

УДК 662.6.9, 628.5

Результаты исследования вредных выбросов при сжигании суспензионного угольного топлива

**В.И. Мурко*, В.И. Федяев,
В.И. Карпенко, Д.А. Дзюба**

*ЗАО «Научно-производственное предприятие «Сибэкотехника»
Россия 654000, Новокузнецк, проезд Коммунаров, 2¹*

Received 06.09.2012, received in revised form 13.09.2012, accepted 20.09.2012

В статье приведены результаты определения концентраций вредных веществ в отходящих газах при стендовых и опытно-промышленных испытаниях вихревой технологии сжигания суспензионного водоугольного топлива (ВУТ). Показано, что разработанная технология сжигания жидкого угольного топлива позволяет существенно снизить выбросы вредных веществ в атмосферу. Материалы статьи подготовлены в процессе реализации проекта в рамках частно-государственного партнерства в сфере реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства при финансовой поддержке правительства Российской Федерации (шифр 2010-218-02-174 «Разработка технологии и создание пилотного образца автоматизированного энергогенерирующего комплекса, работающего на отходах углеобогащения»).

Ключевые слова: суспензионное водоугольное топливо, угольные шламы, отходы обогащения, вихревое сжигание, вредные выбросы.

Введение

В настоящее время в Российской Федерации возрос интерес к использованию угольного топлива в малой и средней энергетике. Вместе с тем использование угля или продуктов его переработки требует внедрения новых экологически чистых технологий, поскольку сжигание угля сопровождается выделением большого количества вредных веществ в атмосферу. К числу наиболее вредных относятся оксиды серы и азота, которые служат одной из основных причин возникновения «кислотных дождей». Кроме того, оксиды азота NO_x участвуют в образовании фотохимического смога и разрушении озонового слоя.

Один из путей снижения вредных выбросов – использование угля в виде суспензионного водоугольного топлива (ВУТ). Наиболее эффективной технологией сжигания забалластированных топлив, полученных на основе угольных шламов или отходов углеобогащения, является технология вихревого сжигания.

* Corresponding author E-mail address: sib_eco@kuz.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

Цель настоящей работы – исследование уровня и состава вредных веществ в газовых выбросах при применении технологии вихревого сжигания суспензионного водоугольного топлива.

Экспериментальная часть

Суспензионное водоугольное топливо представляет собой дисперсную систему, состоящую из тонкоизмельченного угля (угольного шлама), воды и реагента-пластификатора.

Характеристики углей и шламов, на основе которых были приготовлены опытные партии ВУТ, приведены в табл. 1.

Исследования состава вредных выбросов при сжигании суспензионного водоугольного топлива были проведены на демонстрационной стендовой опытно-промышленной установке ЗАО НПП «Сибэкотехника» [1]. Установка предназначена для отработки режимов приготовления и сжигания опытных партий водоугольного топлива, приготовленных на основе углей различных марок и зольности, а также угольных шламов и отходов углеобогащения.

Внешний вид и технологическая схема установки приведены на рис. 1 и 2 соответственно.

Вихревой способ сжигания [2] обеспечивает максимальное выгорание угольных частиц с использованием механизмов внутренней стабилизации горения, характерных для вихревых топков. Стабилизация горения в вихревых топках обеспечивается тем, что горячие продукты горения направляются в корень факела и этим обеспечивают его надежное воспламенение при сравнительно низкой температуре. Кроме того, за счет тангенциального ввода потоков дутья организовано вихревое течение и перемешивание горячих продуктов сгорания с вводимыми потоками, что обеспечивает наибольшую глубину выгорания топлива и стабильность горения.

