

СЖИГАНИЕ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВКАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

В.И. Мурко, В.И. Федяев, В.И. Карпенко, Д.А. Дзюба,
В.Н. Десягин, Н.М.Иванов, В.Я. Батищев

Рассматриваются результаты работы по определению концентрации вредных веществ в отходящих газах при стендовых и опытно-промышленных испытаниях сжигания суспензионного водоугольного топлива (ВУТ) в теплогенерирующих установках малой мощности. Предложена технология вихревого сжигания суспензионного топлива, обеспечивающая максимальное выгорание угольных частиц и эффективную стабилизацию горения в топках ограниченного размера.

Ключевые слова: теплогенерирующие установки, водоугольное топливо, вихревое сжигание, суспензионное топливо, концентрация вредных веществ

ВВЕДЕНИЕ

Стационарные теплогенерирующие установки в сельской местности составляют почти 90% всех энергетических мощностей потребителей данной категории. Неудовлетворительное качество монтажа энергоустановок, уровня эксплуатации и резкопеременный график нагрузки обуславливает низкий коэффициент использования топлива ($K_{\text{и}}$), высокие удельные выбросы вредных веществ в биосферу. По данным, приведенным в [1], математическое ожидание $K_{\text{и}}$ для угольных котельных с установленной мощностью до 2 МВт составляет 19...38%, среднеквадратичное отклонение σ составляет 7.4 %. Удельные выбросы вредных веществ небольших энергоустановок достигают следующих значений: двуокиси серы 0,26...1,30; двуокиси азота 0,20...0,30; окиси углерода 2,60...2,70; пыли 0,57...0,80 кг/ГДж. Летучая зола малых теплогенерирующих энергоустановок в сельской местности содержит бензо(а)пирена и других ПАУ в десятки тысяч раз выше, чем для крупных ТЭЦ [2]. Учитывая, что выбросы вредных веществ данной категории энергоустановок оседают в близлежащей (жилой) территории, содержание вредных веществ в атмосфере во много раз превышает критические значения.

Решение данной проблемы путем перехода на качественное топливо (природный газ, дистилляты) не всегда возможно по экономическим (высокие цены на дистилляты) или организационным причинам (отсутствие развитой системы газоснабжения) для сельскохозяйственных районов Сибири.

Как показывают исследования, вариантом решения данной проблемы может быть

переход на использование водоугольных топлив (ВУТ). Экономическая эффективность перехода на ВУТ рассмотрена в [3]. Однако приведенные показатели не учитывают экологическую составляющую экономического ущерба (отсутствуют показатели выброса вредных веществ реально работающих энергоустановок). Наиболее энергоемкие процессы в АПК – отопление и процессы сушки зерна.

При сушке зерна газовой смесью расходуется в 2... 2,5 раза меньше топлива, чем при сушке нагретым через теплообменник воздухом, и потому она получила наибольшее распространение. В настоящее время почти все отечественные сушилки работают на газовой смеси. Риск образования канцерогенных веществ в данном случае существенно повышается. Работа топок зерносушилок на жидком или газообразном топливе еще не гарантирует отсутствия бенз(а)пирена и других вредных веществ в продуктах сгорания.

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

РЕЗУЛЬТАТЫ

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

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

Таблица 1 - Характеристика исходного сырья для приготовления партий ВУТ

Исходный материал	Вла- га, %	Золь- ность, %	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 «ССШ»	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)
Тонкодисперсные отходы углеобогащения	39,9	32,9	26,3	12,48 (2980)

Исследования состава вредных выбросов при сжигании суспензионного водоугольного топлива были проведены на демонстрационных стендах опытно-промышленной установки ЗАО НПП «Сибэкотехника», ГНУ СибИМЭ. Установки предназначены для отработки режимов приготовления и сжигания опытных партий водоугольного топлива, а также для отработки режимов сушки сельскохозяйственного сырья при производстве пищевых продуктов.

Внешний вид и технологическая схема установки приведены на рис. 1. Вихревой способ сжигания [4] обеспечивает максимальное выгорание угольных частиц, используя механизмы внутренней стабилизации

горения, характерные для вихревых топок. 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. Активная вихревая аэродинамика, создаваемая в камере тангенциальной подачи 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.



Рисунок 1 - Внешний вид установки сжигания ВУТ

Измерение содержания основных токсичных компонентов (CO, NOX, SO₂) в уходящих газах при сжигании ВУТ производилось с помощью газоанализатора Testo 300XXL.

Параметры работы вихревой топki водогрейного котла приведены в табл. 2, вихревой топki теплогенератора – в табл. 3.

