

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Кутицкая Е.А., Губинский М.В., Федоров С.С., Гогоци А.Г.

*«Национальная металлургическая академия Украины»,  
г. Днепрпетровск, Украина*

*Предложена схема очистки отходящих газов высокотемпературной печи для обжига углеродных материалов, включающая котел-утилизатор, аппараты сухой очистки газов от твердых частиц, химическую очистку от оксидов серы и азота. В связи с высокой температурой отходящих газов (2000–2500 °С) и необходимостью их дожигания в котле-утилизаторе в работе проведено исследование состава продуктов сгорания с использованием программного комплекса «TERRA». В результате анализа полученных данных рекомендован режим работы котла при  $\alpha = 1$ , что обеспечивает восстановительную атмосферу, необходимую для восстановления оксидов азота. Полученные составы продуктов сгорания использованы для расчета жаротрубного водогрейного котла-утилизатора с использованием нормативного метода расчета.*

*Ключевые слова: котел-утилизатор, система очистки, высокотемпературная печь, углеродный материал*

*The scheme for purification of gases coming out of high-temperature furnace is proposed for calcination of carbon materials. It includes waste-heat boiler, machines for cleaning dry gas from solid particles, for chemical cleaning of sulfur and nitrogen oxides. Due to the high temperature of the outlet gases (2000–2500 °C) and the necessity of after-burning these gases in the waste-heat boiler, research into the composition of combustion products was carried out in the work using the software package «TERRA». As a result of analysis of the received data, the operation of the boiler was recommended at the value  $\alpha = 1$ , which provides the atmosphere necessary for the reduction of nitrogen oxides. The obtained composition of combustion products was applied for calculation of the fire-tube hot water boiler-utilizer using a standard computational method.*

*Keywords: waste-heat boiler, purification system, high-temperature furnace, carbon material.*

Одним из приоритетных направлений развития экономики является использование углеродных материалов, качество которых определяет качество готовой продукции. Среди известных технологий очистки углеродных материалов одно из ведущих мест занимает технология высокотемпературной обработки сырья в электротермическом кипящем слое [1–3]. Определяющим моментом в конкуренции с другими технологиями являются показатели энергоэффективности и воздействия на окружающую среду. Таким образом, повышение эффективности системы очистки отходящих газов в рассматриваемом процессе становится актуальной задачей.

Цель работы – снижение расхода очищаемых газов за счет их охлаждения в котле-утилизаторе в интервале 2500 – 300 °С.

В работе исследуется система для очистки отходящих газов высокотемпературных печей графитации нефтяного кокса, состав которых приведен в табл. 1.

Таблица 1

Состав отходящих газов

Компонент	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	H <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	C	A
Содержание, мас. %	39,76	0,09	3,14	9,53	11,84	35,56	0,08

Принципиальная схема системы очистки представлена на рис. 1. Кальцинированный нефтяной кокс поступает на вертикальный конвейер, далее попадает в промежуточный бункер, а затем через вибропитатель подается в валковую дробилку, где измельчается. После удаления мелочи на вибросите кокс поступает в печь для высокотемпературной обработки в электротермическом кипящем слое до температуры 2000–2700 °С.

