

*М.Н. Башкова, С.А. Казимиров, М.В. Темлянец, В.И. Багрянцев, А.А. Рыбушкин,
К.С. Слажнева*

Сибирский государственный индустриальный университет

ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ СЖИГАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ*

В последнее время в мире наблюдается тенденция к росту потребления твердого топлива в котельных агрегатах и установках. Ухудшение качества топлива и имеющиеся ограничения применения топок традиционных конструкций, их низкая эффективность работы при сжигании низкосортных углей стимулируют поиски путей совершенствования способов сжигания, которые в свою очередь фактически полностью определяют конструкцию котла и соответственно его технологические, экономические и экологические показатели работы. В настоящее время можно выделить четыре основных способа сжигания твердого топлива:

- 1) слоевой – в плотном фильтрующем слое;
- 2) в кипящем или псевдооживленном слое;
- 3) факельный;
- 4) циклонный (вихревой).

Слоевое сжигание топлива – самый древний способ сжигания твердого топлива. Как правило, применяется для сжигания кускового топлива в слое на колосниковой решетке, через которую подается необходимый для горения воздух (рис. 1). В рамках этого способа можно выделить три класса топок:

- с неподвижной колосниковой решеткой и неподвижным слоем топлива на ней (ручные и полумеханизированные топки, топки с шурующей планкой);
- с неподвижной колосниковой решеткой и перемещающимся по ней слоем топлива (наклонные и переталкивающие колосники, шахтные топки);
- с движущейся колосниковой решеткой, перемещающей лежащий на ней слой топлива (механизированные топки прямого и обратного хода).

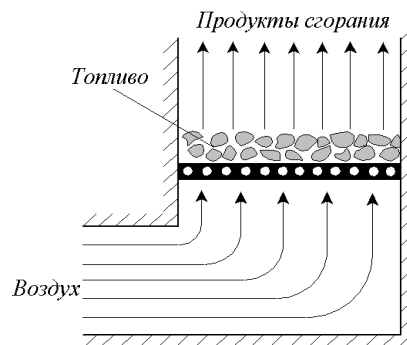


Рис. 1. Схема слоевого сжигания

Слоевой способ сжигания получил наибольшее распространение в России благодаря простоте использования и конструкции топки, которая к тому же может занимать небольшую площадь. Соответственно, теплоэнергетические установки, использующие такой способ, имеют относительно низкую стоимость. Кроме этого, преимуществами такого способа сжигания является минимальное время активации горения, а также весьма широкий диапазон регулирования мощности – от 10 до 100 % [1, 2].

К недостаткам способа можно отнести невозможность его использования при сжигании спекающихся углей и углей с легкоплавкой золой, кроме того, для него характерен значительный физический и химический недожег и, как следствие, повышенный расход топлива и высокая степень загрязнения окружающей среды. Большинство городских котельных, использующих слоевое сжигание, используют немеханизированные топки с неподвижной колосниковой решеткой и ручным забросом топлива. В основном они не имеют систем пылегазоочистки, оборудованы низкими дымовыми трубами, что усугубляет экологическую обстановку. В промышленно развитых странах в качестве наиболее дешевого способа снижения выбросов в атмосферу рассматривается применение высококачественных углей. В России же стандарты на топливо для слоевого сжигания не имеют больших ограничений [3].

* Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Министерства образования и науки на выполнение СибГИУ научно-исследовательской работы № 2555.

Сжигание в кипящем слое. В современной мировой теплоэнергетике существует тенденция более широкого внедрения технологий сжигания твердого топлива в кипящем слое (КС). Слой, в котором происходит сжигание, также может называться псевдоожиженным. С появлением котлов с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) при упоминании традиционного КС часто используется прилагательное «стационарный». В зависимости от получаемой температуры слоя в котле сжигание в КС подразделяется на низкотемпературное (НТКС) и высокотемпературное (ВКТС).

Сжигание в стационарном кипящем слое. Сжигание твердого топлива в кипящем слое (рис. 2) является высокотехнологичным способом. В нижней части топки располагаются воздухораспределительные решетки с форсунками, к которым подводится воздух под давлением. Над форсунками находится слой инертного материала (шлак, песок, доломит или известняк). Истечение воздуха из форсунок вызывает движение частиц инертного материала в виде «кипения», и слой становится «псевдоожиженным». Сжигание топлива происходит в ванне раскаленного инертного материала. В результате активного перемешивания частиц топлива с раскаленным инертным материалом и дутьевым воздухом процессы теплообмена и массообмена в кипящем слое протекают чрезвычайно интенсивно, происходит быстрая и эффективная подготовка частиц топлива (испарение влаги, выход летучих) и их сгорание.

