

ЕНЕРГИЕН ФОРУМ 2024

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ТОЧКАТА НА ОРОСЯВАНЕ НА ДИМНИТЕ ГАЗОВЕ ПРИ РАЗЛИЧНИ РЕЖИМИ НА РАБОТА НА ИЗНЕСЕН ВЪЗДУХОПОДГРЕВАТЕЛ В „ТЕЦ МАРИЦА ИЗТОК 2“ ЕАД

Никола Байкалов, Борислав Игнатов

DETERMINATION OF THE DEW POINT OF FLUE GAS IN DIFFERENT OPERATION MODES OF AN EXTERNAL AIR HEATER OF THE PK-38-4 BOILERS IN „TPP MARITSA IZTOK 2“ EAD

Nikola Baykalov, Borislav Ignatov

Abstract: The dew point of flue gases is different when burning different organic fuels. In thermal power plants burning coal as the main fuel, liquid or gaseous fuel is used as the start-up fuel. This means that in the process of start-up the energy boiler, we also have a change in the dew point temperature of the flue gases depending on what fuel we are burning at the moment: only ignition fuel; of a mixture of ignition and base fuel in different ratios; on base fuel only. The change in the dew point temperature of the flue gases can reach up to 100 °C, which can lead to an unfavorable operating mode, especially on the last heating surface along the flue gas path.

Keywords: steam generator, dew point temperature, lignite coal, mazut, natural gas.

ВЪВЕДЕНИЕ

В ТЕЦ „Марица Изток 2“ ЕАД се експлоатират 8 броя котли тип ПК 38-4 („Част 700" MW). Организирано подаваният въздух за горене към всеки от котлите се подгръва в изнесен въздухоподгревател (ИВП). Тъй като, той е последна нагревна повърхност по хода на димните газове, съществува повишен риск от появата на нискотемпературна сярна корозия. Особено застрашен е ИВП при пускови режими, където температурите на димните газове и на въздуха, подаван за горене, са с ниски температури. Разпалването на котлите до сега се е

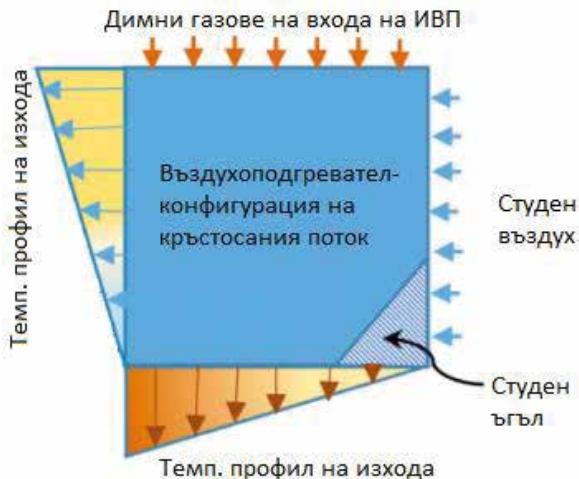
осъществявало с нискосернист мазут или с леко котелно гориво. С цел да се оптимизират пусковите режими на котлите, е направена реконструкция на разпалващите горелки и те вече са газо-мазутни, като мазутът като разпалващото гориво е заменен с природен газ. С въвеждането на природният газ, като разпалващо гориво се постигат някои положителни ефекти, като:

- **Екологичен** – при изгарянето на природният газ, не се отделят „мазни сажди“, което води след себе си до пускането на ЕФ и сероочистващата инсталация (СОИ) веднага след запалване на първата прахова горелка. Това намалява количеството на емитираните в атмосферата прахови частици. Освен това в природният газ нямаме съдържание на сяра, което води до липсата на серни оксиди при неговото изгаряне.
- **Надеждностен** – липсата на прах в димните газове след ЕФ води до намаляване на износването на работното колело на димния вентилатори. По този начин се удължава неговия експлоатационен живот.
- **Икономичен** – при заместването на мазута с природен газ като разпалващо гориво, се емитират и по-малки количества въглероден диоксид (CO_2), а от там и по-малки разходи за закупуването на въглеродни емисии.

Наред с редицата предимства при замяната на мазута с природен газ, като разпалващо гориво се наблюдават и някои експлоатационни проблеми и най-вече проблеми свързани с експлоатацията на ИВП при пускови режими, а именно:

- Забиване на кубовете на ИВП;
- Втечняване на водните пари в димните газове.

