

Оптимизация на работните режими на въздухонагревател с топлинни тръби в ТЕЦ „Марица Изток-2”

Илия Илиев, Милен Венев

Optimisation of the operating modes of an air heater with heat pipes in TPP Maritsa East-2: In TPP Maritsa East-2 during a planned reconstruction have been implemented four substituting airheaters with heat pipes for steam generators type ПК-38. The airheaters with heat pipes allow additional cooling of the outgoing flue gases by approximately 20°C, while the efficiency of the boiler is increased by about 2%. Different operating modes of the airheaters have been analyzed in the report and the objective is the achievement of the warranty parameters at an optimal operating mode of the steam generator.

Key words: Heat pipe technologies, air heater of steam boilers, optimization of working regimes of air heaters.

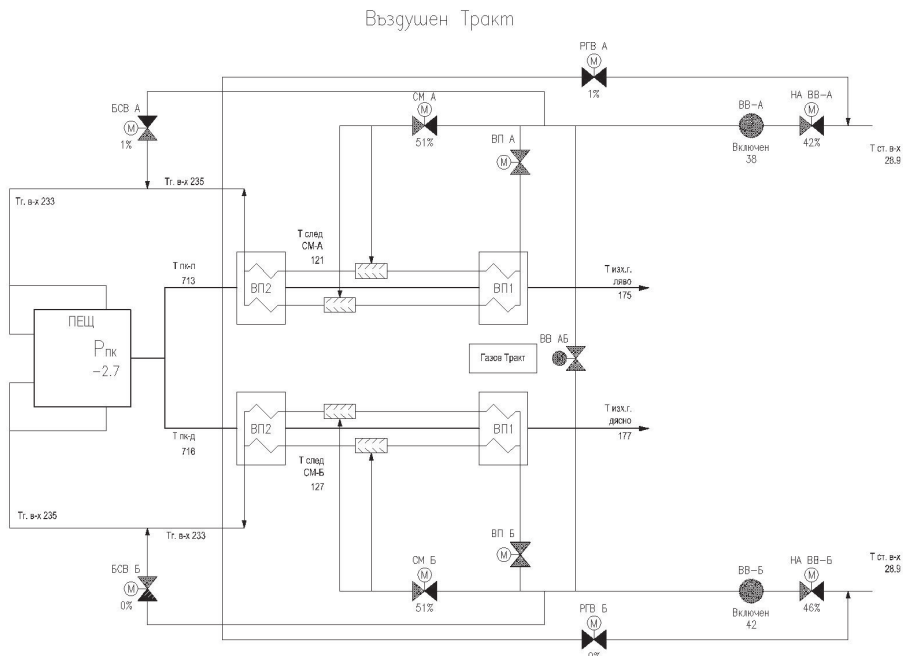
ВЪВЕДЕНИЕ

В периода 2003-2007 в ТЕЦ Марица Изток-2 са реализирани 4 броя заместващи въздухонагревателя с топлинни тръби. Преди реконструкцията на парогенераторите, в качеството на въздухонагревател I степен (ВП-1) са използвани хоризонтално-тръбни въздухонагреватели за парогенератори ПК-38 се характеризират с ниска енергийна ефективност и поради корозинно-активната газова среда често тръбите дефектират, а понякога се получава ефекта „забиване на тръбите“ вследствие на натрупване на пепел в тях. Особено чувствителен към корозия е началния участък на тръбите, (в мястото на постъпване на студения въздух) с дължина до 150 mm, където топлообменът се интензифицира за сметка на тънкия ламинарен въздушен пласт, коефициентът на конвективен топлообмен по въздушна страна е около 2 пъти по-висок, отколкото на останалия участък. Интензифицирането на топлообмена по въздушна страна води до по-интензивно охлаждане на тази част от тръбата и опасността от серно кисела нискотемпературна корозия и замърсяване е значително по-висока.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Преди реализацията на реконструкцията на парогенераторите ПК-38 въздушният тракт представлява комплекс от оборудване за засмукване на атмосферен въздух, подгриването му и подвеждането му в пещна камера. Тракта включва въздуховоди за студен въздух, въздушни вентилатори, въздухонагревател, въздуховоди за горещ въздух и въздуховоди за рециркулация на горещия въздух (фиг.1).

