

ЕНЕРГИЕН ФОРУМ 2019

ОЦЕНКА НА КАПИТАЛОВИТЕ И ЕКСПЛОАТАЦИОННИ РАЗХОДИ ЗА ПОСТИГАНЕ НА НОВИТЕ НОРМИ ЗА ЕМИСИИТЕ ОТ СЕРНИ ОКСИДИ И ЖИВАК В ТЕЦ ИЗГАРЯЩА ВЪГЛИЩА

Динко Кънев, Тотьо Тотев

ASSESSMENT OF CAPEX AND OPEX FOR ACHIEVING NEW SULPHUR DIOXIDE AND MERCURY EMISSIONS LEVELS FOR A COAL-FIRED POWER PLANT

Dinko Kanev, Totyo Totev

By adopting the conclusions for the best available techniques (BATC) for large combustion plants (LCP) by the European Commission, the emission limit values for SO₂ saw a significant reduction and in the meantime, new emission limit values for mercury are introduced. The current paper describes the necessary refurbishment measures and the respective CAPEX and OPEX.

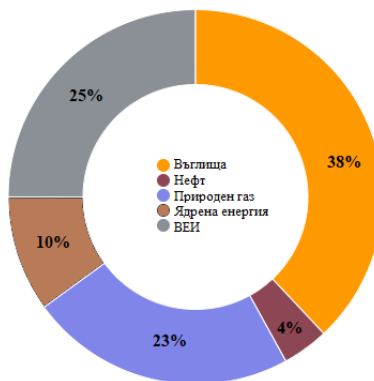
Въведение

Съвременният начин на живот е немислим без наличието на електрическата енергия. Неслучайно един от основните показатели за технологично-икономическия статус на държавите по света е именно зависимостта между енергопотреблението и brutния вътрешен продукт. В глобален аспект, постоянният ръст на потреблението на електрическа енергия се дължи не само на нарастването на населението, но и от стремежа за подобряването на стандарта му на живот – цел която е неразривно обвързана с достъп и утилизация на все по-големи количества енергия.

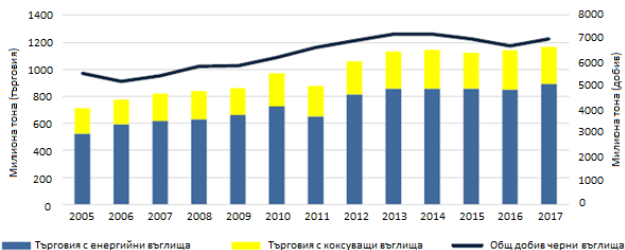
Въглищата имат основно значение като източник на електроенергия по света. Понастоящем, електрическите централи, изгарящи въглища осигуряват 38 % от глобалните енергийни доставки. В много страни, този процент е още по-висок като за България, през 2017 год., той се равнява на 45,3 % (+8,5 % спрямо 2016 год.). През 2018 год. капацитета на енергогенериращите мощности в световен мащаб достигна

2 000 GW - ръст от цели 62 %, спрямо 2003 год. Повече от 40 държави са внедрили в експлоатация нови инсталации, изгарящи въглища през последните 8 години като само в Азия, в момента се изграждат нови 300 GW въглищни мощности.

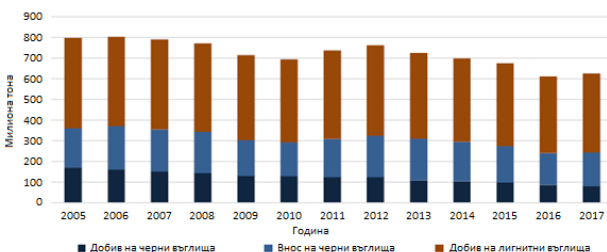
Въглища се добиват в над 70 страни по света. Световният добив през 2009 год. възлиза на 6941 млн. т., докато през 2017 год. той се равнява на 7 518 млн. т. (повишение с 3,4 %, спрямо 2016 год.). Доказаните запаси на въглища в световен мащаб са над 1 000 000 млн. т. като при сегашните стойности на добива им, те ще са достатъчни за захранването на енергийни мощности за над 100 години. Запасите от въглища за България се оценяват като достатъчни за над 60 години напред. Световният, както и европейският пазар на въглища видимо се възстановяват през 2017 год. (Фигури 2 и 3).



