

ПЛЕНАРНИ ДОКЛАДИ

ЕНЕРГИЕН ФОРУМ 2024

АЛТЕРНАТИВНИ РЕШЕНИЯ ЗА НАМАЛЯВАНЕ CO₂ ЕМИСИИТЕ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА СЪОРЪЖЕНИЯТА В ТЕЦ „МАРИЦА ИЗТОК 2“

Тотьо Тотев

ALTERNATIVE SOLUTIONS FOR REDUCING CO₂ EMISSIONS DURING THE OPERATION OF THE FACILITIES IN MARITSA IZTOK 2 TPP EAD

Totyó Totev

Abstract: This article examines technologies for the reduction of pollutants released into the atmosphere during the utilization of Bulgarian lignite from the Maritsa East complex, as well as possibilities for replacing the available fuel base with fuels with a lower carbon footprint, in order to achieve a sustainable level of environmental protection, which would guarantee the energy independence of the Republic of Bulgaria, by keeping the large energy generating capacities in operation, until such a time when the developing new technologies do not reach a level guaranteeing both their ecological and economic advantage.

Keywords: emissions from combustion plants, carbon dioxide, gas turbine, CCGT.

ВЪВЕДЕНИЕ

Със засилване на опасенията, относно изменението на климата, загубата на биологично разнообразие и замърсяване на околната среда, в следствие на антропогенната дейност, светът се опитва да възприема все по-сериозни стъпки към устойчиви практики и политики при генерацията на енергия.

Постигането на устойчиво развитие е неминуемо свързано с ограничаване на ефектите от човешката дейност върху природата, а именно – редуциране на замърсителите, отделяни в околната

среда. Основен стълб на постигането на тези цел е Рамковата конвенция на ООН по изменение на климата (РКООНИК), която е основното международно споразумение за действията в областта на климата. Тя е и една от трите конвенции, приети на срещата на върха за Земята в Рио де Жанейро през 1992 г., където международната общност признава необходимостта от колективни действия, за да се защитят хората и околната среда, чрез намаляване на емисиите на парникови газове. В средата на 90-те години на ХХ век страните, подписали РКООНИК, осъзнават необходимостта от по-строги разпоредби за редуциране на емисиите, в резултат от което през 1997 г., те договарят Протокола от Киото, с който за развитите държави се въвеждат за първи път правно обвързващи цели за намаляване на емисиите. Съгласно решенията от Споразумението по Рамковата конвенция на ООН за изменение на климата в Париж (Парижкото споразумение от 2015 г.), страните се ангажират да предприемат мерки за задържане покачването на средната температура в световен мащаб до значително под **2 °C** над нивата от преиндустриалния период. В тази връзка, Европейската комисия (ЕК) прие редица законодателни мерки и инициативи на ниво ЕС. Централно място в политиката на ЕС в областта на енергетиката и климата до 2030 г. заема: **40%-ното** намаление на емисиите на парникови газове спрямо равнището от 1990 г. чрез преход към нисковъглеродна икономика, подобрене на енергийната ефективност най-малко с **32,5%**, нова обвързваща цел от поне **32%** дял на енергията от възобновяеми източници в брутното крайно потребление на енергия, както и поне **15%** междусистемна електроенергийна свързаност. Крайната цел на ЕС е постигане на неутралност по отношение на климата до 2050 г.

Инкорпорирането на необходимите политики и дейности за постигането на тези до известна степен доста оптимистични цели, е невъзможно да бъде постигнато мигновено. Рязкото ограничаване или пълното спиране на работа на конвенционалните индустриални и енергогенериращи комплекси, използващи основно изкопаеми природни ресурси, на които се пада и най-голям дял на изпускните в околната среда замърсители, би довело до колапс на съвременното общество.

Видимо е, че едно такова решение не може да се нарече „устойчиво“, а напротив – то би изправило социално-икономическите норми пред крах, който няма как да бъде аргументирано защитен дори и от гледна точка на предотвратяването на изменението на климата на планетата.

Единственият подход за постигане на екологичните цели, чрез който тежестта от необходимите промени, да бъде разпределена във времето, по начин гарантиращ минимален негативен ефект върху правата на човечеството и качеството на живот е:

Идентифициране и имплементиране на технологични решения за поетапно редуциране на количествата замърсители, изпускани в околната среда и паралелно разработване на нови технологии, които да имат нулев или близък до нулев емисионен отпечатък.

