

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 621.438

С. П. Высоцкий, д-р техн. наук, В. А. Хижняк

ГОУВПО Донецкая национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка

ОСОБЕННОСТИ СЖИГАНИЯ АНТРАЦИТОВ, ШЛАМОВ И ПРОДУКТОВ ПЕРЕОБОГАЩЕНИЯ СУХИХ ОТХОДОВ В ЦИРКУЛИРУЮЩЕМ КИПЯЩЕМ СЛОЕ

Ограниченность топливно-энергетических ресурсов, увеличение массы топливных отходов, снижение их теплотворной способности и изменчивость состава горючих компонентов вызывают необходимость применения новых технологий сжигания. Перспективной технологией, которая уже нашла применение на Старобешевской ТЭС, является сжигание топлива в циркулирующем кипящем слое. Рассмотрены особенности использования для указанной технологии мелких отходов различных углей. Стабильные режимы горения антрацитовых шламов на опытной установке получены в диапазоне температур 859–906 °С. Достигнут достаточно низкий уровень эмиссии диоксида серы и оксидов азота (NO_x).

Ключевые слова: котел, циркуляционный кипящий слой, сжигание, уголь, переобогащенные отходы, ожижение

Введение

Основой эволюции цивилизации в XXI веке является во многом эффективное получение и применение энергии. Значительную часть энергии в мире получают за счет использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Исчерпание ресурсов высокорекреационных топлив (нефти и природного газа), увеличение количества отходов в производствах обогащения твердого топлива, а также необходимость более широкого использования возобновляемых источников энергии, в связи с климатическими изменениями, вызвали необходимость изменения технологии сжигания топлива [1–3]. Кумулятивное потребление топлива описывается логистической зависимостью с предельным значением, определяемым суммой извлекаемых запасов ТЭР, перспективных запасов возобновляемых ресурсов и возможностями использования разных видов топлива и технологий получения энергии с учетом экономических, геологических и климатических условий данной территории [4]. В соответствии с прогнозами высокорекреационные топлива обеспечат примерно 50 % энергопотребления в мире к 2050 г. и лишь около 10 % – к концу столетия [5].

При генерации электрической энергии на тепловых электростанциях с использованием твердого топлива в настоящее время доминирующей технологией является сжигание топлива в пылеобразном состоянии. Однако, в последние годы значительная часть введенного на электростанциях оборудования работает с использованием технологий циркулирующего кипящего слоя (ЦКС). Это обусловлено следующими преимуществами указанной технологии: возможностью применения углей низкого качества, использования смесевых видов топлив, включая разнообразные отходы, и реализацией возможностей применения относительно малозатратных технологий снижения эмиссии диоксида серы и оксидов азота.

Сжигание топлива в ЦКС осуществляется следующим образом. Частицы топлива после грубого измельчения и частицы известняка поступают в топку котлоагрегата. Частицы взвешиваются (ожижаются) восходящими потоками воздуха (60–70 % от общего расхода воздуха), который попадает через форсунки в нижней части топки (на поду). Скорость ожижающего воздуха составляет 3,7–9 м/с. Для полного сжигания топлива осуществляется пода-

ча вторичного воздуха над подом топки. Сжигание топлива происходит при температуре 840–900 °С. Мелкие частицы топлива (< 450 мкм) выносятся дымовыми газами из топки при скорости газового потока 4–6 м/с.

Эти частицы улавливаются в циклонах-сепараторах и рециркулируют обратно в топку. Благодаря высоким уровням рециркуляции твердых частиц, достигающим 50–100 кг на 1 кг сжигаемого топлива, обеспечиваются малые потери топлива в результате недожога.

По ряду преимуществ технологий ЦКС относительно такой пылеугольной технологии (технология нетребовательна к содержанию золы в сжигаемом топливе), однако ЦКС-котлоагрегаты все же имеют свои ограничения относительно качества топлива. Дело в том, что в ЦКС-котлоагрегатах сжигают не пылевидное, а дробленое топливо. Топливо для ЦКС должно иметь значительную долю крупной фракции (характерный размер от 1–3 мм до 1–6 мм) для поддержания кипящего слоя в нижней части топки, и часть средней фракции (характерный размер 0,1–1,0 мм), достаточной для поддержания циркулирующего потока. КПД циклона ЦКС-котлоагрегата также зависит от гранулометрического состава входного топлива. При недостатке частиц средней фракции КПД циклона по пылеобразной мелочи резко снижается, а унос недогоревшей мелочи и механический недожог соответственно возрастают.

