

ЕНЕРГИЕН ФОРУМ 2019

ВЪЗМОЖНИ РЕШЕНИЯ ЗА НАМАЛЯВАНЕ НА ВЪГЛЕРОДНИТЕ ЕМИСИИ ПРИ РАБОТАТА НА ЕНЕРГИЕН БЛОК НА ЛИГНИТНИ ВЪГЛИЩА

Тотьо Тотев, Борислав Игнатов

POSSIBLE SOLUTIONS FOR THE REDUCTION OF CARBON EMISSIONS DURING OPERATION OF LIGNITE POWER UNIT

Toty Totev, Borislav Ignatov

In order to continue their operation, the power plants of the Maritsa East basin have to meet the contemporary environmental requirements, which are becoming more and more stringent. Along with them, there is also an increase in the cost of carbon allowances that every fossil fuel power plant needs to buy in order to continue its operation. This increases the cost of electricity produced by them. One way to reduce carbon dioxide emissions CO₂ generated by power plants burning Bulgarian lignite is to realize a more efficient power generation cycle.

Въведение

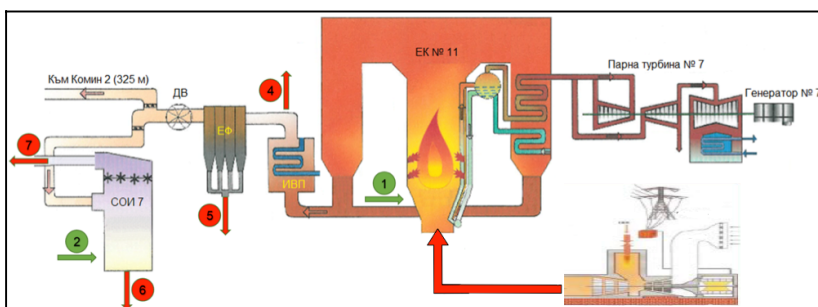
Всяка държава трябва да разчита на собствени енергийни източници. По този начин, тя получава независимост на нейната енергийна система, което води след себе си и до повишаване конкурентостта на нейната икономика. Генерираната електроенергия в Република България за 2016 год. е от следните енергоизточници: изкопаеми горива (въглища, природен газ и нефтени продукти) приблизително 48 %; ядрена енергия - 34 %, възобновяеми енергийни източници - 17 % и други – 1 %. От така цитираните данни е видно, че единственият национално значим собствен енергиен източник, са лигнитните въглища добивани от комплекса „Марица Изток“. Ето защо, ако България иска да има силна и конкурентна икономика, не трябва да се отказва с лека ръка от този енергиен източник.

За да продължат своята работа, централите от комплекса „Марица - Изток“, трябва да отговарят на съвременните екологични изисквания, които стават все по-строги. Наред с тях, се наблюдава и повишаване

на цената на квотите за въглеродни емисии, които всяка конвенционална централа трябва да закупи, за да може да работи. Това увеличава себестойността на произведената от тях електроенергия. Един от начините да се намалят емисиите от въглероден диоксид CO_2 , генерирани от централите изгарящи български лигнитни въглища, е да се реализира по-ефективен енергогенериращ цикъл. Съществуват редица решения за повишаване на КПД на енергиен блок изгарящ лигнитни въглища. В тази статия ще разгледаме случая, когато към така изградените в момента енергийни блокове в комплекса „Марица Изток“, добавим в допълнение газова турбина.

