

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

Никола Байкалов, Бончо Бонев

THE CHANGE OF START UP ALGORITHM ON BOILERS AFTER THE REPLACEMENT OF FUEL OIL WITH NATURAL GAS AS A STARTING FUEL IN TPP “MARITSA EAST 2” EAD

Nikola Baykalov, Boncho Bonev

Abstract: The replacement of fuel oil with natural gas is accompanied by a change in the operational parameters during the start-up of the boilers and a change in the operation of the facilities to the boiler. This report examines the performance of the Electrostatic precipitator (ESP) and the air heater of the Maritza East 2 EAD boilers during start-up operations.

Keywords: steam generator, boiler starting modes, start up algorithm

Въведение

Съобразно световните екологични тенденции в областта на енергетиката, от няколко години в ТЕЦ „Марица изток 2“ ЕАД се преминава поетапно от един вид разпалващо гориво – мазут, към по-екологичен вид – природен газ. След постигането на екологичния ефект, от съществено значение при такива модернизации е надеждната работа на котлите и техните съоръжения. В настоящия доклад е обърнато внимание точно на този аспект от извършената модернизация, а именно надеждната работа на въздухоподгревателите (ИВП) и електрофилтрите (ЕФ), при които възникват неблагоприятни условия на експлоатация по време на пусковите режими на котлите.

Описание на съществуващия алгоритъм за пуск на котлите тип ПК-38-4 и ЕП 670/140 в частност на изходящите газове и съоръженията през които преминават

Основно правило за пусковите операции е бавното покачване на температурите на дебелостенните елементи – колектори, барабани, тръбопроводи, арматура и т.н. Препоръчително е това да става с 3°C/мин до максимум 5°C/мин. Поради това и самият пуск се осъществява от различен брой мазутни горелки (МГ), които да осъществят плавния

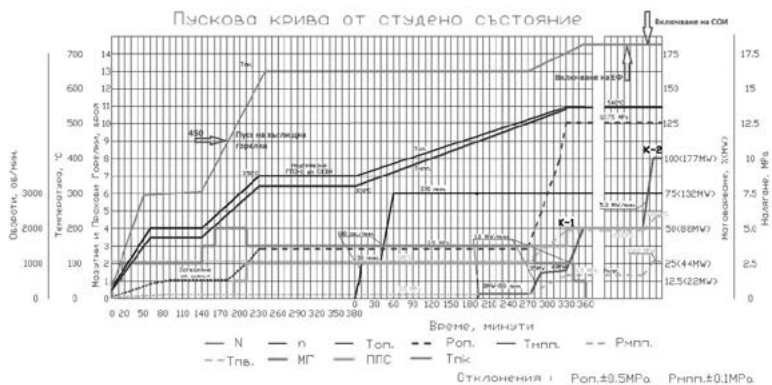
преход. Започва се със запалването на една МГ и постепенно, след достигането и до пълна топлинна мощност изчерпване като топлинен запас се преминава към запалване на следваща. Това се повтаря до достигане на параметри за пускане в работа на въглищни горелки. Подробен анализ на пусковете е направен в предходни доклади [1]. В настоящия доклад е обърнато внимание на изходящите газове по време на пусковите операции. При разпалване на котлите с мазут се отделят мазни сажди в следствие на неговото не много добро изгаряне в първоначалния момент от пуска. Тогава температурите в печна камера (ПК) са ниски, въздухът за изгаряне също е с ниска температура, което влошава изгарянето на горивото. От своя страна тези мазни сажди влошават работата на ЕФ. Това налага включването на ЕФ да се извършва след спиране на всички МГ [2]. На база направените изследвания към инструкцията за пуск на котлите е въведено включването на ЕФ да бъде 1ч. след спиране на последната МГ. Сяроочистващата инсталация (СОИ) се включва след включването на ЕФ. Отделящите се по време на пусковите операции на котлите на разпалващо гориво мазут - пепел, прах и SOx емисии, постъпват директно в атмосферата. Тяхното количество за пуск на котлите от студено състояние е показано в таблица.1.

Таблица.1.

Емисии \ Гориво	Мазут		Въглища	
	ПК-38-4	ЕП 670/140	ПК-38-4	ЕП 670/140
E_{SO_2} , t	0,9	1,1	40	62
$E_{\text{прах}}$, t	-	-	53	70

Пусковите операции са сложни, нестационарни режими на работа на котлите, при които всеки път може да възникне непредвидена ситуация, която да повлияе на времето за пускане в работа на котлите и респективно на разхода на гориво. Затова посочените данни в табл. 1. се отнасят за максимален разход на мазут и въглища [2] [3].

