

УДК 621.181

## АКТИВИРОВАНИЕ УГЛЯ В ТЕПЛОЫРАБАТЫВАЮЩИХ УСТАНОВКАХ ТЭС

<sup>1</sup>Осинцев К.В., <sup>1</sup>Осинцев В.В., <sup>2</sup>Джундубаев А.К., <sup>3</sup>Ким С.П.,  
<sup>3</sup>Альмусин Г.Т., <sup>3</sup>Акбаев Т.А., <sup>4</sup>Богаткин В.И.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО ЮУрГУ (НИУ), <sup>2</sup>КНТЦ «Энергия»,  
<sup>3</sup>АО «Шубарколь комир», <sup>4</sup>ОАО «Объединение ВНИПИэнергопром»

Используемый в качестве сорбента в системах химводоподготовки и стоков воды ТЭС активированный уголь имеет весьма высокую стоимость из-за больших расходов топлива, электроэнергии, потерь теплоты при его производстве [1, 2]. Снизить себестоимость активированного угля можно за счет отбора и использования части теплоты от тепловырабатывающей установки промпредприятия. Чтобы не нарушать технологический цикл основного производства тепловой энергии, расходная часть ее отбора на активирование не должна быть чрезмерно большой, но достаточной для выработки сорбционного материала, направляемого на собственные нужды, например, упомянутых систем ТЭС (группы ТЭС).

Авторами предлагается способ газофакельной термообработки исходного материала с получением активированного угля и несколько его реализующих установок, связанных технологически с котлами ТЭС. В основе способа – предварительное отделение угольной мелочи (до 1 мм) с выводом ее на основное пылесжигание в котлах, выделение узких фракций 1-2 мм; 2-4 мм; 6-8 мм и т.п., подача их в топку на газофакельную термообработку с выделением влаги и летучих веществ, выводом готовых частиц потребителю.

Подобное требование к фракционированию вводимых частиц имеет теоретическое обоснование, в соответствии с которым процесс горения условно разбивается на последовательные временные периоды, привязанные к  $i$ -м частицам фиксированного размера  $\delta_i$ , концентрации окислителя  $O_2$ , температурному фону в камере  $T_r$  [3].

Первый период характеризуется безвоспламенительным нагревом  $i$ -той частицы с размером  $\delta_i$ , при котором происходит выход влаги и природных горючих летучих веществ; он равен, с:

$$\tau_{вл\ i} = k_{вл} \cdot 5,3 \cdot 10^{14} \cdot T_r^{-4} \cdot \delta_i^{0,8}. \quad (1)$$

Последующий нагрев  $i$ -й частицы в среде со свободным кислородом вызывает воспламенение и выгорание летучих веществ; время выгорания составляет, с:

$$\tau_{гл\ i} = k_{гл} \cdot 0,5 \cdot 10^6 \cdot \delta_i. \quad (2)$$

Начало окисления коксового остатка  $i$ -той частицы определяется временем, с:

$$\tau_{вк\ i} = k_{вк} \cdot 1,12 \cdot 10^{10} \cdot \rho_y \cdot \delta_i^{1,2} \cdot T_r^{-3} \cdot (21/O_2)^n. \quad (3)$$

Последний период связан с выгоранием коксового остатка, с:

$$\tau_{гк\ i} = f(O_2; T_r; \delta_i). \quad (4)$$

В формулах (1), (2), (3), (4)  $k_{вл}$ ,  $k_{гл}$ ,  $k_{вк}$  – опытные коэффициенты,  $\rho_y$  – плотность угля,  $\text{кг/м}^3$ ,  $n \approx 0,5$ ,  $\delta_i$  – размер  $i$ -той частицы, м;  $O_2$  – концентрация кислорода, %;  $T_r$  – температура средняя в камере, К.

Временные технологические отрезки связаны между собой:

$$\tau_{вкi} = \tau_{влi} + \tau_{гли} + \Delta\tau_i, \quad (5)$$

причем  $(\Delta\tau_i/\tau_{вкi}) \approx 0,1 - 0,15$ .

Из (5) вытекает, что активирование  $i$ -той частицы можно связывать с двумя первыми периодами  $\tau_{влi}$  и  $\tau_{гли}$ , а для вывода частиц из процесса с минимизацией обгорания коксового остатка следует ориентироваться на  $\tau_{вк}$ .