Сжигание в кипящем слое имеет ряд преимуществ. Использование КС позволяет, помимо традиционного топлива, эффективно сжигать промышленные и бытовые отходы. При этом в одном котельном агрегате возможно сжигание различных марок топлива, имеющих различную зольность, влажность и теплоту сгорания [4]. Возможен быстрый пуск из «горячего» состояния. При температурах слоя,

находящихся в пределах 800 – 900 °С, фактически исключается образование термических оксидов азота, создаются благоприятные условия для связывания оксидов серы, реализуемые за счет добавления сорбента (обычно известняка). Это делает технологию сжигания твердых топлив в кипящем слое одной из наиболее экологически чистых [5].

В то же время котлы с установкой КС имеют большое количество недостатков. Установки с КС имеют сложную конструкцию и технологию производства. С этим связаны высокие удельные капитальные затраты, вызванные необходимостью оснащения установки полноценными системами подготовки и подачи топлива, золошлакоудаления, автоматики. Также следует отметить, что для котельных малой мощности характерен низкий уровень персонала, при этом эксплуатация котлов с кипящим слоем требует глубокого и правильного понимания происходящих сложных технологических процессов (даже при условии их полной автоматизации) [6].

Одним из главных недостатков установок с КС являются жесткие требования к фракционному составу топлива. Они включают в себя [7]:

- мелкодробленый уголь должен быть с гарантированным верхним пределом размера куска топлива, нарушение этого условия приводит к оседанию крупных кусков породы или топлива на газораспределительную решетку;
- для топок с КС количество мелких фракций должно быть сведено к минимуму, так как скорости газов для обеспечения устойчивого псевдоожижения в слое рассчитаны на средний размер частиц, при этом более мелкие фракции уносятся из топки, а их наличие обуславливает главный недостаток топок с КС – повышенные потери с неполнотой сгорания;
- в топливе не должно быть металлов и других включений, которые приводят к зашлакованию нижней части слоя и нарушению работы системы золоудаления.

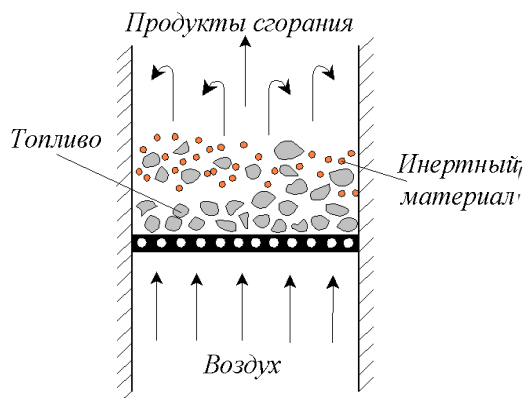


Рис. 2. Схема сжигания в кипящем слое

Сжигание в циркулирующем кипящем слое (ЦКС) схоже со сжиганием в стационарном кипящем слое. Отличительной чертой котлов с ЦКС является наличие устройств для улавливания золы и систем возврата материала в топку (рис. 3). Эффективность работы именно этих устройств оказывает определяющее влияние на большинство показателей котла (стабилизация температуры в слое и надслоевом пространстве, уровень выбросов SO_2 и др.). С этим связана важность наличия определенного количества циркулирующих частиц, которые могут улавливаться из топки и воз-

вращаться в слой. Эффективность золоуловителя (в основном используются циклоны) обуславливает кратность циркуляции и размер частиц. При высоком КПД уловителей (около 99,5 %) его изменение всего на 0,1 % увеличивает циркуляцию в 1,2 раза [8].

Технология ЦКС может использоваться для сжигания высокозольных каменных и бурых углей. Возможно также использование растительных отходов, являющимися практически беззольными [9]. Однако сжигание сильно различающихся по характеристикам топлив приводит к трудностям. При этом теплота сгорания топлива является более важной характеристикой, чем отношение нормального объема дымовых газов к низшей теплоте сгорания топлива. Относительное различие между минимальным и максимальным объемами продуктов сгорания достигает 18 % [10].

В отличие от пылеугольных топок и КС высокая скорость псевдоожижения в ЦКС позволяет значительно снизить количество точек ввода топлива благодаря хорошему перемешиванию твердой фазы, уменьшить площадь подины при сохранении производительности, а также расширить интервал изменения тепловых нагрузок [11]. Этим самым в топках с ЦКС можно добиться малых потерь с механическим недожогом.

Недостатки технологии сжигания в ЦКС являются такими же, что и в топках с КС. Во многом из-за высоких эксплуатационных требований и необходимости автоматизации котлов, а также повышенных (в 2 – 3 раза) расходов электроэнергии на собственные нужды котлы с КС и ЦКС не получили должного

применения в России и странах СНГ. Котлы с циркуляционным кипящим слоем, однако, нашли широкое распространение за рубежом, где уже функционируют свыше 1000 котлов с такой технологией [11, 12].

Факельное сжигание топлива также может считаться высокотехнологичным способом. Его реализуют в камере (рис. 4), в которую специальными пылевыми горелками подается смесь воздуха с предварительно измельченным в пыль топливом (в основном используется уголь).

