за климатизиране на въздуха с двустепенно оползотворяване на топлината на изхвърляния въздух посредством рекуперативен теплообменен апарат и вградена термopомпа

Ивайло Банов, Велчо Дамянов, Иван Димчев

Резюме: Лабораторният стенд дава възможност да се изследва при различни експлоатационни условия еднозонова система за климатизиране на въздуха с двустепенно оползотворяване на топлината на изхвърляния въздух посредством рекуперативен теплообменен апарат и вградена термopомпа в режим на отопление, охлаждане и изсушаване, вентилация, „free-cooling“ и рециркулация в границите от 0 до 100%.

Laboratory stand of single-zone air conditioning system with two-stage heat recovery of exhaust air through recuperative heat exchanger and built-in heat pump

Ivaylo Banov, Velcho Damyanov, Ivan Dimchev

Abstract: The laboratory stand allows the single-zone air conditioning system with two-stage heat recovery of exhaust air through recuperative heat exchanger and built-in heat pump to be studied under various operating conditions in heating mode, cooling and dehumidification, ventilation, free-cooling and recirculation from 0 to 100%.

Въведение

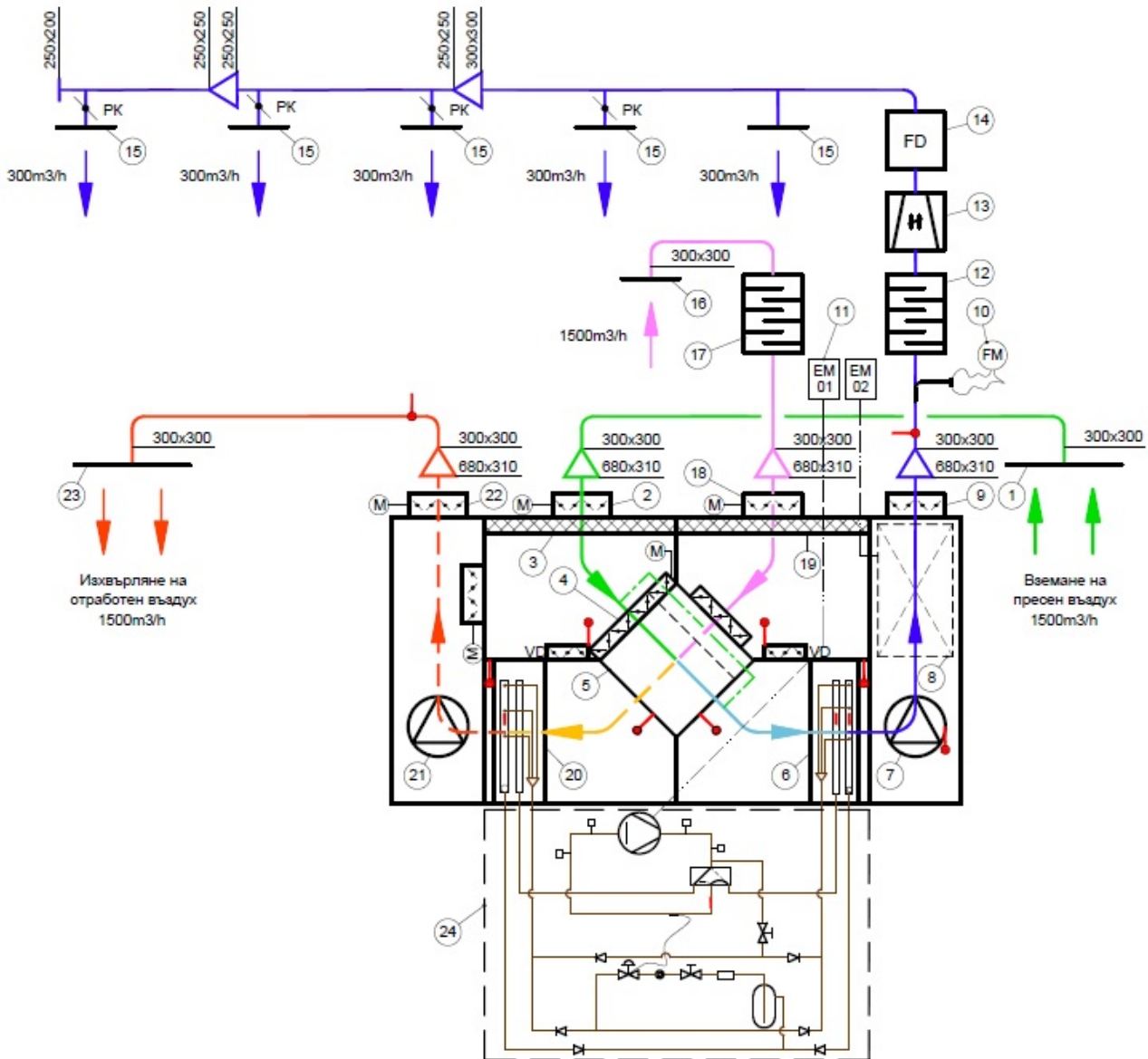
Еднозоновата система за климатизиране на въздуха с двустепенно оползотворяване на топлината на изхвърляния въздух е изградена в Лаборатория 2215^B „Системи за поддържане на микроклимат в сгради“, катедра „Топлинна и хладилна техника“ на Енерго-машиностроителен факултен към Технически университет – София.