За описване на съществуващия алгоритъм за пускане на котлите и реда на включване на неговите съоръжения ще се използват пускови диаграми. На фиг.1. и на фиг.2. са изобразени тези диаграми на двата вида котли. Показана е промяната на основните експлоатационни параметри при пусковите операции. С червени стрелки е отбелязан момента на включването на въглищните горелки, на ЕФ и СОИ.



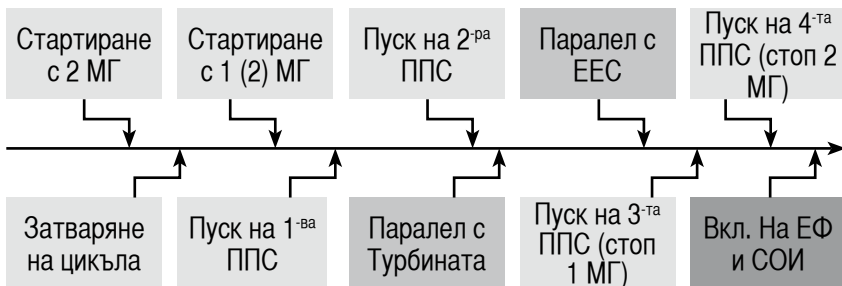
Фигура.1. Пускова диаграма от студено състояние на ПК-38-4 при разпалване на мазут



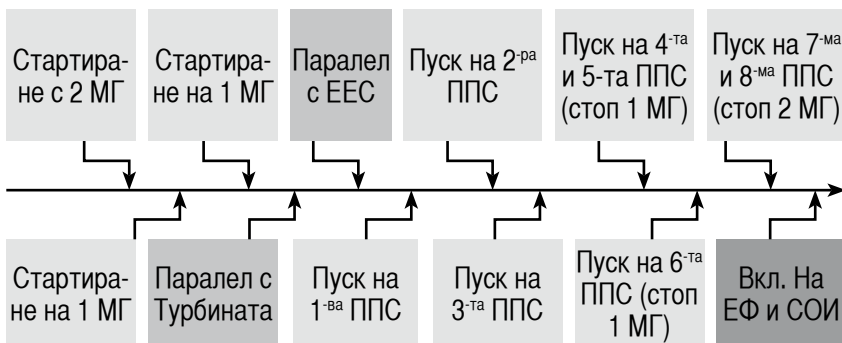
Фигура.2. Пускова диаграма от студено състояние на ЕП 670/140 при разпалване на мазут

Стартирането на праховите горелки се осъществява след достигане на температури на димните газове (ДГ) в ПК над 450°C. При тази температура, постъпващия в ПК въглищен прах се възпламенява и изгаря нормално. За запазване на нормалното повишаване на топлообмена в ПК, след стартиране на праховите горелки се спират МГ.

Алгоритъма за пуск при използване на мазут, включва в работа ЕФ и СОИ след спиране изгарянето на мазут. Опростена схема на алгоритъма за пускане в работа на двата вида котли в ТЕЦ „Марица Изток 2“ ЕАД е показана на фиг.3. и фиг.4.



Фигура.3. Алгоритъм за пуск от студено състояние на ПК-38-4 при разпалване на мазут

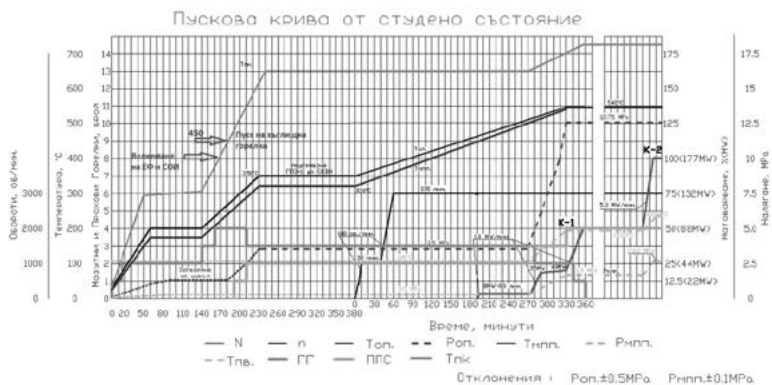


Фигура.4. Алгоритъм за пуск от студено състояние на ЕП 670/140 при разпалване на мазут

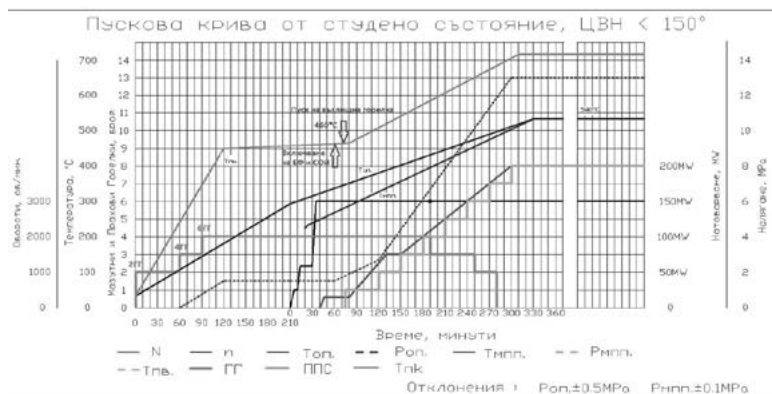
В този случай, след спиране на изгарянето на мазут, котлите работят устойчиво само на въглища при номинални параметри. Температурата на ДГ в ПК са над 700°C, а тези на изхода от ИВП над 170°C.