Таблица 1. Характеристика исходного сырья для приготовления партий ВУТ

Исходный материал	Влага, %	Зольность, %	Выход летучих веществ, %	Теплота сгорания топлива (низшая), МДж/кг (ккал/кг)
Уголь марки «СС»	8,5	14,5	27,2	25,97 (6204)
Уголь марки «Д»	11,8	17,3	43,0	21,19 (5060)
Шлам марки «СС _{III} »	13,0	23,0	27,4	21,06 (5030)
Шлам марки «КС» (ОФ ОАО «Междуречье»)	30,0	23,2	22,9	18,07 (4315)
Шлам марки «ГЖ» (ЦОФ «Абашевская»)	36,1	26,5	36,2	14,85 (3546)
Антрацит (Вьетнам)	14,0	28,0	8,0	34,75 (8300)
Бурые угли (Монголия)	28,2	11,1	54,0	14,07 (3360)
Высокосернистые угли (Болгария)	24,8	20,0	59,0	15,11 (3609)
Тонкодисперсные отходы углеобогащения (ОФ «Щедрухинская»)	39,9	32,9	26,3	12,48 (2980)



Рис. 1. Внешний вид установки сжигания ВУТ

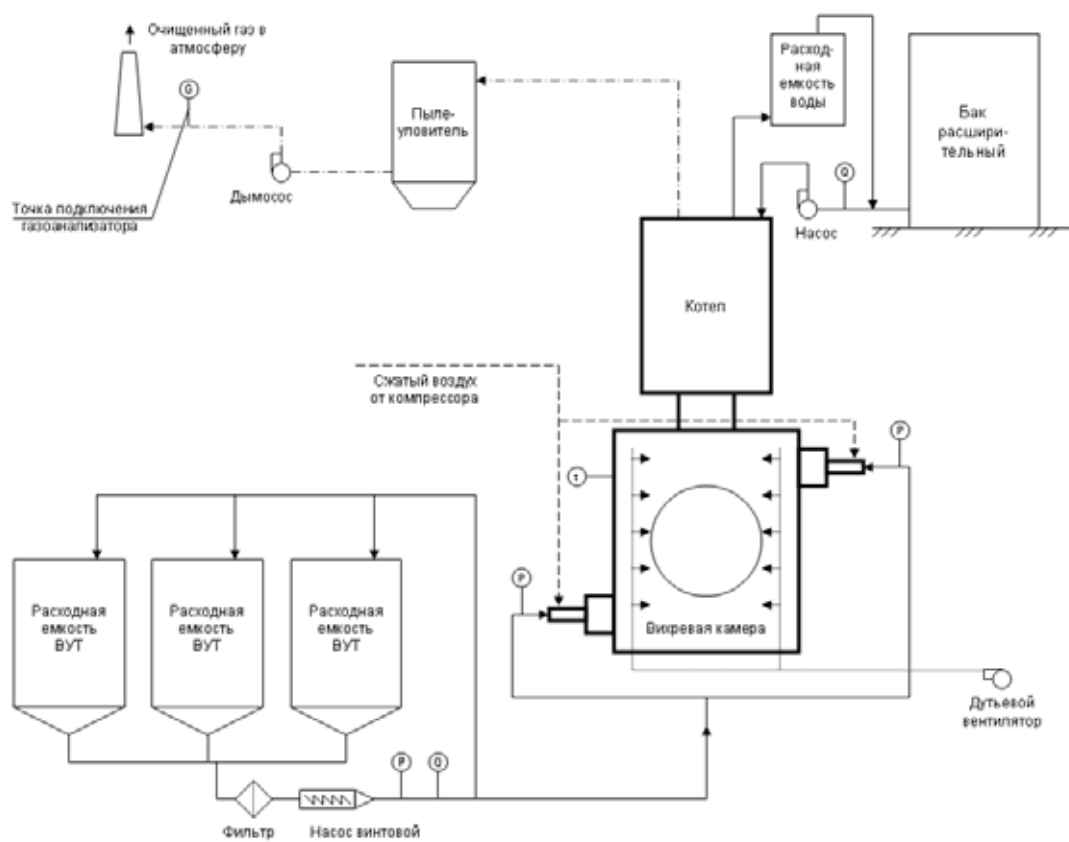


Рис. 2. Схема установки

Таблица 2. Параметры работы вихревой камеры сжигания

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Значение
Расход дутьевого воздуха	$Q_{в.д}$	м ³ /ч	330 – 550
Давление сжатого воздуха на распыл ВУТ	$P_{сж}$	МПа (кгс/см ²)	0,1471 – 0,1961 (1,5 – 2,0)
Расход топлива	B_t	кг/ч	30 – 130
Коэффициент избытка воздуха	α	-	3,3 – 3,9
Температура газов в топке	t_t	°С	900 – 1200
Температура газов перед котлом	$t_{пк}$	°С	690 – 800
Температура газов после котла	$t_{кв}$	°С	230 – 275