Большое значение для работы пылеугольных топок имеет конструкция применяемых горелок. Горелки должны обеспечивать хорошее перемешивание топлива с воздухом, надежное зажигание аэросмеси, максимальное заполнение факелом топочной камеры и легко поддаваться регулированию по производительности в заданных пределах.

В последнее время развиваются технологии двухступенчатого факельного сжигания. Это делается для того, чтобы снизить выбросы оксидов азота. Сущность метода заключается в подаче части воздуха, необходимого для полного сгорания, в промежуточную зону факела, где кислород воздуха, поступивший вместе с топливом через горелки, в значительной степени уже израсходован. Благодаря этому процесс сгорания летучих проходит в обедненной кислородом атмосфере, и азотсодержащие компоненты летучих (цианиды и амины) переходят главным образом не в соединение NO_x , а в безвредный молекулярный азот N_2 [13]. Британской фирмой MBEL был предложен метод усиленного двухступенчатого сжигания. От тра-

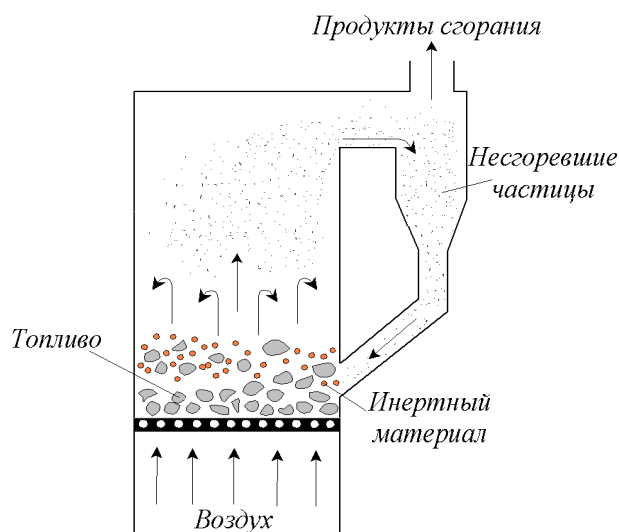


Рис. 3. Схема сжигания в циркулирующем кипящем слое

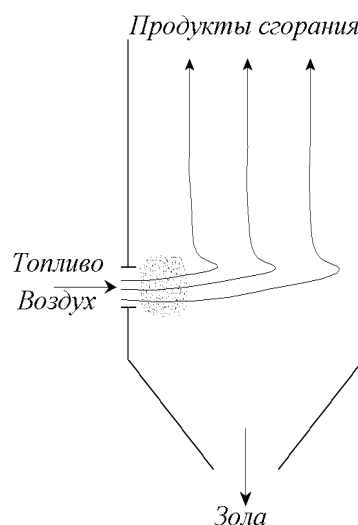


Рис. 4. Схема факельного сжигания

диционного этот метод отличается наличием дополнительного (бустерного) дутьевого вентилятора, который создает высоконапорные струи третичного воздуха. Интенсивное перемешивание этих струй с продуктами сгорания позволяет дожечь монооксид углерода и другие продукты неполного сгорания до выхода дымовых газов из топки [14].

Преимуществами и факельного, и ступенчатого сжигания является возможность экономичного и эффективного использования практически всех сортов угля, в том числе и низкокачественных, которые трудно сжигать в слое. Хорошее перемешивание топлива с воздухом позволяет работать с относительно небольшим избытком воздуха ($\alpha = 1,2 - 1,25$). Также можно отметить относительную простоту регулирования режима работы и, следовательно, возможность полной автоматизации топочного процесса.

Главным недостатком факельного сжигания является необходимость в специальной подготовке топлива, что существенно удорожает технологический процесс. При этом стоит иметь в виду, что на надежность зажигания смеси существенное влияние оказывают влажность и зольность исходного топлива. Также увеличивается удельное энергопотребление.

На отечественных котлах с факельным сжиганием возможно увеличение избытка первичного воздуха, которое происходит из-за повышенных прососов холодного воздуха через уплотнительные узлы мельниц [15].

Вихревое сжигание является одним из самых технологичных способов, который был предложен в СССР еще в начале 30-х годов прошлого века. Как правило, этот способ применяется для сжигания мелкофракционного и пылевидного топлива. При его реализации большая часть топлива не находится на колосниковой решетке, а вращается в вихревом (спиральном) потоке дутьевого воздуха. Таким образом, можно говорить, что эта технология – способ сжигания топлива фактически во взвешенном состоянии (рис. 5).