Фиг 1. Световна генерация на електроенергия



Фиг 2. Световен пазар на въглища



Фиг 3. Европейски пазар на въглища

Положителният ръст се дължи на няколко фактора: ниското производство от ВЕИ, утвърждавайки ролята на въглищата при балансирането на енергийните мрежи; ниска монополизация на предлагането, в сравнение с други пазари на енергоносителите; по-голямата конкурентоспособност на въглищните пазари, спрямо нефтените и газовите и не на последно място – развитието на технологиите за по-ефективното им оползотворяване. Развитието на тези технологии, целящи по-висока ефективност и надеждност на енергийните доставки е неминуемо обвързано и с редуциране на негативните екологични ефекти от добива и изгарянето на въглища.

Характеристики и сравнителен анализ между лигнитите в Европа

В Европа, а и в света, все още не се оползотворяват въглища с толкова ниска топлина на изгаряне, каквито са местните източномаришки въглища. Българските лигнити се различават от тези, в Европа, най-вече по техните баластни характеристики – високо съдържание на влага, пепел и сяра. С цел съпоставимост и коректно сравнение е направена оценка на баластните характеристики на база приведени стойности за пепел, влага и сяра:



Съдържание на приведена пепел $A^{np} = \frac{A^{r_{ave}} * 10^4}{Q_{i ave}^r}$, $\frac{g}{MJ}$ като:

$A^{r_{ave}}$ – средно съдържание на пепел на работна маса за съответната страна, %;

$Q_{i ave}^r$ – средна калоричност за страната, kJ/kg.

От получените средни стойности за приведената пепел $A^{np_{ave}}$ е видно, че българските лигнити имат втората най-висока стойност от 33,09 g/MJ, която е и значително над средната за всички страни - 24,58 g/MJ. С най-висока стойност те са в Румъния – 43,29 g/MJ.

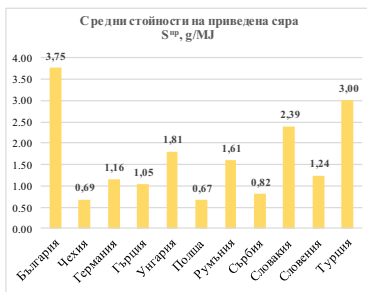
Съдържание на приведена

влага $W^{np} = \frac{W_{ave}^r * 10^4}{Q_{i\ ave}^r}, \frac{g}{MJ}$ като:

W_{ave} – средно съдържание на влага на работна маса за съответната страна, %;

$Q_{i\ ave}^r$ – средна калоричност за страната, kJ/kg.

Средната приведена влага W^{np}_{ave} в изгаряните в България лигнити е 86,00 g/MJ, което отново е втората най-висока стойност сред изследваните страни. Най-висока е в Гърция - 90,08 g/MJ. Стойностите са много по-високи от средните за Европа – 54,89 g/MJ.



Съдържание на приведена

влага $S^{np} = \frac{S_{ave}^r * 10^4}{Q_{i\ ave}^r}, \frac{g}{MJ}$ като:

S_{ave} – средно съдържание на сяра на работна маса за съответната страна, %;

$Q_{i\ ave}^r$ – средна калоричност за страната, kJ/kg.

Видно, че българските лигнитни въглища имат най-високо приведено съдържание на сяра S^{np}_{ave} – 3,75 g/MJ, което е над 2 пъти повече от средното съдържание за Европа от 1,65 g/MJ.

От така получените осреднени приведени стойности на баластните характеристики е изведен коефициент K , посредством който да се отчетат и сравнят неблагоприятните характеристики на лигнитите, оползотворявани в отделните страни:

$$K = K_{A^{np}} * K_{W^{np}} * K_{S^{np}}, \text{ където:} \quad (1)$$

$K_{A^{np}}$ – коефициент, отчита съдържанието на приведена пепел. Получава се като страната с най-високо съдържание на A^{np} се приравнява на единица – в случая това е Румъния (43,29 g/MJ). За останалите държави, се пресмята съгласно:

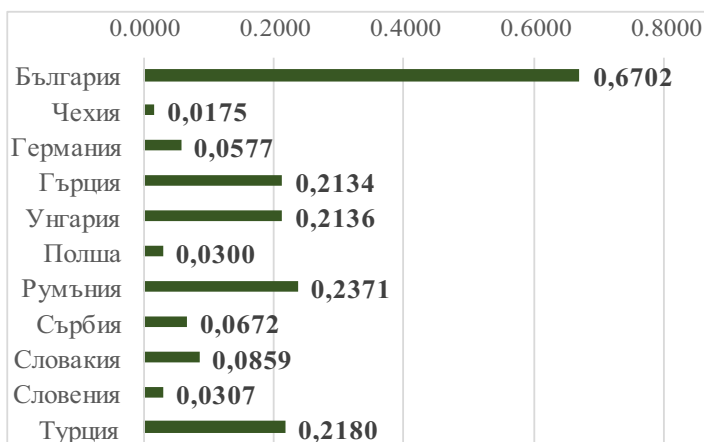
$$K_{A^{np}} = \frac{A_i^{np}}{A_{max}^{np}}, \text{ където:} \quad (2)$$

A_i^{np} – съдържание на приведената пепел за съответната страна, g/MJ;

A^{np}_{max} – максималната стойност на съдържание на приведена пепел за сравняваните страни, в случая – Румъния, g/MJ.