Активная вихревая аэродинамика, создаваемая в камере тангенциальной подачей дутья, используется для глубокого выжигания летучих и уноса и подавляет эмиссию вредных веществ благодаря активному перемешиванию. Кроме того, благодаря вихревой аэродинамике в несколько раз увеличивается время нахождения частиц топлива в зоне горения, что также положительно сказывается на уровне вредных выбросов.

В этом отношении вихревая топка выгодно отличается от стандартных топочных устройств угольных котлов, где величина механического недожога может достигать 40 %, а уровень вредных выбросов может превышать предельно допустимые значения в несколько раз.

Топливо из расходных баков с помощью винтового насоса по системе трубопроводов подавалось к форсункам горелочных устройств. Регулирование объема подачи осуществлялось с помощью инвертора путем изменения частоты вращения двигателя насоса.

Распыление топлива осуществлялось с помощью сжатого воздуха от компрессора. Температура в вихревой камере сжигания контролировалась термопреобразователем, давление ВУТ и сжатого воздуха – датчиками давления и манометром, расход топлива и сжатого воздуха – расходомерами. Все показания по давлению и температуре фиксировались на технологических измерителях. Для розжига применялась соляная горелка.

Измерение содержания основных токсичных компонентов (CO, NOX, SO₂) в уходящих газах при сжигании ВУТ производилось с помощью газоанализатора Testo 300XXL, который зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под № 17271-05 и допущен к применению в Российской Федерации. Параметры работы вихревой топки приведены в табл. 2.

Результаты и их обсуждение

Содержание твердой фазы в пробах ВУТ из каменных углей практически постоянно и колеблется в небольших пределах – от 60 до 65 % (табл. 1). Исключение составляет топливо из бурого угля, содержание твердой фазы в котором 47 %, что обусловлено высоким содержанием влаги в исходном угле. Большая часть исходной влаги химически связана с частицами угля и не участвует в образовании жидкой структуры топлива. Небольшое содержание твердой фазы в ВУТ из бурого угля также объясняет пониженную теплоту сгорания топлива и обуславливает его высокий расход при сжигании.

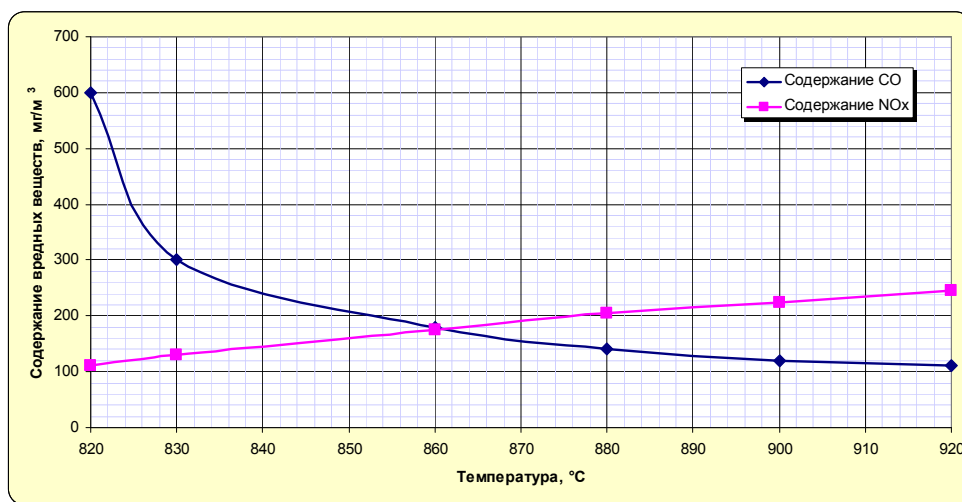


Рис. 3. Зависимость содержания вредных веществ от изменения температуры в вихревой камере