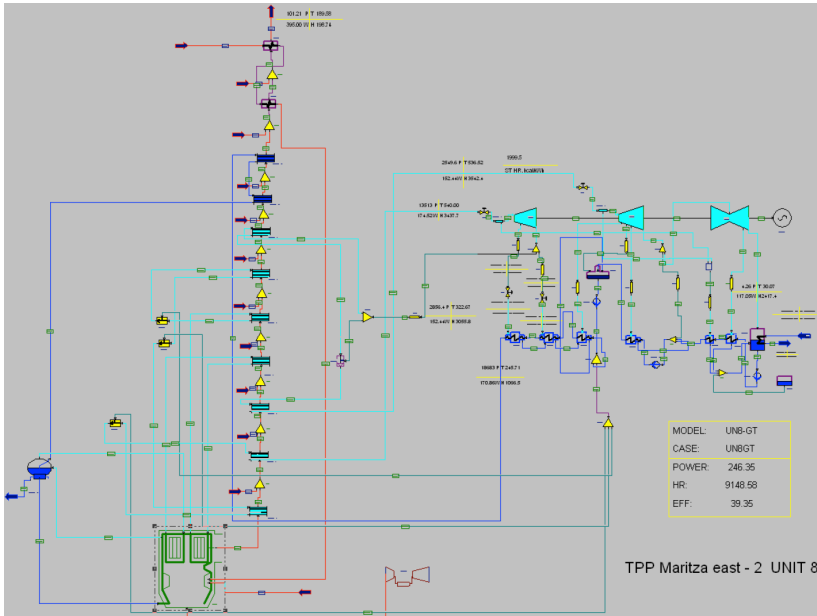
Избор на мощност на газовата турбина

В статия [1], бяха оценени технико-икономическите и екологичните показатели на един енергиен блок изгарящ български лигнитни въглища. Симулirаният в софтуерната среда GateCycle енергиен блок е с на най-масово използвания енергиен котел, а именно П-62. Той е монтиран в моноблок с парна турбина. За да повишим неговата ефективност, към сега съществуващия енергиен блок добавяме газова турбина, към която има генератор, като димните газове които я напускат се подават към сега съществуващия енергиен котел (Фиг. 1). Газовата турбина е предвидено да изгаря природен газ, тъй като това гориво отделя най-малко въглеродни емисии от всички изкопаеми горива.



Фигура 1. Общ вид на топлинната схема на енергиен блок с котел тип П-62 и газова турбина към него

Така описаната схема бе моделирана в софтуерната среда GateCycle и е представена в общ вид на Фиг. 2.



Фигура 2. Моделиране на, комбиниран цикъл на енергиен блок на лигнитни въглища и газова турбина към него, в софтуерна среда GateCycle

Изборът на единична мощност на газвата турбина е съобразена със следните ограничения:

- Съществуващият енергиен блок да може да работи самостоятелно, т.е. неговата работа да не зависи от работата на газвата турбина;
- Работният диапазон на енергийния блок изгарящ лигнитни въглища да се запази в сегашния си вид (от 145 до 225 MW);
- Да не се правят съществени промени по съществуващите съоръжения в енергийния блок.

В софтуерната среда GateCycle, бяха разиграни редица варианти за да подберем такава мощност на газвата турбина, която да изпълни горните условия. При така предложената схема, на включване на газвата турбина, към съществуващ енергиен блок, димните газове след газвата турбина, които са с висока температура, над 585 °С, се подават към пещната камера на енергийния котел. Той изпълнява ролята на котел утилизатор, който усвоява топлината носена от димните газове след газвата турбина. Това води до няколко положителни ефекта, а именно:

- Намалява се разхода на гориво от лигнитни въглища (при запазване електрическата мощност);
- Намалява се концентрацията на серен диоксид в димните газове;
- Намалява се концентрацията на въглероден диоксид в димните газове;
- Намалява се и концентрацията на други замърсители в димните газове, като прах, тежки метали, живак и други;
- Намаляване на количеството организиран въздух подаван за горене към горивните уредби на енергийния котел;
- Намаляване на собствените нужди на енергийния блок.
- И др.

Бяха извършени моделни изследвания с 3 различни по-мощност газови турбини: 20 MW; 37,5 MW; 75 MW.