Вероятността за образуване на нискотемпературни отложения в ИВП на котли тип ПК-38-4 са най-големи при пусковите режими на котлите. Заради конструктивни особености на ИВП е възможно в долния ъгъл, на страната от която постъпва студения въздух във въздухоподгревателя, да се получи зона с ниски температури на стените на тръбите. На фиг. 1 са показани температурните полета на входа и на изхода от един въздухоподгревател на двата флуида – въздуха и димните газове.



Фиг. 1. Температурен профил на потоците във ИВП

Температурата на оросяване на димните газове, при изгаряне на лигнитни въглища от комплекса „Марица изток“ е в интервала от 142 до 145 °С. Тя зависи от съдържанието на SO_3 в димните газове, както и от тяхната запрашеност, като по-високите стойности от тях водят до по-високи температури на оросяване на димните газове. Не трябва да се допуска, температурата на стената на тръбите, изграждащи кубовите на ИВП да са по-ниски от 142 – 145°С. На Фиг. 1. е визуализирано мястото на „студения въгъл“, най-заstraшеното място на ИВП [2]. Той се появява, поради неравномерност на температурния профил на димните газове и на въздуха.

Определяне на точката на оросяване на димните газове при различни режими на работа на ИВП на котел тип ПК 38-4

ИВП на котли тип ПК 38-4 се експлоатира в три режима, в зависимост от изгаряното гориво, а именно:

- Първи режим - изгаряне само на метан/мазут (пусков режим);
- Втори режим - изгаряне едновременно на метан и лигнитни въглища (пусков режим);
- Трети режим - изгаряне на лигнитни въглища (нормален работен режим).

Определяне на точката на оросяване в Първи режим на работа на ИВП (изгаряне само на метан/мазут)

За да се определи температурата на оросяване на димните газове, трябва да се изходи от състава на двете използвани горива за разпалване. При изгаряне на мазут като разпалващо гориво е разгледан нискосернист Мазут 20 (M20). При изгаряне на природен газ като разпалващо гориво е направено допускането, че имаме 100 % метан (CH₄) [3] . На база на елементния състав на изгаряните горива, бяха изчислени:

- теоретичното количество въздух необходимо за изгаряне на горивата;
- количеството на димни газове.

Стойностите са представени в табличен вид в таблицата по-долу:

Таблица 1

Величина	Означ.	Дим.	Стойност	
			Мазут 20	CH ₄
Стехиометричен обем на въздух за горене	V ^o	Nm ³ /kg(m ³)	10,8303	9,5200
Обем на триатомни газове RO ₂ при α=1	V _{RO2}	Nm ³ /kg(m ³)	1,6778	1,0000
Обем на азота N ₂ в димните газове при α=1	V _{N2}	Nm ³ /kg(m ³)	8,5559	7,5208
Обем на сухите димни газове при α=1	V _{сГ}	Nm ³ /kg(m ³)	10,2337	8,5208
Обем на водните пари в димните газове при α=1	V _{H2O}	Nm ³ /kg(m ³)	1,5333	2,0000
Обем на димните газове при α=1	V _Г	Nm ³ /kg(m ³)	11,7670	10,5208
Обемна концентрация на въглеродният диоксид в димните газове при α=1 (max стойност)	C _{CO2}	%	15,6834	11,7360
Количество на генерираните водни пари при изгарянето на двете горива	H _{2O}	g/kg(m ³)	1233	1608

