

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА И СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОТЛОМ С ТОПКОЙ ФОРСИРОВАННОГО КИПЯЩЕГО СЛОЯ, РАБОТАЮЩЕЙ В РЕЖИМЕ ГАЗИФИКАЦИИ

А.М. Сидоров, Ф.В. Щербаков, А.М. Завьялов, П.К. Сеначин

В работе рассмотрена проблема и опыт внедрения в промышленную и коммунальную энергетику высокоэффективных схем организации топочного процесса в форсированном низкотемпературном кипящем слое с топкой, работающей в режиме газификации. Рассмотрены и описаны основные принципы создания системы автоматического управления котлом. Данная технология обеспечивает стабильное горение в объёме слоя и в надслоевом пространстве. Она позволяет осуществлять сжигание практически любых топлив и горючих отходов при относительно низкой температуре (800-1000°C) без спекания слоя.

Ключевые слова: котел, топка кипящего слоя, форсированный кипящий слой, режим частичной газификации слоя.

Введение

Перспективным направлением развития промышленной и коммунальной энергетики является внедрение высокоэффективных схем организации топочного процесса в форсированном низкотемпературном кипящем слое (ФКС). Данная технология обеспечивает стабильное горение в объёме слоя и в надслоевом пространстве. Она позволяет осуществлять сжигание практически любых топлив и горючих отходов при относительно низкой температуре (800-1000°C) без спекания слоя.

Форсированный кипящий слой

Основным отличием ФКС от других типов кипящего слоя является высокая (7-10 м/с) скорость оживления - форсировка слоя. При этом низкий мехнедожог (менее 1,5-2,5 %) обеспечивается благодаря расширению сечения топочного надслоевого объёма кверху. Это способствует возврату крупных частиц в слой (рециркуляции) и уменьшению выноса мелких частиц. ФКС не имеет погружённых в слой поверхностей нагрева и связанных с этим проблем. Надёжная работа экранных труб в зоне динамического воздействия слоя обеспечивается применением эффективных средств защиты от абразивного износа.

Помимо основного преимущества перед обычными слоевыми или факельными топками - возможности сжигания низкокалорийных, высокозольных и высоковлажных углей - топ-

ки ФКС обладают более высокими экологическими показателями по выбросам NO_x и SO_2 в атмосферу. Кроме того, низкие температуры горения в кипящем слое гарантируют беспыльную работу топочных экранов и конвективных поверхностей нагрева.

Режим газификации слоя

Технология ФКС подразумевает работу слоя в режиме газификации топлива при фактических избытке воздуха $\alpha < 1,0$. Величина избытка определяется калорийностью и видом топлива и может составлять 0,3-0,7 (для бурых углей больше). Это позволяет ещё более уменьшить габариты реактора и снизить затраты на подачу воздуха под решётку. Высвободившийся воздух увеличивает долю вторичного дутья, необходимого для дожигания уноса и продуктов газификации, до 50%, что позволяет организовать активное внутритопочное дожигание топочных газов, способствующее повышению эффективности сгорания топлива. Теплонапряжение воздухораспределительной решётки в расчёте на поданное топливо может достигать 10-15 МВт/м².

Продукты газификации можно рассматривать как дополнительно поданное в надслоевой объём газообразное топливо. Организовать дожигание газообразных продуктов, можно правильно распределяя вторичный воздух. Поскольку из объёма кипящего слоя всегда выносятся мелочь топлива, то эти газообразные продукты являются стабилизи-

рующим фактором для дожигания частиц углерода и уменьшают механический недожег даже без применения систем возврата уноса.

Вторичный воздух обычно подают в надслоевой объем, распределяя его с помощью воздухораспределительных гребенок таким образом, чтобы обеспечить равномерную подачу его по сечению и по высоте топки начиная с надслоевой зоны.

Во всех случаях количество вторичного воздуха на горение в режиме газификации определяется при наладке котла по минимуму содержания СО в уходящих газах и низком мехнедожеге.