Вихревой способ сжигания обеспечивает максимальное сгорание угольных частиц с использованием механизмов внутренней стабилизации горения, характерных для вихревых топок, высокую степень улавливания золы в пределах топочной камеры. Стабилизация горения в вихревых топках обеспечивается тем, что горячие продукты сгорания направляются в корень факела и этим обеспечивается его надежное воспламенение при сравнительно низкой температуре. Кроме того, за счет тангенциального ввода потоков дутья организовано

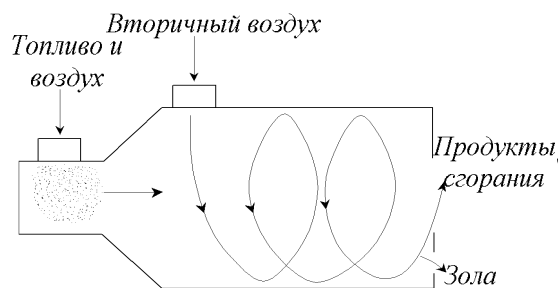


Рис. 5. Схема вихревого сжигания

вихревое течение и перемешивание горячих продуктов сгорания с вводимыми потоками, что обеспечивает наибольшую глубину выгорания топлива и стабильность горения [16].

Активная вихревая аэродинамика, создаваемая тангенциальной подачей угля, используется для глубокого сжигания летучих и продуктов сгорания и подавляет эмиссию вредных веществ благодаря активному перемешиванию. Также благодаря вихревой аэродинамике в несколько раз увеличивается время нахождения твердых частиц в зоне горения, что снижает вредные выбросы и повышает полноту сгорания топлива [17, 18].

Проведенные испытания [19] подтвердили преимущества вихревого сжигания: простота обслуживания и реализации, возможность внедрения с минимальными переделками на действующих топках с факельным сжиганием или сжиганием в кипящем слое, самоочистка конвективных поверхностей нагрева, высокая надежность и взрывобезопасность, низкие эксплуатационные затраты.

При сжигании углеродсодержащих отходов отмечается, что во всех случаях содержание СО в газовых выбросах снижается с ростом температуры вследствие уменьшения химического недожога.

Недостатком вихревого сжигания можно назвать трудность при работе на топливах с низкой температурой плавления золы. При плавлении золы параметры закручивающего потока вихревой топki сильно меняются, снижается тепловая мощность установки [17]. Также стоит отметить, что изменение характеристик топлива приводит к нарушению нормального режима горения, что усложняет проведение режимной наладки [20]. В связи с этим в зависимости от вида, характеристик топлива и технологии сжигания предусматривают сухое, либо жидкое шлакоудаление.

В котельных агрегатах вихревой способ сжигания топлива реализуют в специальных (вихревых или циклонных) топках, которые фактически являются предтопками камерных

топок на тепловых электростанциях. Вихревые топки могут применяться в качестве технологических печей, например, для обжига медных руд. В вихревых топках частицы топлива поддерживаются во взвешенном состоянии за счет несущей силы мощного вихря, вследствие чего в ней не выпадают даже крупные (5 – 10 мм и более) частицы. В современных вихревых топках сжигаются куски твердого топлива размером 2 – 100 мм при скорости струи подаваемого воздуха 30 – 150 м/с. В результате интенсивного горения в топке развиваются температуры, близкие к адиабатным (до 2000 °C).

Вихревой способ сжигания может быть реализован при применении высокотемпературной и низкотемпературной технологий сжигания.

В котельных агрегатах применяют горизонтальные, слабонаклонные и вертикальные вихревые топки с жидким шлакоудалением. Принцип действия заключается в том, что в предтопке относительно небольшого диаметра и длине топки в 1,2 – 1,5 диаметра создается газо-воздушный вихрь (скорость подачи вторичного воздуха достигает 100 м/с), в котором частицы горящего топлива многократно обращаются до тех пор, пока они не сгорают почти полностью. Продукты сгорания из предтопок поступают в камеру дожигания, из нее – в камеру охлаждения и далее в газоходы котельного агрегата. Шлак из предтопок удаляется в жидком виде через специальные летки. Для увеличения количества уловленного шлака между предтопком и камерой дожигания устанавливают шлакоулавливающий пучок труб [21]. Принципиальная схема топок представлена на рис. 6. Развиваемая в циклонной камере высокая (1700 – 1800 °C) температура при-

водит к расплавлению золы и образованию на стенках шлаковой пленки. Отбрасываемые на стенки свежие частицы топлива прилипают к шлаковой пленке, где они интенсивно выгорают при обдувании их воздушным потоком. Улавливание золы в пределах камеры составляет 85 – 90 % и более.

В выходной части циклонной камеры имеется пережим (ловушка), через который продукты сгорания поступают в камеру дожигания, где догорают выносимые из циклона мельчайшие частицы топлива.

Циклонные камеры работают с высокими объемными плотностями тепловыделения $q_V = 1,5 - 3,0$ МВт/м³ и плотностью теплового потока на сечение циклона $q_F = 11 - 16$ МВт/м² при малом коэффициенте избытка воздуха в циклоне $\alpha = 1,08 - 1,1$ [22]. Для сравнения, камерные топки с факельным сжиганием пылеугольных смесей и жидким шлакоудалением работают с показателями камеры сгорания $q_V = 500 - 800$ кВт/м³, $q_F = 5$ МВт/м², $\alpha = 1,15 - 1,25$.