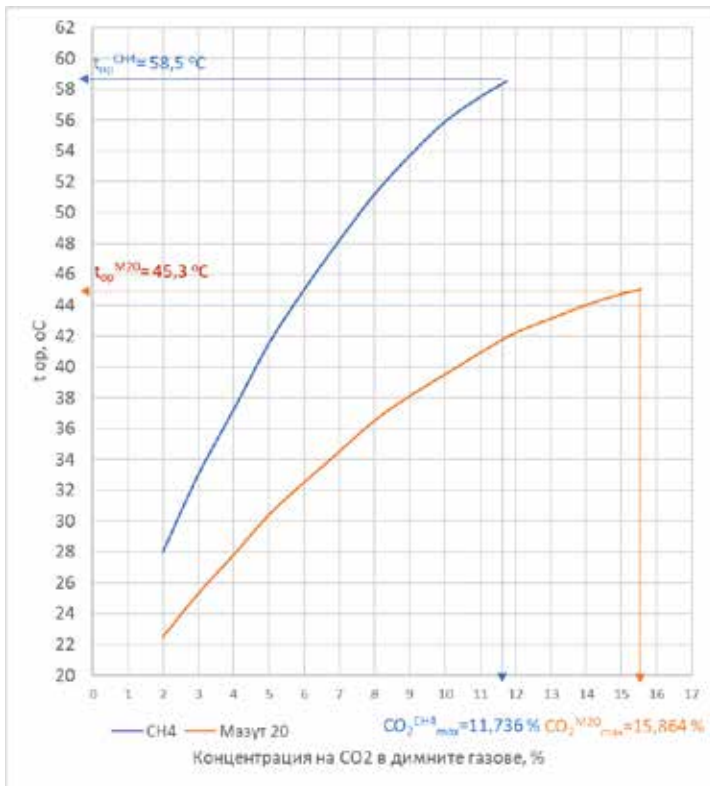
За да определим точката на оросяване на димните газове, трябва да знаем какво е количеството на водните пари което може да се разтворят в тях. Прието е, че димните газове и въздухът могат да разтворят в себе си едно и също количество водни пари при едни и същи условия (налягане и температура). Температурата на оросяване на димните газове в първи режим, зависи и от концентрацията на въглероден диоксид CO_2 в тях. Максималната концентрация на CO_2 в димните газове се получава при коефициент на излишък на въздуха $\alpha=1$ и пълно изгаряне на горивото.

Стойностите са дадени в табл. 1 и за изгаряне на мазут $CO_{2max}=15,6834$ %, а при изгаряне на метан $CO_{2max}=11,736$ %. При реален горивен процес винаги имаме $\alpha>1$. Това означава, че в димните газове ще имаме по-ниска концентрация на CO_2 в тях. Изменението на концентрацията на въглероден диоксид CO_2 в димните газове при различен коефициент на излишък на въздух е показан в табл.2.

Таблица 2

Концентрация на CO_2 в димните газове, %									
	$\alpha=1$	$\alpha=1,05$	$\alpha=1,1$	$\alpha=1,15$	$\alpha=1,2$	$\alpha=1,25$	$\alpha=1,3$	$\alpha=1,35$	$\alpha=1,4$
Мазут M20	15,68	15,05	14,46	13,92	13,42	12,95	12,52	12,11	11,73
Метан CH4	11,74	11,24	10,78	10,36	9,98	9,61	9,28	8,97	8,67

На Фиг. 2. е показано изменението на температурата на оросяване на димните газове при изгарянето на мазут М 20 и метан CH_4 . От нея е видно, че при изгаряне на 100 % метан, температурата на оросяване на димните газове е $58,5$ °C ($\alpha=1$). При изгаряне на мазут М 20 температурата на оросяване на димните газове е $45,3$ °C ($\alpha=1$). С увеличаване на коефициентът на излишък на въздух, концентрацията на въглероден диоксид в димните газове намалява и при двете горива, а с това намалява и температурата при която настъпва кондензация на водните пари в димните газове. Винаги обаче тя остава по-висока при изгарянето на CH_4 в сравнение с изгарянето на мазут М 20.