Настоящата статия разглежда технологии за редукция на замърсители, изпускани в атмосферата при утилизацията на български лигнитни въглища от комплекса „Марица изток“, както и възможности за подмяна на наличната горивна база с горива с по-нисък въглероден отпечатък, с цел постигане на устойчиво ниво на опазване на околната среда, което да гарантира енергийната независимост на Република България, чрез запазване в експлоатация на големите енергогенериращи мощности, до такъв момент, в който развиващите се нови технологии не достигнат ниво, гарантиращо както екологичното им така и икономическо предимство.

Необходимо е да бъде разгледана, анализирана и оценена работата на енергопреобразуващата технология за производство на електрическа енергия, основана на оползотворяването на българските лигнитни въглища, през призмата на съвременните екологични изисквания.

На основата на направените оценки да се обосноват алтернативни предложения на технологични решения, които да дават възможност за запазване енергийната независимост на страната ни, което да гарантира икономическата стабилност на държавата.

Необходимо е да се стремим към изпълнение на Европейските екологични изисквания (в частта им емисии от CO₂) с хоризонт 2030 год. (2050 год.), като насочим нашите усилия към запазване дела на произвежданата ел. енергия от нашия, собствен енергиен ресурс (лигнитните въглища), колкото е възможно по-дълго време.

Усилията ни трябва да бъдат насочени към следното:

- Въвеждане на мероприятия по повишаване енергийната ефективност при производството на ел. енергия от лигнитните въглища;
- Въвеждане на паро-газови цикли в нашите термични централи, чрез съвместното използване на природен газ и местни въглища и дори изключване на въглищата като енергийно гориво, ако това е наложено от европейските изисквания;
- Паралелно със стремежа за намаляване на емисиите от CO₂, при изгарянето на органични горива, е необходимо да изпълняваме и Директива 75/2010 на Европейската комисията за вредните емисии изхвърляни от Големи Горивни Инсталации – актуализираните изисквания са посочени в Заключениеята на Най-добрите Налични Техники (НДНТ) от 2017 год. Изпълнението на тези изисквания са напълно възможни от Българските Големи Горивни Инсталации.

Едновременното Изпълнението на изискванията на европейското екологично законодателство и гарантиране на българската енергийна сигурност изисква, решаването на следните конкретни технологични задачи:

Задача № 1: Внедряване на технологични решения за редуциране на вредните емисии (азотни оксиди, серни оксиди, въглероден оксид, прах, живак и др.) изхвърляне в околната среда до Пределно Допустимите Норми, залегнали в европейското и националното законодателство [1, 5, 6];

Задача № 2: Внедряване на нови, иновативни решения, чрез които се търси възможност за повишаване на коефициента на полезно действие на термодинамичния процес при оползотворяването на българските енергийни ресурси [2, 6, 9];

Задача № 3: Създаване и изграждане на нови и/или адаптирани енергопреобразуващи технологични решения, при които се дава възможност за съвместното използване на националния енергиен ресурс (българските лигнитни въглища) и енергийни горива с по-нисък въглероден отпечатък, например: природен газ [3, 7, 10];

Задача № 4: Прилагане на технологични решения, при които се използва наличното технологично оборудване (на термичните централи) при пълна замяна на въглищата с енергийни горива, генериращи въглеродни емисии в рамките на допустимите в нормативните документи.

ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧАТА

По изпълнението на Задача №1, няма да се спирам подробно. Ще споделя само, че през последните 10-15 години работихме много задълбочено по разработването на различни технологични решения за намалението на вредните емисиите от NO_x , SO_2 , CO и прах в димните газове изхвърляни от Големите Горивни Инсталации (ГГИ) в Комплекса „Марица Изток“. Реализираните технологични решения за постигане на емисиите на по-горе упоменатите замърсители до Пределно Допустимите Стойности, са успешно реализирани за всички блокове в ТЕЦ „Марица Изток 2“ и при работата на всички Сяроочистващи инсталации на територията на централата. Тези наши реализации са намерили публичност на различни научни форуми включително на НТК „Енергиен Форум“ през годините.