Схема на лабораторния стенд

Схемата на лабораторния стенд на еднозоновата система за климатизиране на въздуха с двустепенно оползотворяване на топлината на изхвърляния въздух е показана на фиг. 1.

През неподвижната жалузийна решетка **1** и подвижната жалузийна решетка с ел. задвижка **2** постъпва пресен въздух във въздухообработващата централа. За гарантиране чистотата му е поставен касетъчен филтър **3**. Преди рекуперативния теплообменен апарат с байпас **5** е предвидена подвижна жалузийна решетка с ел. задвижка **4**, която определя пътя на пресния въздух през рекуператора или байпасната връзка. След това въздухът преминава през теплообменен апарат на директно изпарение/кондензация на хладилния агент **6**, който е част от вградената термopомпа „въздух-въздух“. Движението на въздуха по нагнетателна страна се осигурява от центробежен вентилатор **7** с честото управление. Непосредствено след подаването на въздуха от въздухообработващата централа във въздуховодната мрежа през ръчна подвижна жалузийна решетка **9** е монтиран кулисен шумозаглушител **12**. Преди да постъпи въздухът в помещението през нагнетателните

решетки **15** той преминава през регулатор за променлив дебит **13** и противопожарна клапа с ел. задвижка **14**.



Фиг. 1. Лабораторен стенд на еднозонова система за климатизиране на въздуха с двустепенно използване топлината на изхвърляния въздух посредством рекуперативен топлообменен апарат и вградена термопома

1. НЖР за вземане на пресен въздух; 2. ПЖР с ел. задвижка за пресен въздух; 3. Филтър за пресен въздух F5; 4. ПЖР с ел. задвижка за рекуператор и байпас; 5. Рекуперативен топлообменен апарат и байпас; 6. Изпарител/Кондензатор; 7. Нагнетателен вентилатор, 8. Табло за управление; 9. Ръчно ПЖР за нагнетявания въздух; 10. Уред за измерване на диференциално налягане и тръба на Пито; 11. Електромери; 12. Кулисен шумозаглушител; 13. Регулатор за променлив дебит на въздушния поток; 14. Противопожарна клапа (ППК); 15. Нагнетателна решетка; 16. Сдукателна решетка; 17. Кулисен шумозаглушител; 18. ПЖР с ел. задвижка за въздух от помещението; 19. Филтър за въздух от помещението F5; 20. Кондензатор/Изпарител; 21. Сдукателен вентилатор; 22. ПЖР с ел. задвижка за отработен въздух; 23. НЖР за изхвърляне на отработен въздух; 24. Компресорен блок на термопомпата;