Промяна на алгоритъма за пуск при използването на гориво природен газ

Необходимостта от промяната на алгоритъма за пуск на котлите се дължи на замяната на разпалващо гориво мазут с природен газ. Продуктите на горенето в следствие на неговото изгаряне са CO₂ и водни пари. Това позволява включването на ЕФ и СОИ непосредствено преди пуск на въглищните горелки. На фиг.5. е показан пусков график на котел ПК-38-4, а на фиг.6. на котел ЕП 670/140. С червена стрелка е отбелязан момента на включване на праховата горелка, ЕФ и СОИ. Задължително условие е температурата на ДГ в ПК да бъде над 450°C за да се включи прахова горелка.



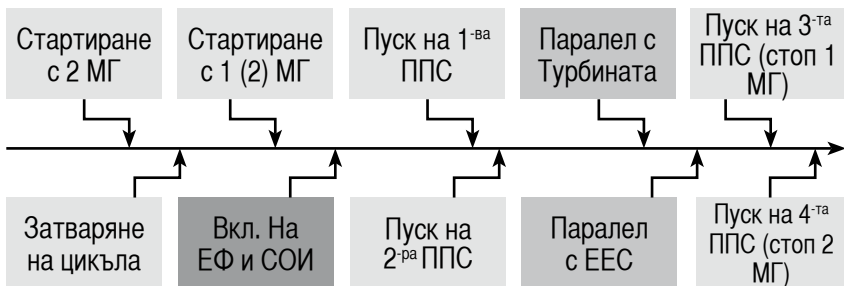
Фигура.5. Пускова диаграма от студено състояние на ПК-38-4 при разпалване на природен газ



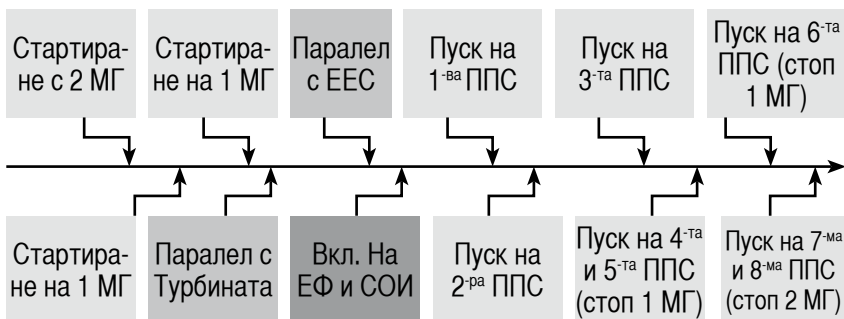
Фигура.6. Пускова диаграма от студено състояние на ЕП 670/140 при разпалване на природен газ

Съществено при тази промяна е, че се променя момента на включване на ЕФ и СОИ. Видимо от графиката, включването е при по-ниски температури на ДГ в ПК, а от тук следва и по-ниски температури пред ИВП и пред ЕФ. Схематичното представяне на новия алгоритъм е показано на фиг.7 за котли ПК-38-4 и на фиг.8, за котли ЕП 670/140.

С влизането в сила на новия алгоритъм за пуск на котлите се наблюдава промяна в работата на ЕФ. В периода на включване на прахова горелка, филтърът трябва да работи, но при включване на неговите агре-



Фигура.7. Алгоритъм за пуск от студено състояние на ПК-38-4 при разпалване на природен газ



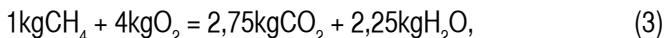
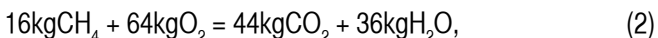
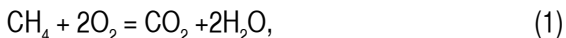
Фигура.8. Алгоритъм за пуск от студено състояние на ЕП 670/140 при разпалване на природен газ

гати, те правят късо съединение. При ИВП се наблюдава тенденция към замърсяване на между-тръбното пространство с пепел и прах, както и корозия по тръбите. Тези неизправности са свързани с изгарянето на газ в пусковите периоди на котлите. Новият алгоритъм довежда няколко проблема, свързани със спецификата на изгаряне на природен газ, а именно отделянето на големи количества водни пари. В табл.2. са показани данните за среден разход на природен газ при пуск на котлите.