Цель исследования

Целью исследования является обоснование достоинств и недостатков технологий сжигания топлива, отходов углеобогащения и коксования, условий их применения в котлоагрегатах с циркулирующим кипящим слоем.

Изложение основного материала исследований

Отходы мокрого обогащения (шламы) отличаются малым размером (0–0,3 мм) частиц, что, на первый взгляд, делает их непригодными для использования в ЦКС без добавления дробленого угля крупной фракции. Однако при сушке, за счет большого содержания в шламе глинистых включений, которые выступают в роли связующего вещества, происходит агломерация мелких частиц. При этом наблюдается значительное изменение фракционного состава в сторону его укрупнения. Причем эффект агломерации тем существеннее, чем выше зольность исходного шлама.

На рисунке 1 приведена зависимость содержания индивидуальных частиц трех диапазонов размеров: $\leq 0,1$ мм, 0,1–1,0 мм, > 1 мм. Данные получены путем мокрого отсева исходного шлама на стандартных ситах. У всех шламов по всему диапазону зольности частицы размером > 1 мм практически отсутствуют. Частицы размером 0,1–1,0 мм составляют около 40 % массовой доли у шлама с зольностью $A^d = 35,1$ %. Массовая доля этих частиц монотонно уменьшается с ростом зольности до 8 % у шлама с зольностью $A^d = 59,4$ %. Основную массовую долю шламов составляют частицы размером $\leq 0,1$ мм, причем она увеличивается с ростом зольности.

На рисунке 2 приведена аналогичная зависимость для подготовленного шламового топлива. Подготовка включала в себя естественно-воздушную сушку исходного шлама до $W_t^r = 4–8$ % и мягкое дробление до размера частиц 0–5 мм.

Данные получены с помощью сухого отсева на стандартных ситах. Из данных рисунка видно, что за счет эффекта агломерации, начиная с зольности $A^d = 48–52$ %, содержание новообразованной фракции > 1 мм превышает 18 % от общей массы шлама, что является вполне достаточным для создания и поддержания кипящего слоя. С дальнейшим ростом зольности массовая доля частиц крупной фракции продолжает возрастать и достигает 43 % у шлама с зольностью $A^d = 59,4$ %. В то же время содержание новообразованной средней фракции (0,1–1,0 мм) на всем диапазоне зольности шламов находится в пределах 40–60 %, что вполне достаточно для поддержания стабильной циркуляции.

