

ЕНЕРГИЕН ФОРУМ 2019

ТЕХНИКО-ИКОНОМИЧЕСКА И ЕКОЛОГИЧНА ОЦЕНКА НА РАБОТАТА НА ЕНЕРГИЕН БЛОК НА ЛИГНИТНИ ВЪГЛИЩА

Тотьо Тотев, Борислав Игнатов

TECHNO-ECONOMIC AND ECOLOGIC ASSESSMENT OF A LIGNITE-FIRED POWER UNIT

Totoy Totev, Borislav Ignatov

The importance of the lignite coals for the Bulgarian energy generation sector is of a great significance. Currently it is unthinkable for the country to part ways with the energy units at "Maritsa East" complex. The requirements for further operation of the energy boilers firing low quality lignite from "Maritsa East" coal basin set a numerous efficiency and ecological related questions that need to be answered.

Въведение

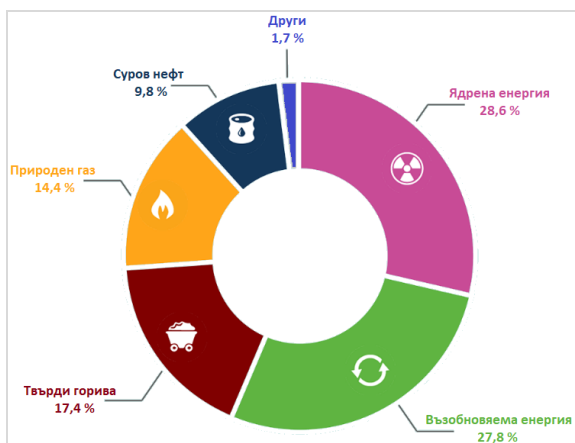
Повече от четвърт от нетната електроенергия, генерирана от 28-те страни членки на ЕС през 2013 година, е от ядрени енергийни централи (26,8 %), докато почти двоен е дялът на мощностите, изгарящи въглища, мазут, биомаса, природен газ (49,8 %). Сред възобновяемите източници на електроенергия, показани на Фигура 1, най-голям дял имат водноелектрическите централи (12,8 %), следвани от ветрогенераторите (7,5 %) и фотоволтаичните инсталации (2,7 %).

През 2016 година, възобновяемите енергийни източници съставляват 27,8 % от електрогенерацията на територията на ЕС. Ядрената енергия има дял от 28,6 %, докато общо органичните горива запазват челната си позиция като основен енергоизточник с дял от 41,6 % (твърди горива 17,4 %, природен газ 14,4 % и нефтопродукти – 9,8 %) – Фиг. 2.

През 2012 година максималният електрически капацитет на страни-те от Европейския съюз (ЕС-28) е около 947 000 MW, докато през 2016 година, нараства почти до 990 000 MW. Дялът на изкопаемите горива като източник на електрическа енергия се равнява на около половината от пълния капацитет. Таблица 1 представя максималния електрически капацитет на ЕС-28 от 2012 до 2016 година, според вида на горивата.



Фигура 1. Дял на енергоизточниците, ЕС-28, 2013 (% от обща, база GWh)



Фигура 2. Дял на енергоизточниците, ЕС-28, 2016 (% от обща, база GWh)

Таблица 1 Максимален електрически капацитет на ЕС-28 (MW), 2012 - 2016 г.

