СИДОРОВ А.М., к.т.н., СКРЯБИН А.А., к.т.н., МЕДВЕДЕВ А.И., ЩЕРБАКОВ Ф.В.,
НИЦ ПО «Бийскэнергомаш», г. Барнаул

Ключевые слова:
котельное оборудование

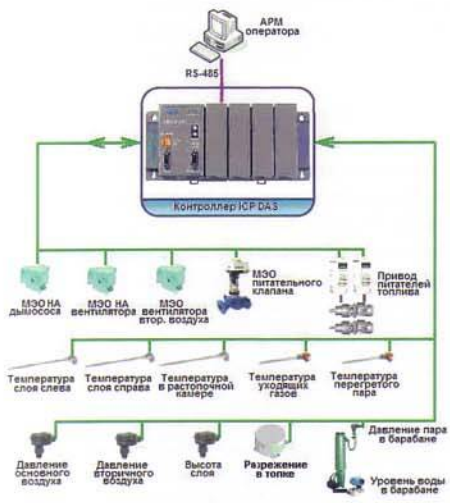
НИЦ ПО «Бийскэнергомаш»

Опыт внедрения котлов средней и малой мощности с топками форсированного низкотемпературного кипящего слоя

Освобождение цен на энергоносители привело к резкому росту составляющей себестоимости выпускаемой продукции, обусловленной затратами на топливные ресурсы. Поэтому руководители предприятий изыскивают возможности экономии тепловой и электрической энергии.



Монтаж конвективного блока



Структурная схема автоматики

656023, г. Барнаул,
ул. 5-я Западная, 85, а/я 3853
E-mail: nicbem@mail.ru
Тел./факс: 8(3852) 33-00-13

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 надслоевом пространстве. Она позволяет осуществлять сжигание практически любых топлив и горючих отходов при относительно низкой температуре (800-1000КС) без спекания слоя.

Основным отличием ФКС от других типов кипящего слоя является высокая (3-10 м/с) скорость ожижения – форсировка слоя. При этом низкий мехнедожог (менее 1,5-2,5%) обеспечивается благодаря расширению сечения топочного надслоевого объёма к верху. 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.

Форсировка воздухораспределительной решётки даёт следующие преимущества:

– обеспечивает малые габариты решётки и реактора кипящего слоя и, следовательно, благоприятные условия для модернизации и реконструкции установленного оборудования, небольшую стоимость и малые расходы на ремонт;

– позволяет сжигать топливо более грубого дробления по сравнению с классическим кипящим слоем. Фактически для бурых углей максимальный размер куска может достигать 30-50 мм;

– обеспечивает более надёжную работу слоя по условиям залегания, а, следовательно, расширяет диапазон регулирования нагрузки.

Технология ФКС подразумевает работу слоя в режиме газификации топлива при фактических избытках 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 70%, что позволяет организовать активное вихревое движение топочных газов, способствующее повышению эффективности сгорания топлива. Теплонапряжение воздухораспределительной решётки в расчёте на поданное топливо может достигать 10-15 МВт/м^2.

Технология ФКС по форсировке воздухораспределительной решётки близка к циркулирующему кипящему слою (ЦКС) и обладает следующими преимуществами:

– возможностью встраивания котлов ФКС в типовые котельные ячейки;

– отсутствием шлакования поверхностей нагрева;

– хорошими показателями топок ФКС по сравнению с механизированными слоевыми топками, по стоимости, сроку службы, надёжности и ремонтопригодности;

– отсутствием мельничного оборудования;

– возможностью сжигания широкого спектра топлив и горючих отходов;

– широкими возможностями по регулированию параметров работы котлов ФКС и высокой стабильность несения нагрузки, что позволяет использовать их совместно с паровыми турбинами;

– высокими экологическими показателями по выбросам оксидов серы и азота.

При этом по сравнению с ЦКС внедрение технологии форсированного кипящего слоя требует значительно меньших капитальных затрат.

