

Възможности за утилизация на отпадна топлина при изгаряне на високосернист петрокок

Илия Илиев, Милен Венев

Opportunities for waste heat recovery from the combustion of high in sulphur petcoke: Analyzed is the opportunity for waste heat recovery by lowering the temperature of the exhaust gases of a steam generator burning petcoke. A comparison of the possibilities for waste heat recovery between petcoke and the most used coal types is made. It is shown that despite the high content of sulphur in the petcoke, there is a good prospect for cooling the gases through the use of an air heater with heat pipes. Presented is a flow chart of a combustion device with a switched on air heater with heat pipes. A heat estimate of the air heater is made and the heat utilization and environmental benefits from the implementation of the heat exchanger are shown.

Key words: Heat pipe technologies, waste heat recovery, low temperature corrosion, air heater of steam boiler, optimization of working regimes of air heaters, Petroleum coke.

ВЪВЕДЕНИЕ

Проблемите относно утилизацията на топлина от изходящи газове, са свързани главно с процесите на нискотемпературна корозия по нагрените повърхности на топлоутилизирещите устройства. За да се избегне процеса на корозия, топлообменните устройства се изчисляват да работят при температура на повърхността на метала по-висока (поне с 10 °C) от сяронокиселата точка на росата и то при всички режими на работа на инсталацията.

Петрококът е междинен продукт при рафинирането на нефта, характеризиращ се с висока концентрация на въглерод (над 90%). Петрококът съдържа висок процент сяра (5÷6%) и тежки метали (никел и ванадий) и затова се счита за гориво-замърсител.

ИЗЛОЖЕНИЕ

В сравнение с въглищата петрококът е по-калоричен, което се вижда добре от таблица 1. Разбира се, различните находища въглища се характеризират с различно въглеродно съдържание и калоричност, но двата най-използвани типа въглища са битуминозните и суб-битуминозните и по тази причина тези два вида въглища са представени в сравнителната таблица 1.

Таблица 1. Емисионен фактор и калоричност на петрококса и въглищата [4]

Гориво	CO ₂ на единица енергия kg/GJ	Калоричност GJ/ton гориво	CO ₂ по тегло tCO ₂ /ton гориво
Битуминозни въглища	474.84	23.61	2.54
Суб-битуминозни въглища	493.27	16.34	1.83
Средно м/у бит. и суб-битуминозни	484.06	19.97	2.19
Петрокок	518.81	28.53	3.36
Процентно увеличение от ср. по състав въглища към петрокок	7.18%	42.82%	53.42%

Анализът на представените резултати показва, че петрококът емитира с 53.4% по-вече CO₂ на тон изгорено гориво и 7.2% по-вече CO₂ на единица енергия.

Направен е анализ на възможностите за понижаване температурата на изходящите газове по известни методики [1,2] за няколко вида най-характерни за България въглища както и за петрокок.

От таблица 2 се вижда, че петрококът е горивото с най-високо съдържание на сяра, но поради високите стойности на неговата калоричност приведената сяра (според таблица 3) в горивото е значително по-ниска от това на лигнитните въглища.

Таблица 2. Елементарен състав и калоричност на най-използваните в България въглища и петрококс

Гориво	C ^r	H ^r	S ^r	O ^r	N ^r	A ^r	W ^r	Q _i ^r
	%	%	%	%	%	%	%	kJ/kg
Петрококс	92.00	1.00	5.00	0.10	1.00	0.50	0.40	27214
Лигнитни въглища	19.02	1.60	1.92	5.70	0.33	16.28	53.50	6243
Черни въглища	67.13	2.91	0.36	1.70	1.65	10.10	8.64	27738
Кафяви въглища	21.74	1.57	0.84	4.01	0.67	53.01	14.50	7775

Таблица 3. Изчислителни стойности на приведеното съдържание на пепел и сяр в горивото и някои температури, водещи до оценка на допустимата температура на повърхността на нагревни повърхности на въздухонагреватели

Гориво	A _{np}	S _{np}	t _p ^w	Dt _p ^T	t _p [*]	Dt _p ^Δ	t _p ^Δ	t _w ^{coal}
	% kg/MJ	% kg/MJ	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Петрококс	0.00	0.1837	17.7	113.7	131.4	118.4	136.1	161.1
Лигнитни въглища	2.48	0.3076	60.5	101.3	140.4	61.7	122.2	147.2
Черни въглища	0.31	0.0130	35.3	44.3	80.0	25.6	60.9	85.9
Кафяви въглища	6.48	0.1078	47.8	24.1	71.9	16.4	64.2	89.2

В таблица 3 са представени следните изчислителни температури: t_p^w - водна точка на росата °C; Δt_p^T - теоретична точка на росата на киселинните пари, °C; $\Delta t_p^{T^*}$ - нормативна точка на росата на киселинните пари, °C; Δt_p^{Δ} - действителна точка на росата на киселинните пари с отчитане на влиянието на съдържанието на CaO+MgO+KaO в горивото, °C; $\Delta t_w^{\text{гориво}}$ - препоръчителна температура за нагревните повърхности, °C.