Особенности системы автоматического управления котлом с топкой ФКС

Распределяя нужным образом подачу вторичного воздуха по высоте топки можно управлять температурами в надслоевом объеме и даже достичь повышения температур относительно слоевой, что на котлах работающих в топочном режиме практически невозможно. Эта особенность работы топки ФКС позволяет поддерживать температуру в надслоевом объеме и без подогрева вторичного воздуха. Конструкция котла при этом упрощается, а надежность работы значительно повышается.

В этом случае управление котлом с кипящим слоем работающим в режиме газификации и регулирование его нагрузки значительно упрощается [1].

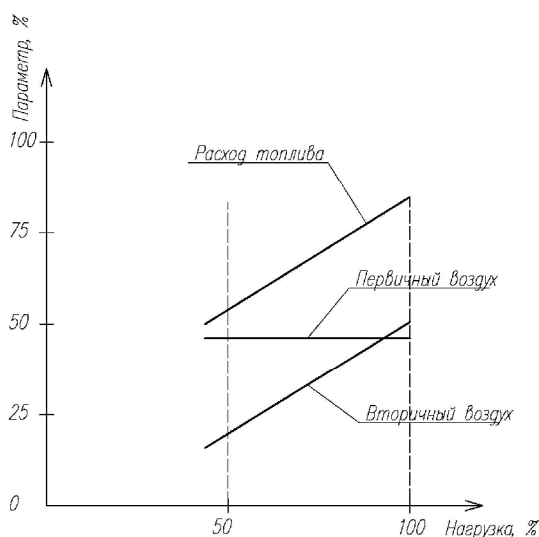


Рисунок 1 - Зависимость параметров работы топки котла от подачи топлива

Если расход первичного воздуха в процессе регулирования нагрузки котла неизменен (что весьма желательно с точки зрения управления топочным процессом), то соотношение топливо – воздух на котел устанавливается только вторичным воздухом (рисунок 1).

Преимущества котла с топкой ФКС с газификацией топлива в слое

Несмотря на то, что по сжиганию в кипящем слое имеется довольно обширная литература [2, 3], вопросы работы котла в с частичной газификацией твердого топлива в кипящем слое изложены недостаточно полно. Поэтому результаты испытаний ряда котлов и преимущества режима частичной газификации топлива в кипящем слое необходимо обобщить и обобщить отдельно. На основе полученных нами экспериментальных данных, эти преимущества сводятся к следующим.

1. Нагрузка котла может изменяться с большей скоростью, поскольку температура слоя **неизменна** и тепловая инерционность слоя не оказывает влияния на темп изменения нагрузки.

2. Регулирование нагрузки котлоагрегата, работающего в режиме газификации топлива, можно осуществлять **пропорциональным изменением подачи топлива и вторичного воздуха** при практически неизменном расходе воздуха под слой. Эти регулировки нетрудно автоматизировать. При необходимости вводится корректировка по содержанию СО в уходящих газах. Диапазон регулирования нагрузки легко может быть расширен по сравнению с традиционными котлами с кипящим слоем. Это справедливо для котлов любой производительности.

3. Практически на котлах с кипящим слоем газификация начинается уже при избытке расхода воздуха равном 1,1...1,2 по причине неравномерности прохождения пузырей воздуха через слой и ряда других факторов.

4. Топки, предназначенные для работы в режиме газификации, не имеют такого недостатка, свойственного обычному кипящему слою, как **шлакование**, поскольку температура в слое **выше критической не увеличивается** во всем диапазоне нагрузок (температура горения становится ниже температуры плавления золы).

5. В режиме газификации значительно (иногда в несколько раз) снижается эмиссия окислов азота по сравнению с топочным режимом работы кипящего слоя.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА И СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОТЛОМ С ТОПКОЙ ФОРСИРОВАННОГО КИПЯЩЕГО СЛОЯ, РАБОТАЮЩЕЙ В РЕЖИМЕ ГАЗИФИКАЦИИ

6. Некоторое изменение расхода воздуха в слой в режиме газификации не оказывает заметного влияния на режимы работы котла за исключением содержания СО в топке.