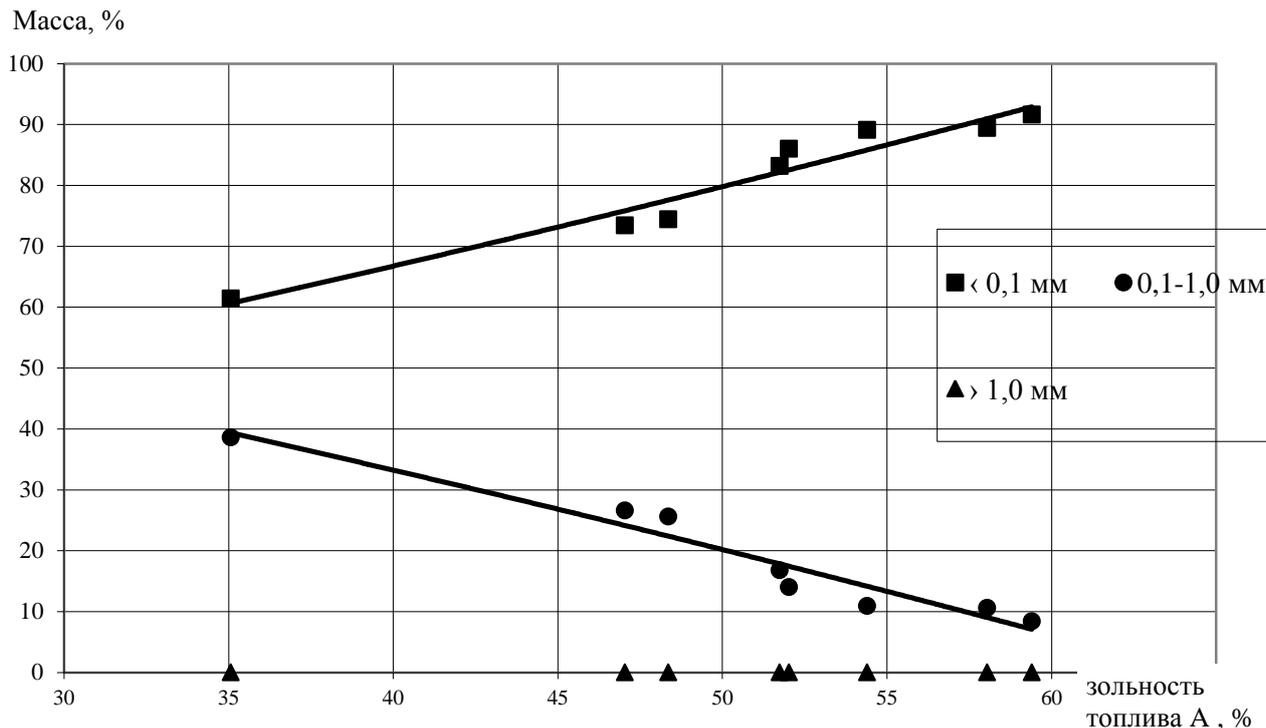


Рисунок 1 – Массовая доля фракции частиц исходного шламового топлива в зависимости от зольности

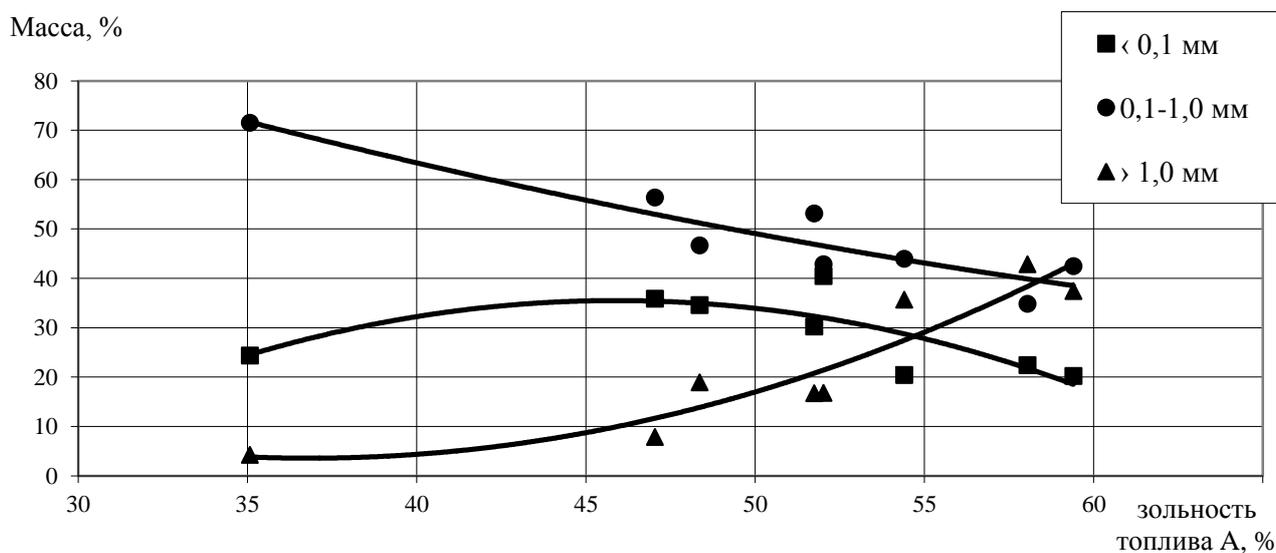


Рисунок 2 – Массовая доля фракции подготовленного агломераций топлива в зависимости от зольности частиц

Таким образом, благодаря вышеописанному эффекту агломерации при сушке мелкий размер исходного шлама не является серьезным препятствием для его использования в качестве основного топлива в котлах ЦКС, что подтверждается также данными зарубежных исследователей [6, 7].

Процесс горения твердого топлива в очень большой степени зависит не только от химической природы угольного вещества, но и от пористости горючего вещества, что определяет диффузионные, прочностные, термические и многие другие свойства твердого топлива. В связи с этим были проведены исследования удельной поверхности и объема пор дробленого угля и шламовых частиц с целью сопоставления их пористой структуры. Пористая струк-

тура угольных частиц определялась сорбционным методом. Для исследования были взяты образцы различных марок исследуемого топлива, приведенные в таблице 1, с приблизительно одинаковой зольностью ($A^d = 45\text{--}55\%$). Для определения пористой структуры были отсеяны частицы с размером $0,4\text{--}0,63$ мм.