Таблица.2.

	Природен газ, Nm ³	Природен газ, kg
ПК-38-4 (блок)	60 000	43020
ПК-38-4 (котел)	25 000	17925
ЕП 670/140	70 000	50190

За изчисление на количеството водни пари отделени при изгарянето на природен газ се използват стехиометричните съотношения свързани с окисление на метан:



При пълното окисление на 1kg CH₄ се получават 2,25kg водни пари.

За изчисление на водните пари използваме формулата:

$$W_{\text{пара}} = 2,25 \cdot M, \text{ [kg]} \quad (4)$$

където $W_{\text{пара}}$ – количество на водната пара, kg

M – масов разход на гориво за периода на пуск, kg

Пресметнатите количества водни пари отделени от котлите по време на пусковите им операции са показани в табл.3.

Таблица.3.

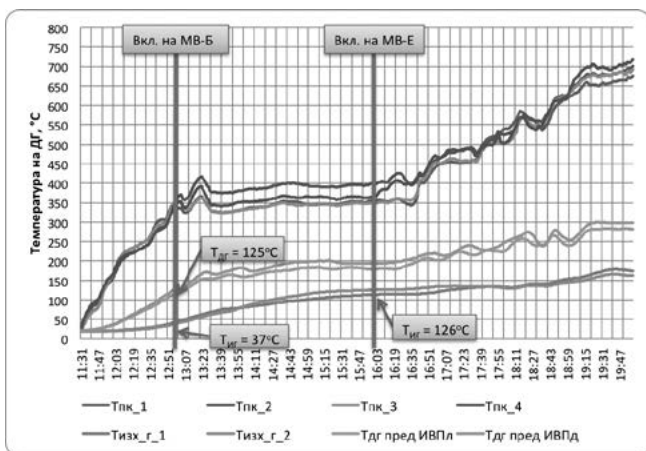
	Водни пари,kg
ПК-38-4 (блок)	96 795
ПК-38-4 (котел)	40 331
ЕП 670/140	112 927

Преминаването на влажните ДГ през нагревните повърхности води до тяхното охлаждане, което намалява способността им да задържат влагата в себе си. Колкото са по горещи газовете, толкова повече влага поемат. С тяхното охлаждане част от влагата се отлага по студените повърхности във вид на капки вода. По време на пусковите операции въздухът за горене байпасира ИВП с цел да се избегне прекомерно охлаждане на ДГ и кондензиране на влагата в газовете. Недостатък се явява не пълното уплътняване на байпасните клапи и малки количества въздух преминават през ИВП. Създава се предпоставка за по бавно повишаване на температурите на ДГ на изхода от съоръжението. Подобна е ситуацията показана на фиг.9., където по време на включване на МВ температурата на ДГ пред ИВП е 125°C, а след него е 37°C – твърде ниска температура. Самият въздушен подгревател е с голяма топлообменна повърхност, която трябва да бъде подгрята. Възможно е да се премести включването на МВ след повишаване на $T_{\text{ДГ}}$ пред ИВП над 200°C, при което $T_{\text{ИГ}}$ да е над 150°C.

Друг съществен проблем, появил се след разпалването на природен газ е замърсяването на между-тръбното пространство на ИВП, в част-

ност долните (хоризонтални) кубове. Поради ниските температури на газовете в ИВП, в периода на пуск на МВ част от водните пари в тях кондензират при допира с тръбите. Образува се тънък воден филм върху тях, където в последствие след включване на прахова горелка, полепват частиците прах и пепел. Така се образуват натрупвания, които запълват междутръбното пространство и възпрепятстват преминаването на димните газове. От друга страна високото съдържание на S във въглищата води до образуването на SO_2 и SO_3 , които от своя страна участват в образуването на серниста и сярна киселини, на които се дължи така наречената нискотемпературна корозия. Сернистата и сярна киселини са корозионно агресивни, като агресивността им зависи от концентрацията на киселината. Проведени измервания в ТЕЦ „Марица Изток 2“ ЕАД за установяване на киселинната точка на оросяване на димните газове показва, че нейната стойност се колебае в границите $141 \div 149^\circ C$ [4]. Към момента на пуск на МВ температурите в ИВП са значително по – ниски. За топлообменници пълното изключване на нискотемпературна корозия се осигурява, ако температурата на стената в най-студения участък е поне с $5 \div 10^\circ C$ по – високи от температурата на точката на оросяване. Това условие не е изпълнено и в периода на включване на въглищна горелка е налична нискотемпературна корозия.