	2012	2013	2014	2015	2016
Общо за ЕС	947 258	956 382	973 084	982 917	989 009
Ядрена енергия	123 183	122 971	123 515	121 957	122 051
Хидро енергия	147 253	148 364	148 532	150 584	152 061
Енергия от приливи, отливи и вълни	225	226	230	227	233
Геотермална енергия	768	781	820	822	824
Соларна енергия	72 658	82 487	88 907	96 980	103 114
Вятърна енергия	106 127	116 956	128 558	141 416	154 324

	2012	2013	2014	2015	2016
Енергия от конвенционални органични горива	496 270	483 756	481 628	470 095	455 583
Енергия от индустриални отпадъци	2 083	1 819	1 904	1 858	1 915
Енергия от битови отпадъци	6 214	7 109	7 099	7 819	8 309
Енергия от твърда биомаса	15 939	15 659	16 420	16 986	17 352
Енергия от биогаз	9 648	9 966	10 558	10 986	11 413
Енергия от течни биогорива	14	17	18	16	15
Енергия от други източници	774	841	894	836	819

В Европейския съюз се използват всички възможни източници на енергия за генерация на електрическа и топлинна енергия. Видът на използваните горива за всяка страна членка основно се влияе от националните ресурси като местна или национална наличност на въглища, природен газ или мазут. В Гърция и части от Германия и Полша например е наличен значителен ресурс от лигнитни въглища. Във Финландия и Ирландия торфът е важен локален енергиен източник и поради това значим елемент от националните енергийни политики. Във Франция, където ядрените електроцентрали осигуряват основния дял от енергийните нужди, употребата на изкопаеми горива е ограничена предимно в малък брой върхови централи. В Швеция и Финландия важен енергиен източник е биомасата.

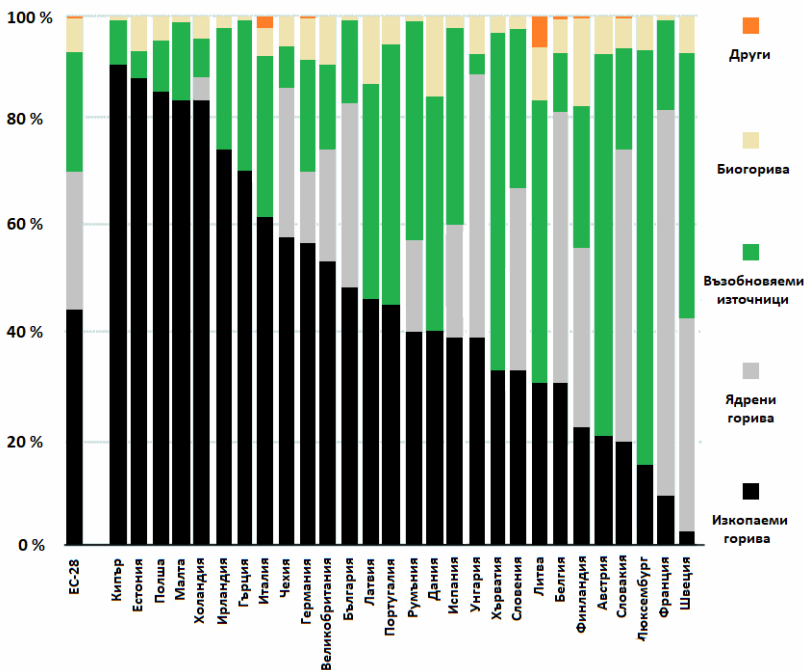
През 2016 година, крайното потребление на електрическа енергия в ЕС от различни енергийни източници е: 44 % от електрически централи, изгарящи изкопаеми горива, 30 % от възобновяеми енергийни източници и 26 % от ядрена енергия.

Делът на различните източници в енергийните миксове за всяка страна-член на ЕС силно варира (Фиг. 1.3):

- около 90 % от генерацията на електроенергия в Естония и Кипър се получава от изкопаеми горива;
- делът на ядрената енергия във Франция е 72 %, като също така в Словакия и Белгия тя представлява съответно 55 % и 51 %;
- около 60 % от електричеството в Австрия и Хърватия се дължи на възобновяеми енергийни източници. В Дания техният дял е съответно 42 %.

За България, електричеството, получено от изкопаеми горива (въглища, природен газ и нефтени продукти) е приблизително 48 % от общо генерираната електроенергия през 2016 година. Останалата част е

получена от ядрена енергия - 34 %, възобновяеми енергийни източници - 17 % и други – 1 %.