7. В тоже время недостаток вторичного воздуха для топок работающих в режиме газификации, как показала практика работы котлов, очень существенно сказывается на качественных показателях работы надслоевого объема (выше зоны расширенного слоя).

Несоответствие установленного расхода вторичного воздуха режимной карте, приводит помимо резкого роста СО, еще и к увеличению концентрации горючих в уносимой золе до 25-30 % (при нормальной работе эта концентрация не выше 3-9 %). Причем для подавления мехнедожега необходимо иметь избыток воздуха на 0,1-0,2 выше, чем для подавления СО. Котлы, работающие в топочном режиме менее критичны к подаче вторичного воздуха.

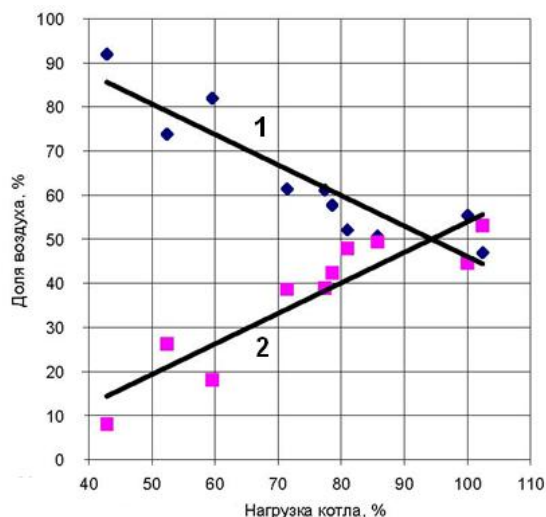


Рисунок 2 - Перераспределение расхода воздуха в котел в зависимости от нагрузки:
1- первичный воздух; 2- вторичный воздух

Указанные преимущества топок ФКС определили выбор способа сжигания топлива при переводе станционных котлов №1 и №3, установленных в котельной УМУПТС г. Уссурийска. При испытаниях сжигался Павловский бурый уголь марки 2Б.

Испытания котла КВ-30-150 ФКС были проведены на четырех нагрузках 13,1; 20,1; 25,0 и 30,0 Гкал/ч, то есть в диапазоне 23-100 % от номинального режима.

Результаты балансовых испытаний котла отражены в таблице 1.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3/1 2012

8. Топка кипящего слоя, работающая в режиме газификации значительно менее критична к фракционному составу топлива и может работать на крупной фракции, так как скорости в слое достаточно высоки. Топливо может не иметь мелочи, этим дополнительно снижается мехнедожег и упрощается система топливоподготовки.

Для примера ниже приводятся соотношения расходов воздуха на котел номинальной тепловой мощности 34 МВт измеренные при различных нагрузках. Содержание СО во всем диапазоне регулирования нагрузки не превышает 150 ppm.

Как видно из графиков (рисунки 2 и 3) на нагрузке до 15 МВт котел работает в топочном режиме, практически без подачи вторичного воздуха.

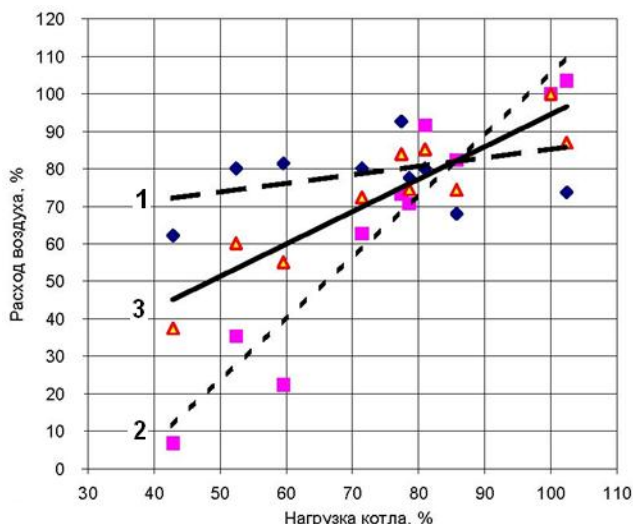


Рисунок 3 - Зависимость расходов воздуха в котел от нагрузки: 1-первичный воздух (в слой); 2- вторичный воздух; 3- общий (суммарный) воздух

Экспериментальные данные, приведенные в таблице 1, доказывают, что регулирование нагрузки котлоагрегата, работающего в режиме газификации топлива, осуществляется пропорциональным изменением подачи топлива и вторичного воздуха при практически неизменном расходе воздуха под слой.