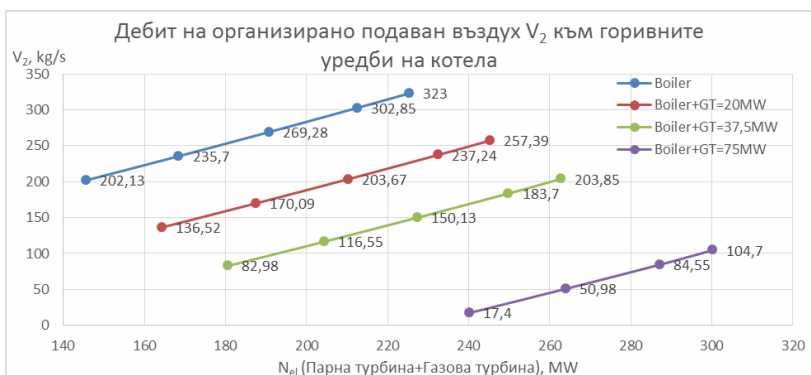
Димните газове след газовата турбина, подавани към пещната камера на котела съдържат в себе си около 16 % кислород. Това води до намаляване на количеството организиран въздух подаван към котела. Ето защо изнесеня въздухоподгревател (ИВП) има опасност да остане без достатъчно дебит въздух, който да го охлади. Това може да доведе до неговото разрушаване. Ето защо при избора на мощност на газовата турбина, едно от основните условия е да има достатъчен обем на организиран въздух, който да охлажда димните газове в ИВП. Ако това условие не се изпълни и се постави по-голяма като мощност газова турбина, това ще доведе до необходимостта от извършване на реконструкция в опасната част на котела, свързана с ИВП.

На Фиг. 3 в графичен вид са представени, част от получените от симулационните изследвания резултати. На нея е визуализирано изменението на дебита организиран въздух подаван за горене към горивните уредби на котела, след ИВП, като функция от произведената електрическа енергия от енергийния блок (парна турбина + газова турбина) и при различна мощност на газовата турбина включена към него (20 MW; 37,5 MW; 75 MW).

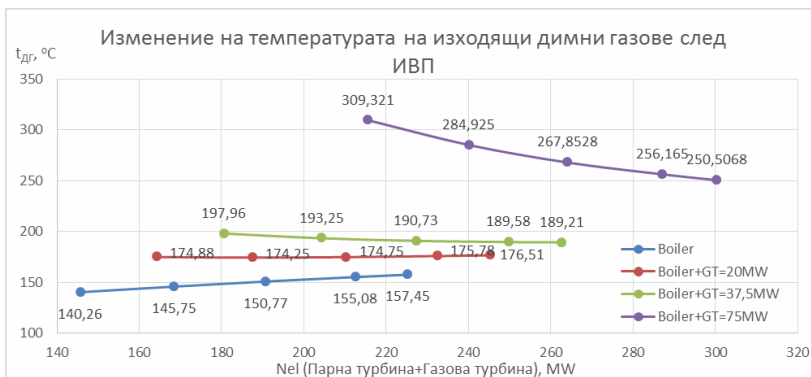
На Фиг. 4 е представено изменението на температурата на изходящите димни газове, след ИВП, като функция от произведената от блока електрическа енергия.

От така представените резултати е видно, че изборът на мощност от 37,5 MW на газотурбинния агрегат е най-подходящ за така поставените цели, защото:

- Работният диапазон на енергийния блок е от 180 до 262 MW. Ако разглеждаме електрическа мощност, получената само от парната турбина то тя е от 143 до 225 MW, т.е. работният диапазон на въглищния блок се запазва;
- Има достатъчно дебит на организиран въздух, който да преминава и да охлажда ИВП;
- Температурата на димните газове след ИВП се изменя в диапазона от 197,96 °C при минимален товар, до 189,21 °C при максимален товар.



Фигура 3. Изменение на дебита на организирано подавания въздух за горене, подаван към горивните уредби на котела, като функция от мощността на газовата турбина, при различно производство на електрическа енергия



Фигура 4. Изменение на температурата на изходящи димни газове след ИВП, като функция от мощността на газовата турбина, при различно производство на електрическа енергия

Технико-икономическа оценка на комбиниран цикъл на енергиен блок на лигнитни въглища и газова турбина

Технико-икономическата оценка на работа на комбиниран цикъл на енергиен блок на лигнитни въглища и газова турбина, бе извършена в софтуерната среда GateCycle. Симулирани бяха 4 топлинни схеми с минимални изменения по тях:

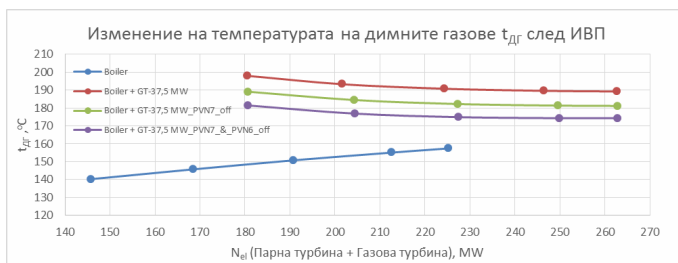
- Схема 1 – работа на енергиен блок само на лигнитни въглища;
- Схема 2 – комбинирана работа на енергиен блок (енергиен блок на лигнитни въглища с добавена към него газова турбина с мощност от 37,5 MW);
- Схема 3 – комбинирана работа на енергиен блок - енергиен блок на лигнитни въглища с добавена към него газова турбина с мощност от 37,5 MW и изключен подгривател високо налягане ПВН 7;

Схема 4 – комбинирана работа на енергиен блок - енергиен блок на лигнитни въглища с добавена към него газова турбина с мощност от 37,5 MW и спрени подгриватели високо налягане ПВН 6 и ПВН 7;

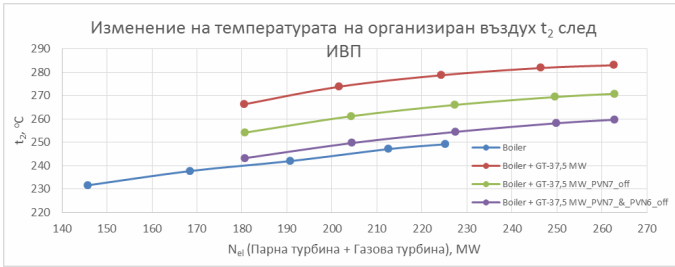
Схема 3 и Схема 4 се явяват леко изменение на Схема 2. При тях се изключват регенеративни подгриватели високо налягане, като с това се търсят следните ефекти:

- Да се намали температурата на подхранваща вода, подавана на вход на економайзера на котела;
- Да се понижи температурата на димните газове, след ИВП.

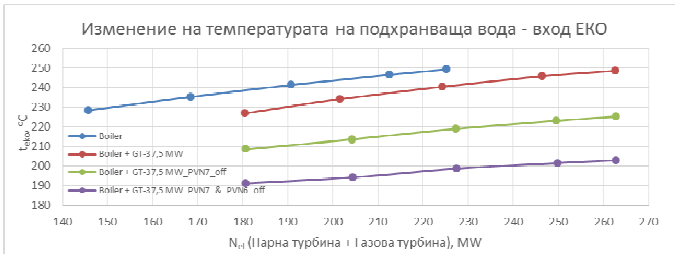
Получените резултати са обобщени в табличен вид в Табл. 1. В нея за всяка от схемите са показани данни за минимален, среден и максимален товар на блока. За по голяма прегледност, част от резултатите за дадени и в графичен вид по-долу.



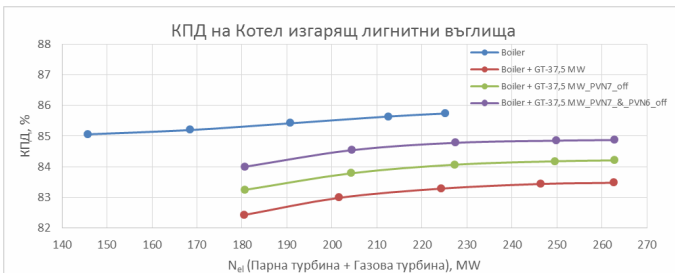
Фигура 5.