* Изкопаемите горива включват въглища, природен газ и нефтени продукти
 ** Биогоривата включват дървесина, биодизел и биогаз
 *** Други включват геотермални, невъзобновяеми отпадъци и химически източници

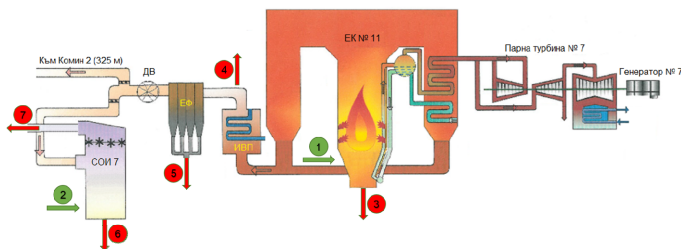
Фиг. 3. Дял на различните източници в енергийните миксове за всяка страна-член на ЕС

От представените данни по-горе е видно, че всяка отделна държава членка на ЕС, силно се съобразява със собствените си енергийни ресурси при развиването на енергогенериращите си мощности. В този ред на мисли, считаме, че България трябва да продължи да използва наличните лигнитни въглища за производство на електрическа енергия, като се съобразява с повишените екологични изисквания при това производство.

Изгаряне на лигнитни въглища в котли тип П-62

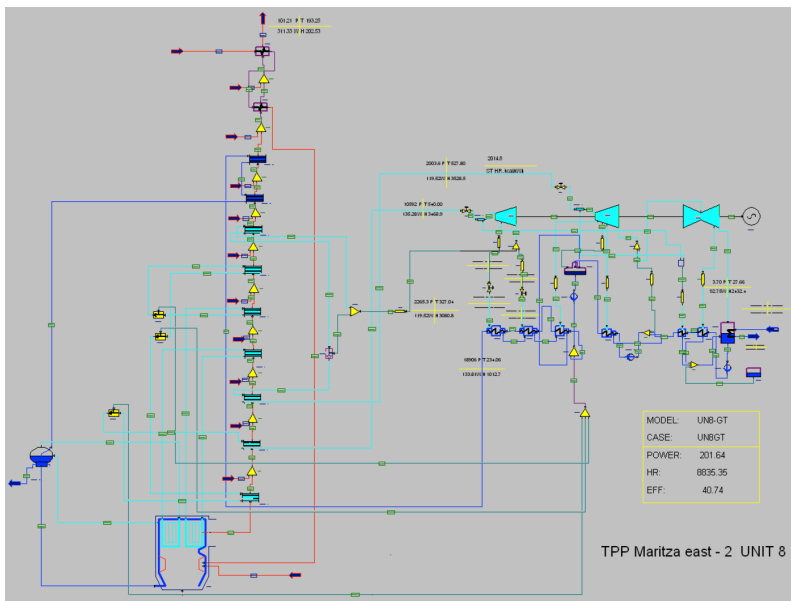
Най-масово използвания котел, при изгарянето на лигнитни въглища е тип П-62. В момента в експлоатация са 8 такива котела на територията на ТЕЦ „Марица Изток 2“ и ТЕЦ „Контур Глобал Марица Изток 3“.

Този тип котли работят в моноблок с парна турбина и общия вид на топлинната схема е представена на Фиг. 4.



Фигура 4. Общ вид на топлинната схема на енергиен блок с котел тип П-62

Технико-икономическите и екологични показатели на работата на енергиен блок изгарящ лигнитни въглища, бе оценен с помощта на софтуерния продукт GateCycle. Изграждането и валидирането на този модел е описан в други публикации на авторите. С помощта на така изградения модел, бяха извършени серия от симулации, които покриват работния обхват (от $N_{el}=145$ до 225 MW) на тези енергийни блокове.