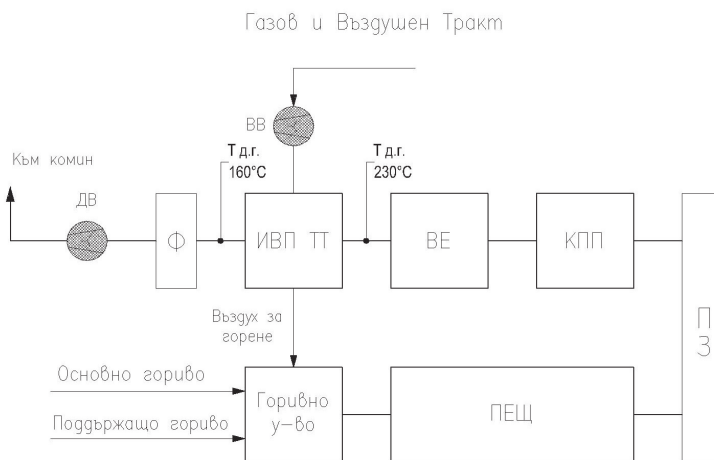
От представените в таблица 3 резултати се вижда, че най-голям потенциал по отношение на по-дълбока утилизация на отпадната топлина на изходящите газове имат тези горивни устройства, в които се изгарят кафяви и черни въглища. Въпреки високите стойности на сяр в елементарния състав на петрококса, възможностите за утилизация на отпадъчна топлина са значителни.

В настоящата разработка е представена възможност за утилизация на топлина при изгаряне на високосернист петрококс чрез използване на въздухонагревател с топлинни тръби [3].

Топлообменникът ще бъде монтиран зад хоризонтален водотръбен барабанен котел с топлинна мощност 7,64 MW. Температурата на изходящите газове на котела се колебае в границите 230÷240°C, а елементарният състав и калоричността на петрококса са представени в таблица 2.

Котелът е предназначен за производство на прегрята пара с работно налягане 16 bar, температура 240°C и паропроизводството 10 t/h. Температурата на подхранващата вода е 103°C. Изгарянето на горивото се извършва в хоризонтална екранирана пещна камера с помощта на двублокова горивна уредба за комбинирано изгаряне на газообразни и прахообразни горива. За осигуряване на стабилен горивен процес се използва поддържащо гориво газ пропан-бутан (Liquefied Petroleum Gas). Минималната мощност на горелката работеща на газ пропан-бутан в поддържащ режим е 1,0 MW. Предвидено е горелката да може да работи и изцяло на газ с мощност 9,0 MW. Максималната мощност на горивното устройство при изгаряне на петрококс (petroleum coke) също е 9,0 MW. Парогенераторът работи с коефициент на излишък на въздуха $\alpha=1,4$. Прахът за горене се транспортира посредством въздух с обемен дебит 300 m³/h. Налягането на системата за дозиране на праха се колебае в границите 300÷400 mbar. Петрококсът изгаря факелно в екранирана пещна камера. Компановката на котела е предвидено да бъде хоризонтална, като последователно са разположени пещна камера и конвективни нагревни повърхности. За компактност на инсталацията след

пещната камера е разположена обръщателна камера, където димните газове променят посоката си на движение на 180 градуса. След нея, във втория ход на движение на димните газове са поместени паропрегревателя и водоподгревателя на котела. Подгряването на въздуха за горене се извършва във въздухоподгревател с топлинни тръби (ВП-ТТ). Въздухонагревателят представлява теплообменник изнесен тип изработен от 320 бр. тръби с обща дължина 2 m. Зоната на изпарение е с дължина 1.2 m, а зоната на кондензация, съответно 0.8 m. Предложена е схема с коридорно разположение на тръбите за да се елиминират и минимални възможности от забиване на тръбните снопове. Аеродинамичните съпротивления по газова и въздушна страна са минимални (под 20 mm H₂O), което не налага замяна на съществуващите вентилатори. Схема на газова и въздушен тракт на котела е показана на фиг.1. Ситуационен план и габаритни размери на парогенератора са показани на фиг.2.



Фиг.1. Схема на газова и въздушен тракт на котела

В конкретния случай има възможност за понижаване температурата на изходящите газове до 160⁰С, при което к.п.д. на инсталацията би се повишил с ~5%, но тъй като по задание нагрятият въздух следва да се подгрява от 20⁰С до температури не по-високи от 80⁰С, е прието охлаждането на газовете да се ограничи до 200⁰С, което е съизмеримо с 2,3% увеличение на к.п.д. Утилизационната мощност на апарата при това ще бъде 225 kW при номинален режим. Очакваните годишни икономии на петрокок са 208 тона годишно при 6000 ч. годишна експлоатация, а намалените емисии на CO₂ съответно 700 тона/год.