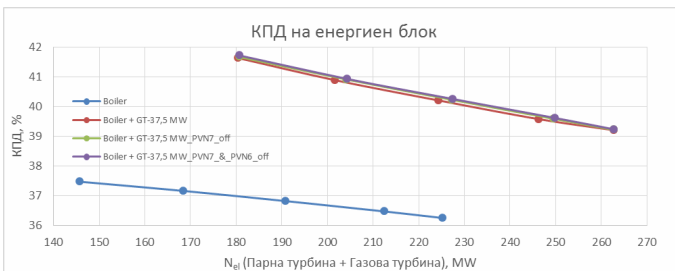
Фигура 6



Фигура 7



Фигура 8



Фигура 9

Таблица 1 – Резултати от моделните изследвания на комбиниран цикъл на енергиен блок на лигнитни въглища и газова турбина при четири топлинни схеми. За всяка от схемите са дадени резултатите за минимален, среден и максимален то-вар.

№	Величина	Дим	Котел	Котел + ГТ=37,5 MW			Котел + ГТ=37,5 MW (без ПВН 7)			Котел + ГТ=37,5 MW (без ПВН 7 и ПВН 6)				
				Схема 1			Схема 2			Схема 3			Схема 4	
1	Разход на гориво - лигнитни въглища	t/h	216,7	288,7	346,3	180,7	252,7	310,3	180,7	252,7	310,3	180,7	252,7	310,3
2	Разход на гориво - природен газ	t/h	0,0	0,0	0,0	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
3	Произведена електрическа енергия от парната турбина за 1 час	MWh	145,7	190,8	225,3	143,0	186,8	225,2	143,2	189,8	225,2	143,2	189,9	225,3
4	Произведена електрическа енергия от газовата турбина за 1 час	MWh	0,0	0,0	0,0	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5
5	Произведена електрическа енергия от енергийният блок за 1 час	MWh	145,7	190,8	225,3	180,5	224,3	262,7	180,7	227,3	262,7	180,7	227,4	262,8
6	КПД на енергийния блок	%	37,5	36,8	36,3	41,6	40,2	39,2	41,7	40,2	39,2	41,7	40,3	39,2
7	КПД на енергийния котел	%	85,1	85,4	85,7	82,4	83,3	83,5	83,3	84,1	84,2	84,0	84,8	84,9
8	Температура на димни газове след ИВП	°C	140,3	150,8	157,5	198,0	190,7	189,2	189,1	182,2	181,1	181,4	174,9	174,3
9	Дебит на димни газове след ИВП	kg/s	291,9	375,6	442,5	269,5	353,2	420,1	269,5	353,2	420,1	269,5	353,2	420,1
10	Температура на организиран въздух след ИВП	°C	231,6	241,9	249,2	266,2	278,7	283,0	254,1	266,0	270,7	243,2	254,4	259,7
11	Дебит на организиран въздух след ИВП	kg/s	202,1	269,3	323,0	83,0	150,1	203,9	83,0	150,1	203,9	83,0	150,1	203,9
12	Температура на подхранваща вода - вход на ЕКО	°C	228,3	241,3	249,2	226,8	240,3	248,6	208,5	218,9	225,2	191,2	198,6	202,9
13	Дебит на подхранваща вода - вход ЕКО	kg/s	118,6	155,7	185,5	115,1	152,3	182,1	112,0	147,3	175,3	109,6	143,0	169,4
14	Температура на свежа пара - вход на ЦВН	°C	539,5	544,7	547,6	537,5	543,2	546,4	538,2	544,8	548,2	538,5	545,9	549,6
15	Дебит на свежа пара - Вход на ЦВН	kg/s	119,4	158,4	189,4	115,4	155,0	186,2	112,9	150,6	180,2	111,6	147,6	175,5
16	Температура на пара - вход Кондензатор	°C	26,7	29,1	31,0	26,4	28,9	30,8	26,5	29,1	31,0	26,8	29,4	31,4
17	Дебит на пара - ход на Кондензатор	kg/s	82,8	107,1	126,1	80,2	105,0	124,2	81,5	106,9	126,6	82,9	108,9	129,2
18	Налягане в кондензатора	kPa	3,5	4,0	4,5	3,4	4,0	4,4	3,5	4,0	4,5	3,5	4,1	4,6