В таблице 1 также представлены результаты по измерению пористой структуры исследуемых образцов топлива. Из таблицы видно, что во всех случаях удельная поверхность и объем пор у шламов различных марок углей больше, чем у дробленого угля той же марки при одинаковой зольности.

Увеличение удельной поверхности и объема пор у шламов по сравнению с исходными углями может быть вызвано процессами их частичного окисления, а также вымыванием различных минеральных составляющих золы во время пребывания шламов под водой. Увеличение удельной поверхности и объема пор у шламов всех типов исследованных углей, по сравнению с исходными углями тех же марок, является положительным качеством, так как это приводит к увеличению поверхности при реакции горения топлива.

Таблица 1 – Характеристики пористой структуры исследуемых топлив

Наименование образца	A^d , %	V^d , %	S_{H_2O} , m^2/Γ	$V_S \cdot 10^5$, $m^3/\text{кг}$
Шлам Шахтерской ЦОФ (А)	50,4	6,8	122	6,55
Шлам Луганской ЦОФ (Д)	48,3	24,24	116	10,1
Шлам Селидовской ЦОФ (Г)	47,1	22,6	100	12,6
Шлам Павлоградской ЦОФ (Г)	49,1	21,8	81	9,79
Постниковская ЦОФ исх. (А)	47,9	6,0	99	4,82
ЦОФ «Украина» исх. (Д)	43,1	23,8	87	7,6
Лисичанскуголь исх. (Г)	45,8	22,2	57	4,4
Павлоградуголь исх. (Г)	52,1	19,9	49	3,2

Примечание – Марки угля: А – антрацит, Д – длиннопламенный, Г – газовый.

Основой технологии ЦКС является процесс псевдооживления дисперсного материала. Переход свободно лежащего неподвижного слоя мелкозернистого материала в подвижное состояние при заданном фракционном составе определяется гидродинамикой потока газа, движущегося в межкусковых каналах слоя. Этот переход осуществляется при вполне определенной скорости потока W_k' , называемой критической скоростью кипящего слоя. Дальнейшее возрастание скорости потока приводит к увеличению объема кипящего слоя. При некоторой скорости W_k'' , называемой предельной скоростью или скоростью выноса, кипящий слой переходит во взвешенное состояние и вместе с потоком выносятся из аппарата. В пределах от W_k' до W_k'' кипящий слой находится в устойчивом состоянии.

Следует отметить, что в промышленных аппаратах кипящего слоя из-за полидисперсности частиц, их различной формы, плотности, шероховатости, а также по другим причинам, унос частиц слоя может начинаться при скоростях газа, значительно ниже расчетных.

В связи с этим была проведена серия экспериментов на холодной аэродинамической модели, позволившая эмпирически установить скорости начала уноса частиц углей и шламов определенного размера. Для исследования были отобраны рядовой уголь антрацита и газового угля, а также шламы энергетических углей. Все пробы были разделены по размерам частиц на: $0,315$; $0,4$; $0,63$; $1,0$; $1,6$; $2,5$; $3,0$ мм путем просеивания через лабораторные сита. Такой размер частиц был выбран из тех соображений, что частицы именно этих размеров принимают участие в формировании кипящего слоя и создании циркулирующего потока в установке ЦКС. Результаты исследований по всем фракциям для всех изученных видов углей и шламов представлены на рисунке 3.

Из рисунка видно, что самая высокая скорость, при которой происходит унос частиц во всем диапазоне размеров имеет место у частиц дробленого антрацита. Это объясняется

его наибольшей плотностью. Следующим более «легким» углем оказался газовый уголь. Шламы имели меньшие скорости уноса из-за меньшей плотности относительно углей аналогичной марки.