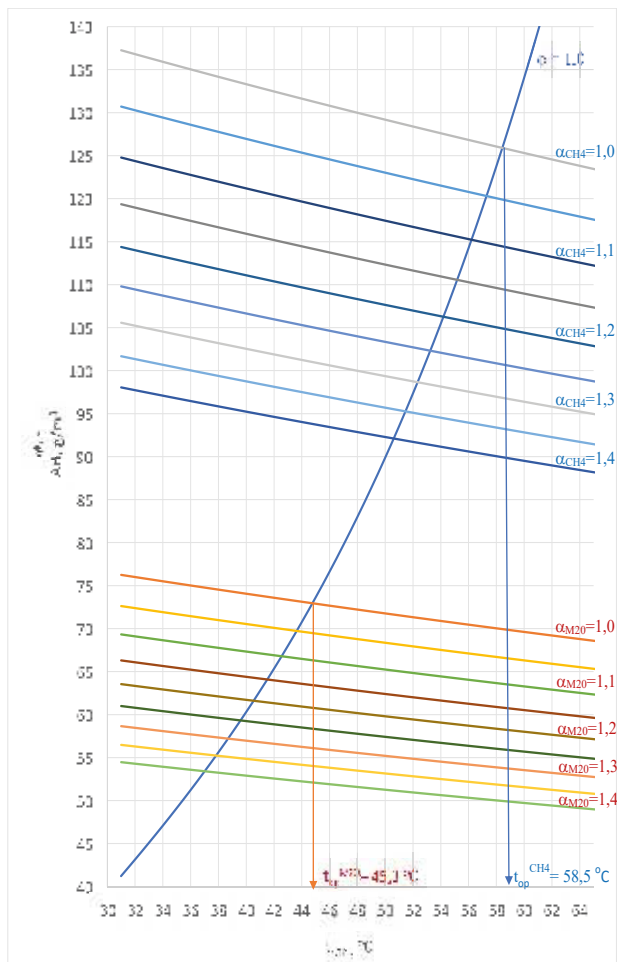


Фиг. 2. Изменение на температурата на оросяване на димните газове в зависимост от концентрацията на CO_2 в тях

От Табл.1 е видно, че при изгарянето на 1 kg мазут Марка 20 се генерират 1233 g водни пари, а от 1 m^3 CH_4 – 1608 g. Промяната на коефициентът на излишък на въздух практически не оказва влияние върху количеството генерирани на водни пари от горивото. В зависимост от температурата на димните газове и от коефициентът на излишък на въздух в тях, получаваме различна абсолютна влажност. Това дава възможност да се определи количеството водни пари (g H_2O), които са се разтворени в 1 m^3 димен газ при реални условия. С получените стойности е построена Фиг.3 от която можем да направим следните изводи:

- **На дясно от линията $\varphi = 1$** – намираме се в зона в която $\varphi < 1$ и димните газове имат температура по-висока от температурата на оросяване.

- **На ляво от линията $\varphi = 1$** – намираме се в зона в която $\varphi > 1$ и димните газове имат температура по-ниска от температурата на оросяване. В този случай, в димните газове се появяват водни капки.



Фиг. 3. Изменение на абсолютната влажност на димните газове спрямо тяхната температура при изгаряне на мазут M 20 и метан CH₄

За едни и същ коефициент на излишък на въздух температурата на оросяване на димните газове, при изгаряне на метан CH_4 , е с около $12\text{ }^\circ\text{C}$ по-висока, отколкото при изгарянето на мазут М 20. От така направените изводи можем да обобщим, че при разпалване на природен газ, температурата на метала в ИВП трябва да е с около $15\text{ }^\circ\text{C}$ с по-висока температура, отколкото при разпалване на мазут.

Определяне на точката на оросяване при Втори режим на работа на ИВП (Комбинирано изгаряне на метан CH_4 и лигнитни въглища)

При пускови режими на Котли тип ПК 38-4, има момент, когато едновременно се изгарят метан и лигнитни въглища. При едновременното изгаряне на въглища и метан имаме три различни варианта на работа:

- В работа е 1 ППС и природен газ;
- В работа са 2 ППС и природен газ;
- В работа са 3 ППС и природен газ.

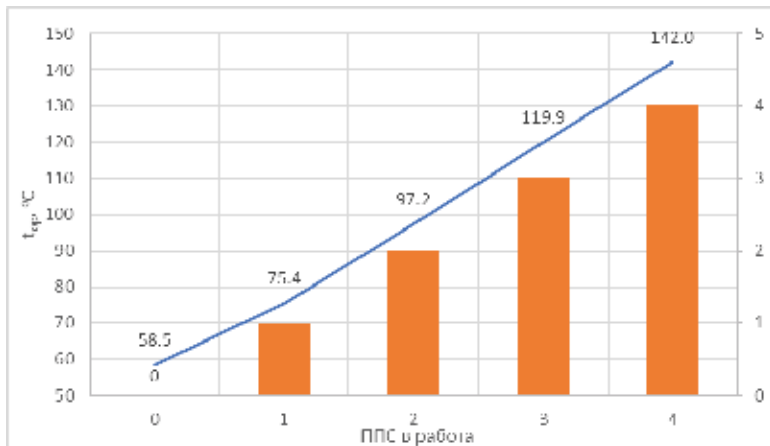
Пресметнати са обемите на димните газове, които се получават при изгарянето на лигнитни въглища. В Табл. 3 са показани също и какъв е процентния дял на отделните газове в димните газове за всеки от трите случая на едновременно изгаряне на лигнитни въглища и на метан [3] .