През сдукателната решетка **16** и подвижната жалузийна решетка с ел. задвижка **18** отработения въздух постъпва във въздухообработващата централа като по сдукателна

страна движението на въздуха се осигурява от центробежен вентилатор **21** с честотно управление. Предвиден е кулисен шумозаглушител **17**. Преди рекуператора **5** е поставен касетъчен филтър **19** за предпазване на пластинчатия топлообменен апарат от замърсяване. Отработения въздух се изхвърля в атмосферата през неподвижната жалузийна решетка **23** и подвижна жалузийна решетка с ел. задвижка **22**, като преди това преминава през другия топлообменен апарат **20** на директно изпарение/кондензация на хладилния агент.

В режим на охлаждане компресорът на вградената термopомпа засмуква прегретите пари на хладилния агент (R407C) и ги сгъстява до налягане на кондензация P_k . Прегретите пари с това налягане постъпват в топлообмения апарат **20**, където кондензират при P_k . По този начин отработения въздух, който се изхвърля в атмосферата се дозагрива. Течният подохладен хладилен агент на изхода на кондензатора постъпва в електронен терморегулиращ вентил, където налягането се дроселира до налягане на изпарение P_0 , като преди това преминава през ресивър и филтър дехидратор. Мокрите пари постъпват в топлообмения апарат **6**, където при P_0 протича процес на изпарение на хладилния агент, като по този начин се получава охлаждане на нагнетявания въздух. Парите след изпарителя се засмукват от компресора като преминават през четирипътния реверсивен вентил, който служи за превключване в режим на отопление или охлаждане.

Лабораторният стенд дава възможност с измерените параметри да се построят процесите на обработка на въздуха в h-x диаграма [3] и обратния кръгов процес в lgr-h диаграма за хладилен агент R407C.

Въздухообработващата централа е основният елемент от лабораторния стенд. Оползотворяването на отпадната топлина се извършва на две степени чрез рекуперативен топлообменен апарат и вградена термopомпена инсталация „въздух-въздух“. Може да работи с дял на рециркуляционен въздух от 0 до 100%. Рекуператорът е пластинчат алуминиев с кръстосан ток. Вентилаторите са центробежни директно куплирани с едностранно засмукване, управлението им е честотно в границите от 40 до 100%. Техническите данни на съоръжението съгласно [1,2], които са определени при стандартни условия, са дадени в табл. 1.

Таблица. 1

Технически параметри			Вентилатор (н/с)		
Тип: VEDA max.e2 - 02 SN:10000015			Дебит:	2000	m ³ /h
Дебит:	2000	m ³ /h	Налягане (н/с):	487/594	Pa
Свободно налягане (н/с):	250	Pa	Ефективност на ел. двигателя:	91-92	%
Пълна охладителна мощност:	12,9	kW	Напрежение:	400/3ph/50Hz	V
Пълна отоплителна мощност:	24,5	kW	Мощност:	2,2	kW
Тегло:	640	kg	Сила на тока:	2,1	A
Габаритни размери -			Обороти (н/с):	1881/2026	1/min
Филтър			Термopомпа		
Тип: Касетъчен -2бр.			Компресор тип:	Scroll	
Клас на филтрация:	F5		Инсталирана мощност:	2,58	kW
Пълна филтърна площ:	1,93	m ²	Инсталиран ел. ток:	5,6	A
Рекуператор			Свързващо напрежение:	400/3ph/50Hz	V
Оползотворена топлинна мощност:	16,1	kW	Хладилен агент тип:	R407C	
Ефективност:	65	%	Количеството на хл.аг.:	3,2	kg