Ввиду того что содержание серы в кузбасских каменных углях и вьетнамском антраците мало [3], при сжигании партий ВУТ из этих углей практически не образуется двуокись серы SO_2 . Небольшое содержание SO_2 отмечено при сжигании ВУТ из монгольских бурых углей и шламов ОФ ОАО «Междуречье». Максимальное содержание двуокиси серы в газах наблюдалось при сжигании ВУТ из болгарских высокосернистых углей, причем не наблюдалось зависимости величины SO_2 от температуры (в диапазоне $900\div 1000$ °C).

Содержание CO при стабилизированном режиме горения топлива во всех опытах невысокое, в 1,5-3,0 раза меньше нормативных значений [4]. Отмечено, что во всех случаях содержание CO в газовых выбросах снижается с ростом температуры в топке вследствие уменьшения химического недожога (рис. 3).

Содержание NO_x также существенно ниже нормативного значения [5]. С ростом температуры содержание NO_x пропорционально увеличивается, что соответствует представлениям об образовании соединений азота при горении (рис. 3).

Результаты сжигания опытных партий ВУТ приведены в табл. 3. Содержание и изменение вредных веществ в дымовых газах показано на рис. 4.

Можно утверждать, что сравнительно низкие значения вредных веществ, полученные при сжигании ВУТ, обусловлены:

- относительно невысокими значениями температуры горения топлива в вихревой камере;
- длительным временем нахождения (и, соответственно, полным выгоранием) частиц распыленного ВУТ в зоне горения.

Заключение

Проведенные исследования показали:

- благодаря применению эффективной технологии вихревого сжигания суспензионного водоугольного топлива достигнуто существенное снижение содержания вредных веществ в уходящих газах;

Таблица 3. Содержание вредных веществ в отходящих газах при сжигании образцов ВУТ из различных углей и шламов

Наименование показателя	Уголь марки СС (горение в слое)	Результаты сжигания партий ВУТ, мг/м ³ , приготовленного на основе							
		ВУТ из угля марки Д (Кузбасс)	ВУТ из шламов марки СС ^{III} (Кузбасс)	ВУТ из шламов ОФ ОАО «Междуречье» (Кузбасс)	ВУТ из шламов ЦОФ «Абашевская» (Кузбасс)	ВУТ из антрацита (Вьетнам)	ВУТ из бурых углей (Монголия)	ВУТ из высокосернистых углей (Болгария)	ВУТ из кека ОФ «Щедрухинская» (Кузбасс)
Массовая доля твердой фазы, %	82	64	64,5	62,6	62,5	64,5	47	62	63
Низшая теплота сгорания, МДж/кг (ккал/кг)	20,89 (4990)	14,99 (3580)	16,18 (3865)	16,01 (3823)	12,21 (2916)	15,18 (3625)	8,361 (1997)	15,31 (3656)	15,07 (3600)
Вязкость (при скорости сдвига 81 с ⁻¹), мПа·с	-	320	355	563	380	470	850	370	385
Расход ВУТ, л/ч	-	50	60	60	100	30	130	80	95
Давление ВУТ, атм	-	1,8	1,7	1,5	1,5	3,2	1,3	1,7	1,5
Температура в топке, °С	900	1050	1100	1050	950	980	900	1000	1150
СО', мг/м ³	320	219	210	110	165	112	248	140	1,8
NO _x ² , мг/м ³	270	80	280	244	245	173	252	105	122
SO ₂ ³ , мг/м ³	0	0	0	30	0	0	47	480	0

1 Нормативные значения СО – не более 375 мг/м³ (ГОСТ 28193-89).

2 Нормативные значения NO_x – не более 750 мг/м³ (ГОСТ 28193-89).

3 Нормативные значения SO₂ – не более 750 мг/м³ (ГОСТ 28193-89).