На базата на концентрацията на водните пари и серните оксиди в димните газове е определена температурата на оросяване при изгарянето на различна смес от метан и лигнитни въглища. Резултатите са представени в графичен вид на фиг. 4.

От представените данни на Фиг.4.[3] е видно че при изгаряне на метан и лигнитни въглища в различни съотношения, температурата на оросяване на димните газове расте с увеличаване на дела на изгаряне на лигнитни въглища и при изгаряне само лигнитни въглища (**в работа са 4 ППС**) – Трети режим на работа на ИВП – температурата на оросяване на димните газове е **142°C** ;

Таблица 3

Величина	Озн.	Дим.	Стойност				
			Само Въ-глища	Само CH ₄	1ППС +CH ₄	2ППС+ CH ₄	3ППС+ CH ₄
Стехиометричен обем на въздух за горене	V ^o	Nm ³ /kg(m ³)	2,25	9,5200			
Обем на триатомни газове RO ₂ при α=1	V _{RO2}	Nm ³ /kg(m ³)	0,417	1,0000	0,83	0,67	0,54
Обем на азота N ₂ в димните газове при α=1	V _{N2}	Nm ³ /kg(m ³)	1,78	7,5208	5,84	4,31	3,33
Обем на сухите димни газове при α=1	V _{CG}	Nm ³ /kg(m ³)	2,197	8,5208	6,67	4,98	3,87
Обем на водните пари в димните газове при α=1	V _{H2O}	Nm ³ /kg(m ³)	0,879	2,0000	1,67	1,37	1,82
Обем на димните газове при α=1	V _Г	Nm ³ /kg(m ³)	3,076	10,5208	8,34	6,35	5,69
Концентрация на серен диоксид SO ₂ в димните газове	SO ₂	%	0,4769	-	0,0514	0,1293	0,2106
Количество на генерираните водни пари при изгарянето на двете горива	H ₂ O	g/kg(m ³)	707	1608	1345	1345	950



Фиг. 4. Изменение на температурата на оросяване на димните газове в зависимост от броя на ППС в работа

Определяне на критерий за безопасна работа на ИВП

За да няма корозионни процеси в ИВП, температурата на метала трябва да бъде винаги по-висока от температурата на оросяване за дадения режим на работа. Температурата на стената на тръбите на от кубовете от I-ва степен на ИВП може да се пресметне по следната зависимост:

$$t_{ст}^{min} = t'_{ИВП} + \frac{K \cdot \vartheta_{изх.г.} - 0,95 \cdot t'_{ИВП}}{0,954 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1}}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

където:

$t'_{ИВП}$ - температура на въздуха на входа на ИВП;

K – коефициент отчитащ температурната неравномерност на димните газове.

$\vartheta_{изх.г.}$ – температура на димните газове след ИВП;

α_1 – коефициент на топлопредаване от към газовата страна;

α_2 - коефициент на топлопредаване от към въздушната страна.

От формулата за определяне на температурата на стената на метала от към газова страна (страната на димните газове) е видно, че зависи от две температури:

- Температурата въздуха в ИВП;
- Температурата на димните газове в ИВП

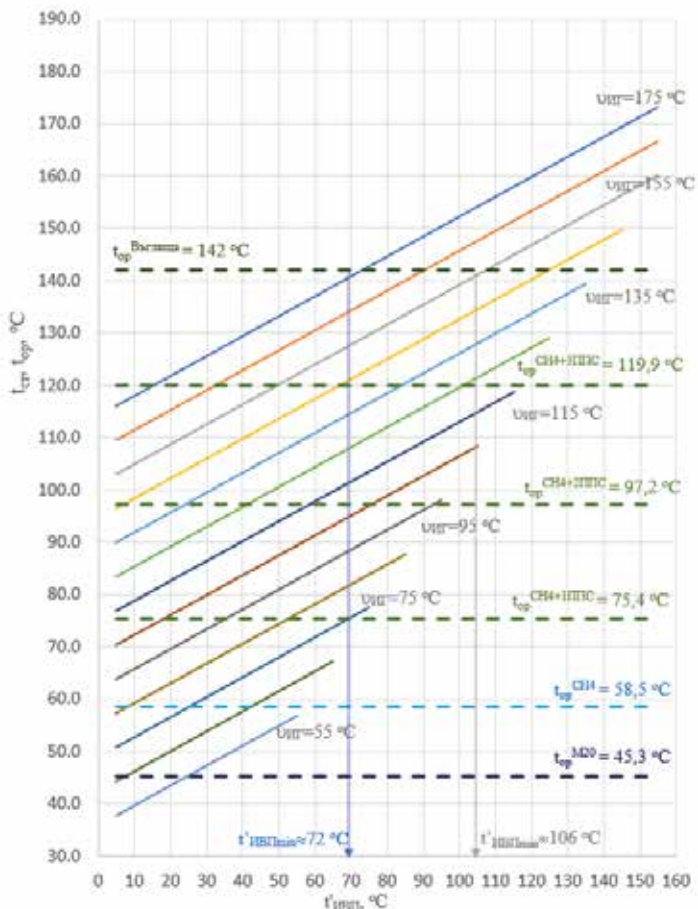
Най-проблемната зона за ИВП е входът на ИВП по въздух, който се явява и изход от ИВП по димни газове. Както бе посочено по-горе, K е коефициент отчитащ неравномерността на температурата на изходящите димни газове от ИВП. Той може да заема стойности от $K=1$ до $K=0,8$. В Табл.4. е даден пример, каква би била температурната неравномерност при различни стойности за K и средна температура на изходящи газове от 175°C .