Фигура 5. Моделиране на енергиен блок на лигнитни въглища в софтуерна среда GateCycle

Технико-икономическа оценка на изгарянето на лигнитни въглища в комплекса „Марица Изток“

Централите изгарящи български лигнитни въглища, са разположени непосредствено до минния комплекс „Марица Изток“. Те са единствения национално значим енергиен източник с който разполага България.

При различните случаи които бяха симулирани, качеството на лигнитните въглища бе едно и също, по този начин се намалява неопределеността на получените резултати, от използване на гориво с различни характеристики. Получените резултати от различните симулации могат директно да се сравняват. Приетото качество на лигнитните въглища при напарвеното изследвания е представено в Табл. 2:

Таблица 2 – Калоричност и елементен състав на използваните лигнитни въглища

Величина	Означение	Дименсия	Стойност
Калоричност – долна топлина на изгаряне	Q _r	kJ/kg	6559
Съдържание на пепел на работна маса	A _r	%	17,25
Съдържание на влага на работна маса	W _r	%	50,99
Съдържание на въглерод на работна маса	C _r	%	19,875
Съдържание на водород на работна маса	H _r	%	1,8795
Съдържание на кислород на работна маса	O _r	%	7,7379
Съдържание на азот на работна маса	N _r	%	0,3499
Съдържание на сяра на работна маса	S _r	%	1,9095

В Табл. 3 са показани малка част от данните които се получиха от проведените моделни изследвания с помощта на софтуера GateCycle.

Таблица 3 – Данни от проведените моделни изследвания на енергиен блок изгарящ лигнитни въглища от комплекса „Марица Изток“.

№	Величина	Дим.	Разход на гориво, kg/s				
1	Разход на гориво – лигнитни въглища	t/h	216,72	252,72	288,72	324,72	346,32
2	Произведена електрическа енергия от енергийният блок за 1 час	MWh	145,74	168,53	190,79	212,53	225,28
3	КПД на енергийния блок	%	37,48	37,17	36,83	36,48	36,26
4	КПД на енергийния котел	%	85,06	85,2	85,42	85,64	85,74
5	Температура на димни газове след ИВП	°C	140,26	145,75	150,77	155,08	157,45
6	Дебит на димни газове след ИВП	kg/s	291,91	333,7	375,58	417,41	442,52
7	Температура на организирания въздух след ИВП	°C	231,55	237,67	241,93	247,04	249,17
8	Дебит на организирания въздух след ИВП	kg/s	202,13	235,7	269,28	302,85	323
9	Температура на подхранващата вода - вход на ЕКО	°C	228,26	235,24	241,25	246,46	249,24
10	Дебит на подхранваща вода - вход ЕКО	kg/s	118,58	137,17	155,72	174,33	185,49
11	Температура на свежа пара - вход на ЦВН	°C	539,47	542,41	544,74	546,61	547,57
12	Дебит на свежа пара - Вход на ЦВН	kg/s	119,4	139,0	158,4	177,8	189,4
13	Температура на пара - вход Кондензатор	°C	26,67	27,9	29,09	30,26	30,96
14	Налягане в кондензатора	kPa	3,496	3,755	4,025	4,306	4,480

Екологична оценка на изгарянето на лигнитни въглища от Комплекса „Марица Изток“

Екологичните изисквания към блоковете изгарящи органични горива, в това число и български лигнитни, стават все по-големи. Те се продиктуват от все по-строгите норми на допустими емисии, които се налагат на такива централи.

В тази час на статията, са разгледани емисиите които генерира един енергиен блок изгарящ лигнитни въглища от комплекса „Марица Изток“, като функция от неговото производство.