Полидисперсность топливного потока, используемая при организации воспламенения и последующего горения в топке, является основным препятствием в управлении процессом активирования и получении качественного сорбционного продукта. Если соотнести время активирования  $i$ -той частицы и частицы с максимальным размером  $\delta^{\max}$  по отдельным периодам (1), (2), (3), то для одинаковых условий можно получить близкие прямые зависимости:

$$\tau_{влi} \approx \tau_{вл}^{\max} \cdot \left( \frac{\delta_i}{\delta^{\max}} \right)^{0,8}, \quad (6)$$

$$\tau_{вги} \approx \tau_{вг}^{\max} \cdot \left( \frac{\delta_i}{\delta^{\max}} \right), \quad (7)$$

$$\tau_{вкi} \approx \tau_{вк}^{\max} \cdot \left( \frac{\delta_i}{\delta^{\max}} \right)^{1,2}. \quad (8)$$

Опыт сжигания угля, как и расчеты по (1) – (8), показывают, что при ограничении времени пребывания в топке частиц со значительным размерным диапазоном фракции получить качественный угольный сорбент, конечно, затруднительно: мелочь прогорает полностью, а в крупных частицах фиксируется высокая степень недожога. Если на активирование вводить частицы с узким диапазоном размерной фракции 2 – 3 мм, 3 – 4 мм, 4 – 6 мм и т.д., это открывает путь к уменьшению обгорания угольного скелета частиц с уменьшением расхода исходного материала при необходимом качестве выпускаемого сорбента.

Схема одной из установок выработки активированного угля представлена на рис. 1. Топка 1 имеет экранированные фронтную 2, заднюю 3 и боковые 4, 5 стены, под с размещенной в нем механической решеткой 10 прямого хода, газовые горелки 7, установленные над решеткой 10, в частности, в один горизонтальный ряд на боковых стенах 4, 5, примыкающие к фронтной стене 2 устройства 8, 9 ввода исходного материала; под решеткой 10 имеются коробка 11 ввода смеси воздуха и продуктов сгорания, в верхней части топки 1 – окно 13 вывода газо- и пылеобразных продуктов сгорания. Топка 1 может работать как на газе, так и угле. При сжигании угля на решетке 10 образуется шлак, удаляемый в систему 12 шлакоудаления.

Фракционный раздел должен быть организован до подачи в узлы ввода 8, 9 материала на решетку 10 топки 1 (рис. 1). Отобранные фракции направляются в приемный бункер 8 исходных частиц, откуда через питатели 9 потоками на решетку. В зависимости от размера подаваемой фракции регулируют скорость движения решетки 10. Нагрев частиц в топке осуществляется системой газовых факелов.

лов. Чтобы выдержать условия времени активирования, скорость движения решетки не должна превышать параметр  $w \leq l/\tau_{\text{вкп}}$ , где  $l$ ,  $w$  – длина рабочего участка и скорость движения решетки, м, м/с. Технология должна предусматривать паровое и воздушное дутье 19, 21, а также охлаждение, например, на решетке 16, сбор в бункере и отправку потребителю через питатель 20 готового материала (рис. 1).

Системы охлаждения 14 и сбора 15 активированных частиц встраиваются в подтопочное пространство котла, рассчитанного на сжигание угля, при необходимости демонтируется с восстановлением исходной системы шлакоудаления 12.