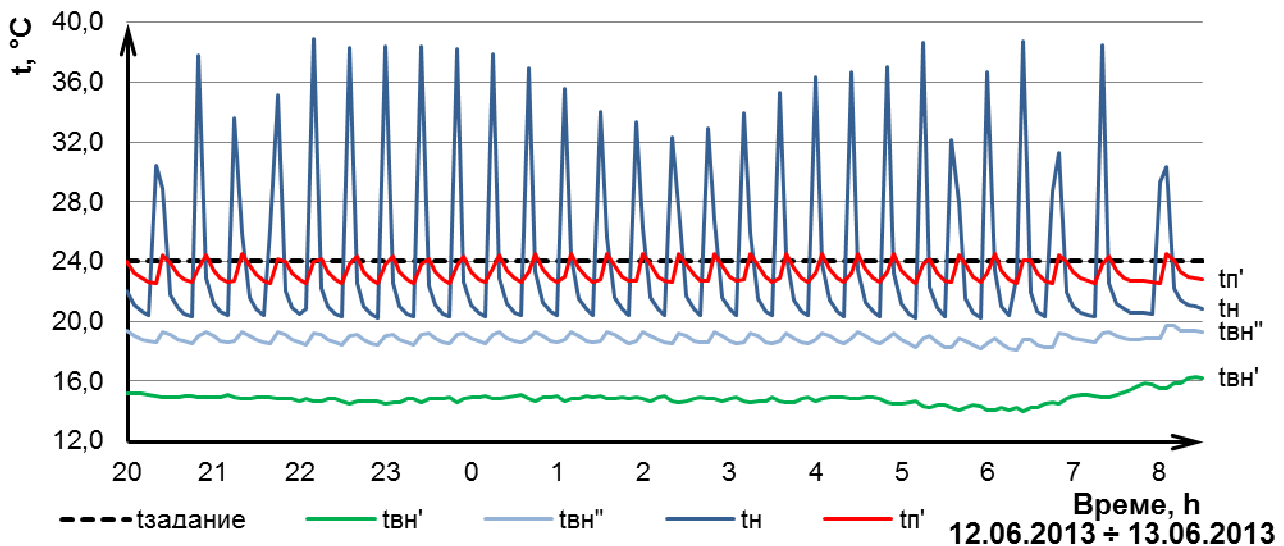
Въздухообработващата централа разполага с табло за управление, което дава възможност за автоматично или ръчно пускане/спиране, задаване на работен режим и поддържане на определена температура. Режимите на работа са отопление, охлаждане и изсушаване, вентилация, free-cooling / free-heating и размразяване на изпарителя и рекуператора (defrost).

В този доклад е взето предвид автоматичното управление на въздухообработващата централа, което е стандартно интегрирано в свободно програмируемия контролер.

Обработка и анализ на получените резултати

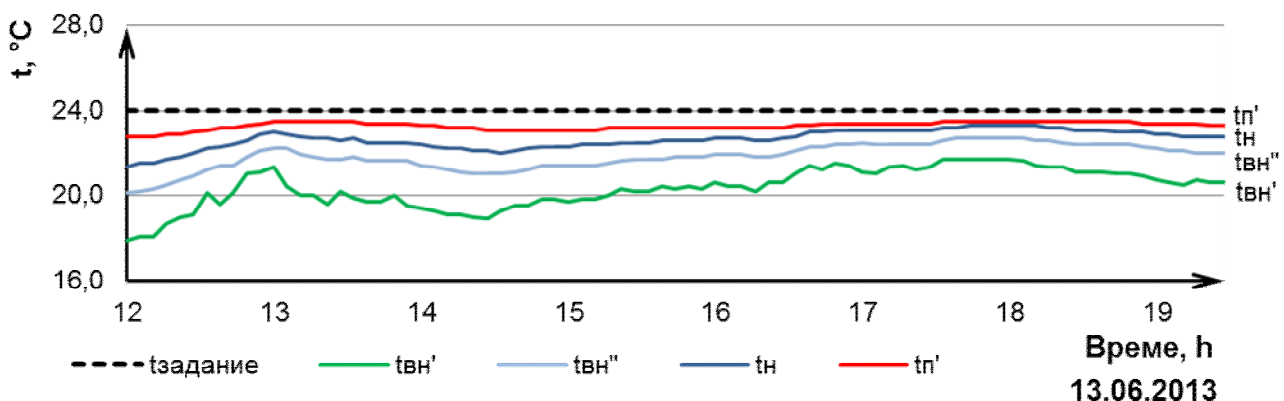
Направени са измервания за работата на лабораторния стенд при междинни и летни външни условия.