ЕФ от друга страна, са предназначени за сухо почистване от прах на неагресивни газове с температура до $250^\circ C$. Допуска се по инструкция моментно превишаване на температурата на почиствания газ да не превишава $330^\circ C$



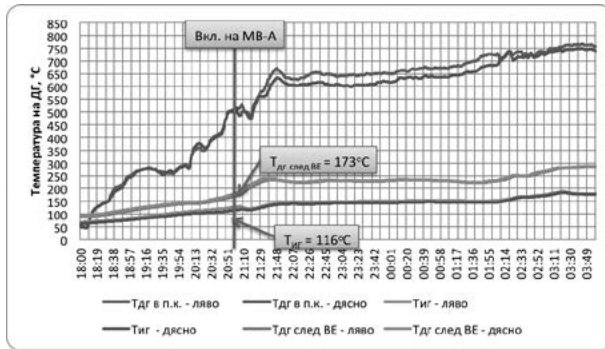
Фигура.9. Действителен пуск от студено състояние на ЕП 670/140 при разпалване на природен газ (КА-12)

и да не е под 15°C. След приемане на новия алгоритъм при използване на разпалващо гориво природен газ, ЕФ се пускат в работа преди да се включат въглищните горелки, видимо от фиг.5. за ПК-38-4 и фиг.6. за ЕП 670/140.

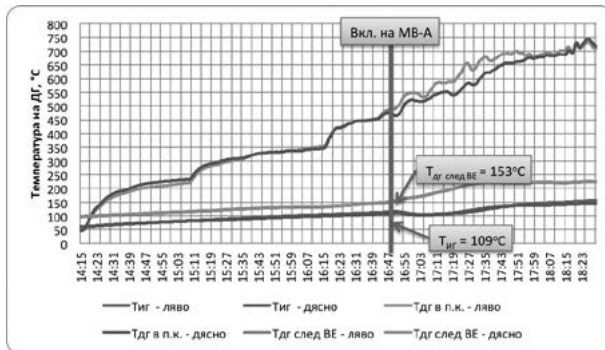
Свалени са показанията за температура на ДГ в ПК на котела и след ИВП при пуск от студено състояние на котли ЕП 670/140 и е изградена диаграма (фиг.10). Вижда се, че при пускане на първия мелещ вентилатор (МВ), $T_{иг}$ е 37°C. При тези условия, водните пари в димните газове постъпващи в ЕФ кондензират и е невъзможно включването на неговите агрегати. В момента на включване почти всички агрегати окъсяват. След повишаване на температурите над 120°C този проблем намалява и изчезва. В случая отново може да се промени пусковия алгоритъм и да се премести пускане на ЕФ след повишаване на температурите. Това би означавало изхвърлянето на вредните емисии отново в атмосферата без никакво пречистване и би обезсмислило донякъде преминаването на разпалващо гориво природен газ. Друго решение би било пускане на въглищна горелка да се извърши след като се повишат температурите на ДГ на изхода от ИВП над 150°C, т.е. да се пуснат в работа още газови горелки, които да обезпечат с топлина котела. ЕП 670/140 разполага с 8 газови горелки, които са достатъчни за да се премести пускане на МВ за по късен етап. Газовата инсталация е нова и се ползва само за пускови процедури. Затова съоръженията ѝ имат голям престой, по време на който те корозират. В следствие по време на пуск и при висок разход на газ - респективно висока скорост в тръбопроводите, филтрите се замърсяват с отложената по тръбите ръжда, прах и т.н. Експлоатацията до момента показва, че до изчистване на трасето трудно би могло да се пуснат в работа повече от 6 газови горелки. Предстои да се експериментира на по-късен етап (следващия пуск). Същевременно се работи в насока да бъдат ремонтирани клапите за въздух за горене към ИВП, които в началото на пускане са затворени. Дори малките количества студен въздух през тях биха повлияли за ниските температури на ДГ на изхода от ИВП и преди ЕФ.

Аналогична е ситуацията и при котли ПК-38-4. Свалени са експлоатационните данни на няколко пускови операции на котли ПК-38-4, построени са диаграми и са направени анализи. На фиг.10. и фиг.11. са показани температурите на ДГ в ПК, на изхода от конвективна шахта (КШ) – преди да постъпят в ИВП, и температурата пред ЕФ – изходящите газове от ИВП за котли с номера 2 и 5.