Особенно привлекательны варианты внедрения ФКС, связанные с реконструкцией котельных. Они позволяют сохранить и использовать большую часть установленного оборудования, значительно сократить капитальные затраты и, следовательно, являются доступными для большинства предприятий промэнергетики и коммунального хозяйства. При этом вложенные средства быстро окупаются, повышается рентабельность.

Технологии ФКС легко применимы для большинства конструкций котлов, выпускаемых Бийским, Дорогобужским, Белгородским и другими котельными заводами.

На сегодня НИЦ ПО «Бийскэнергомаш» разработаны конструкции более 20 котлоагрегатов и совместно с Бийским котельным заводом и рядом других предприятий осуществлено внедрение ФКС более чем на 60 объектах в Алтайском, Красноярском и Пермском краях, Вологодской, Читинской и Иркутской областях, Бурятии, Дальнем Востоке, Казахстане, Украине.

В объём работ ООО «НИЦ ПО «Бийскэнергомаш» входит:

– разработка проекта компоновки котельной установки с выдачей задания проектной организации;

– разработка рабочего проекта оборудования котельной установки;

– изготовление и поставка оборудования котельной установки;

– поставки серийного оборудования котельной установки;

– проектирование, изготовление и поставка систем АСУТП;

– монтаж оборудования котельной установки и систем АСУТП или шеф-монтаж;

– пусконаладочные работы оборудования и систем АСУТП с обучением эксплуатационного персонала.

В качестве примера

В период с 1999 по 2003 годы по технологии ФКС была осуществлена полная реконструкция Читинской ТЭЦ-2 с переводом слоевых котлов ТС-35 на сжигание Харанорского бурого угля в кипящем слое (рисунок).

Необходимость реконструкции была вызвана низким КПД слоевых котлов и значительными ремонтными затратами. Кроме того, ставилась задача повышения производительности котла до 42 т/ч.

Реконструированная топка с ФКС принципиально отличается от традиционных топок кипящего слоя, а именно:

– высокая скорость ожижения (до 9-10 м/с), как у топок с циркулирующим кипящим слоем. За счёт интенсивного перемешивания неравномерности температуры и концентрации топлива по площади слоя отсутствуют. Материал слоя частично выносится в объём топки и, интенсивно охлаждаясь, стекает по заднему экрану обратно в слой, охлаждая его. За счёт многократной внутритопочной циркуляции материала слоя обеспечивается хорошее выжигание горючих;

– под решетку подается только 50-60% воздуха, участвующего в горении, остальной воздух подаётся через сопла вторичного дутья. Недостаток воздуха в слое приводит к частичной газификации топлива и двухстадийному горению;

– вторичный воздух, подаваемый через сопла, расположенные на фронтовой и задней стенах топки, образует мощный горизонтальный вихрь, что способствует дожиганию газов и выносимой мелочи.

Применённые технические решения позволили значительно улучшить показатели работы котла, в частности:

– повысить выжиг топлива без применения дорогостоящих сепарационных устройств и возврата уноса, используемых в котлах с ЦКС. Максимальные потери с механическим недожогом не превышают 2,5%;

– расширить предел регулирования температуры перегретого пара за счёт интенсификации теплообмена в топке, обусловленной горизонтальным вихрем;

– регулировать температуру слоя с помощью изменения расхода воздуха под решётку без применения погружённых поверхностей нагрева. При переходе в режим газификации температура слоя снижается. Зависимость температуры слоя от расхода воздуха под решётку имеет явно выраженный максимум в точке их стехиометрического соотношения, при увеличении или уменьшении воздуха в слое температура падает. Благодаря этому котёл не имеет ограничений по нагрузке из-за высокой температуры слоя;

– добиться умеренного износа конвективных поверхностей, так как 60-70% всего уноса – это проскок относительно крупных частиц (100-1000 мкм), не попавших в горизонтальный вихрь, остальное – очень тонкая зола, которая мало влияет на износ;

– снизить в 2 раза (относительно слоевых и факельных топок) выбросы оксидов азота. За счет двухстадийного горения и низких температур слоя во всём регулировочном диапазоне нагрузок и при любых избытках воздуха в топке максимальная концентрация NOX не превышает 200 мг/м^3;