Разгледани са следните емисии, които се генерират при работата на един такъв енергиен блок:

- Въглероден диоксид CO_2 – това е естествен газ, който не се явява замърсител и за него няма норма за допустима емисия НДЕ. Този газ се оценява, тъй като той е парников газ и централите които изгарят изкопаеми горива са задължени от европейското и българското законодателство да закупуват емисии за да могат да работят;

- Серен диоксид SO_2 – това е газ който се генерира от енергийните блокове, при наличието на сяра S в изгаряното гориво. За този газ има НДЕ, но тя се дава като процент на почистване на димните газове от него. НДЕ за него непрекъснато се променя (процентът на почистването му от димните газове се увеличава);

- Въглероден оксид CO, Азотни оксиди NO_x , прах и др. – за тях има посочени НДЕ, но централите в комплекса „Марица Изток“ са предприели съответните мерки и нямат проблем с тяхното изпълнение.

В статията по-нататък, ще се спрем на емисиите които се генерира от енергиен блок изгарящ български лигнитни, само от въглероден диоксид и серен диоксид. От данните представени в Табл. 2 и Табл. 3 по-горе, лесно може да се определи количеството на емисиите от въглероден диоксид и серен диоксид, генерирани при изгарянето на лигнитните въглища.

Определяне на емисиите от въглероден диоксид CO_2

От данните представени в Табл. 2 и Табл. 3 по-горе, лесно може да се определи количеството на емисиите от въглероден диоксид и серен диоксид, генерирани при изгарянето на лигнитните въглища, по следния начин:

- Масовият поток на въглерод (M_C) постъпващ в печната камера за един час можем да пресметнем по следната формула:

$$M_C = \frac{B \cdot C^r}{100}, t_C/h \quad (1)$$

Където: B – разход на лигнитни въглища изгаряни от енергийния котел – t/h ;
 C^r – съдържание на въглерод на работна маса в изгаряните въглища - %.

• Масов поток на въглероден диоксид (M_{CO_2}) генериран от енергийния котел при изгарянето на лигнитни въглища за един час е равен на:

$$M_{CO_2} = M_C \cdot k_{CO_2}, t_{CO_2}/h \quad (2)$$

Където: k_{CO_2} - стехиометричен коефициент при окисление на въглерод до въглероден диоксид. Той има стойност от $3,667 \frac{t_{CO_2}}{t_C}$ (при пълното окисление на наличния въглерод).

По горните две формули можем да пресметнем какъв е масовия поток на въглероден диоксид генериран от една горивна инсталация, изгаряща твърдо гориво. За да може по-лесно да сравняваме количеството генериран въглероден диоксид, от различни енергийни блокове е добре да определим специфичен разход на въглероден диоксид m_{CO_2} отнесен към количеството генерирана от блока електрическа енергия. Той може да се определи по следната зависимост:

$$m_{CO_2} = \frac{M_{CO_2}}{N_{el}}, \frac{t_{CO_2}}{MWh} \quad (3)$$

Където: N_{el} – е електрическата енергия генерирана от енергиен блок за един час - MWh .

Определяне на емисиите от серен диоксид SO_2

Определянето на емисиите от серен диоксид, генерирани от енергиен блок изгарящ лигнитни въглища от комплекса „Марица изток“, можем да пресметнем по следния начин.

• Масов поток M_S на сярата постъпваща в печната камера за един час можем да пресметнем по следната формула:

$$M_S = \frac{B \cdot S^r}{100}, t_S/h \quad (4)$$

Където: S^r – съдържание на сярата на работна маса в изгаряните въглища - %.

• Масов поток на серен диоксид (M_{SO_2}) генериран от енергийния котел при изгарянето на лигнитни въглища за един час е равен на:

$$M_{SO_2} = M_S * k_{SO_2}, t_{SO_2}/h \quad (5)$$

Където: k_{SO_2} - стехиометричен коефициент при окисление на сярата до серен диоксид. Той има стойност от $2,0 \frac{t_{SO_2}}{t_S}$ (при пълното окисление на сярата в горивото до серен диоксид).