Область применения подобных циклонных топок – котельные агрегаты высокой паропроизводительности (200 – 250 т/ч).

К недостаткам высокотемпературных циклонных топок с жидким шлакоудалением относят: затруднения при сжигании высоковлажных углей и углей с малым выходом летучих; увеличенные (до 2 %) потери теплоты с физическим теплом шлака; повышенный расход энергии на дутье; повышенный выход оксидов азота из-за высокой температуры в циклонной камере.

Положительные особенности закрученных потоков используются в вихревых топках, называемых топками с пересекающимися струя-

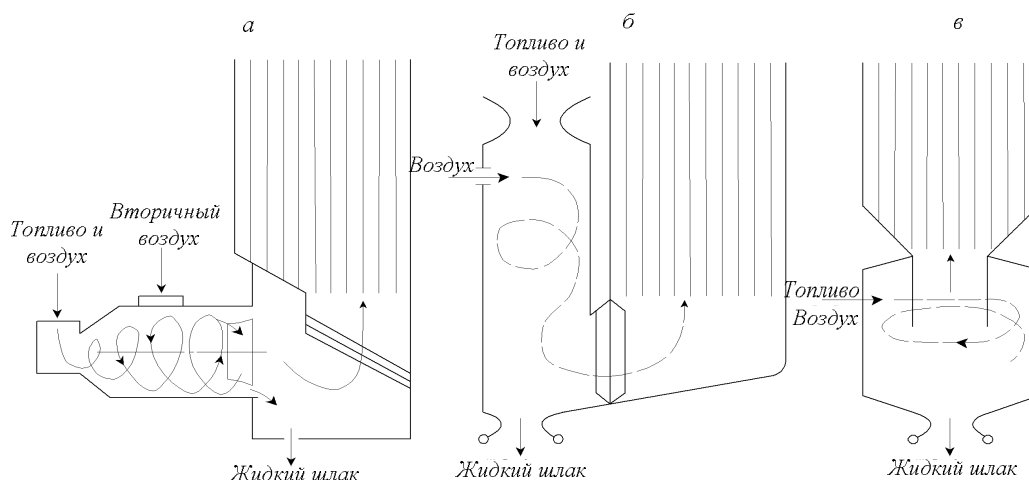


Рис. 6. Циклонные топки с жидким шлакоудалением:

а – горизонтальная; б – вертикальная с нижним выводом газов; в – вертикальная кольцевая с верхним выводом газов

ми. На рис. 7 показаны схемы полужакрытых топок ЦКТИ и МЭИ, где при подводе пылевоздушной смеси со скоростью 80 м/с создается вихревое движение с горизонтальной осью вращения. Горячие топочные газы пересекают пылевоздушный поток, обеспечивая его интенсивное воспламенение.

Эффективной технологией сжигания твердых органических топлив является низкотемпературная вихревая (НТВ) технология сжигания [23]. Способ НТВ сжигания и топочное устройство для его реализации разработаны выдающимся советским ученым-теплоэнергетиком В.В. Померанцевым. НТВ технология сжигания прошла широкую апробацию в энергетике с 70-х по 90-е годы прошлого века. В основу НТВ технологии заложен принцип организации низкотемпературного сжигания твердого топлива угрубленного помола в условиях многократной циркуляции частиц в камерной топке.

В НТВ топке организованы две зоны горения, которые разнесены по ее высоте: вихревая и прямоточная. Вихревая зона занимает объем нижней части топки от устья топочной воронки до горелок. Прямоточная зона горения располагается над вихревой зоной в верхней части топки.

Аэродинамика вихревой зоны создается за счет взаимодействия двух организованных потоков: первый поток сформирован из топливно-воздушной смеси, поступающей в топку через горелки; второй поток состоит из горячего воздуха, подаваемого в топку через систему нижнего дутья. Потоки направлены навстречу

друг другу и образуют пару сил, создающую вихревое движение в нижней части топки.

В отличие от традиционной технологии пылеугольного сжигания, где основная часть (до 92 – 96 %) топлива сгорает в так называемой «зоне активного горения», расположенной в районе горелок и занимающей относительно небольшой объем камерной топки, в вихревой топке с НТВ технологией сжигания в «зону активного горения» вовлечен значительно больший объем топочного пространства. Это дает возможность снизить максимальную температуру в вихревой топке (примерно на 100 – 300 °С) и за счет активной аэродинамики выравнивать уровень температуры в объеме вихревой зоны.

Пониженный уровень температуры, ступенчатый ввод окислителя, многократная циркуляция горящих топливных частиц и угрубление гранулометрического состава золы в совокупности обеспечивают улучшенные показатели вихревых топок по вредным выбросам (оксидам азота и серы), а также повышают эффективность работы золоулавливающего оборудования котельной установки.