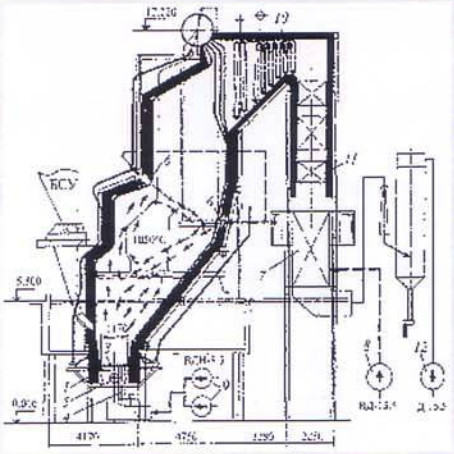
– исключить значительные потери с химическим недожогом. Концентрация окиси углерода за счёт дожигания в вертикальном вихре не превышает 100 ppm.

Сравнительные характеристики котла ст. №7 до и после реконструкции приведены в таблице

Наименование параметра	Значение	
	До реконструкции	После реконструкции
Производительность, т/ч	35	42
Давление пара, МПа	3,8	3,8
Температура пара, °С	440	440
Температура питательной воды, °С	105	105
Потери тепла с механическим недожогом, %	4,5	2,5
КПД котла брутто, %	82	86
Диапазон регулирования нагрузки, %	40–100	52–100
Избыток воздуха за топкой	1,4	1,3
Температура уходящих газов, °С	175	180
Концентрация CO (не более), мг/м^3	4000	100
Концентрация NOX (не более), мг/м^3	450	200

Результаты наладочных опытов показали, что максимальная паропроизводительность котла после реконструкции ограничена производительностью дымососа и составляет 44 т/ч. Заполнение топки на нагрузках выше 35-38 т/ч улучшается, содержание окиси углерода в газах снижается.

По данным эксплуатации, топочный режим реконструированных котлов характеризуется высокой стабильностью. Отклонения температуры перегретого пара в стационарном режиме кратковременны и не превышают ±5°С. Перекосы температур по ширине топки и пульсации не наблюдаются. Рабочая температура слоя составляет 920-980°С.



Топка с низкотемпературным кипящим слоем с вертикальным вихрем

В ходе наладочных испытаний выявлено, что минимальные тепловые нагрузки, обеспечивающие саморазогрев слоя, полностью удовлетворяют заданный график растопки котла. Расход угля для поддержания минимальной температуры слоя примерно 1,5 т/ч, что составляет около 15% расхода топлива на котёл при номинальной нагрузке.

Растопка котла начинается на дизельном топливе. После устойчивого загорания угля в слое при температуре 500-550°С растопочная форсунка отключается, устанавливается минимальный расход топлива, и прогрев котла продолжается без постороннего вмешательства в режим горения. Расход дизельного топлива для разогрева слоя при растопке из холодного резерва не более 200 л. После простоя котла менее 6 ч расход дизельного топлива уменьшается вдвое. При простое котла менее 3 ч растопка производится без использования жидкого топлива, при этом уголь зажигается от аккумулированного слоем тепла. Вместо дизельного топлива может использоваться топочный мазут.

Таким образом, в результате реконструкции удалось получить более надёжный и управляемый котел с КПД брутто не менее чем на 4% выше, чем до реконструкции. Надёжность, безопасность и экологические характеристики новой топки не только не уступают слоевым и факельным топкам, но и превосходят их.

Для предотвращения абразивного износа поверхностей нагрева, контактирующих с кипящим слоем, на Читинской ТЭЦ-2 была применена технология наплавки труб износостойким материалом.

Учитывая простоту конструкции и возможность сжигания любого низкосортного топлива, новое топочное устройство может идеально подойти для проектирования и реконструкции пылеугольных и газомазутных котлов малой и средней мощности.

Перевод котлов на сжигание углей по данной технологии позволит не только экономить жидкое топливо на растопку, но и исключить расход мазута на подсветку факела. Доля мазута, используемого для этих целей, может сократиться на порядок.