$K_{W^{np}}$ - коефициент, отчитащ съдържанието на приведена влага. Получава се като страната с най-високо съдържание на W^{np} се приравнява на единица – в случая това е Гърция (98,08 g/MJ). За останалите държави, се пресмята аналогично, както за пепелта.

$K_{S^{np}}$ - коефициент, отчитащ съдържанието на приведена сяра. Получава се като страната с най-високо съдържание на S^{np} се приравнява на единица – в случая това е България (3,75 g/MJ). За останалите държави, се аналогично, както за пепелта и влагата.



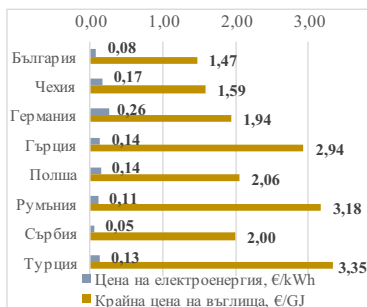
Фиг 4. Изчислени стойности за коефициент K

Графиката представя получените стойности за коефициент K , посредством който съдържанието на неблагоприятните характеристики на лигнитите въглища, използвани в България и Европа за енергийни нужди, могат директно да бъдат сравнени. Резултатите показват, че изгаряните в България лигнитни въглища имат най-висока стойност, $K=0,6702$, която е и близо 3 пъти по-висока от втората по големина, тази за Румъния $=0,2371$. Също така е видно, че стойността на K за българските лигнити е много по-висока от средната стойност за всички страни, обект на изследването - $K=0,1365$.

Цени на лигнитни въглища и електроенергия в Европа

На база на изследване, проведено през 2012 година са определени разходите за формиране на крайната цена на лигнитни въглища за страни от Европа със значителна консумация (над 2 GW инсталирани мощности, изгарящи въглища). Отчетени са крайните разходи за добив, които в последствие са приведени към средните калоричности на въглищата на съответните страни.

Резултатите от изследването показват, че като крайната цена на лигнитните въглища у нас е най-ниска, спрямо страните, обект на изследване $\approx 1,4 \text{ €/GJ}$. Съпоставяйки крайната цена на лигнитите, с тази на електроенергията за битови потребители (за периода на изследване на формирането на цената) е видно, че в България е крайната цена за добив на въглища е най-ниска ($1,47 \text{ €/GJ}$). Също така, най-ниска цена на електроенергия е в Сърбия - $0,05 \text{ €/kWh}$, докато в България тя е $0,08 \text{ €/kWh}$. Вземайки предвид значителния дял на въглищата като източник на електрическа енергия ($\sim 45\%$ за България и $\sim 67\%$ за



Сърбия), тази диспропорция може да се дължи до голяма степен на факта, че за разлика от България, Сърбия не е страна-член на ЕС и съответно не попада в обхвата на все по-рестриktivните екологични изисквания, спрямо инсталациите, изгарящи въглища.

Екологични предизвикателства пред въглищните централи

Целите по подобряване на екологичните показатели на инсталациите, изгарящи въглища по света следват различни стратегии. България като страна-член на ЕС прие формулираните заключения за най-добрите налични техники (НДНТ), относно големите горивни инсталации (ГГИ), обуславящо още по-строги изисквания спрямо нормите на допустими емисии (НДЕ), изпускани в атмосферния въздух. Прилагайки НДНТ, нормите за емисии, изпускани в атмосферния въздух, които най-голямата въглищна централа у нас – ТЕЦ „Марица Изток 2“, трябва да постигне през следващите няколко години са дадени в Таблица 1.