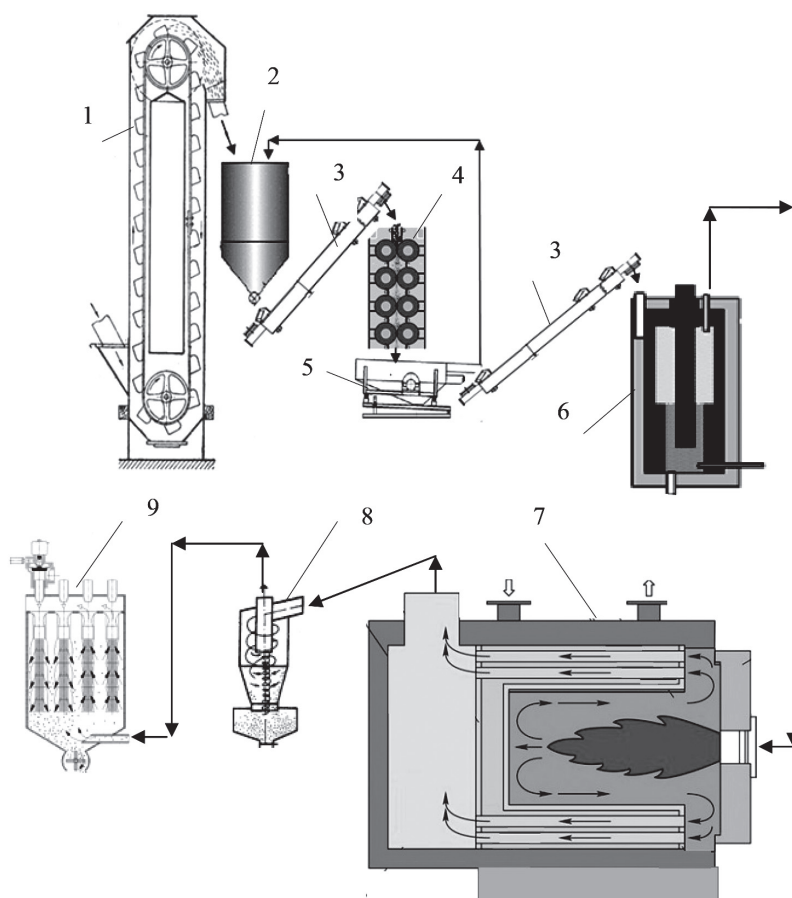


Рис. 1. Системы очистки отходящих газов:

1 – вертикальный конвейер, 2 – промежуточный бункер, 3 – шнековый питатель, 4 – валковая дробилка, 5 – вибросито (грохот), 6 – печь для высокотемпературной обработки кокса в электротермическом кипящем слое, котел-утилизатор, 8 – циклон, 9 – рукавный фильтр

Отходящие газы из печи поступают в котел-утилизатор, где дожигаются с недостатком окислителя для образования восстановительной атмосферы продуктов сгорания, необходимой для восстановления оксидов азота.

Дымовые газы охлаждаются в котле утилизаторе до 300 °С и поступают в аппараты сухой очистки газа от твердых частиц (циклон, рукавный фильтр). Затем газы поступают в систему очистки от оксидов серы и азота.

Котел-утилизатор – один из основных элементов схемы процесса. Он отличается от стандартного тем, что использует химическую и физическую теплоту отходящих газов, в состав которых входят горючие элементы водород, углеродные частицы, сера. В связи с этим расчет водогрейного котла-утилизатора предварялся исследованием состава продуктов сгорания после их дожигания.

Особенностью процесса является то, что в данном котле-утилизаторе происходит горение газов при высоких температурах. Поэтому использование стандартных методик расчета горения топлива некорректно. В связи с этим был использован вычислительный комплекс «TERRA», позволяющий рассчитать состав и характеристики произвольных систем с химическими и фазовыми превращениями. Он позволяет моделировать граничноравновесные состояния и реализует алгоритм поиска максимума энтропии системы, соответствующий условиям равновесия.

В расчетах также учитывался состав золы, мас. %:  $K_2O = 2,2$ ,  $SiO_2 = 41,7$ ,  $Al_2O_3 = 24,2$ ,  $Fe_2O_3 = 27,7$ ,  $CaO = 1,2$ ,  $MgO = 1,3$ ,  $Na_2O = 0,8$ ,  $TiO_2 = 0,9$ .

Расчетные исследования проводились при исходной температуре отходящих газов 2773 К. Величина коэффициента расхода воздуха варьировалась от 0,8 до 1,2. Результаты расчетов представлены на графиках рис. 2 и 3.

Анализ полученных данных позволил рекомендовать величину коэффициента расхода воздуха, равным  $\alpha = 1$ . Состав продуктов сгорания в процентах по массе представлен в табл. 2. При этом температура продуктов сгорания снизилась до 2419 К по сравнению с температурой отходящих газов из печи – 2773 К.