- Специфичен разход на серен диоксид m_{SO_2} отнесен към количеството генерирана от блока електрическа енергия, може да се пресметне по следната формула

$$m_{SO_2} = \frac{M_{SO_2}}{N_{el}}, \frac{t_{SO_2}}{MWh} \quad (6)$$

Получените резултати от моделните изследвания на енергиен блок на лигнитни въглища, представени по-горе е видно, че при пълен товар (225,28 MW), консумацията на гориво е 96,2 kg/s (346,32 t/h). С тези данни лесно можем да пресметнем количеството генериран от енергийния блок въглероден диоксид и серен диоксид, прилагайки формули от (1) до (6). За по голяма яснота, резултатите са представени в табличен вид в Табл. 4

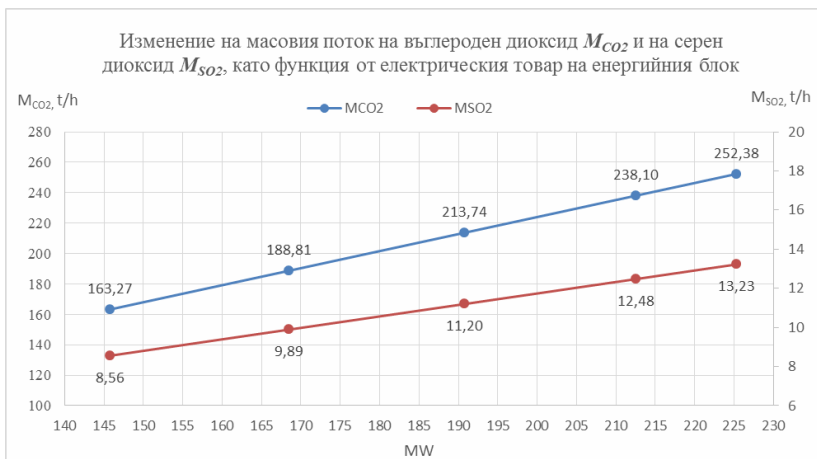
Таблица 4 – Определяне на масовия и специфичния разход на въглероден диоксид и на серен диоксид

Величина	N_{el}	B	M_{CO_2}	M_{SO_2}	m_{CO_2}	m_{SO_2}
Дименсия	MW	t/h	t/h	t/h	t/MW	t/MW
Стойност	145,74	216,72	163,27	8,56	1,12028	0,05873
	168,53	252,72	188,81	9,89	1,12033	0,05868
	190,79	288,72	213,74	11,2	1,12029	0,05870
	212,53	324,78	238,1	12,48	1,12031	0,05872
	225,28	346,32	252,38	13,23	1,12029	0,05873

Изводи

1. Получените резултати за масовите потоци от въглероден диоксид M_{CO_2} и от серен диоксид M_{SO_2} са леко завишени, поради не отчитането на не реагиращия въглерод (при изчисленията за M_{CO_2} и приемането, че цялото количество сяр се окислява до серен диоксид за M_{SO_2}). За целите на настоящото изследване (сравнителен анализ) възприетия подход е с достатъчна за практиката точност;

2. Получените специфични разходи на въглероден диоксид (m_{CO_2}) и на серен диоксид (m_{SO_2}) могат да послужат при сравняването на екологичните характеристики на различни енергийни блокове изгарящи органични горива.



Фигура 6 - Изменение на масовия поток на въглероден диоксид M_{CO_2} и на серен диоксид M_{SO_2} , като функция от електрическия товар на енергийния блок

Литература:

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

[2] 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;

[3] 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.

[4] Сотиров Н., Т. Тотев, Б. Бонев, Финансов анализ на инвестиционни варианти за внедряване на система за комбинирано топло и електро производство в индустриално предприятие, XIV-та Научна Конференция с международно участие ЕМФ ‘2009, ISSN 1314-5371, 17–20 септември 2009, Созопол, Том 1, стр. 70-75;

[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, Ignatov.borislav@gmail.com.