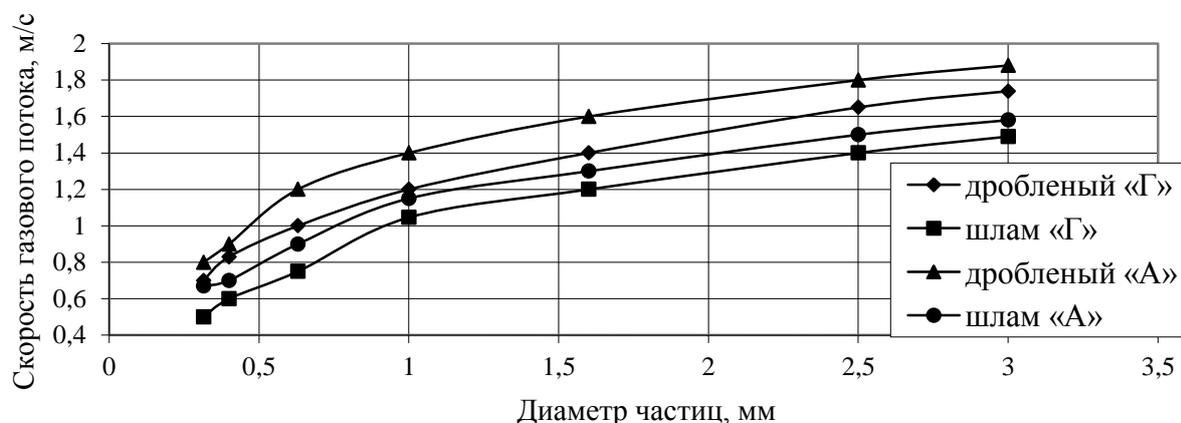


Рисунок 3 – Зависимость скорости газового потока, обеспечивающего унос частиц соответствующего размера, от их диаметра

Проведена также серия экспериментов по определению кинетических характеристик взаимодействия коксов отходов углеобогащения с кислородом воздуха на установке РСК-1-Д. Исследования проводились с целью сопоставления кинетических характеристик коксов шламов и дробленого угля. Для изучения были взяты основные марки энергетических углей Украины, а также их отходы мокрого обогащения.

Все эксперименты по определению кинетических характеристик взаимодействия коксов энергетических углей, а также их отходов углеобогащения, с кислородом воздуха проводились в одинаковых условиях при атмосферном давлении и при температуре в реакторе $t_c = 550$ °С.

Типичные зависимости удельной скорости взаимодействия коксов энергетических углей, а также их шламов, представлены на рисунках 4, 5.

Таблица 2 – Технический анализ углей и шламов, использованных в экспериментах

Тип угля	Фракция, мм	Влажность W^a , %	Зольность A^d , %	Содержание летучих веществ V^d , %
А	0,4–0,63	3,7	46,1	4,9
Г	0,4–0,63	3,1	47,2	25,2
Легковоспламеняющийся (Г)	0,4–0,63	2,6	43,1	23,4
Шлам А	0,4–0,63	8,2	48,3	7,6
Шлам Г	0,4–0,63	10,39	47,4	21,02
Шлам легковоспламеняющийся (Г)	0,4–0,63	14,2	51,7	18,9

Примечание – Марки угля: А – антрацит, Г – газовый.