През последните няколко години в наши публикации, отделяме значително място на различни изследвания, които са свързани с предложения за намаляване на емисиите от въглероден диоксид (CO_2) [4, 8]. Основният подход, който прилагаме, бе свързан със: **съвместното изгаряне на въглища и природен газ.**

Както е посочено в редица предишни публикации [5, 7], съвместяването на работата на газова турбина, работеща по цикъла на Джаул, с работата на въглищен енергиен блок се очаква да повиши термичният коефициент на полезно действие на целия цикъл. Наред с това очакване, трябва да се отговори на значителен брой допълнителни въпроси, като например:

1. **Възможно ли е да се съвмести** изгарянето на лигнитни въглища с природен газ в сега съществуващата технология, която използва само въглища? Ако е възможно, трябва да се определи мястото в съществуващия термодинамичен цикъл, където е най-изгодно да се обединят двата цикъла?

2. Да се подбере такава мощност на използваната газова турбина, която да не води до значими промени по основните съоръжения на сега реализираната технология. Този факт ще даде възможност за правомерна и адекватна основа за сравнителен анализ на сега съществуващата технология и предлаганата такава;
3. Да се оценят основните технически данни на двете технологии, като: коефициент на полезно действие на цикъла; оценка на емисиите от въглероден диоксид; оценка на емисиите от серен диоксид др. такива;
4. Какви ще бъдат отклоненията (в температури и дебити) на паро-газо-въздушните потоци във въглищния блок?;
5. Какви се очаква да бъдат разходите при извършване на една такава реконструкция и др.?

Получени резултати от редица публикации са представени в [3, 11].

В настоящата публикация, ще се спра на получени резултати при решението на Задача №4, а именно: **Прилагане на технологични решения, при които се използва наличното технологично оборудване (на термичните централи) при пълна замяна на въглищата с енергийни горива, генериращи въглеродни емисии в рамките на допустимите в нормативните документи**

Повишените и постоянно повишаващите се изисквания, от една страна на Европейската комисия, към емисиите от CO_2 , както и повишаващите се цени на емитираните въглеродни емисии във въздуха, водят до значителни загуби на конкурентоспособност на произвежданата енергия от въглища. Направените разглеждания, в други публикации, очевидно показват, че оставането на въглищата като енергийно гориво на пазара на произвежданата енергия ще бъде изключително трудно за бъдеще.

Едно от алтернативните решения, за нашия електрогенериращ отрасъл, е Да бъде променена енергийно-суровинната основа на нашата енергетика. Страната да внася енергийно гориво, което да има нисък (приемлив) „въглероден отпечатък“ и на тази основа да добива електрическа енергия, която да бъде конкурентна на вносната такава. Съседните на България страни (Гърция и Румъния) влагат значими инвестиции в изграждането на електрически централи, които използват като

енергийно гориво – природен газ. Най-често технологията, която се реализира там е паро-газови цикли. Началните инвестиции за изграждане на такива съоръжения, към настоящия момент, са около 600-700 Euro/kW (за площадки на които има изградена инфраструктура). С времето газовите турбини, включени в паро-газови цикли (CCGT), станаха предпочитана технология за електропроизводство на базов и междинен товар. Обичайно те се състоят от 1 или повече газогенераторни конфигурации (газови турбини плюс електрогенератори), парогенератори-рекуператори (утилизатори) и парогенераторна конфигурация (парна турбина плюс електрогенератор). Напредък в технологията на газовите турбини доведе до значително повишена ефективност на паро-газовия цикъл. В някои централи, където се използват газови турбини от клас *H*, ефективността на цикъла достига от над 60%.

СТАНДАРТНИ ВАРИАНТИ

За прилагане на паро-газовата технология, традиционно се използват следните конфигурации:

- Вариант 1 на 1 (1x1), който включва 1 конфигурация газова турбина с генератор, утилизатор и 1 конфигурация парна турбина с генератор;
- Вариант 2 на 1 (2x1), който включва 2 конфигурации с газови турбини с генератори, 2 утилизатора и 1 конфигурация парна турбина с генератор
- Използват се и други варианти, например 3x1, но те не се предлагат стандартно от производителите.

СЪВРЕМЕННИ ТЕНДЕНЦИИ

Фокусът на всички големи производители на газови турбини през последните няколко десетилетия, беше върху това да се подобри топлинната ефективност на същите. Очаква се това състезание, в преследването на все по-висока ефективност – което се базира на традиционната работа на електроцентралите с базов товар – да продължи.