Ситуацията при тези котли е сравнително по-добра. Температурите са по-високи, но не достатъчно. Включването на ЕФ при тези параметри е довело до късо в 7 от 8 агрегата при пускови операции на КА-2. И тук също са налице температури, при които в ИВП кондензира част от влагата в ДГ и се образуват отлагания (налепи) от пепел и прах по нагревните повърхности,



Фигура.10. Действителен пуск от студено състояние на ПК-38-4 при разпалване на природен газ (КА-2)



Фигура.11. Действителен пуск от студено състояние на ПК-38-4 при разпалване на природен газ (КА-5)

в следствие на което протича нискосерниста корозия. И при двата вида котли най - засегнати са последните по ход на ДГ нагревни повърхности в ИВП, а именно хоризонталните кубове. На изхода им, температурите на ДГ са най-ниски. Както бе споменато по-горе, заслуга за тези ниски температури имат и запорните клапи на въздуха. Този въздух трябва да байпасира ИВП, но малка част преминава през него и го охлажда. Най – съществена причина за ниските температури на изхода от КШ е голямото количество въздух за горене, подавано в ПК. По проект, за нормална работа на ГГ, статичното налягане на въздуха за горене към тях трябва да бъде над 4mbar. При тази стойност количеството на въздуха е няколко пъти над необходимото. Главната причина за това е техническата (конструктивна) невъзмож-

ност на клапите за въздух за горене пред праховите горелките да спрат на 100% преминаващия въздух. Този въздух не участва в горенето, но влошава топлообмена. Направени са пресмятания относно количеството природен газ, въздух за горене и получените продукти на горенето по време на пусковите операции на КА-5. Взети са данните за качеството на природен газ за всеки ден от месец януари и са осреднени (табл.4.)

Таблица.4.

№	Състав на природния газ	Означение	Дименсия	Средно за януари
1	МЕТАН/Methane	CH ₄	Мол %	96,268
2	ЕТАН/Ethane	C ₂ H ₆	Мол %	2,044
3	ПРОПАН/Propane	C ₃ H ₈	Мол %	0,624
4	и-БУТАН/ i-butane	i-C ₄ H ₁₀	Мол %	0,093
5	н-БУТАН/n-butane	n-C ₄ H ₁₀	Мол %	0,089
6	и-ПЕНТАН/i-pentane	i-C ₅ H ₁₂	Мол %	0,017
7	н-ПЕНТАН/ n-pentan	n-C ₅ H ₁₂	Мол %	0,011
8	нео-ПЕНТАН/neo-pentan	neo-C ₅ H ₁₂	Мол %	0,001
9	ХЕКСАН И ВИСШИ/ hexan & higher	i-C ₆ H ₁₄	Мол %	0,007
10	АЗОТ/ Nitrogen	N ₂	Мол %	0,689
11	ВЪГЛЕРОДЕН ДВУОКИС/ Carbon Dioxide	CO ₂	Мол %	0,158
12	СЕРОВОДОРОД+МЕР-КАПТАНИ/Hydrogen Sulphide & Mercaptan sulhur	H ₂ S+MERCAP	г/нм ³	0,013
13	ПЛЪТНОСТ/ density	Density/r	кг/нм ³	0,697
14	ДОЛНА КАЛОРИЧНОСТ/ LCV	LCV/Q	ккал/нм ³	8164,774
15	ГОРНА КАЛОРИЧНОСТ/ GCV	GCV/Q	ккал/нм ³	9050,677
16	ГОРНА КАЛОРИЧНОСТ	kWh/m ³	kWh/m ³	10,526
17	ТОЧКА на РОСА/ water dew point	WDP/T	°C	-41,582

Използвани са съотношенията за изчисление на теоретичния обем на въздуха за горене и теоретичния обем на продуктите на горенето.

- Теоретичен обем на въздуха:

$$V^o = 0,0476 \left[\sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n + 0,5(CO + H_2) + 1,5H_2 S - O_2 \right], [m^3/m^3] \quad (5)$$

$$V^o = 9,69 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

- Теоретични обеми на продуктите на горенето:

$$V_{N_2}^o = 0,79V^o + 0,01N_2, [m^3/m^3] \quad (6)$$

$$V_{N_2}^o = 7,662 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$V_{RO_2}^o = 0,01[\sum m C_m H_n + CO_2 + CO + H_2 S], [m^3/m^3] \quad (7)$$

$$V_{RO_2}^o = 1,0315 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$V_{H_2O}^o = 0,01 \left[\sum \left(\frac{n}{2} \right) C_m H_n + H_2 + H_2 S + 0,124d_f + 1,61V^o \right], [m^3/m^3] \quad (8)$$

$$V_{H_2O}^o = 2,2914 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

, където:

$d_f = 10\text{g}/\text{m}^3$ – влагосъдържание на газообразното гориво

Общото количество на ДГ се получава след като получените стойности се заместят в уравнение (9), като се вземе в предвид и допълнителното количество въздух в ПК.

$$V_{ДГ} = W_{\text{газ}} (V_{RO_2}^o + V_{N_2}^o + V_{H_2O}^o + (\alpha - 1)V^o), [m^3/m^3] \quad (9)$$

$$\alpha = W_{ГВ} / W_{\text{газ}} V^o \quad (10)$$

където:

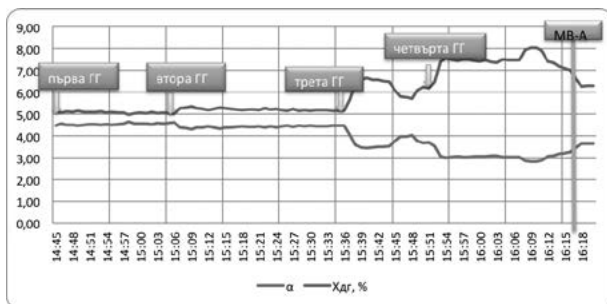
$W_{\text{газ}}$ – разход на природен газ за пусковите операции, m^3

$W_{ГВ}$ – разход на въздух за горене в периода на пуск, m^3

След като вече са известни стойностите за обема на ДГ и количеството водни пари, отделени при горенето на природния газ за единица обем се изчислява влагосъдържание на ДГ. За целта се използва следната зависимост:

$$X_{ДГ} = \frac{V_{H_2O}^o W_{\text{газ}}}{V_{ДГ}} 100, [\%] \quad (10)$$

На база получените резултати и след заместване в пусковите диаграми (фиг.5. и фиг.6.) е изградена диаграма, на която е показано изменението на коефициента на излишък на въздух (α) и влагосъдържанието в ДГ ($X_{ДГ}$). На фиг.13. е показана графика с $X_{ДГ}$ и α за пуск от студено състояние на КА-5.

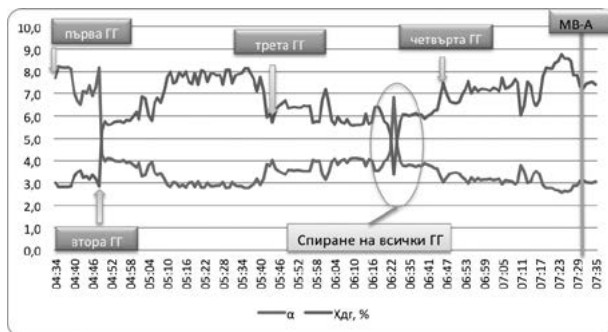


Фигура.12. Действителен пуск от студено състояние на ПК-38-4 при разпалване на природен газ (КА-5)

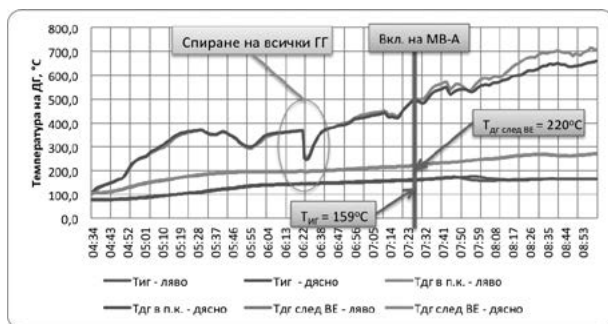
Очевидна е връзката между коефициента на излишък на въздух и влагосъдържанието в ДГ. С увеличение на α влагата в ДГ намалява и обратно. Наблюдава се много висока стойност на коефициента α , която трябва да бъде намалена. След всеки пуск на ГГ, коеф. α намалява. Това се дължи на защитните стойности за разхода на въздух за горене, под които газовата инсталация спира. Затова въздухът се държи малко над тази стойност по време на пускане още на първата ГГ и така до пускане на прахова горелка..

След анализиране на изложените по горе данни се установяват проблеми със съоръженията, повлияни главно от високото влагосъдържание на ДГ, като в същото време и температурите на ДГ пред и след ИВП са значително по-ниски от точката на росата на влагата в газовете при наличие на SO_3 . Проведен е експериментален пуск на КА-5 с новия алгоритъм, намалено е количеството на въздуха за горене с 25%. Това е малко под защитните стойности (поради което защитите бяха изведени), при които ГГ имат устойчив факел. Свалени са данните на основните експлоатационни параметри, необходими за анализа. На следващата фиг.13 са показани коефициента на излишък на въздух и влагосъдържанието в ДГ.

При сравнение на данните от фиг.13 с данните от фиг.12., се вижда трайно по ниски стойности на α , което се дължи на по-малкото въздух за горене към ПК на котела. Нормално, влагата в ДГ нараства. Поради технически проблеми с регулатора на налягане на природния газ на диаграмата е отбелязан и момента на изгасване на всички ГГ и последващото им запалване. След промяна на алгоритъма за пуск на котела, запалването на първата прахова горелка е изместено в период с по-благоприятни температури. На следващата фиг.14. е показана графиката с тези параметри при пуск на КА-5 от студено състояние, но при работеща турбина с друг котел.