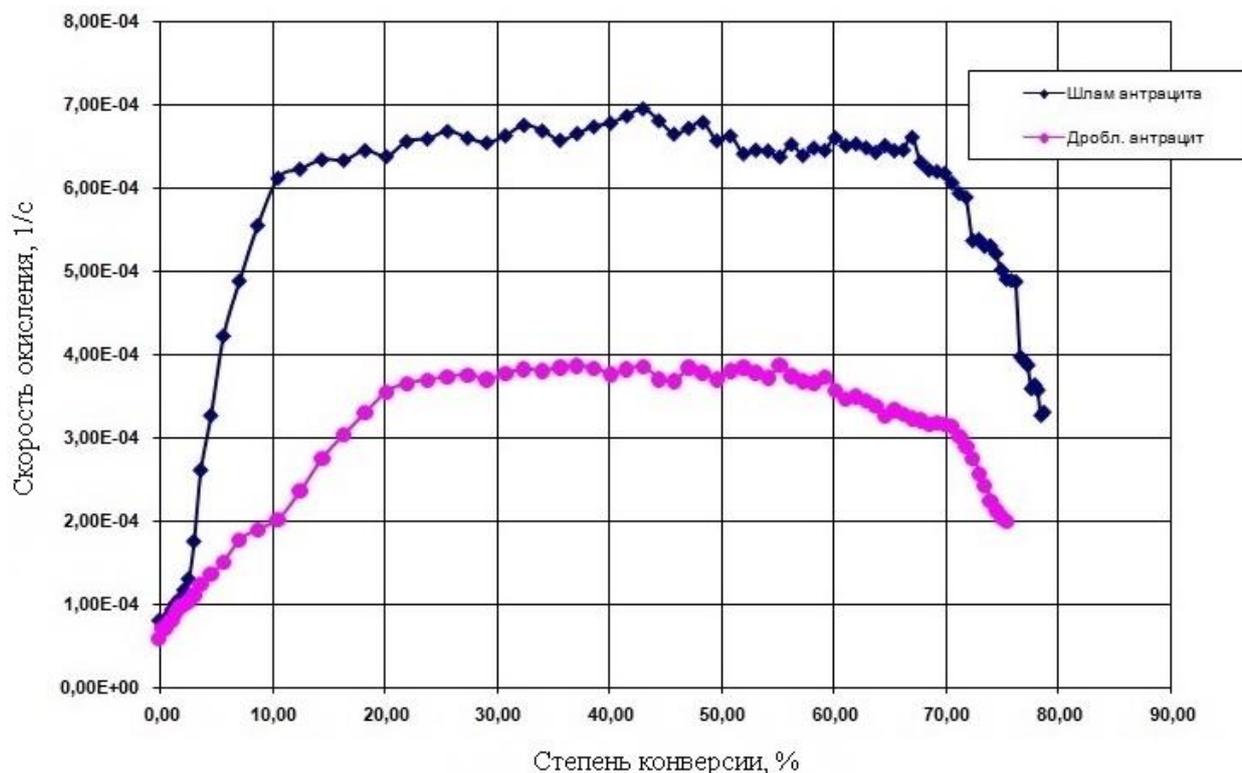


Рисунок 4 – Зависимость текущей скорости окисления коксов антрацитового шлама и дробленого антрацита кислородом воздуха от степени конверсии
 $(M_{\text{масса пробы}} = 0,08 \text{ г}, d = 0,4\text{--}0,63 \text{ мм}, t_{\text{ср}} = 550 \text{ °С})$

Для подтверждения вышеизложенных предположений было проведено тестовое сжигание шламов и сухих отходов на пилотной установке ЦКС-0,02 производительностью по твердому топливу до 20 кг/ч. Целью экспериментов было определение потенциальной возможности сжигания в ЦКС отходов сухого углеобогащения и шламов, а также нахождение оптимальных экологических и технологических параметров процесса горения. Характеристики топлив, отобранных для сжигания, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики углей и шламов, использованных в экспериментах

Тип топлива	Диаметр частиц, мм	W_t^r , %	A^d , %	V^d , %
ПОСОА	0–3	3,63	37,8	4,64
СОА	0–3	2,61	73,1	1,75
Л1	0–5	6,64	35,07	24,24
Ш1	0–5	8,27	58,04	8,22
Ш2	0–5	5,9	59,41	7,61
К1	0–5	3,01	48,36	8,52
К2	0–5	5,84	54,41	8,45

Примечание – Здесь и далее ПОСОА – переобогащенные сухие отходы антрацита; СОА – сухие отходы антрацита; Л1 – легковоспламеняющийся 1; Ш1 – шлам 1; Ш2 – шлам 2; К1 – коксовый 1; К2 – коксовый 2.