СЖИГАНИЕ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВКАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Таблица 2 - Параметры работы вихревой камеры сжигания

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Значение
Расход дутьевого воздуха	Qв.д	м ³ /ч	330 – 550
Давление сжатого воздуха на распыл ВУТ	Рсж	МПа (кгс/см ²)	0,1471 – 0,1961 (1,5 – 2,0)
Расход топлива	Вт	кг/ч	30 – 130
Коэффициент избытка воздуха	α	–	3,3 – 3,9
Температура газов в топке	tт	°С	900 – 1200
Температура газов перед котлом	tпк	°С	690 – 800
Температура газов после котла	tкв	°С	230 – 275

Таблица 3 - Параметры работы вихревой камеры сжигания теплогенератора

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Значение
Расход дутьевого воздуха	Qв.д	м ³ /ч	–
Давление сжатого воздуха на распыл ВУТ	Рсж	МПа (кгс/см ²)	0,1471 – 0,1961 (1,5 – 2,0)
Расход топлива	Вт	кг/ч	26 – 100
Коэффициент избытка воздуха	α	–	1,55 – 3,91
Температура газов в топке	tт	°С	940 – 1030
Температура газов перед теплообменником	tпт	°С	610 – 700
Температура газов после теплообменника	tкт	°С	230 – 187

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 твердого в ВУТ из бурого угля также объясняет пониженную теплоту сгорания

топлива и обуславливает его высокий расход при сжигании.

Содержание серы в кузбасских каменных углях незначительно. При сжигании партий ВУТ из этих углей практически не образуется двуокись серы SO₂. Содержание СО при стабилизированном режиме горения топлива во всех опытах невысокое, в 1,5–3,0 раза меньше нормативных значений [4]. Во всех случаях содержание СО в газовых выбросах снижается с ростом температуры в топке вследствие уменьшения химического недожога (рис. 2).

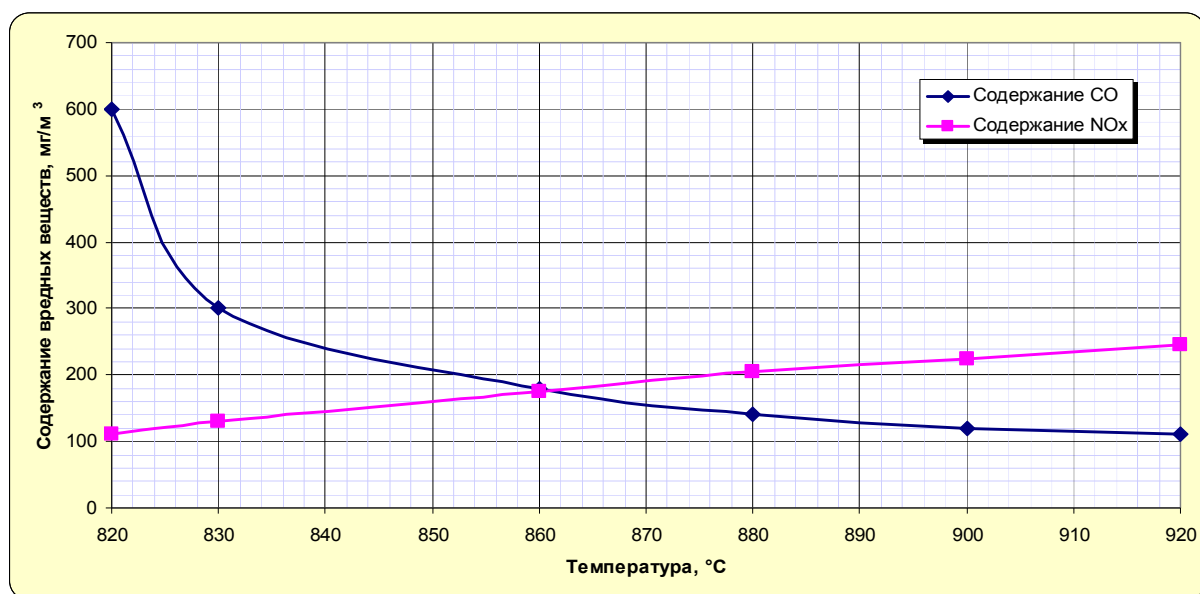


Рисунок 2 - Зависимость содержания вредных веществ от изменения температуры в вихревой камере

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

Результаты сжигания опытных партий ВУТ приведены в табл. 4...5. Полученные результаты позволяют рассчитать объем подаваемого для смешивания воздуха в сушильные камеры без превышения ПДК вредных веществ.