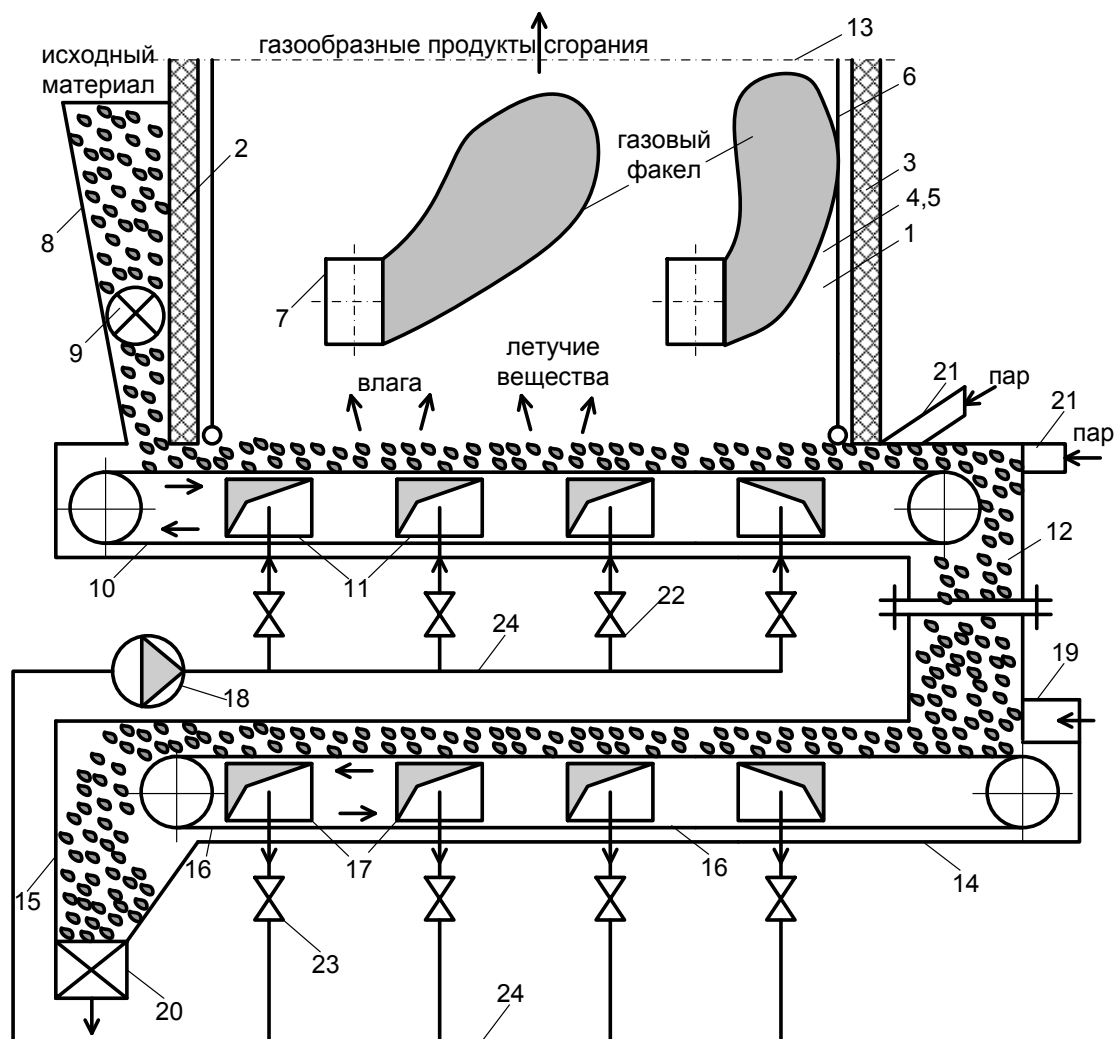


Рис. 1. Схема топки с механической решеткой, газовыми горелками и дополнительными системами охлаждения и вывода активированного материала: 1 – камера сгорания, 2, 3, 4, 5 – фронтальная, задняя и боковые стены соответственно, 6 – экранные трубы, 7 – газовые горелки, 8 – приемный бункер с исходным материалом, 9 – питатель, 10 – механическая, в частности, цепная решетка прямого хода, 11 – коробки ввода дутьевой смеси воздуха и газообразных продуктов сгорания, 12 – система вывода с решетки отработанного материала, 13 – выходное окно камеры сгорания, 14, 15 – дополнительные системы охлаждения и сбора активированного угля, 16 – решетка системы охлаждения, 17 – коробка вывода газообразных продуктов, 18 – тягодутьевая установка системы охлаждения, 19 – узел ввода смеси воздуха и газообразных продуктов сгорания, 20 – питатель активированного продукта, 21 – сопловая система парового дутья, 22, 23 – индивидуальные регуляторы расхода газообразного рабочего агента, 24 – соединительные газоходы.

Схема на рис. 1 предусматривает использование теплоты нагретой газозвушной смеси 19 при охлаждении частиц в системе 14, вывод ее из-под решетки 16 и подачу под решетку 10 в топку 1 с использованием газоходов 24, тяго-дульевой установки 18 и регуляторов расхода 22, 23. Возможен вариант иной конструкции системы охлаждения, в том числе с использованием существующей системы шлакоудаления 12. В любом случае начальные капитальные затраты технологии много ниже, чем на отдельную установку активирования.

Выработка активированного угля на ТЭС может быть организована также в вертикальной призматической топке парового котла с «многофункциональными» горелками, позволяющими работать как на газе, так и угольной пыли (рис. 2).