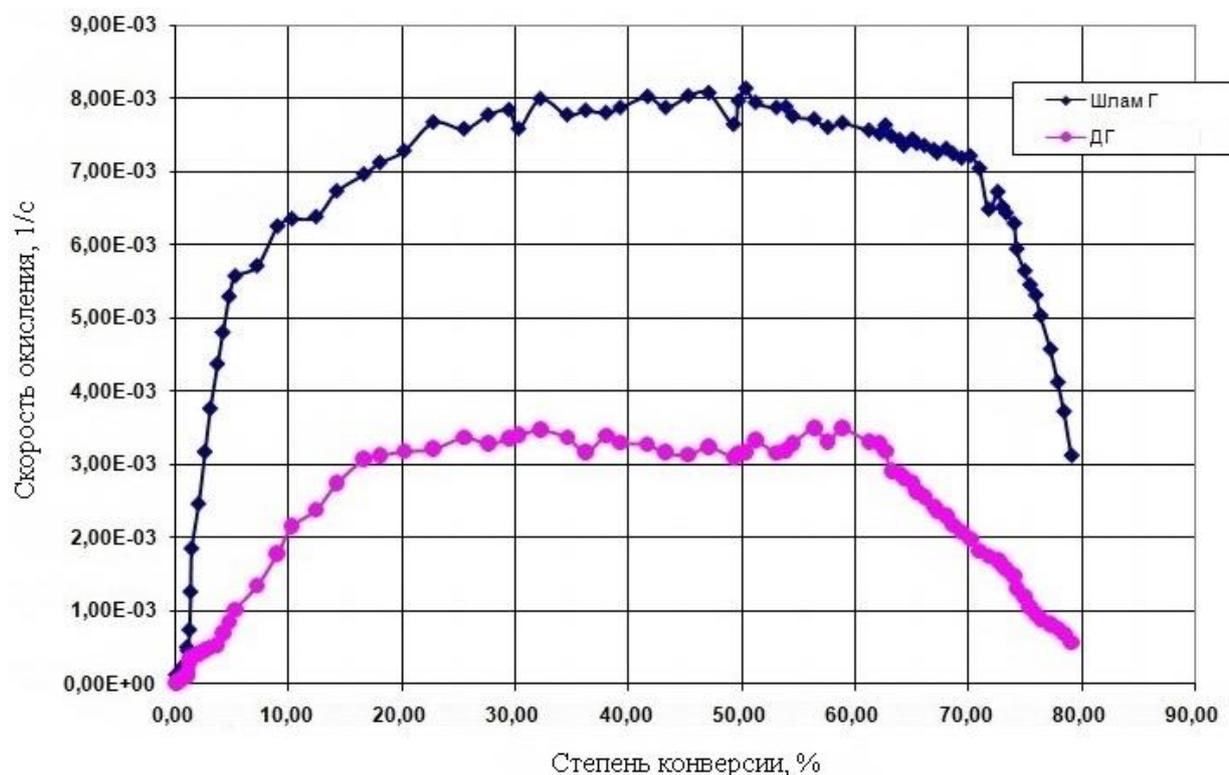


Рисунок 5 – Зависимость текущей скорости окисления коксов шлама газового угля (Шлам Г) и дробленого газового угля (ДГ) кислородом воздуха от степени конверсии ($M_{\text{масса пробы}} = 0,1 \text{ г}$, $d = 0,4\text{--}0,63 \text{ мм}$, $t_{\text{ср}} = 550 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

Топливоподготовка сухих отходов антрацита (СОА) заключалась в следующем. Предварительно отобранные на обогатительной фабрике (ОФ) куски сухих отходов размером $\delta = 50\text{--}150 \text{ мм}$ пропускались через молотковую дробилку. Полученные после дробления куски просеивались через сито 3 мм. При повышении влажности отходов они подверглись сушке в шкафах до влажности $W_t^r = 2,5\text{--}3,5 \text{ \%}$.

Подготовка продуктов переобогащения сухих отходов антрацита велась следующим образом. Отобранные сухие отходы класса 0–25 мм были высушены до $W_i^r = 2,1\text{--}2,4 \text{ \%}$, раздроблены на молотковой дробилке и просеяны через сито 3 мм. Просеянный через сито материал был разделен в смеси воды с магнетитом при плотности разделяющей среды $\rho_{\text{ж}} = 1800 \text{ кг/м}^3$. В результате этого было получено два продукта обогащения: первый продукт – всплывшие частицы с $A^d = 36\text{--}38 \text{ \%}$, $V^d = 4,0\text{--}4,7 \text{ \%}$, $S_t^d = 1,4\text{--}1,8 \text{ \%}$, которые были использованы в экспериментах, и второй продукт – утонувшие частицы с $A^d = 83,9\text{--}91,2 \text{ \%}$.

При подготовке шламов к сжиганию они подвергались только длительной естественно-воздушной сушке в тонком слое до влажности $W^r = 3\text{--}8 \text{ \%}$. Из высушенного исходного шлама отсеивалась фракция 0–5 мм, затем остаток дробился вручную и также отсеивался до размера 0–5 мм. В результате такой подготовки получалось топливо, имеющее достаточную долю крупных частиц для формирования слоя и стабилизации циркуляции при сжигании в ЦКС.

В качестве стартового инертного материала использовалась ранее наработанная зола от сжигания антрацита в ЦКС фракции 0–3 мм. Стабильные режимы сжигания ОА были получены в диапазоне температур от 880 до 900 °С, которые соответствуют температурам сжигания местных антрацитов. При оптимальных режимах, когда отношение первичного воздуха к вторичному 80 % и 20 %, достигается максимальная степень конверсии топлива 90 %, при отношении $Ca/S = 2,5$ степень связывания серы составляла 90 %. Выбросы NO_x не превышают 280 мг/нм³, а выбросы SO_2 достигают 390 мг/нм³. Не удалось получить стабильных режимов

горения при температуре ниже 870 °С из-за постепенного затухания процесса горения.