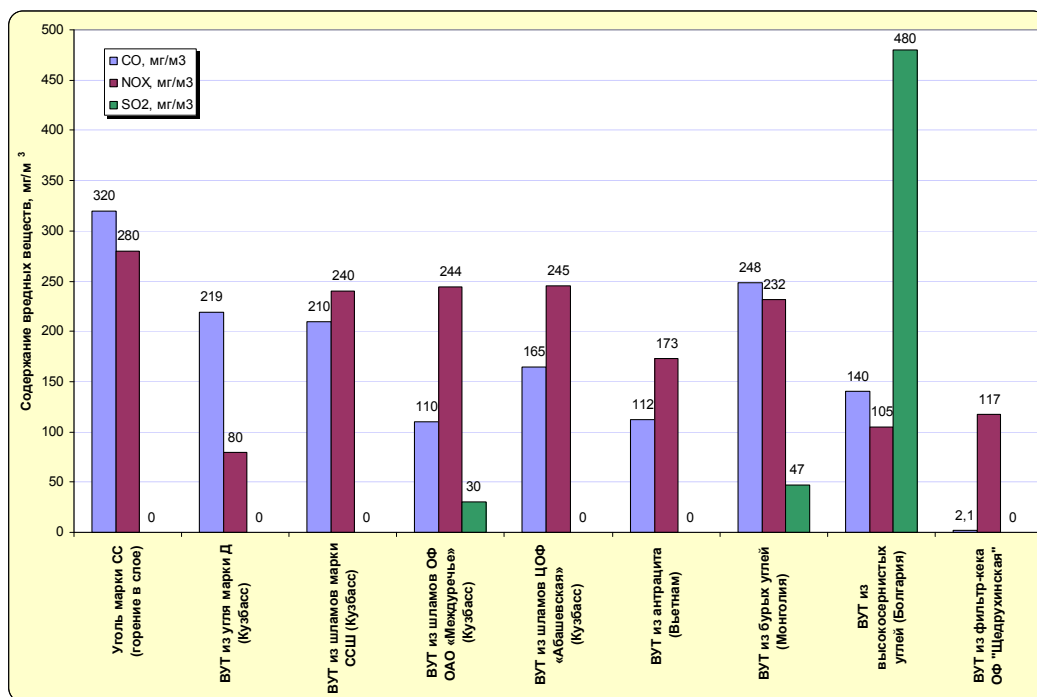


Рис. 4. Содержание и изменение вредных веществ в дымовых газах при сжигании ВУТ

- применение угля в виде суспензионного водоугольного топлива как экологически чистого энергоносителя перспективно, в том числе для продуктов углеобогащения и угольных шламов.

Список литературы

- [1] Мурко В.И., Федяев В.И., Бровченко С.А., Дзюба Д.А. // Уголь. 2003. № 6. С. 53-54.
- [2] http://www.pem-energo.ru/szhiganie_vod
- [3] Мурко В.И., Федяев В.И., Фунг Мань Дак. // Уголь. 2007. № 10. С. 59-60.
- [4] Мурко В.И., Федяев В.И., Стариков А.П. и др. // Сибирский уголь. 2008. № 1. С. 38-39.
- [5] Журавлева Н.В., Мурко В.И., Федяев В.И. и др. // Экология и промышленность России. 2009. № 1. С. 21-24.

The Emission Results During the Suspension Coal Fuel Burning

**Vasily I. Murko, Vladimir I. Fedyaev,
Victor I. Karpenok and Dmitry A. Dzuyba**
*Scientific-Production Company «Sibecotechnica
2 Kommunarov str., Novokuznetsk, 654000 Russia*

The article is about the results of harmful substances concentrations results in the off-gases at bench and pilot tests of vortex technology of suspension water-coal slurry (WCS) burning. It is shown that the worked out technology of liquid coal fuel burning let significantly reduce the harmful substances emission into the atmosphere. The article is written during the implementation project of private-state partnership in the sphere of implementation of a complex project of creating a high-tech production under financial support of the Government of the Russian Federation (code 2010-218-02-174 «The development of technology and the creation of a pilot sample of automated power generating complex working on coal-enrichments wastes»).

Keywords: slurry hydrocarbon fuel, coal tailings, enrichment waste, vortex burning, emissions.