Применение НТВ сжигания позволяет практически полностью исключить шлакование поверхностей нагрева котла и повысить надежность его работы. Пониженный уровень температуры в зоне активного горения снижает количество расплавленных частиц золы, что в сочетании с активной аэродинамикой снижает вероятность возникновения отложений на поверхностях нагрева котла.

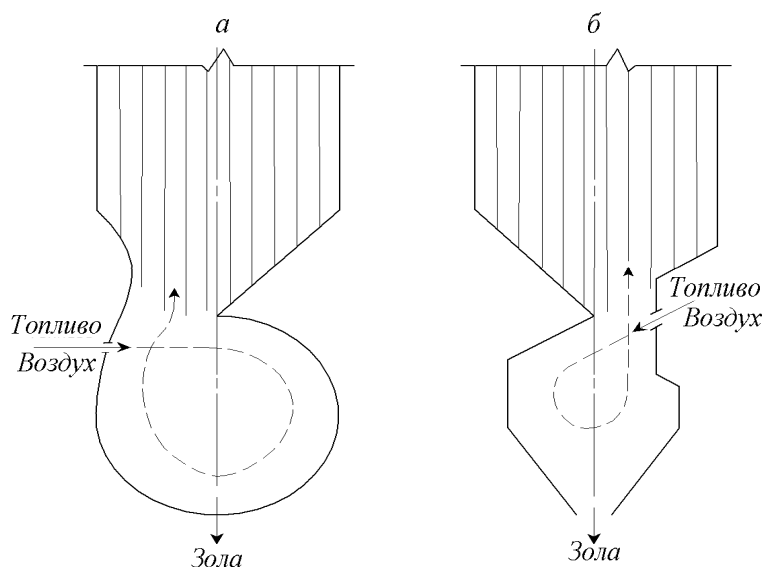


Рис. 7. Вихревые топки с пересекающимися струями:
а – топка ЦКТИ; б – топка МЭИ

Кроме энергетических котлов, низкотемпературные вихревые топки внедряются в котельные агрегаты малой паропроизводительности для решения задач утилизации растительных отходов, лузги и пр. [24]. Так, НИЦ ПО «Бийскэнергомаш», ПО «Бийскэнергомаш» и ОАО «Бийский котельный завод» совместно провели широкий круг теоретических и экспериментальных исследований, ряд реконструкций и создание нового поколения котлов с низкотемпературными вихревыми топочными устройствами (ВТ) [25 – 27]. Расчеты показали, что низкотемпературный топочный процесс (температура ниже уровня размягчения золы) в вихревой топке можно поддерживать, во-первых, по двухступенчатой схеме, за счет недостаточной для полного сжигания лузги подачи дутья в зону удержания частиц и дожиганием продуктов неполного сгорания в экранированном объеме топки котла. Во-вторых, этот эффект можно обеспечить также за счет избыточной подачи дутья, рециркуляции дымовых газов и интенсивным охлаждением вихревой топки экранами.

Недостатком предложенной технологии является образование мощных натрубных отложений, обуславливаемых характером сжигаемых сельскохозяйственных отходов, но по данным работ этих авторов отказ от совместного сжигания лузги и природного газа, а также разработанные НИЦ ПО «Бийскэнергомаш» режимные мероприятия и методы очистки топки и трубных пучков на сегодня обеспечили стабильную работу всех поставленных и реконструированных котлов.

По данным [28] выполнен значительный объем работ по разработке и внедрению в опытную эксплуатацию низкотемпературной вихревой технологии сжигания «Торнадо», которая реализует совместное слоевое и факельно-вихревое сжигание и применима практически для любого вида твердых топлив и отходов. Крупные фракции топлива сжигают в слое на механизированной колосниковой решетке, а мелкие уносимые частицы аэродинамически удерживаются в топке и заполняют вихрь излучающим потоком горящих частиц. Таким образом, в топке «Торнадо» сглаживаются неравномерности тепловыделения с подавлением температурного максимума ядра факела, появляется заметная доля конвективной составляющей теплообмена, повышается степень черноты и излучательная способность топочного объема. Тепловосприятие топочных экранов заметно увеличивается, но при этом максимум тепловосприятия понижается; тепловая нагрузка экранов повышена, но распре-

делена равномерно, что увеличивает надежность их работы. Благодаря механизации и малой массе топлива в слое топки не требуются особых затрат ручного труда и легко автоматизируются.

Если первоначально авторами [28] были освоены реконструкции таких котлов, как, например, ДКВр-20-13ШпВТ и КЕ-25-14ШпВТ для сжигания коксовой мелочи, то в последнее время ведется разработка новых конструкций паровых котлов. К недостаткам предлагаемых реконструированных и новых конструкций можно отнести относительно затратную реконструкцию и проблемы с надежностью пароперегревателей из-за плохого качества воды.