Парогенераторите са снабдени с два въздушни, двускоростни вентилатора тип ВДН-24-II, които работят в паралелен режим. Температурата на студения въздух пред вентилаторите се поддържа в границите 45÷55°C, чрез рециркулация на горещ въздух от балките на котела. Въздухонагревателят е двустепенен, изнесен тип ИВП- i^{ba} степен включва хоризонтална тръбна част, в която се движи въздух, димните газове „обмиват“ снопа от външната страна, където се смесва със студения въздух (въздухът, който е байпасирал ИВП- i^{ba} степен). Температурите в смесителя се поддържа в границите 110÷120°C. Така формираният поток въздух постъпва в междутръбното пространство на ИВП-II pa степен, който е от вертикален тип. Проектната стойност на горещия въздух след ИВП е 278°C, като реално се постига 245-260°C. С помощта на байпасните въздуховоди се контролира температурата на изходящите газове, така, че да не се допуска ниско-температурна корозия върху нагревните повърхности, като при това се минимизират загубите на топлина с изходящите газове [1].



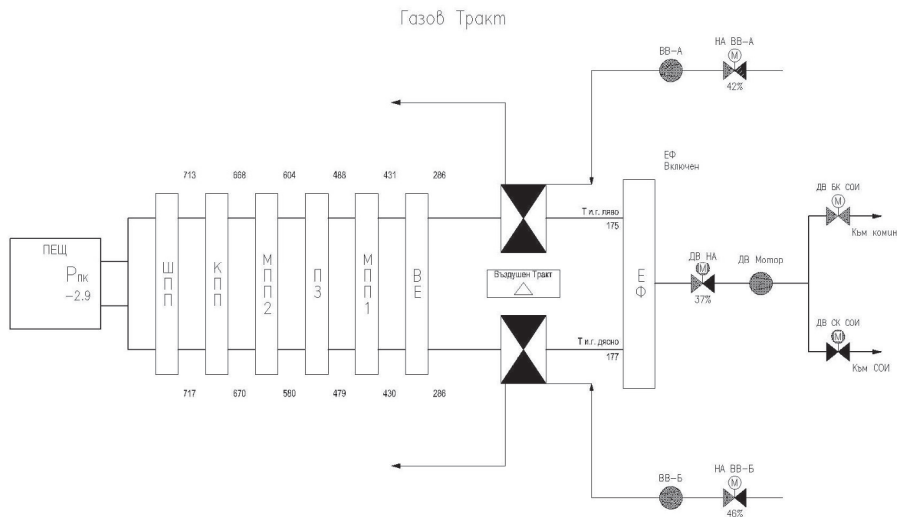
Фиг. 1

Газовият тракт включва ободудване, чрез което се осъществява движението на продуктите от горенето до изхода им в атмосферата. Трактът започва от пещна камера и завършва с комина, като включва конвективна шахта, газова страна на въздухонагревателя, електрофилтри и димосмукатени вентилатори (фиг.2).

Цел на реконструкцията е подмяна на хоризонтално-тръбните въздухонагреватели (ВП-1) с въздухонагреватели с „топлинни тръби“, като при това се постигне допълнително намаляване на температурата на изходящите газове с $20+25^{\circ}\text{C}$, т.е. до $168+170^{\circ}\text{C}$, което е и условието за оптимална работа на новите електрофилтри. Изискване на реконструкцията е да се постигне 10 годишна безаварийна експлоатация на новият ВП-1.