Въпреки, че високата ефективност е важна, с разширяването на непостоянната ел. енергия от възобновяеми източници на всички големи пазари, нуждата газовите турбини участващи в паро-газовия цикъл да бъдат гъвкави и да работят

циклично, става все по-голяма. При това положение, големите производители на оригинално оборудване, се концентрират върху създаването на CCGT, с по-малко време за стартиране и способност за „линейно“ повишаване/понижаване на товара.

Много често възложителите (избрали да построят CCGT) предпочитат изборът на газови турбини от клас F, тъй като тези от клас H имат твърде висока мощност. Обхватът на газовите турбини от клас F е в диапазона 265-450 MW в „отворен цикъл“ и 400-685 MW при конфигурация на паро-газов цикъл 1+1 (съгласно ISO). При газовите турбини от клас H, обхватът е 445-595 MW в отворен цикъл и 660-840 MW – при конфигурация 1+1 (съгласно ISO).

Естествено възниква въпросът: Възможно ли е да бъде реализиран паро-газов цикъл, при пълна подмяна на въглищата с природен газ, като се запази (респ. използват в новата технологична схема), част от енергетичното оборудване на площадката на нашите централи в Комплекса „Марица Изток“?

Както е добре известно, освен газова турбина, за реализирането на паро-газов цикъл (CCGT) са необходими котли-утилизатори и парни турбини. Котлите-утилизатори и парните турбини, в тези цикли, се проектират съвместно. Стойността на тези 2 съоръжения, на световния пазар, представлява над 75 % от общата стойност на всички основни съоръжения в един CCGT, т.е. стойността на газовата турбина е едва около 25 % от общата такава.

В ТЕЦ „Марица Изток 2“, както е посочено в Глава 1, има изградени 8 котела тип ПК-38-4М и 4 котела тип П-62. Освен това парните турбина и генераторите към тях (за котли ПК-38-4М) са относително нови. Въведени са в експлоатация в периода 2004-2010 год. и са тип TCDF-36, производство на Toshiba-Япония, с много нисък специфичен разход на пара (средно около 8 000 kJ/kWh). Котлите ПК-38-4М, независимо че са използват за изгаряне на въглища, в своята оригинална спецификация те са газо-мазутни котли.

Изхождайки от тези предпоставки се предлага да бъде изследвана следната идея:

1. Да се подбере подходяща по мощност, обем димни газове, ефективност и др. газова турбина (по възможност с достатъчно висок коефициент на полезно действие);

2. Да се предложи технологична схема за CCGT-цикъл при който димните газове от ГТ да постъпват в котлите тип ПК-38-4М (т.е. тези котли да играят ролята на котли-утилизатори). Към тях да се запазят наличните парни турбини TCDF-36, които имат номинална мощност от 177 MW;
3. Да се оценени количеството природен газ, което е необходимо да се подава както към газовата турбина, така и допълнително такава към котлите тип ПК-38-4М;
4. Да се извърши пълно проверочно пресмятане на наличните котли ПК-38-4М. Да се оценят наличните нагревни повърхности (като вид на материала, нагревна повърхност и др.) дали са подходящи да се получи пара с нужните параметри за парната турбина;
5. Очевидно, че при тази постановка, температурата на димните газове след котлите ще бъде висока (около 280-320 °C). Това налага, а е и целесъобразно тази топлина да бъде утилизирана. За тази цел, предлагаме след енергийните котли да бъде изградена допълнителна инсталация за производство на ел. енергия, която работи на принципа на Органичния цикъл на Ренкин. Този тип инсталации притежават способността за утилизиране на нископотенциална енергия в електрическа такава;
6. Да се оценят технико-икономическите и финансовите показатели на работата на така предложения паро-газов цикъл.

РЕЗУЛТАТИ

С цел извършването на сравнителен анализ между сега прилаганата технология с използването на лигнитни въглища и новопредложените технологични схеми с използване на газови турбини са създадени цифрови симулационни модели в средата Thermoflex. Принципна схема, при изгарянето на въглища, с използваните входни данни е показана на фиг. 1, а по-важни резултати, получени от модела са показани в Таблица 1.



Фиг. 1. Принципна схема на блок 177 MW

Таблица 1.