От така представените резултати можем да направим следните изводи:

- Колкото повече намаляваме подаването на пара към РГВН, толкова повече намалява температурата на изходящи димни газове след ИВП (Фиг. 5). При случая, при който сме изключили РГВН 6 и 7, $t_{дг}$ заема стойности от 181,4 °С при минимален товар, до 174,3 °С при максимален. Тези температури се доближават най-много до стойностите които имаме, когато енергийния блок изгаря само лигнитни въглища;

- От изменението на температурата на подхранваща вода, показана на Фиг. 7 се вижда, че с колкото по-ниска стойност постъпва тя в котела, толкова температурата на димните газове след ИВП намаляват, което води до намаляване на загубите с изходящи газове генерирани от енергийния котел, Фиг. 8;

- От стойностите за КПД на енергийния блок (Фиг. 9) се вижда, че когато към енергийния блок на лигнитни въглища добавим газова турбина, ефективността на блока се повишава. Това се обяснява с високия коефициент на полезно действие на газотурбинния модул от една страна, а от друга и последващото утилизиране на димните газове напускащи газовата турбина с висока температура и подаването им към енергийния котел. Средното увеличение на КПД на енергийния блок е около 3,5 %.

Екологична оценка на изгарянето на комбиниран енергиен блок

При реализирането на схема, при която към съществуващ енергиен блок на лигнитни въглища, добавим газова турбина с $N_{ен}=37,5$ MW, наред с повишаване на инсталираната мощност и повишаване на КПД на блока, се наблюдава и намаляване на емисиите от замърсители и парникови газове. Най-голямо намаление се наблюдава при емитирането на следните газове:

- Въглероден диоксид CO_2 – той е парников газ и намаляването на емисиите от него се дължи на следните причини:

- Намаляване на изгаряното количество лигнитни въглища, средно с около 36 t/h (за едно и също количество произведена електрическа енергия);
- Генериране на по-малки емисии при изгарянето на природен газ;
- Повишаване на КПД на така предложената топлинна схема.

- Серен диоксид SO_2 – намаляването на емисиите се дължат на:
 - Намаляване на разхода на изгаряните лигнитни въглища (за едно и също количество произведена електрическа енергия);

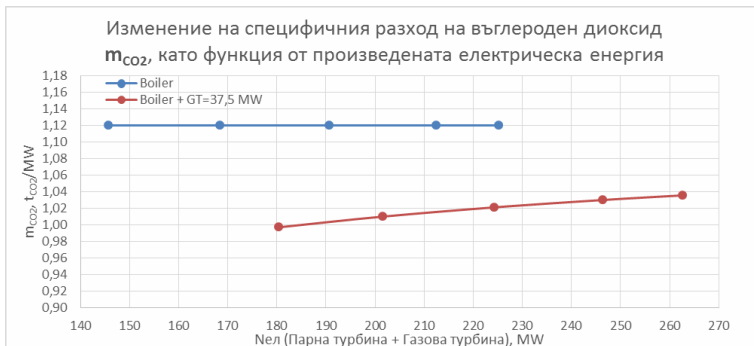
С помощта на данните, представени в Табл. 1, са пресметнати какви ще бъдат масовите потоци на въглероден оксид CO_2 и серен оксид SO_2 , генерирани от енергийния блок при разгледаните 4 случая. Резултатите са представени в Табл. 2.

Таблица 2 – Определяне на масовия и специфичния разход на въглероден диоксид и на серен диоксид, при различни режими на работа на енергиен блок