Към реконструирания ВП-1 бяха поставени редица технически изисквания като например:

- Възможност за ремонтпригодност на ВП, въздуховоди, смукателни и напорни;
- Просмукванията на неорганизиран въздух след ВП-ТТ да са под 0.04 ;
- Температурата на въздуха след ВП-ТТ да е по-висока от 125°C ;
- Да се гарантира температура на изходящите газове $165^{\circ}\text{C} < t_{\text{изх.газ}} < 180^{\circ}\text{C}$ в целия диапазон на товари на парогенератора;
- За да се избегне корозия, темпeратa на изходящите газове да бъде най-малко с 10°C по-висока от сярно-киселата точка на оросяване [1];
- Да се предвиди нов алгоритъм за управление на системата рециркулация с горещ въздух (РГВ); байпаси на студен въздух (БСВ) и смесители и т.н.



Фиг. 2

За да се установят гаранционните характеристики на новия въздухонагревател с топлинни тръби (ВП-ТТ) бяха проведени изпитания на ИВП с общо 19 опита на котел №5 при различни парови товари [2]. Извън програмата бяха направени анализи на температурните режими на въздушния и газов поток през ИВП при пусков режим на котела.

В настоящия доклад са представени само част от резултатите от изпитанията, но те имат представителен характер и могат да послужат за формулиране на изводи.

		Опит №1		
D_{np}	251	t/h	клапи РГВ	0%
$t_{пв}$	230	$^{\circ}C$	клапи БСВ	0%
Q_i^r	1642	kcal/kg	клапи	
$V_{в-х}$	277	хил.м ³ /h	смесители	51%

Извън обхвата на гаранционните параметри са:

1. Температурата на въздуха след ВП-ТТ, която следва да е под $125^{\circ}C$, а при опита температурата е с $15 \pm 22^{\circ}C$ по-висока, като разликата вляво-дясно се запазва от порядъка на $5^{\circ}C$. Необходимо е клапите на смесителите да се притворят за пренасочване на по-голямо количество въздух към входа на ВП-ТТ.

2. Температурата на въздуха след смесителите е със $7^{\circ}C$ по-висока спрямо техническите изисквания. Разликата е незначителна.

3. Температурата на въздуха след ИВП е по-ниска с $10\pm 12^{\circ}\text{C}$. Температурата ще се коригира след повишаване на температурата на газовете пред ИВП. Това е достижимо след едномесечна работа на котела, когато екраните на пещта леко се замърсят. Същият ефект може да се получи ако калоричността на въглищата е от порядъка 1500 kcal/kg .

Постигнати проектни параметри на ВП-ТТ:

1. Аеродинамичното съпротивление на ВП-ТТ по въздушна страна е само $8 \text{ mm H}_2\text{O}$, което е значително по-ниско от проектното ($35 \text{ mm H}_2\text{O}$);

2. Аеродинамичното съпротивление на ВП-ТТ по газова страна е $39 \text{ mm H}_2\text{O}$ и точно съвпада с проектното;

3. Минималната повърхностна температура на стената на топлинната тръба по газова страна е с 8°C по-висока от сярно-киселата точка на росата ($138\pm 143^{\circ}\text{C}$);

4. Просмукванията на неорганизиран въздух на ВП-ТТ и ИВП са в регламентирания диапазон.

5. Коефициентът на излишък на въздух $\alpha < 1.7$.

Изводи:

1. Температурата на изходящите газове може да се понижи допълнително с $3\pm 4^{\circ}\text{C}$ при условие, че се постигне температура на въздуха след смесителите в диапазона $125\pm 135^{\circ}\text{C}$, което се постига чрез отваряне на смесителните клапи $20\pm 30\%$.

2. Регулатора на температура на въздух на входа във ВП-ТТ и регулатора за действие на БСВ не се използват поради отпадане необходимостта от тяхното използване.

Опит №2				
D_{np}	252	t/h	клапи РГВ	0%
$t_{\text{пв}}$	230	$^{\circ}\text{C}$	клапи БСВ	0%
			клапи	
Q_i^r	1642	kcal/kg	смесители	0%
$V_{\text{в-х}}$	278.3	хил. nm^3/h		

Извън обхвата на гаранционните параметри са:

1. Температурата на въздуха след ВП-ТТ, която следва да е под 125°C , а при опита температурата е с $14\pm 25^{\circ}\text{C}$ по-висока, като разликата вляво-дясно се запазва от порядъка на 12°C . Необходимо е клапите на смесителите да се притворят за пренасочване на по-голямо количество въздух към входа на ВП-ТТ.