	Величина	Стойност	Дименсия
1	Разход на въглища за 1 котел (за 2 котела)	37,11 (74,22)	<i>kg/s</i>
2	Качество на въглищата	6 503	<i>kJ/kg</i>
3.	Маса на димните газове на изхода от котела	161,8	<i>kg/s</i>
4.	Температура на димните газове на изхода от котлите	170,6	°C
5.	Маса на въздуха към котела	115,4	<i>kg/s</i>
6.	Температура на въздуха за горене	213,4	°C
7.	Количество вода към котлите	138,9	<i>kg/s</i>
8.	Температура на водата пред Еко	228,9	°C
9.	Температура на водата след Еко	328,8	°C
10.	Концентрация на SO ₂ на вход на СОИ	13 437	<i>mg/Nm³</i>
11.	Специфичен разход на топлина за блока	9 813	<i>kJ/kWh</i>
12.	Разход на CaCO ₃ за СОИ	4,609	<i>kg/s</i>
13.	Степен на сярочистване	97,3	%
14.	Брутна мощност	177 079	<i>kW</i>
15.	Ефективност на парния цикъл	36,69	%
16.	Специфичен разход на CO ₂	1 137,2	<i>kg/MWh</i>

Планът на провеждане на моделните изследвания при използване на различни видове газове турбини, в паро-газов цикъл с котли тип

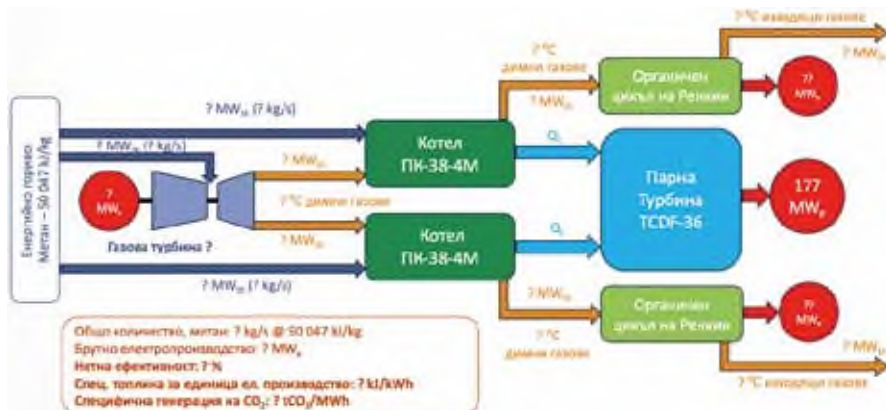
ПК-38-4М и парна турбина тип TCDF-36 са представени в Таблица 2. Изследвани са допълнително следните 7 случая:

Таблица 2.

	Тип ГТ	Номинал на мощност на ГТ, MW	Брой котли в схемата	Работа на ПВН в ПТ	Обща номинална мощност, MW
Случай 1	ГТ GT13E2	190	2	включени	386
Случай 2	ГТ GT13E2	190	2	изключени	381
Случай 3	ГТ GT13E2	210	2	изключени	409
Случай 4	ГТ 7HA.01	285	2	изключени	487
Случай 5	ГТ GT13E2	210	4	изключени	582
Случай 6	ГТ 7HA.01	285	4	изключени	661
Случай 7	2xГТ SGT-A65	2x62	2	изключени	315

Резултатите за всеки отделен Случай са представени в схемите във вида представен по-долу и в табличен вид – Таблица 3.