Таблица 4

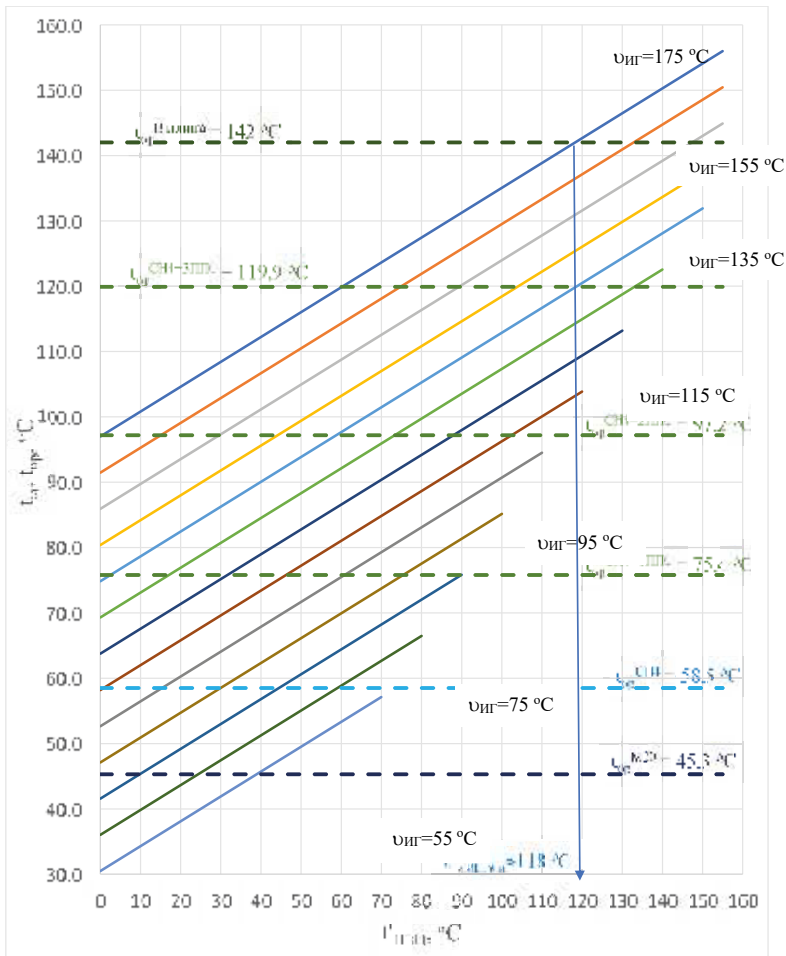
Величина	Озн.	Дим	Коеф. на температурна неравномерност				
			$K=1,00$	$K=0,95$	$K=0,90$	$K=0,85$	$K=0,80$
Средна температура на изходящи димни газове	$\vartheta_{\text{ИГ}}^{\text{ср}}$	$^{\circ}\text{C}$	175,00	175,00	175,00	175,00	175,00
Отклонение	$\Delta\vartheta_{\text{ИГ}}^{\text{ср}}$	$^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,00$	$\pm 8,75$	$\pm 17,5$	$\pm 26,25$	$\pm 35,00$
Минимална стойност на димните газове	$\vartheta_{\text{ИГ}}^{\text{min}}$	$^{\circ}\text{C}$	175,00	166,25	157,50	148,75	140,00
Максимална стойност на димните газове	$\vartheta_{\text{ИГ}}^{\text{max}}$	$^{\circ}\text{C}$	175,00	183,75	192,50	201,25	210,00