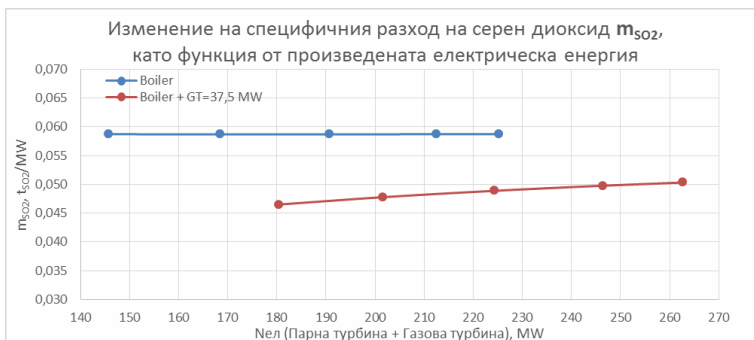
Величина	$N_{\text{ел}}$	$V_{\text{лиг В-ща}}$	$V_{\text{Пр. Газ}}$	M_{CO_2}	M_{SO_2}	m_{CO_2}	m_{SO_2}
Дименсия	MW	t/h	t/h	t/h	t/h	t/MW	t/MW
Котел	145,74	216,72	0,00	163,27	8,56	1,12028	0,05873
	168,53	252,72	0,00	188,81	9,89	1,12033	0,05868
	190,79	288,72	0,00	213,74	11,20	1,12029	0,05870
	212,53	324,78	0,00	238,10	12,48	1,12031	0,05872
	225,28	346,32	0,00	252,38	13,23	1,12029	0,05873
Котел + ГТ=37,5 MW	180,49	180,72	7,20	179,99	8,39	0,99725	0,04651
	201,64	216,72	7,20	203,68	9,64	1,01015	0,04779
	224,30	252,72	7,20	229,08	10,97	1,02128	0,04889
	246,35	288,72	7,20	253,78	12,26	1,03015	0,04977
	262,74	310,32	7,20	272,13	13,22	1,03577	0,05033
Котел + ГТ=37,5 MW (без ПВН 7)	180,70	180,72	7,20	180,23	8,41	0,99739	0,04653
	204,27	216,72	7,20	206,63	9,79	1,01157	0,04793
	227,28	252,72	7,20	232,41	11,14	1,02258	0,04902
	249,62	288,72	7,20	257,44	12,45	1,03133	0,04989
	262,74	310,32	7,20	272,14	13,22	1,03577	0,05033
Котел + ГТ=37,5 MW (без ПВН7 и ПВН 6)	180,70	180,72	7,20	180,23	8,41	0,99739	0,04653
	204,38	216,72	7,20	206,75	9,80	1,01163	0,04794
	227,41	252,72	7,20	232,55	11,15	1,02263	0,04903
	249,85	288,72	7,20	257,70	12,47	1,03141	0,04990
	262,76	310,32	7,20	272,16	13,22	1,03578	0,05033

От статия [1] ни е известно, че при експлоатацията на енергиен блок на лигнитни въглища, специфичния му разход на въглероден диоксид m_{CO_2} е 1,1203 $t_{\text{CO}_2}/\text{MWh}$. При моделирането на работата на газовата турбина с мощност от 37,5 MW, сме използвали като гориво чист метан CH_4 . Специфичният разход на въглероден диоксид на газовата турбина е 0,528 $t_{\text{CO}_2}/\text{MWh}$. Ето защо, когато заменим част от изгаряните лигнитни въглища с изгаряне на чист метан, то сумарното количество на емисиите от въглероден диоксид генерирани от комбинирания енергиен блока, намаляват. Това се вижда, както от резултатите представени

ни в Табл. 2, така и от Фиг. 10. От нея още е видно, че с намаляване на произведената електрическа енергия от енергийния блок, специфичния разход на CO_2 намалява. Това е така, тъй като промяната на натоварването на блока става единствено с намаляване на разхода на лигнитни въглища, докато газовата турбина работи на постоянна мощност. Редуцирането на емисиите от въглероден диоксид е от 7,54 % при максимален товар, до 10,98 % при минимален.



Фигура 10



Фигура 11

Както бе споменато по-горе, намаляването на емисиите от серен диоксид SO_2 , се дължи най-вече на липсата на съдържание на сярата в газовото гориво изгаряно от газовата турбина. На Фиг. 11 е показан как се изменя специфичния разход на серен диоксид, като функция от произведената от блока електрическа енергия. При максимален товар, това намаление е с 14,30 % и нараства до 20,81 % при минимален товар. Това се дължи отново на факта, че намаляването на товара на блока

се осъществява за сметка на намаляването на изгарянето на лигнитни въглища, а именно в тях се съдържа и сярата, при изгарянето на която се генерира серен диоксид в димните газове.