2. Температурата на въздуха след смесителите е с $9\pm 29^{\circ}\text{C}$ по-висока спрямо техническите изисквания.

3. Температурата на въздуха след ИВП е по-ниска с 10°C .

Изводи:

1. Температурата на изходящите газове може да се понижи допълнително с $3\pm 4^{\circ}\text{C}$ при условие, че се постигне температура на въздуха след смесителите в диапазона $125\pm 135^{\circ}\text{C}$, което се постига чрез отваряне на смесителните клапи $20\pm 30\%$.

Опит №3				
D_{np}	246.8	t/h	клапи РГВ	0%
$t_{пв}$	230	°C	клапи БСВ	0%
Q_i^r	1640	kcal/kg	клапи смесители	100%
$V_{вх}$	278.3	хил.нм ³ /h		

Извън обхвата на гаранционните параметри са:

1. Температурата на въздуха след ВП-ТТ, която следва да е под 125⁰С, а при опита температурата е с 22÷37⁰С по-висока, като разликата вляво-дясно се запазва от порядъка на 7⁰С. Необходимо е клапите на смесителите да се притворят за пренасочване на по-голямо количество въздух към входа на ПВ-ТТ.

2. Температурата на въздуха след смесителите е с 10÷14⁰ С по-ниска спрямо техническите изисквания. След едномесечна експлоатация температурите се очаква да достигнат 245⁰С.

3. Всички останали параметри отговарят на гаранционните условия.

Опит №4				
D_{np}	244.3	t/h	клапи РГВ	0%
$t_{пв}$	230	°C	клапи БСВ	50%
Q_i^r	1642	kcal/kg	клапи смесители	50%
$V_{в-х}$	253.9	хил.нм ³ /h		

Извън обхвата на гаранционните параметри са:

1. Температурата на въздуха след ВП-ТТ, която следва да е под 125⁰С, а при опита температурата е с 35⁰С по-висока, като разликата вляво-дясно се запазва от порядъка на 5⁰С.

2. Температурата на въздуха след ИВП е по-ниска с 8⁰С от регламентираната.

Изводи:

1. При този режим к.п.д. на котела е най-нисък;

2. Клапи БСВ може да се използват от оператора само ако е необходимо разреждане в пещта.

Опит №5				
D_{np}	250	t/h	клапи РГВ	0%
$t_{пв}$	141	°C	клапи БСВ	100%
Q_i^r	1642	kcal/kg	клапи смесители	0%
$V_{в-х}$	220-235	хил.нм ³ /h		

Най-добър режим на работа на ИВП при максимални товари и изключени ПВН е постигнат при опит 5. При този режим е необходимо да функционират клапи РГВ за регулиране температурите на ВП-1 и ВП-2. Клапи РГВ трябва да са плътни през летния период и да се включват при необходимост през зимния режим.

Проведени са експериментални изследвания за постигане на най-ефективен режим на ИВП при максимални товари на парогенератора. При всеки един от проведените 6 опита се отчитат температурите на въздуха на вход във ВП-ТТ; на входа във ВП-в и на входа в котела при различно състояние на клапи на смесители, клапи БСВ и клапи РГВ. Цели на експеримента са:

1. Постигане на максимална температура на въздуха в пещта, като се спазва ограничението по отношение на температурата на въздуха на входа във ВП-2;

2. Определяне диапазоните на отваряне на клапите чрез регулаторите за въздух към котела, ВП-2 и ВП-1.

Резултатите от изпитанията са представени в Таблица 1.

Таблица 1. Изпитания на въздухонагревател с топлинни тръби.