На фиг. 2 в графичен вид е показано изменението на характерни температури във времето за периода 12 – 13.06.2013г. при работата на въздухообработващата централа в режим на отопление.



Фиг. 2. Работа на въздухообработващата централа в режим на отопление при междинни външни условия.

Външната температура е в границите от 14,0 до 16,3 $^\circ\text{C}$. Зададената температура, която автоматиката се стреми да поддържа е 24 $^\circ\text{C}$. Използва се отпадната топлина на въздуха от помещението за първоначална обработка на въздуха, посредством рекуперативен топлообменен апарат. За този период той работи при ефективност $E_t = 47\%$. Въздухът се дозагрива в кондензатора на термопомпата, като компресорът и се включва и изключва с цел поддържане на зададената температура в рамките на до -1 $^\circ\text{C}$ от зададената температура, в следствие на инертността на процесите реалния диапазон е -1,5 $^\circ\text{C} \div +0,5$ $^\circ\text{C}$. За тази цел нагнетявания въздух се обработва до температура от 20,2 до 38,9 $^\circ\text{C}$. Температурата на хладилния агент на входа на кондензатора достига до 74 $^\circ\text{C}$.

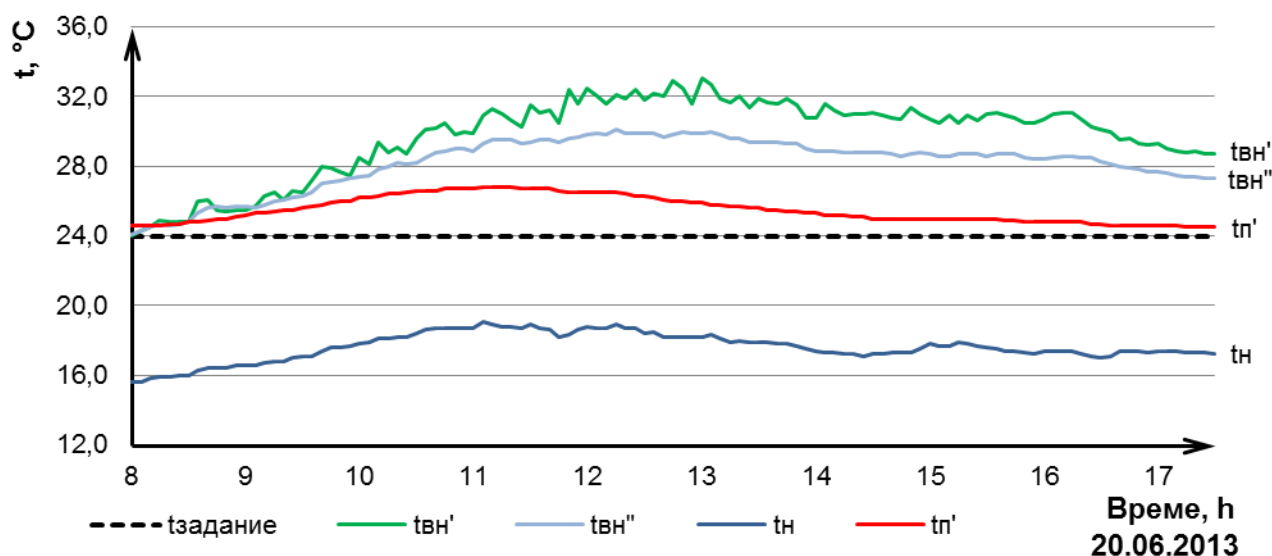


Фиг. 3. Работа на въздухообработващата централа в режим на вентилация при междинни външни условия.