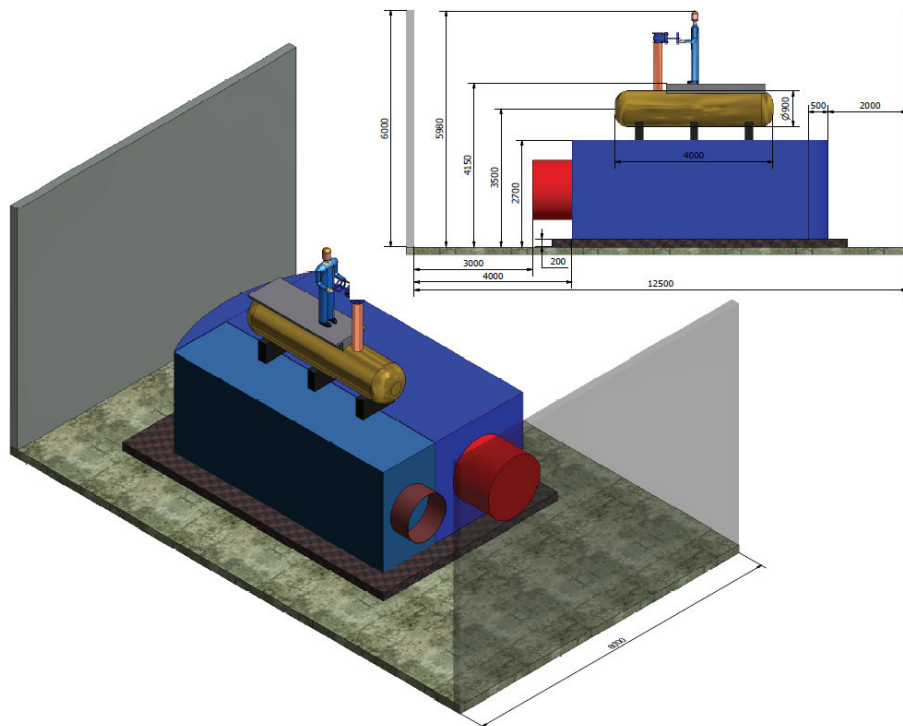
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Петрококът се отнася към групата на горива-замърсители, поради високото съдържание на сяра и цветни метали в него. Следователно всяка възможност за утилизация на топлина от петрокок ще има висок екологичен ефект.

2. Проведения анализ за оценка на възможността за утилизация на топлина чрез понижаване температурата на изходящите газове показва много добър потенциал за петрококса в сравнение със стандартните въглища, въпреки многократно по-високото съдържание на сяра в петрококса.

3. Представеният въздухонагревател с топлинни тръби ще повиши к.п.д. на съществуващия котел с 2.3%, макар, че на практика възможностите са по-високи (до 5%) и то без опасност от възникване на сярно-кисела корозия по нагряните повърхнини на въздухонагревателя.

4. Годишните икономии на петрокок в резултат от въвеждане в експлоатация на въздухонагревателя се оценяват на 208 тона, а намалените емисии на CO₂ ще са 700 тона.



Фиг.2. Ситуационен план и габаритни размери на парогенератора

ЛИТЕРАТУРА

[3] Тепловой расчет котлов (Нормативный метод), издание третье, переработанное и дополненное, Санкт-Петербург, 1998. Maripuu, Mari-Liis. Demand controlled ventilation (DCV) for better IAQ and Energy Efficiency. Rehva Journal, March 2011, pp. 26-30.

[4] Христов Хр., Нискотемпературна корозия и замърсяване на нагревните повърхности на парогенераторите, Хабилитационен труд за получаване на научно звание ст. н.с. I ст., София, 1978.

[5] Христов Хр., Илиев И., Патент № 745/31.01.2002, Топлообменник с топлинни тръби, 2002, Патентно ведомство на Република България.

[6] Lorne Stockman, Petroleum coke: The coal hiding in the tar sands, Oil Chance International, Washington DC, USA, January 2013.

За контакти:

Доц. д-р инж. Илия Илиев, кат. "Топлотехника, хидравлика и екология", Русенски университет "А. Кънчев", моб. тел.: 0887306898, e-mail: iiliev@enconservices.com

Маг. инж. Милен Венев, кат. "Топлотехника, хидравлика и екология", Русенски университет "А. Кънчев", моб. тел.: 0883333425, e-mail: m_venev@abv.bg

Докладът е рецензиран.