Изводи

Комбинирането на един енергиен блок, изгарящ лигнитни въглища от комплекса „Марица Изток“ с газова турбина с мощност от 37,5 MW има следните предимства:

1. Предложената схема, по която могат да работят комбинирано: газовата турбина и енергийния блок на лигнитни въглища е с минимални изменения. Наличието на газова турбина не нарушава работоспособността на съществуващия блок и той запазва възможността си да работи и самостоятелно;

2. Увеличава мощността на енергийния блок с 37,5 MW и достига до 262,7 MW, като в същото време се запазва работния диапазон на конвенционалния блок (от 145 до 225 MW);

3. КПД на комбинирания цикъл на енергиен блок на лигнитни въглища и газова турбина (от 37,5 MW) се увеличава средно с 3,5 %;

4. Намалява се разхода на лигнитни въглища с около 36,0 t/h при максимален товар, което ще доведе след себе си и до намаляване на собствените нужди на блока за подготовка на горивото;

5. Намалява се генерирането на емисии от въглероден диоксид CO₂ от енергийния блок с от 7,45 % при максимален товар, до 10,98 % при минимален товар. Това ще намали разходите на блока за закупуване на въглеродни квоти;

6. Намалява се генерирането на емисии от серен диоксид SO₂ с от 14,30 % при максимален товар, до 20,81 % до минимален товар. Това ще доведе до допълнителни икономии от: доставка на варовик; намаляване на собствените нужди на блока за подготовка на варовика и последващото му използване в сероочистваща инсталация СОИ;

7. Намаляването на разхода на лигнитни въглища ще доведе след себе си и до намаляване на емисиите и на други замърсители, като: прах; живак, флуориди; хлориди; и др.;

8. Намаляване на собствените нужди на енергийния блок като цяло. Количествена оценка на този ефект ще бъде показан в следващите разработки.

Литература:

[1] Т. Тотев Игнатов, Б Техничко- икономическа и екологична оценка на работата на енергиен блок на лигнитни въглища, Енергиен форум 2019;

[2] Бонев Б, Актуална проблематика на българската енергетика., „Енергиен форум – предизвикателства към българската енергетика“, София, стр. 84-89, 2018;

[3] Григоров Ал., Т. Тотев, Б. Бонев, Симулационен модел на паротурбинна инсталация К-165-130, XII-та Научна Конференция с международно участие – ЕМФ '2007, ISSN 1314-5371, 16-18 септември 2007, „Св. св. Константин и Елена“, том 1, стр. 9-16;

[4] Григоров А., Енергийна ефективност на комбинирано топло и електропроизводство с използване на парна турбина с противоналягане, XIII НК „ЕМФ'2008“, т. I, стр. 145-154, Созопол, 17-19.09.2008.

[5] Христов К., Ив. Геновски, „Оценка на икономията на гориво при паротурбинни инсталации за комбинирано производство на основата на симулационно моделиране“, XVIII Научна конференция с международно участие ЕМФ 2013, Созопол 2013;

[6] Alexander Grigorov, Comparative Analysis between Single- and Two-stage District Water Heating by Backpressure Steam Turbine, International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR) (2016) ISSN 2307-4531, Volume 27, No 1, pp 187-198;

[7] Mohamed Q. Jabbar, Boncho Bonev, Alexander Grigorov “Simulation calculation of Al Anbar combined power plant”, “Thermal Engineering”, Vol. 7, ISSN 1314-2550, pp.49-52, Varna, Bulgaria, 2014

Автори:

проф. д-р инж. Тотю Иванов Тотев, Технически Университет – София, катедра Топлоенергетика и ядрена енергетика, t-totev@tu-sofia.bg.

гл. ас. д-р инж. Борислав Митков Игнатов, Технически Университет – София, катедра Топлоенергетика и ядрена енергетика, lgnatov.borislav@gmail.com.