Една газова турбина към два котела ПК-38-4М

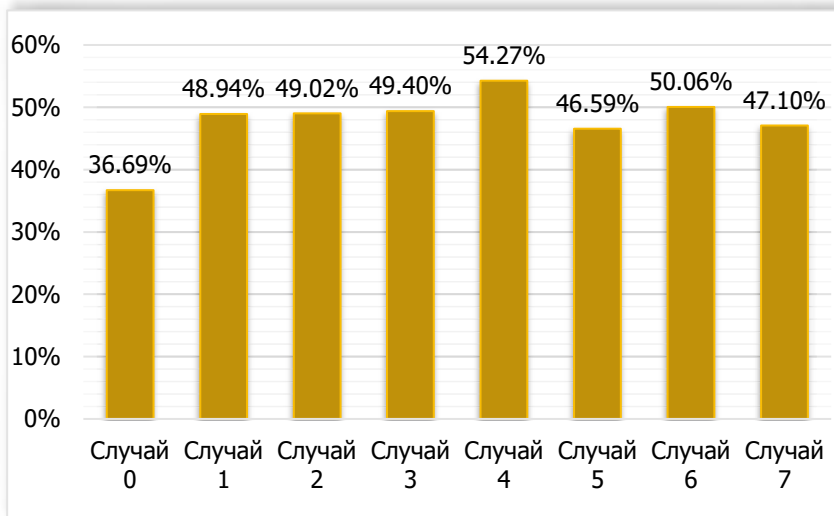


Вариант при реализиране на паро-газов цикъл с 2 бр. котли ПК-38-4 и паротурбинна инсталация TCDF-36“.

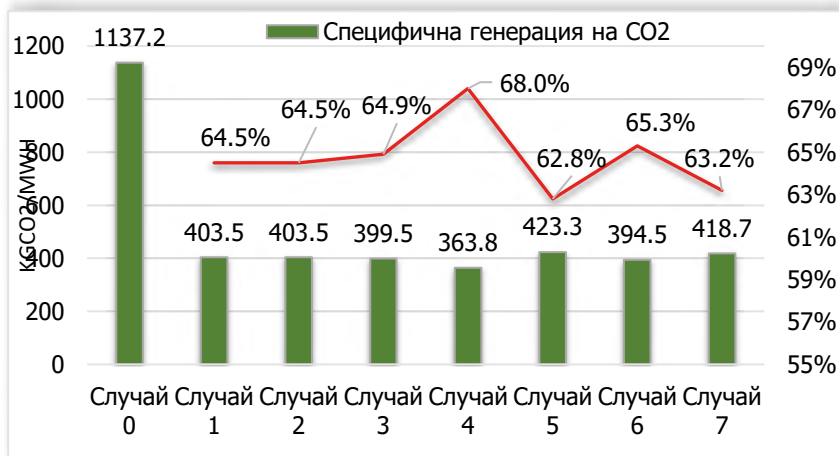
Таблица 3.

Показател	Дим.	Случай 0	Случай 1	Случай 2	Случай 3	Случай 4	Случай 5	Случай 6	Случай 7
Разход на метан за Газовата турбина	kg/s	n/a	9,554	9,554	10,79	13,58	10,79	13,58	2 x 2,83
Разход на метан за котлите	kg/s	n/a	2 x 3,102	2 x 2,99	2 x 2,872	2 x 2,174	4 x 3,544	4 x 3,199	2 x 3,855
Общ разход на метан за блока	kg/s	n/a	15,758	15,534	16,534	17,928	24,966	26,376	13,37
Температура димни газове след котлите	°C	170	314	279	285	281	251	250	255
Температура на изходящи димни газове след ОЦР	°C	n/a	93	89	94	94	92	90	91
Мощност на ГТ	MW _e	n/a	181	181	204	285	204	285	62
Мощност на ПТ	MW _e	177	177	177	177	177	177	177	177
Мощност на ОЦР	MW _e	n/a	2 x 14	2 x 11,5	2 x 14	2 x 12,5	2 x 12	2 x 11	2 x 7
Брутна (обща) мощност	MW _e	177	386	381	409	487	582	661	315
Спеч, разход на топлина за единица ел. производство	kJ/kWh	9813	7357	7344	7285	6634	7726	7193	7643
КПД на ГТ	%	n/a	37,80%	37,80%	37,83%	41,91%	37,84%	41,93%	43,73%
КПД на котлите	%	83,55%	67,45%	70,81%	68,05%	69,32%	80,21%	80,94%	78,27%
КПД на ПТ	%	44,02%	43,82%	42,49%	42,41%	42,39%	42,67%	42,68%	42,65%
КПД на ОЦР	%	n/a	20,66%	20,01%	20,91%	20,68%	20,09%	19,73%	20,71%
Брутен КПД на блока (без ОЦР)	%	36,69%	45,41%	46,05%	46,10%	51,48%	44,73%	48,41%	45,02%
Брутен КПД на блока (с ОЦР)	%	n/a	48,94%	49,02%	49,40%	54,27%	46,59%	50,06%	47,10%
Специфична генерация на CO ₂	kgCO ₂ /MWh	1137,2	403,5	403,5	399,5	363,8	423,3	394,5	418,7
Редукция на CO ₂	%	n/a	64,5%	64,5%	64,9%	68,0%	62,8%	65,3%	63,2%

Освен в Табличен вид (Таблица 3.), резултатите са представени и в обобщен графичен вид на фиг. 2 и фиг. 3.