Таблица 4 - Зависимость содержания вредных веществ в отходящих газах от режима работы теплогенератора сушильной установки

Номер опыта	Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки α	Расход топлива G л/час	Отклик системы (показания TESTO t300 XXL, №01397660)					
			CO мг/м ³	SO ₂ мг/м ³	CO ₂ %	NO мг/м ³	кпд %	T °C
1	1,92	95	7	823	22.3	219	77	1135
2	1,16	95	614	556	15.8	96	84	950
3	1,92	65	9	114	21.2	247	78	1090
4	1,16	65	342	315	20.5	78	82	1000

Таблица 5 - Содержание вредных веществ в отходящих газах при сжигании образцов ВУТ из различных углей и шламов (Кузбасс)

Наименование показателя	Уголь марки СС (горение в слое)	Результаты сжигания партий ВУТ, мг/м ³ , приготовленного на основе:			
		ВУТ из угля марки Д (теплогенератор)	ВУТ из шламов марки ССШ (котел)	ВУТ из шламов ОФ ОАО «Междуречье» (котел)	ВУТ из кека ОФ «Щедрухинская» (котел)
Массовая доля твердой фазы, %	82	62	64,5	62,6	63
Низшая теплота сгорания, МДж/кг (ккал/кг)	20,89 (4990)	17,31 (4132)	16,18 (3865)	16,01 (3823)	15,07 (3600)
Вязкость (при скорости сдвига 81 с ⁻¹), мПа·с	—	420	355	563	385
Расход ВУТ, л/ч	—	90	60	60	95
Давление ВУТ, атм	—	1,8	1,7	1,5	1,5
Температура в топке, °C	900	1030	1100	1050	1150
CO ₁ , мг/м ³	320	7	210	110	1,8
NO _{X2} , мг/м ³	270	215	280	244	122
SO ₂₂ , мг/м ³	0	0	0	30	0

Нормативные значения CO – не более 375 мг/м³ (ГОСТ 28193–89)

2 Нормативные значения NOX – не более 750 мг/м³, нормативные значения SO₂ – не более 750 мг/м³ – production. 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.

Полученные удельные выбросы вредных веществ при сжигании ВУС в специализиро-

ванных энергоустановках существенно ниже, чем в традиционных для АПК установках со слоевой топкой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали:

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

– полученные зависимости содержания вредных веществ от режима работы теплогенератора могут быть использованы для расчета газовой смеси в процессах сушки зерна;

СЖИГАНИЕ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВКАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

– применения угля в виде суспензионного водоугольного топлива как экологически более чистого энергоносителя перспективно для энергоисточников малой мощности в АПК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Делягин, В.Н. Оптимизация параметров систем энергообеспечения сельскохозяйственных потребителей (тепловые процессы)/ В.Н. Делягин.– Новосибирск: РАСХН Сиб. отд-ние. СибИМЭ.– 2005.– 300 с.

2. Филлипов, С.П. Экологические характеристики источников малой мощности./ С.П. Филлипов, П.П. Павлов, А.В. Кейко, А.В. Горшков, Л.И. Белых // ИЭСМ СО РАН.– Преп. №5.– Иркутск, 1999.– 48 с.

3. Делягин В.Н. и др. Использование водоугольного топлива в тепловых процессах АПК.// Ползуновский вестник №2/1 2011г, материалы 2-й международной конференции «Электроэнергетика

в сельском хозяйстве». Новосибирск–Барнаул, С.239–243.

4. Мурко, В.И. Результаты промышленного опробования технологического комплекса по приготовлению и сжиганию суспензионного угольного топлива/ В.И. Мурко, В.И. Федяев, Стариков А.П. и др. // Сибирский уголь. 2008.- № 1.- С. 38–39.

5. Журавлева Н.В., Мурко В.И., Федяев В.И. и др. Экологические аспекты вихревой технологии сжигания суспензионного угольного топлива. // Экология и промышленность России. 2009.- № 1.- С. 21–24.

Мурко В.И. - д-р. техн. наук; **Федяев В.И.;** **Карпенко В.И.;** **Дзюба Д.А.,** ЗАО «Научно–производственное предприятие «Сибэкотехника», e-mail: sib_eco@kuz.ru, (383)3481209

Делягин В.Н. - д-р. техн. наук; **Иванов Н.М.** - д-р. техн. наук; **Батищев В.Я.** - ГНУ Сибирский НИИ механизации и электрификации сельского хозяйства, тел. (383)3481209, e-mail: sibime@ngs.ru