№	D _{нп}	t/h	t _{физ.газ.}	БСВ	СМ	РГВ	t _{в-х пг}	t _{в-х вп-2}	t _{в-х вп-1}
	t _{пв}	°C							
	O ₂	%							
1	D _{нп}	241 t/h	175/176	21/15	50/50	0/0	217/225	121/135 101/128	34.5/37.7
	t _{пв}	230 °C							
	O ₂	5,5 %							
2	D _{нп}	242 t/h	173/176	21/15	20/20	0/0	229/229	123/133 114/128	35.1/38
	t _{пв}	230 °C							
	O ₂	5,5 %							
3	D _{нп}	248 t/h	171/174	0/0	20/20	0/0	228/235	121/132 115/130	35.3/38.5
	t _{пв}	230 °C							
	O ₂	5,2 %							
4	D _{нп}	243.6 t/h	170/173	0/0	10/10	0/0	228/234	119/131 122/135	35.6/38.9
	t _{пв}	230 °C							
	O ₂	5,2 %							
5	D _{нп}	240.5 t/h	170/174	0/0	10/10	0/0	228/234	118/131 130/126	35.5/38.8
	t _{пв}	230 °C							
	O ₂	5,2 %							
6	D _{нп}	243.8 t/h	171/174	0/0	10/10	0/0	228/233	115/129 98/119	35.5/38.7
	t _{пв}	230 °C							
	O ₂	5,3 %							

Анализът на резултатите представени в таблица 1 показва, че при опит 4 с отворени клапи смесители на 10%, клапи БСВ на 0% и клапи РГВ 0% са постигати най-ниските температури на изходящите газове (170/173°C), най-висока температура на въздуха на входа в котела (228/234°C) и са най-близки до техническото задание (110÷120°C). По отношение на температурата на входа към ВП-2, които са съответно (119/131°C). Разликата от 10÷15 °C е незначителна и не може да повлияе на гаранционните условия. При понижаване на температурата на въздуха на входа

във ВП-1 под 30⁰С, което е очаквано при зимен режим, температурите на ВП-2 ще бъдат в проектния диапазон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Направените експерименти при паров товар на котела ПК-38 от 200 до 250 t/h ($t_{\text{пв}}=230^{\circ}\text{C}$; $O_2=5.2\pm 5.5\%$) дават основание да се препоръчат следните експлоатационни режими:

- ✓ Смесителните клапи да се регулират в диапазона 10 \pm 25% отворени;
- ✓ Клапи БСВ да са изцяло затворени;
- ✓ Клапи РГВ да са изцяло затворени.

2. Използването на клапите РГВ е целесъобразно само в температурен диапазон на постъпващия външен въздух (-10 \pm 5⁰С), а за останалия период да останат напълно затворени;

3. При леко замърсена пещ (или при температури в заводната камера над 720⁰С) смесителните клапи се препоръчва да работят в диапазона 5 \pm 50% отворени;

4. При максимални парови товари и температура на питателната вода 230⁰С да се използват само смесителните клапи в диапазона 10 \pm 20%;

5. При максимален паров товар и изключен ПВН ($t_{\text{пв}}=140^{\circ}\text{C}$) да се работи при 100% отворени клапи БСВ. В този конкретен режим е необходимо клапи РГВ за регулиране температурата на входа във ВП-2 да са напълно затворени.

Предлаганите експлоатационни режими гарантират оптимален режим на парогенератора и най-висок к.п.д.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тепловой расчет котлов (Нормативный метод), издание третье, переработанное и дополненное, Санкт-Петербург, 1998.
- [2] Киров Г. Протокол от изпитанията на въздухонагревател с топлинни тръби на котел №5 в ТЕЦ Марица Изток-2, 2008.

За контакти:

Доц. д-р инж. Илия Илиев, Катедра “Топлотехника, хидро- и пневмотехника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, моб. тел.: 0887306898, e-mail: iiliev@enconservices.com

Маг. инж. Милен Венев, Катедра “Топлотехника, хидро- и пневмотехника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, моб. тел.: 0883333425, e-mail: m_venev@abv.bg

Докладът е рецензиран.