В отличие от топок работающих в режиме газификации, в топочном режиме кипящий слой представляет собой сложную динамическую систему с несколькими взаимосвязанными входными и выходными величинами.

Таблица 1 – Сводная таблица измерений нагрузок котла кипящего слоя

№ пп.	Наименование показателей	Единица измерения	Значение параметра			
			4	5	6	7
1	Расход воды через котел	м ³ /ч	390	390	390	390
2.	Температура воды на выходе из котла	°С	99,5	117,5	130	143
3.	Температура воды на входе в котел	°С	66	66	66	66
4.	Тепловая нагрузка котла	Гкал/ч	13,1	20,1	25,0	30,0
5.	Температура уходящих газов	°С	88,0	92,0	101,7	110,6
6.	Положение НА вентилятора ВНВ	%	58	65	65	70
7.	Положение НА вентилятора вторичного дутья	%	0	12	25	40
8.	Расход первичного воздуха	м³/ч	28400	28500	28450	28600
9.	Расход воздуха на вторичное дутье	м³/ч	5600	10000	16700	23100
10.	Температура кипящего слоя (средняя)	°С	950	935	910	880
11.	Потеря тепла с уходящими газами	%	5,45	5,51	5,86	6,01
12.	Потери тепла от химнедожога	%	0,08	0,09	0,08	0,06
13.	Потери тепла от мех.недожога	%	0,85	1,02	2,01	2,22
14.	Потери тепла в окружающую среду	%	2,00	1,30	1,04	0,87
15.	КПД котлоагрегата брутто по обратному балансу	%	91,6	92,1	91,0	90,8
16.	Полный расход топлива на котел	кг/ч	4630	7081	8905	10733
17.	Расчетный расход топлива на котел	кг/ч	4590	7009	8725	10495
18.	Расход натурального топлива на 1 Гкал выработанного тепла	кг/Гкал	354,4	352,6	356,8	357,4
19.	Расход условного топлива на 1 Гкал выработанного тепла	кг у.т./Гкал	155,9	155,1	157,0	157,3
20.	Концентрация СО за экономайзером	ppm	145	165	155	136

Ярко выраженная направленность участков регулирования по основным каналам регулирующих воздействий, таким, как расход топлива в кипящий слой - температура кипящего слоя, температура кипящего слоя - теплопроизводительность, расход воздуха под кипящий слой - температура кипящего слоя и другим, позволяет осуществлять стабилизацию регулируемых величин с помощью независимых одноконтурных систем, связанных лишь через объект регулирования.

В связи с тем, что котлы на нагрузках ниже 50% переходят в топочный режим, необходимы дополнительные исследования динамических характеристик топок ФКС во всем диапазоне нагрузок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сеначин П.К. Щербаков Ф.В. Результаты наладочных испытаний топок кипящего слоя в режиме газификации. // Ползуновский вестник.- 2006.- №4.- С. 161-165.

2. Баскаков А.П., Мацнев В.В., Распопов И.В. Котлы и топки с кипящим слоем.- М.: Энергоатомиздат, 1996.- 352 с.

3. Кубин М. Сжигание твердого топлива в кипящем слое.- М.: Энергоатомиздат, 1991.- 144 с.

Сидоров А.М.¹, к.т.н., директор,
e-mail: nicbem@mail.ru

Щербаков Ф.В.¹, главный инженер,
Завьялов А.М.¹, инженер

Сеначин П.К., д.т.н., проф., профессор,
e-mail: senachinpk@mail.ru

¹ООО НИЦ «Бийскэнергомаш», Барнаул,
5-я Западная, 85, офис 201 (2-й этаж),
тел. (83852) 330011, 330013

²Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
656038, Барнаул, просп. Ленина, 46, каф. ДВС,
тел. (83852) 260516