От данните представени в Табл.4. е видно, че когато $K=1,00$ имаме идеален случай и при него нямаме никаква неравномерност на температурното поле на димните газове на изхода от ИВП. В действителност това не е така и K има стойности по-малки от 1. Причините за появата на неравномерност могат да бъдат: конструктивни и експлоатационни. Конструктивните отчитат особености в конструкцията на ИВП (Фиг.1.). Експлоатационните отчитат техническото състояние на ИВП, като: забити тръби на кубовете; нарушена цялост на тръби в кубовете и др. Колкото е по-малък коефициентът на температурна неравномерност K , толкова имаме по-голяма разлика между минималната и максималната стойност на температурата на изходящи димни газове.

При пресмятането на минимално допустимата температура на стената на метала от към газова страна на последните по хода на димните газове кубове се взема минималната температура на димните газове при даден коефициент на температурна неравномерност. Това е така, понеже зоната в които имаме минимална температура на изходящи газове има най-голяма вероятност за създаване на условия за оросяване на димните газове, а от там и за поява на корозионни процеси.



Фиг. 5. Изменение на температурата на стената на първи кубове на ИВП в зависимост от температурата на димните газове и температурата на въздуха на вход на ИВП (коефициент на температурна неравномерност $K=1,00$)

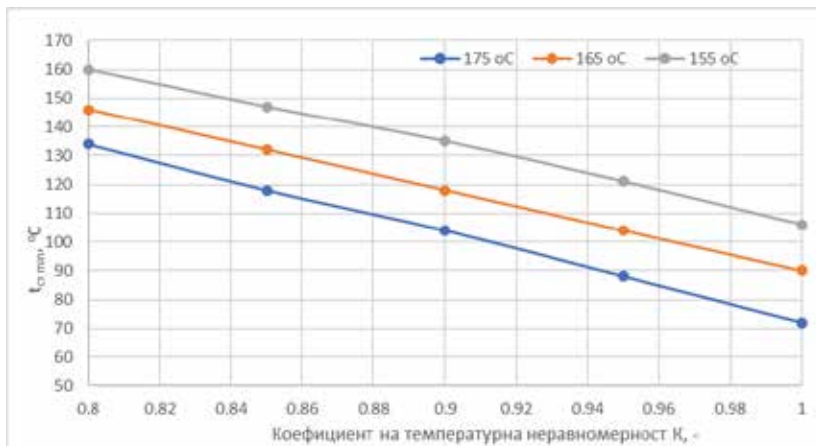


Фиг. 6. Изменение на температурата на стената на първи кубове на ИВП в зависимост от температурата на димните газове и температурата на въздуха на вход на ИВП (коэффициент на температурна неравномерност $K=0,85$)

От резултатите представени на Фиг.5. можем да определим каква трябва да е температурата на въздуха на входа на ИВП в зависимост от температурата на димните газове. При изгарянето само на лигнитни въглища температурата на оросяване на водните пари в димните газове е 142 °C (най-горната

прекъсната линия). Тя пресича няколко непрекъснати линии. Най-горната непрекъсната линия е построена при $t_{\text{диг}}=175$ °С. От точката на пресичане на двете линии, трябва да спуснем права перпендикулярна към оста X. Там където тази права пресича оста X, отчитаме минималната температура на въздуха на входа на ИВП така, че температурата на стената на метала от към газовата страна да бъде 142 °С и да се гарантира, че няма да има корозионни процеси. При температура на димните газове от $t_{\text{диг}}=175$ °С, температурата на входа на ИВП трябва да не е по ниска от $t'_{\text{ИВП_min}}=72$ °С. Колкото температурата на димните газове намалява, толкова трябва да е по-висока температурата на въздуха на входа на ИВП. Тези данни са при липса на температурна неравномерност на димните газове на изхода от ИВП, т.е. $K=1$.

От резултатите представени на Фиг.6. можем да заключим, че при наличие на по-голяма температурна неравномерност ($K<1$), и при една и съща температура на димните газове, на входа на ИВП трябва да се подаде въздух с по-висока температура, за да може температурата на стената да бъде над точката на оросяване на димните газове. Обобщение на част от представените резултати за изменение на минималната температура на въздуха на входа на ИВП в зависимост от коефициентът на температурна неравномерност на димните газове са обобщени във Фиг. 7.