Табл.1 Норми за допустими емисии за ТЕЦ „Марица Изток 2“, съгласно НДНТ

Замърсител	NO _x	SO ₂	CO	Прах	Живак
Средногодишно	175 mg/Nm ³	≥97% очистиране, но не повече от 320 mg/Nm ³	100 mg/Nm ³	8 mg/Nm ³	7 µg/Nm ³
Среднодневна	220 mg/Nm ³	няма	100 mg/Nm ³	14 mg/Nm ³	няма

Понастоящем, определените гранични стойности на НДЕ за емисиите, изхвърляни в атмосферния въздух са както следва:

- емисии от азотни оксиди (NO_x) – 200 mg/Nm³;
- емисии от серни оксиди (SO_x) – 96 % степен на сероочистване;
- емисии от въглероден оксид (CO) – 250 mg/Nm³;
- емисии от прах – 20 mg/Nm³;
- емисии от живак – няма.

Показанията на системите за непрекъснат мониторинг на централата за NO_x, CO и прах, сочат че новите НДЕ за тези емисии ще могат да се постигнат и без допълнителни мерки. Значително по-рестриктивните нови изисквания за емисиите за SO₂ и добавянето на такива за емисиите от живак, обуславят необходимост от въвеждане на технологични мерки и мероприятия, чрез които новите емисионни показатели да бъдат достигнати.

Технологични мерки за постигане на емисиите, съгласно НДНТ

В резултат на проведено изследване са набелязани необходимите за постигането на новите екологични изисквания технологични решения, както и съпровождащите ги капитални и експлоатационни разходи.

• технологични мерки за постигането на новите НДЕ за SO₂

В резултат от обследване на техническото състояние на сероочистващите инсталации и специфичните характеристики на всяка от една от тях, са набелязани необходимите технологични мерки за постигане на новите изискуеми нива за емисиите от SO₂.

Избраните, в резултат на обследването мерки (Фигура 5), включват модификации по съществуващи впръскови системи (колектори и впръскови дюзи), монтиране на пръстени около стените на абсорберите, както и инсталирането на сулфитни анализатори. Предложените решения имат за цел да подобрят масообмена между течната и газовата фаза, както и да се повиши съответствието между проектното и експлоатационното състояние на системите. Представеният набор от технологични

решения е оценен и като оптимален баланс, по отношение на подобряване на работата на СОИ с минимални експлоатационни и капиталови разходи.



Фиг. 5. Технологични мерки за редуциране на SO₂

- **технологични мерки за постигането на новите НДЕ за живак**

С цел набелязване на необходимите мерки, които да приведат стойностите на живачните емисии до изискуемите нива е необходимо първо да се определят концентрациите им в изходящите потоци на инсталациите. За целта е проведен промишлен експеримент за изготвяне на масов баланс на живака в ТЕЦ „Марица Изток 2“ за ЕК № 11 и съответната сероочистваща инсталация СОИ № 7, резултатите от които са представени в Таблица 2.

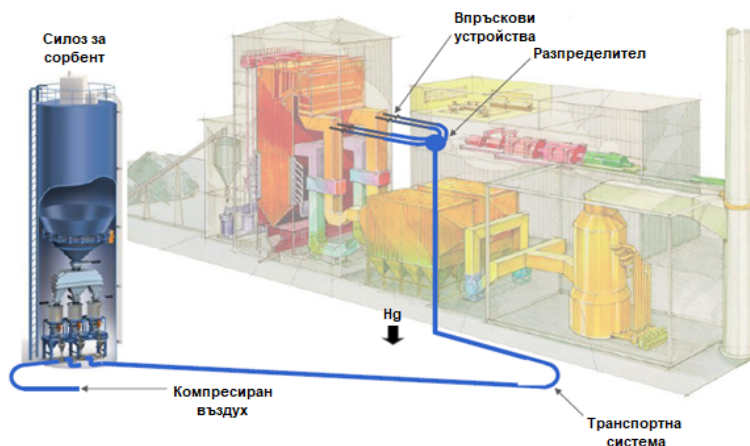
Табл. 2 Резултати от масов баланс за концентрациите на живак

Измерени концентрации на живак	Единица	Стойност
Живак във въглищата, суха маса	µg/kg	309,7
Живак във варовика, суха маса	µg/kg	8,7
Живак в шлага та, суха маса	µg/kg	2,0
Живак в леляща пепел – ИВП, суха маса	µg/kg	26,5
Живак в леляща пепел – ЕФ, суха маса	µg/kg	54,2
Живак в гипса, суха маса	µg/kg	92,2
Живак в димните газове, сух газ при 6% O ₂	µg/Nm ³	50,0

Получените изходящи масови разходи на живак показват, че почти цялото количество живак (около 89 %) напуска котела с димните газове и се емитира в атмосферния въздух. От друга страна около 6 % от живака остава в получения от процеса на сероочистване на димните газове гипс, а под 5 % от живака се съдържа в „уловената“ от електрофилтрите летяща пепел. От резултатите е видно още, че незначителна част от живака се отделя с шлака и летящата пепел от изнесенния въздухоподгревател.