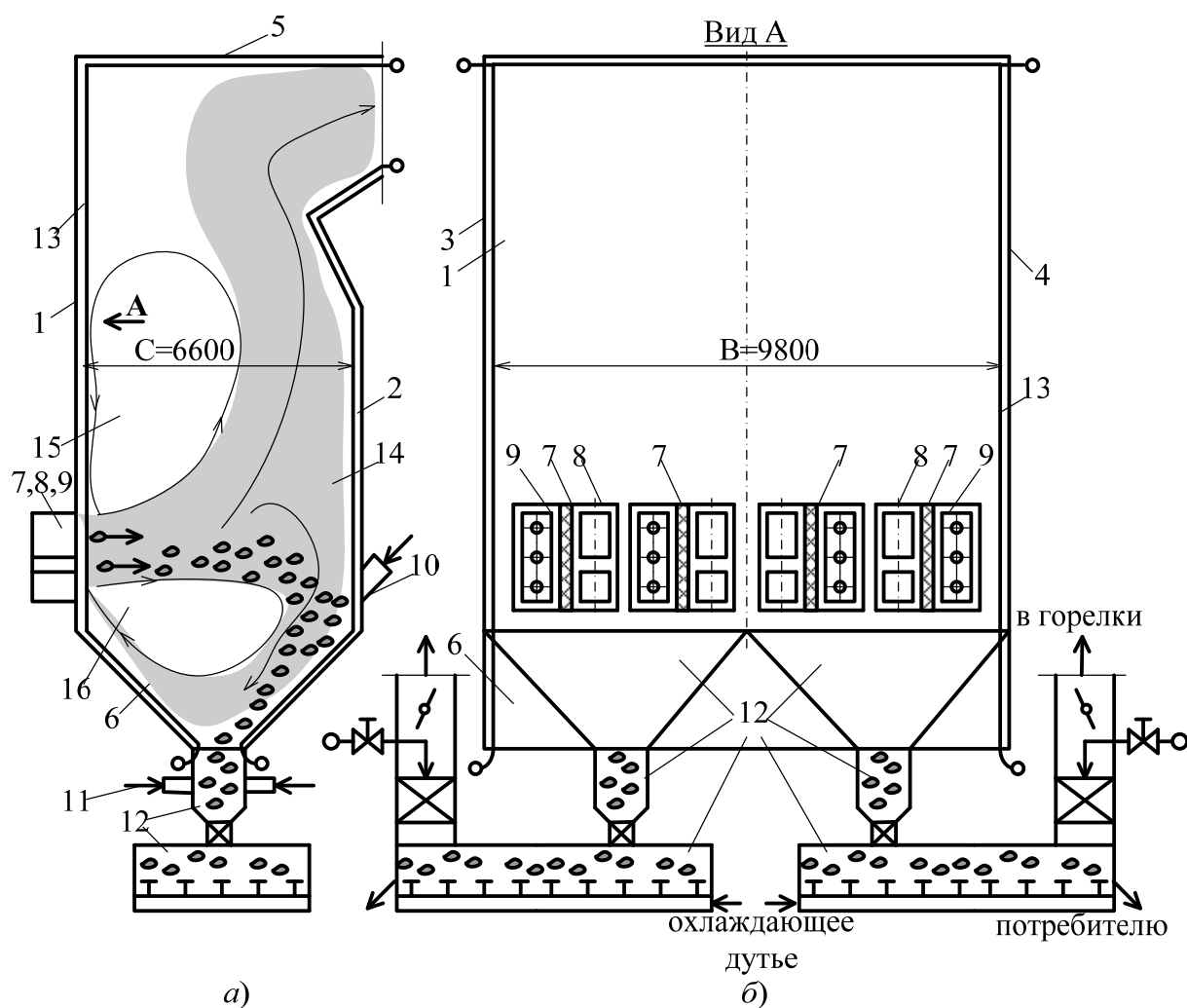


Рис. 2. Схема топочной камеры парового котла с многофункциональными горелками и системой активирования угля: *а* – продольный разрез, *б* – вид А на фронтальную стену с горелками, 1, 2, 3, 4 – фронтальная, задняя и боковые стены, 5 – потолочное перекрытие, 6 – под с «холодной воронкой», 7 – многофункциональные горелки, 8 – каналы для ввода исходного материала на активирование, 9 – каналы для ввода газа и воздуха, 10 – дополнительные воздушные сопла, 11 – паровые сопла, 12 – система сбора и охлаждения горячего активированного материала, 13 – экранные трубы; 14 – область восходящих потоков газового факела; 15, 16 – зоны циркуляции газового факела.