При работа на инсталацията в режим на вентилация при $t_{вн'}$ по-ниска, но близка до тази на помещението ($17.9^{\circ}\text{C} \div 21.7^{\circ}\text{C}$) за периода 12:50 \div 19:35ч. на 13.06.2013г., изменението на характерни температури е показано на фиг. 3.

Заданието за температура в помещението е отново 24°C . Поддържаната температура в помещението за този период е от 22.8 до 23.5°C . Ефективността на рекуперативния топлообменен апарат за този режим е $E_t = 50\%$, термopомпата не работи.

При летни външни условия, въздухообработващата централа работи в режим на охлаждане и изсушаване. На фиг. 4 в графичен вид е показано изменението на характерни температури във времето за периода 8:30 – 18:00ч. на 20.06.2013г.



Фиг. 4. Работа на въздухообработващата централа в режим на охлаждане и изсушаване при летни външни условия.

Температурата на външния въздух за този период се изменя от 24.0 до 33.1°C . През цялото време термopомпата работи в режим на охлаждане като температурата на нагнетяване е в границите $15.6 \div 19.1^{\circ}\text{C}$. Температура е софтуерно ограничена да не пада под 15°C , с цел запазване на температурната разлика на нагнетявания въздух за летен режим в границите до $\Delta t_n = 10^{\circ}\text{C}$. Ефективната температура на изпарителя е 11.5°C , като рекуперативният топлообменен апарат работи при ефективност от $E_t = 37\%$.

Заклучение

1. Изграден е лабораторен стенд на еднозонова система за климатизиране на въздуха с двустепенно оползотворяване на топлината на изхвърляния въздух посредством рекуперативен топлообменен апарат и вградена термopомпа;
2. Лабораторният стенд е въведен в експлоатация и на него са проведени изпитания в три режима – отопление, вентилация и охлаждане;
3. Климатичната инсталация поддържа зададените параметри ($t, ^{\circ}\text{C}$) в границите $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ при променливи външни въздействия, което съответства на категория В съгласно действащата НАРЕДБА №15 [4]. По този начин е доказана работоспособността на инсталацията;
4. Лабораторният стенд на еднозоновата система за климатизиране на въздуха с двустепенно оползотворяване на топлината на изхвърляния въздух посредством рекуперативен топлообменен апарат и вградена термopомпа ще се използва, както за научно-изследователска дейност в катедра „Топлинна и хладилна техника“, така и за обучение на студентите от специалност „Топлотехника“.

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация са финансирани от вътрешния конкурс на ТУ-София-2013 г. - договор №132ПД-0030-02.

Литература

1. Ръководство на потребителя - DamVent max.e² (pool)-02,03,06,09; Max.E(Pool) 13.0.
2. Технически данни - <http://www.damvent.com>
3. Банов И. Въздухообработваща централа за външен въздух с използване топлината на отработения въздух чрез рекуперативен топлообменен апарат и термопомпа. Сборник доклади НК „ЕМФ 2012“, Созопол, 2012;
4. НАРЕДБА №15 от 28.07.2005 г. за технически правила и нормативи за проектиране, изграждане и експлоатация на обектите и съоръженията за производство, пренос и разпределение на топлинна енергия.

Автори

Доц. д-р инж. Ивайло Петков Банов

Технически Университет - София, тел. 02/965-22-29; e-mail: banoviv@tu-sofia.bg

маг. инж. Велчо Дамянов

„Дамвент“ ООД – <http://www.damvent.com>

маг. инж. Иван Николов Димчев

Технически Университет - София, мобилен тел. 0898-208-411;

e-mail: ivan.dimchev@ivandimchev.com