В контраст на тези резултати други измервания на концентрацията на имисии (ефекта от емисиите върху околната среда) на територията на централата и в населени места в близост до нея, сочат че имисиите на живак са около $1\div 3 \text{ ng/Nm}^3$ при норма 300 ng/Nm^3 .

Въпреки това противоречие, за да се постигнат новите НДЕ за емисии живак, ще е необходимо въвеждането на комплекс от мерки, които успешно да редуцират сегашните стойности от около $50 \text{ }\mu\text{g/Nm}^3$ до $7 \text{ }\mu\text{g/Nm}^3$, т.е. да се постигнат около 7 пъти по-ниски стойности на емитирания в околната среда живак.



Фиг 6. Принципна схема на система за впръскване на активен въглен

За редуцирането на настоящите нива на емисиите на живак до новите такива, е установена необходимост от внедряването на системи за впръскване на активен въглен за улавянето му в изходящите газове от котлите (Фигура 6). Тази мярка, в комбинация с инсталацията на сулфитни анализатори за СОИ за контрол на реемисията на живак да са достатъчни с оглед постигането на НДЕ за живак, съгласно изискванията на НДНТ.

Оценка на разходите и ползите от постигането на новите НДЕ

Настоящите нива на емисиите от SO₂ и живак се оценят приблизително като SO₂ – 22 700 тона годишно като в следствие от редукцията им се очакват да намалееят до 18 000 тона (намаление от около 4 700 тона); живак – 1,5 тона годишно като в следствие от редукцията им се очакват да намалееят до 0,4 тона (намаление от около 1,1 тона). Оценката на капиталови и експлоатационни разходи, за постигане на новите емисионни нива за серен диоксид и живак са представени в Таблица 3.

Табл. 3 Оценка на капиталови и експлоатационни разходи

	Емисии от SO ₂	Емисии от Hg
Капитални разходи [лв.]	146 997 000	10 360 000
Общо капитални разходи[лв.]	157 357 000	
Експлоатационни разходи[лв. /год.]	186 000	20 025 000
Общо експлоатационни разходи[лв. /год.]	20 211 000	

Заклучение

Въпреки глобалният стремеж за пълна декарбонизация на енергийния сектор през следващите десетилетия, въглицата остават съществен енергиен ресурс, осигуряващ надеждна и евтина електроенергия. В световен мащаб, предстоящото изграждане на значителен брой мощности, изгарящи въглища е неизменно съпътствано от внедряването на нови технологии и системи, целящи както повишаване на ефективността на енергопроизводството така и намаляване на негативните екологични последици върху околната среда. Устойчивото развитие на въглищните централи и запазването им като производител на евтина и леснодостъпна електрическа енергия ще зависи от успешната реализация на нови технологии, обуславящи тенденции на все по-енергоефективно и екологосъобразно производство. Постигането на тези цели е необходимо да бъде определящо при продължаващата експлоатация на въглищните централи в България.

Литература:

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

[2] Григоров А., Енергийна ефективност на комбинирано топло и електропроизводство с използване на парна турбина с противоналяга-

не, XIII НК "ЕМФ'2008", т. I, стр. 145-154, Созопол, 17-19.09.2008

[3] 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

[4] 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

[5] Русев Ст., Т. Тотев, Б. Игнатов, Анализ на емисиите от азотни оксиди и въглероден оксид, генерирани от енергийните парогенератори на ТЕЦ „София“, XXII НК с международно участие ЕМФ 2017, ISSN 1314-5371, 17-20 септември 2017, Созопол, том 1, стр. 71 – 78

[6] Б. Игнатов, Преразпределение на топлините в пещната камера на котли ст.№ 11 и ст.№ 12 в ТЕЦ "Марица Изток 2", при спиране на различни ППС, III Национална студентска научно-техническа конференция, стр. 49, София, 10 -12 октомври 2007 г.

[7] Решение за изпълнение (ЕС) 2017/1442 на Комисията от 31 юли 2017 година за формулиране на заключения за най-добри налични техники (НДНТ) за ГГИ, съгласно Директива 2010/75/ЕС

[8] International Energy Agency Coal Outlook 2018

Автори:

маг. инж. Динко Кънев, Технически Университет – София, катедра Топлоенергетика и ядрена енергетика, 0883309353, morbit@abv.bg
проф. д-р инж. Тотю Иванов Тотев, Технически Университет – София, катедра Топлоенергетика и ядрена енергетика, t-totev@tu-sofia.bg