Фиг. 7. Изменение на минималната температура на въздуха на входа на ИВП ($t'_{\text{ИВП_min}}$) при различен коефициент на температурна неравномерност K и различна температура на димните газове

От представените резултати на Фиг.7. може да се направи изводът, че при нормална експлоатация на ИВП и температура на изходящи димни газове в интервала $165 \div 175^{\circ}\text{C}$, минималната температура на въздуха на входа на ИВП трябва да бъде 110°C при температурна неравномерност на изходящи димни газове - $K=0.9$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От така направеното обследване на работата на ИВП на котли тип ПК 38-4 можем да обобщим, че то се експлоатира в три режима, в зависимост от изгаряното гориво. При трите режима на работа на ИВП имаме различни изисквания за минимална температура на стената на тръбите на първите му кубове (най-заstraшените) по хода на въздуха.

При **първи режим** (изгаряне само на метан), температурата на оросяване на димните газове е $58,5^{\circ}\text{C}$. При него е добре, температурата на стената на метала от към газова страна да има и резервираност от около 10°C за да се гарантира безпроблемната работа на ИВП при коеф. на температурна неравномерност $K<1$.

При **втория режим** (комбинирано изгаряне на метан и въглища), температурата на оросяване на димните газове зависи от броя на пуснатите в експлоатация въглищни горелки. При стартиране на 1 въглищна горелка, температурата на оросяване на димните газове става $75,4^{\circ}\text{C}$, при 2 въглищни горелки $-t_{\text{op}}=97,2^{\circ}\text{C}$, при 3 въглищни горелки $-t_{\text{op}}=119,9^{\circ}\text{C}$. Този режим с силно нестационарен и има възможност, минималната температура на стената на първите кубове да трябва да се завиши още, за да се гарантира безопасната работа на ИВП.

При **третия режим** имаме изгаряне само на лигнитни въглища, при които температурата на оросяване е в интервала $142 - 145^{\circ}\text{C}$.

Според получените резултатите, температурата на въздуха на входа на ИВП трябва да бъде 110°C при температура на изходящи димни газове в интервала $165 \div 175^{\circ}\text{C}$ и температурна неравномерност по димни газове - $K=0,9$.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Байкалов Н. Бонев Б., Особенности на пусковите процедури и диаграми за енергийни блокове с котли ПК-38-4 и ЕП 670/140,

НК „XXI Научна конференция с международно участие ЕМФ 2016“, Созопол 2016

[2] Байкалов Н., Игнатов Б., Проблеми с нискотемпературни отложения на пепел и нискосерниста корозия във въздухоподгревателя на котли ПК-38-4 в ТЕЦ „МАРИЦА ИЗТОК 2“ ЕАД, НК „Енергиен Форум 2023“, Варна 2023

[3] B. Ignatov, "Influence of the Type of the Burned Energy Fuels on the Dew Point Temperature of Flue Gases," 2023 15th Electrical Engineering Faculty Conference (BULEF), Varna, Bulgaria, 2023

[4] Байкалов Н., Бонев Б., Промяна на пусковия алгоритъм на котлите след замяната на мазута (леко котелно гориво) с природен газ като разпалващо гориво в ТЕЦ „Марица Изток 2“ ЕАД, НК „Енергиен Форум 2020“, Варна 2020

[5] Байкалов, Н., Аеродинамично изследване на скоростта и разпределението на димните газове в ивп като част от проблемите с нискотемпературни отложения на пепел и нискотемпературна корозия на котли ПК-38-4 в „ТЕЦ Марица изток 2“ ЕАД, НК „Енергиен Форум 2023“, Варна 2023

[6] Байкалов, Н. Бонев Б., Особенности на пусковите процедури и диаграми за енергийни блокове с котли ПК-38-4 и ЕП 670/140, НК „XXI Научна конференция с международно участие ЕМФ 2016“, Созопол 2016.

АВТОРИ

д-р. инж. Никола Емилов Байкалов, „ТЕЦ Марица Изток 2“ ЕАД, Производствено-технически отдел, Ръководител Звено Режими, e-mail: nikola.baykalov@gmail.com

доц. д-р инж. Борислав Митков Игнатов, Тракийски Университет – Стара Загора, катедра Енергетика, borislav.ignatov@trakia-uni.bg