Проблемы сжигания низкокачественных и высокосольных углей, а также биомассы побудили ученых СО РАН к созданию циклонных камер, объединенных в многоступенчатую топку [29], где поток, подобный потоку из вихревой горелки, используется в процессе дожигания, обеспечивая полное сгорание топлива. По результатам опытов изготовлены полупромышленный аппарат и экспериментальная установка гравитационно-рециркуляционной вихревой топки (ГРВТ). Подобная топка обладает всеми преимуществами циркулирующего кипящего слоя и в дополнение – меньшим гидравлическим сопротивлением, а также возможностью регулирования топочного процесса в более широких пределах определяющих параметров.

Выводы. Рассмотрены основные современные способы сжигания твердого топлива в теплоэнергетических установках. Представлены описание и схемы работы установок при использовании разновидностей слоевого, вихревого и факельного способов сжигания. Приведены преимущества и недостатки описываемых технологий и оценены перспективы их применения в теплоэнергетике России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каменецкий Б.Я. / Расчет теплообмена в топках котлов при слоевом сжигании топлива // Теплоэнергетика. 2008. № 5. С. 75 – 77.
2. Каменецкий Б.Я. / Роль излучения слоя горящего топлива в топочном теплообмене // Тепломассообмен ММФ-92. Минск, 1992. Т. 2. С. 125 – 128
3. Волынкин Е.П., Пряничников Е.В. / Снижение выбросов загрязняющих веществ на угольных котельных со слоевой системой сжигания // Теплоэнергетика. 2002. № 2. С. 33 – 41.

4. Исьемин Р.Л., Кузьмин С.Н., Михалев А.В., Вилясов Д.М., Коняхин В.В., Зейченко В.М., Акользин А.П. / Котел для бесшлакового сжигания сельскохозяйственных отходов // Промышленная энергетика. 2011. № 11. С. 55 – 58.
5. Бурдуков А.П., Матузов С.В. / Сжигание отходов углепереработки в котле кипящего слоя // Уголь. 2012. № 12. С. 69 – 72.
6. Шемякин В.Н., Карапетов А.Э., Фрайман Г.Б., Пудовкин Е.М. / Сжигание горючих сланцев в котлах с топками низкотемпературного кипящего слоя // Уголь. 2004. № 9. С. 26 – 30.
7. Лейкин В.З. / Создание оборудования и отработка технологии подготовки топлива для сжигания и газификации в циркулирующем и стационарном кипящем слое // Теплоэнергетика. 2008. № 1. С. 71 – 80.
8. Рябов Г.А., Фоломеев О.М., Шапошник Д.А. / Исследование систем улавливания и возврата золы на установках с циркулирующим кипящим слоем // Теплоэнергетика. 2002. № 8. С. 18 – 24.
9. Анискин В.И., Голубкович А.В. / Перспективы использования растительных отходов в качестве биотоплив // Теплоэнергетика. 2004. № 5. С. 60 – 65.
10. Рябов Г.А., Фоломеев О.М., Литун Д.С., Санкин Д.А., Митрюкова И.Г. / Перспективы использования технологии ЦКС при техническом перевооружении ТЭС России // Теплоэнергетика. 2009. № 1. С. 28 – 36.
11. Рохман Б.Б. / О некоторых особенностях технологии термохимической переработки углей в циркулирующем кипящем слое // Теплоэнергетика. 2007. № 6. С. 38 – 43.
12. Пузырев Е.М., Мурко В.И., Звягин В.Н., Федяев В.И., Бровченко С.А., Дзюба Д.А., Нехороший И.Х., Аглиулин В.Н. / Результаты опытно-промышленных испытаний работы мазутного котла ДКВР 6,5/13 на водоугольном топливе // Теплоэнергетика. 2001. № 2. С. 69 – 71.
13. Котлер В.Р. / Ступенчатое сжигание – основной метод подавления оксидов азота на пылеугольных котлах // Теплоэнергетика. 1989. № 8. С. 41 – 44.
14. Котлер В.Р. / Усовершенствованный метод двухступенчатого сжигания топлива // Теплоэнергетика. 2007. № 2. С. 73 – 75.
15. Архипов А.М., Путилов В.Я. / Ступенчатое факельное сжигание кузнечных углей на ТЭС // Теплоэнергетика. 2009. № 8. С. 52 – 57.
16. Мурко В.И., Федяев В.И., Карпенков В.И., Дзюба Д.А. / Результаты исследования вредных выбросов при сжигании суспензионного угольного топлива // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2012. № 5. С. 512 – 518.
17. Багрянцев В.И., Бровченко С.А., Подольский А.П., Рыбушкин А.А., Темлянецев М.В., Казимиров С.А. / Разработка агрегата и технологии для эффективного сжигания дисперсных отходов углеобогащения во вращающемся потоке воздуха // Вестник СибГИУ. 2013. № 4. С. 36 – 41.
18. Багрянцев В.И., Казимиров С.А., Куценко А.И., Подольский А.П., Рыбушкин А.А., Темлянецев М.В. / Практика и перспективы использования твердых углеродсодержащих отходов в качестве топлива для теплоэнергетических агрегатов // Вестник СибГИУ. 2013. № 3. С. 33 – 38.
19. Зысин Л.В., Кошкин Н.Л., Финкер Ф.З. / Вопросы энергетического использования биомассы отходов лесопроизводства // Теплоэнергетика. 1994. № 11. С. 30 – 35.
20. Шарпов А.М., Чуприн А.Е. / Вихревые технологии сжигания лузги подсолнечника на мини-ТЭЦ // Новости теплоснабжения. 2009. № 12. С. 40, 41
21. Зах Р.Г. Котельные установки. – М.: Энергия, 1968. – 352 с.
22. Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки для промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 528 с.
23. Общая информация об НТВ-технологии сжигания. Электронный ресурс: <http://ntv-energo.spb.ru/about/technology.php> (дата обращения 20.05.2014).
24. Пузырев Е.М., Сидоров А.М., Скрябин А.А., Щуренко В.П., Шарпов А.М., Шарпов М.А. Использование вихревых топок, сжигание растительных отходов. Электронный ресурс: <http://www.nicbem.ru/st2.htm> (дата обращения 20.05.2014).
25. Пузырев Е.М., Щуренко В.П. Циклонная топка. Патент РФ. № 2105239. Бюл. Изобретений. 1998. № 5.