Топка имеет традиционную конструкцию с экранированными фронтальной, задней и боковыми стенами, потолочным перекрытием и подом. Последний выполнен в виде «холодной воронки» – нисходящего диффузора с двухсторонними скатами, примыкающими к фронтальной и задней стенам. На фронтальной стене размещены, в частности, в один горизонтальный ряд многофункциональные горелки с газовоздушными и пылеуглеводородными каналами. На задней стене напротив горелок установлены воздушные сопла, а также окно вывода газо- и пылеобразных продуктов сгорания. При сжигании угольной пыли в топке образуется шлак, удаляемый через «холодную воронку» в шнековую систему шлакоудаления, постоянно наполненную проточной охлаждающей водой. Многофункциональные горелки реализуют рассредоточенный ввод в топку газовоздушных и пылеугольных потоков. Газовоздушные и пылеуглеводородные каналы имеют вертикально-щелевую форму выходного сечения, вследствие чего в топку истекают системы спутных «плоских» газовоздушных, пылеуглеводородных, либо чередующихся газо- пылеуглеводородных струй. На горизонтальном участке топки в зоне активного горения развиваются соответствующие спутные факельные системы, позволяющие эффективно комбинировать и сжигать топливо различного вида и качества, в том числе и твердое с подсветкой газом в отсутствие шлакования, что очень важно при организации процесса активирования.

Технология активирования должна предусматривать фракционирование и подачу угольных частиц размером 2-3 мм, 3-4 мм и т.п. в зону нагрева, вывод и охлаждение коксового остатка, продувку воздухом, продуктами сгорания и паром [1,2]. Для организации этих элементов технологии потребуются частичная модернизация существующего вспомогательного оборудования котлов. Отбор угольных частиц необходимых фракций организуется из системы возврата мельничных устройств ТЭС и котельных, работающих в режимах вывода запыленной пыли. Отобранные фракции направляются в промбункер исходных частиц, откуда через питатели потоками воздуха в смеси с продуктами сгорания котла (газами рециркуляции), либо только последними, подаются в пылеуглеводородные каналы топочной камеры. Фракционирование может быть реализовано также в системах приема и конвейерной подачи топлива в котлы; кроме того уголь необходимых фракций может доставляться на ТЭС Поставщиком. В топке предусматривается дополнительное воздушное дутье в направлении нисходящего циркуляционного потока вдоль ската холодной воронки (в частности, путем наклона воздушных сопел, размещенных на задней стене напротив пылеуглеводородных каналов многофункциональных горелок), а также парообработка коксовых частиц и их охлаждение, сбор и отправку потребителю (рис. 2).

Система сбора и охлаждения активированных частиц (поз. 12 на рис. 2) встраивается в подтопочное пространство котла, изначально рассчитанного на сжигание пыли, на место исходной системы шнекового шлакоудаления; последняя при необходимости восстанавливается. Возможен вариант использования существующей системы шлакоудаления при кожуховодном или воздушном ее охлаждении. В любом случае начальные капитальные затраты технологии много ниже, чем на отдельную установку активирования.

Нагрев частиц в топке осуществляется при определенной тепловой нагрузке и температурном фоне в зоне активного горения, поддерживается систе-

мой спутных газовых факелов многофункциональных горелок с регулируемыми температурными характеристиками. Скорость воздушных потоков на выходе из газоздушных каналов 20-30 м/с, скорость истечения газовых струй из сопловых насадков 90-150 м/с – соответствуют регулируемым диапазонам этих параметров в период работы котла в обычных режимах выработки пара. Потоки активируемых частиц вводят в межфакельные «коридоры»; их средняя скорость для выдерживания времени активирования не должна превышать 4-5 м/с.

Для организации процесса активирования небольших разовых порций угля разработана технология ноу-хау с использованием аппаратов периодического действия (автоклавов), загружаемых фракционированным материалом, который обрабатывают горячими дымовыми газами. Сброс отработанных газообразных продуктов вместе с выделенными летучими веществами – в топливные каналы многофункциональных горелок. Выпускаемый сорбент – на собственные нужды ТЭС.

При ведении процесса активирования на всех установках непрерывно вырабатывается теплота – основной продукт котельной установки. В выработке теплоты участвуют летучие горючие вещества активируемого угля. Использование летучих веществ активируемого материала в выработке теплоты обуславливает пропорциональную экономию газа. Окончательный выбор параметров активирования определяется в процессе наладки. Эти параметры во многом будут зависеть от теплофизических свойств вводимых угольных частиц.

### Литература

1. Кинле, Х. Активные угли и их промышленное применение / Х. Кинле, Э. Бадер. – Л.: Химия, 1984. – 216 с.
2. Углеродные адсорбенты из бурого угля Канско-Ачинского бассейна / А.О. Еремина, В.В. Головина, М.Ю. Учай и др. // Современные наукоемкие технологии. – 2004. – № 2. – С. 55.
3. Бабий, В.И. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела / В.И. Бабий, Ю.Ф. Куваев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 210 с.