Фиг. 2. Брутен КПД на блока, при разглежданите случай с включен ОЦР



Фиг. 3. Изменение на въглеродните емисии

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Съществуват достатъчно добри предложения, при които наличното оборудване на блоковете в „част 700 MW”, в ТЕЦ „Марица Изток 2“, може да бъде използвано при променена горивната база от въглища на природен газ;
2. Коефициентът на полезно действие на цикъла, при тези предложения, би се повишил от около 36 % на около и дори над 50 %;
3. Редукцията на емисиите от въглероден диоксид, в тези случаи би била над 60 %;
4. Вътрешната ми убеденост е, че България трябва да направи необходимото, да запази своите Големи Горивни Инсталации, използвайки местните лигнитни въглища в работа през следващите няколко десетилетия или поне да запази основното им оборудване, преминавайки на алтернативно гориво.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Totev T., D. Kanev, Comparative analysis of firing different coal blends for boiler 12 at TPP “Maritsa East 2”, International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR) ISSN 2307-4531, 2014, Volume 14, No 1, pp 340-353;
- [2] Тотев Т., Възможни технологии за редуциране на азотните емисии при изгарянето на лигнитни въглища, Годишник на ТУ-София, ISSN 1311-0829, том 64, книга 2, 2014, стр.27-36;
- [3] Т. Totev, Kr. Todorov, B. Ignatov, Investigation of a Combustion Chamber Operation in Coal-Firing Boiler Using Simulation Modeling Methods, International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR) ISSN 2307-4531, 2014, Volume 17, No 2, pp 99-115;
- [4] Тотев Т., В. Раденков, Д. Кънев, Б. Игнатов, Конструктивни изменения на котли тип ПК-38-4, с цел подобряване на горивния процес и гарантиране на емисии на NOx, по-ниски от 200 mg/Nm³, XX Научна Конференция с международно участие ЕМФ ‘2015, ISSN 1314-5371, 13-16 септември 2015, Созопол, том 1, стр. 45-51;
- [5] Totev, T., Ignatov, B., Radenkov, V. Oxy-fuel combustion in CCGT, 2022 14th Electrical Engineering Faculty Conference, BulEF 2022, 2022; <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85147848069&doi=10.1109%2fBulEF56479.2022.10021173&partnerID=4 DOI: 10.1109/BulEF56479.2022.10021173>

- [6] Тотев Т., Б. Игнатов, В. Раденков, Потенциални възможности за модернизация на енергиен блок с газова турбина, ЕНЕРГИЕН ФОРУМ 2023 стр. 8-27 ISSN 2367-6728, Международен дом на учените „Ф. Ж. Кюри“ к.к. „Св. Св. Константин и Елена“, Варна 2023;
- [7] Totev T., B. Ignatov, V. Radenkov, Analysis of the possibilities for modernization of a energy block burning coal in order to reduce the CO2 emissions, 15th Electrical Engineering Faculty Conference BuIEF 2023, IEEE Bulgaria Section, Varna, Bulgaria, DOI: 10.1109/BuIEF59783.2023.10406272
- [8] Златева, М. Върху нископотенциалните топлинни системи за оползотворяване на слънчева енергия, Издателство на Технически университет - София, 2018, ISBN: 978-619-167-319-3
- [9] Златева, М., Сравнителен анализ на резултатите от методи за оценка на оползотворената топлина от топлотехнически слънчеви системи, Сборник доклади от Научна конференция с международно участие ЕМФ 2015, стр. 238 - 243, ISSN 1314-5371;
- [10] 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 (BuIEF), Varna, Bulgaria, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/BuIEF59783.2023.10406202
- [11] Игнатов Б, Методика за провеждане на балансови изпитания на енергийни котли по стандарт по стандарт БДС ЕН 12952-12, Национална конференция с международно участие - СЛИВЕН 2019 9-10.05.2019,ISSN 1312-8612 Сливен;

АВТОР

Проф. д-р. инж. Тотю Иванов Тотев, Тракийски Университет – Стара Загора, катедра Енергетика, totyo.totev@trakia-uni.bg