26. Пузырев Е.М., Щуренко В.П., Шапов М.А. Устройство для сжигания твердого топлива. Патент РФ № 2126113. . Бюл. Изобретений. № 4. 1999.
27. Пузырев Е.М., Щуренко В.П., Щербakov Ф.В. Вихревая топка. Патент РФ № 2126932. Бюл. Изобретений. 1999. № 6.
28. Голубев В.А., Пузырев Е.М., Пузырев М.Е. Использование вихревых топок «Торнадо» в паровых котлах. Электронный ресурс: <http://www.pem-energo.ru/ispolzovanie-vihrevykh-topok-tornado-v-parovyyh-kotlah> (дата обращения 20.05.2014).

29. Исследования и разработки Сибирского отделения Российской академии наук в области энергоэффективных технологий / Отв. ред. С.В. Алексеенко (Интеграционные проекты СО РАН; Вып. 20). – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 405 с.

© 2014 г. М.Н. Башкова, С.А. Казимиров, М.В. Темлянецев, В.И. Багрянцев, А.А. Рыбушкин, К.С. Слаженева
Поступила 21 мая 2014 г.

УДК 697.132.3

Д.Б. Чанаев

Сибирский государственный индустриальный университет

ОЦЕНКА ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА В РЕЗУЛЬТАТЕ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗА СЧЕТ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ ОТ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

Один из положительных моментов автоматизации систем отопления зданий – сокращение расхода топлива для теплогенератора за счет отклика систем на внешние возмущения, связанные с дополнительными тепlopоступлениями. Одним из видов дополнительных тепlopоступлений является поток солнечной радиации на здания, интенсификация которого приходится на осенние и весенние месяцы.

В настоящей работе для климатических условий г. Новокузнецка выполнена оценка снижения расхода топлива на отопление жилого здания вследствие снижения его тепlopотребления за счет тепlopоступлений от солнечной радиации в случае инсталляции в систему отопления радиаторных терморегуляторов и в узел управления теплоносителем – схем погодной компенсации. Бытовые и иные виды тепlopоступлений в помещения, дополнительно увеличивающие процент экономии топлива, в расчете не учитывали.

Годовой расход топлива (B) для отопления здания определяется по формуле

$$B = \frac{Q}{\eta Q_p} = \frac{\sum_{i=1}^m (k_i F_i)_{\tau_2}}{\eta Q_p} \int_{\tau_1}^{\tau_2} \Delta t_q(\tau) d\tau, \quad (1)$$

где Q – годовое тепlopотребление системой отопления здания; η – коэффициент полезного действия теплогенератора; Q_p – располагаемая теплота топлива; k_i и F_i – коэффициенты тепlopередачи и площади поверхности i -х наружных ограждений здания; m – количество всех i -х наружных ограждений; τ_1 и τ_2 – даты начала и конца отопительного периода; $\Delta t_q(\tau)$ – температурный перепад между средами (внутренним воздухом помещений и наружным воздухом), разделенными наружными конструкциями здания, зависящий от времени τ .

Величина Q численно равна суммарным за отопительный период трансмиссионным тепlopотерям здания, которые составляют основную долю его тепlopотерь. Значения Q можно определить по уравнению тепlopередачи через