Фигура.13. Действителен пуск от студено състояние (само котел) на ПК-38-4 при разпалване на природен газ (КА-5)



Фигура.14. Действителен пуск от студено състояние (само котел) на ПК-38-4 при разпалване на природен газ (КА-5)

Тук пускът е по-кратък, защото липсва подгриване на турбината, нейното развъртане, технологични задръжки и т.н. За целта на анализа това няма да повлияе на резултатите. Преди да се премине към пуск на прахова горелка, температурите на ДГ преди и след ИВП са значително по-високи. При температури над 159°C , включването на ЕФ не е съпроводено с късо съединение в агрегатите и филтрите работят нормално на 8 агрегата. След тях в работа се включва и СОИ. Включването на МВ-А е при температури на ДГ след ИВП (159°C) по-високи, от стойностите за точката на росата (149°C). В случая не се образува конденз в ИВП и се избягва образуването на налепи по тръбите, както и протичането на нискотемпературната корозия. Отварянето на клапите за въздуха към ИВП се извършва постепенно, като не се допуска понижаване на температурата на ДГ след ИВП да се понижи под 159°C .

Заклучение

Анализирано е влиянието на броя работещи газови горелки и коефициента на излишък на въздух α върху температурата ($t_{др}$) и влагосъдържанието ($X_{др}$) на димните газове, а от там и върху работата на ИВП и ЕФ.

Настоящия доклад описва новия новият алгоритъм за пуск на котлите, като са установени основните репери за включване на праховите горелки, ЕФ и СОИ, при които те да работят надеждно.

Установени са недостатъци по разпалващата схема:

- Технологично е невъзможно да се ограничи излишния въздух за горене към ПК, поради неплътности в клапата за горещ въздух към праховите горелки.

- Заложени са по-високи защитни стойности на въздуха за горене на газовата инсталация

- Включването на праховите горелки се съобразява само с температурата на ДГ в ПК, която трябва да бъде по-висока от 450°C.

Преди включването на ЕФ и на прахова горелка, от съществено значение е да се следи и температурата на ДГ след ИВП, която трябва да бъде над 159°C за да се избегне кондензацията на влагата в ДГ и последващо замърсяване на нагревните повърхности и нискотемпературна корозия.

Литература

- [1] Байкалов Н., Бонев Б., Анализ на пусковите режими на котлите в ТЕЦ „Марица Изток 2“ ЕАД, НК „Енергиен Форум 2016“, Варна 2016
- [2] Байкалов Н., Бонев Б., Анализ на праховите емисии от пусковите режими на котлите в ТЕЦ „Марица Изток 2“ ЕАД, НК „XXI Научна конференция с международно участие ЕМФ 2017“, Созопол 2017
- [3] Байкалов Н., Бонев Б., Анализ на SO_2 емисиите от пусковите режими на котлите в ТЕЦ „Марица Изток 2“ ЕАД, НК „Енергиен Форум 2017“, Варна 2017
- [4] Христов Хр., Илиев Ил., Обследване работата на топлообменниците на СОИ, Блок 7 и 8 в ТЕЦ „Марица Изток 2“ ЕАД
- [5] K. Heleston, E. Kenneth „Boiler Operator Handbook“, The Fairmont Press INC., Marcel Dekker INC, 2004
- [6] Тотев Т., Б. Игнатов, Техничко-икономическа и екологична оценка на работата на енергиен блок на лигнитни въглища - ЕНЕРГИЕН ФОРУМ 2019, стр. 120 – 130, ISSN 2367-6728, Международен дом на учените „Ф. Ж. Кюри“ к.к. „Св. Св. Константин и Елена“, Варна 2019;

- [7] Тотев Т., Б. Игнатов, Възможни решения за намаляване на въглеродните емисии при работа на енергиен блок на лигнитни въглища - ЕНЕРГИЕН ФОРУМ 2019 стр. 131 - 143 ISSN 2367-6728, Международен дом на учените „Ф. Ж. Кюри“ к.к. „Св. Св. Константин и Елена“, Варна 2019
- [8] Kohl A., Nielsen R., “Gas purification”, Gulf Publishing Company, Nouston, Texas, 1997
- [9] Тодориев Н., И. Чорбаджийски, Енергийни парогенератори, Техника, София, 1983
- [10] Чорбаджийски Ив., Промислена топлоенергетика, Техника, София, 1973

Автори

Маг. инж. Никола Емилов Байкалов, ТУ-София, катедра „Топлоенергетика и ядрена енергетика“, e-mail: nikola.baykalov@gmail.com
Проф. д-р Бончо Иванов Бонев, ТУ-София, катедра „Топлоенергетика и ядрена енергетика“, e-mail: bibonev@tu-sofia.bg