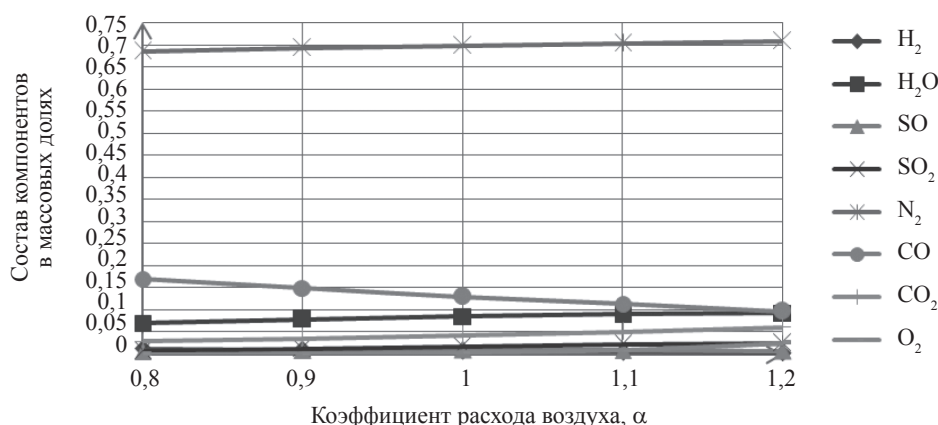


Рис. 2. Зависимость содержания компонентов продуктов сгорания от расхода воздуха

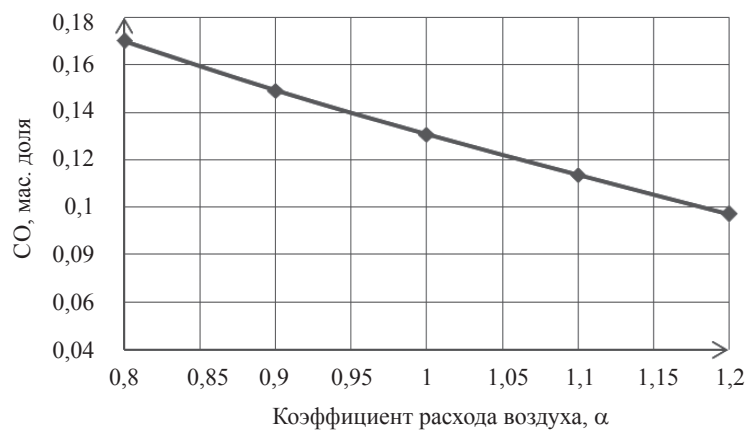


Рис. 3. Зависимость содержания CO в продуктах сгорания от расхода воздуха

Полученные данные использованы для расчета котла-утилизатора по нормативному методу. Результаты расчетов приведены в табл. 3. Таким образом, использование котла-утилизатора позволило уменьшить объем очищаемых газов более, чем в 4 раза, и одновременно получить источник тепловой энергии мощностью 268 кВт.

Таблица 2

Состав продуктов сгорания отходящих газов

Компонент	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	SO	SO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
Содержание, мас. %	0,76	8,53	0,98	1,82	69,77	13,07	4,3

Таблица 3

Техническая характеристика котла-утилизатора

Показатель	Ед. измерения	Значение величины
Теплопроизводительность котла	кВт	268
КПД котла	%	82,3
Объем топочной камеры	м <sup>3</sup>	0,38
Поверхность нагрева дымогарных труб	м <sup>2</sup>	12,9
Масса котла	т	3,5

## Выводы

Предложена система очистки отходящих дымовых газов высокотемпературной печи для обжига углеродных материалов, которая включает котел-утилизатор, обеспечивающий использование химической и физической теплоты продуктов сгорания.

В результате расчета равновесного состава продуктов сгорания рекомендован режим сжигания с коэффициентом расхода воздуха, равным 1, что обеспечивает восстановительную атмосферу, необходимую для восстановления оксидов азота.

## Список использованных источников

1. Губинский М.В., Федоров С.С., Ливитан Н.В., Барсуков И.В., Гогоци А.Г., Бродниковский Н.П. Печи для производства высокочистых углеродных материалов // Сб. докл. международной науч.-практ. конф. «Теория и практика тепловых процессов в металлургии» 18–21 сентября 2012, УрФУ. Екатеринбург, 2012. С. 79–83.
2. Иванов П.С., Даньков С.Ф., Юзык О.В., Шишмаев А.А. Новые ресурсосберегающие технологии в рельсовом хозяйстве. Путь и путевое хозяйство, 2011. № 7. С. 23–25.
3. Федоров С.С. Математическое моделирование электрической проводимости кипящего слоя // Праці XVII Міжнародної конференції «Теплотехніка та енергетика в металургії» 2014 р. Дніпропетровськ. С. 180–181.
4. Fedorov S.S., Gubynskiy M.V., V. Igor Barsukov M.V., Livitan B.S., Wells M., Barsukov D., Zimina O.G., Gogotsi Yu, Zozulya and U.S. Rohatgi. Modeling the Operation Regimes in Ultra-High Temperature Continuous Reactors. U.S. Department of Energy Nonproliferation and National Security Publ. BNL-103872-2014-CP. Brookhaven National Laboratory, Upton, New York, USA, 1–17 (2014).