Стабильные режимы горения продуктов вторичного обогащения антрацита удалось получить в диапазоне температур 860–940 °С, при нагрузке установки 45–100 %, отношении первичного воздуха к вторичному 80–20 % к 50–50 %, то есть обеспечивался более широкий диапазон режимов горения по сравнению с диапазоном сухих необогащенных отходов. В оптимальных режимах, при диапазоне температур 880–900 °С, отношении первичного воздуха к вторичному 70 % к 30 %, была достигнута степень конверсии топлива 90–96 % и при соотношении CaS = 2,5 степень связывания серы до 95 %. Выбросы NO_x были равны 260 мг/нм³, а выбросы SO₂ – 200 мг/нм³.

Стабильные режимы сжигания для антрацитовых шламов были установлены в диапазоне измеренных среднетопочных температур 859–906 °С. В указанном диапазоне температур при сжигании антрацитовых шламов выбросы NO_x составляли 189–236 мг/нм³, что не превышает уровня выбросов NO_x при сжигании в ЦКС каменных углей при более низких температурах. Минимальные уровни эмиссии SO₂ (170–344 мг/нм³) достигались для антрацитовых шламов при температурах 880–900 °С, в связи с чем указанный диапазон температур следует считать оптимальным для сжигания в ЦКС антрацитовых шламов.

Результаты расчетов материального баланса, степени конверсии угля и связывания серы по проведенным экспериментам представлены в таблице 4.

Основываясь на результатах исследований, разработаны практические рекомендации по подготовке топлив из сухих отходов и отходов мокрого обогащения антрацитов и каменных углей, а также по их сжиганию в котлах ЦКС.

Таблица 4 – Результаты экспериментов по сжиганию в ЦКС шламов и сухих отходов антрацита

Топливо	ПОСОА	СОА	Л1	Ш1	Ш2	К1	К2
A ^d , %	37,82	73,11	35,07	58,04	59,41	48,36	54,41
S ^d , %	1,64	1,18	2,14	0,72	0,84	1,61	1,34
Ca/S	2,0	2,5	2,4	3,2	2,5	1,8	1,8
U _Г , м/с	4,6	5,2	5,3	5,3	5,3	4,5	4,6
V'/V''	70/30	80/20	50/50	65/35	65/35	65/35	75/25
T, °С	900	880–900	865–885	885–895	870–880	875–885	915
SO ₂ , мг/нм ³	240	350	480	170	190	470	350
NO _x , мг/нм ³	195	220	315	190	190	210	220
Степень конверсии угля, X, %	94,2	90,3	86,1	83,5	81,2	68,8	90,5
Степень связывания серы, K _S , %	90,7	94,7	93,7	95,0	95,4	93,8	93,7

Выводы

1. Сухие отходы антрацита и каменных углей при существующем уровне зольности могут быть утилизированы в ЦКС-котлоагрегатах без предварительного переобогащения. Учитывая относительно узкий, по сравнению с аналогичными углями, диапазон варьирования температуры в зоне горения в случае сжигания сухих отходов, следует ожидать и меньшие возможности по изменению температуры при регулировании производительности установок ЦКС на отходах.

2. Положительным качеством топлива из шламов является то, что в отличие от угля, оно не требует больших капиталовложений на добычу. Однако увеличиваются затраты на транспортровку необычного топлива. Показано, что процесс горения принципиально не отличается от сжигания высокозольного угля в циркулирующем кипящем слое.

3. При условии организации надлежащей топливоподготовки шламов, которая долж-

на включать сушку до $W_t^f \leq 10\%$ и «мягкое» дробление в дробилках валкового типа до размера частиц 0–5 мм, сжигание илошламового топлива в ЦКС подобно сжиганию высокозольного угля тех же марок с размером частиц 0–3 мм.

4. Шламовые отходы с зольностью $A^d = 35\text{--}65\%$ могут быть использованы как основное топливо для специально спроектированных ЦКС-котлоагрегатов или как дополнительное – для обычных ЦКС-котлоагрегатов. При проектировании котлоагрегатов, сжигающих шламовые отходы, необходимо учитывать требования к повышению эффективности циклонов и увеличению пропускной способности контура циркуляции для стабилизации слоя и циркулирующего потока.

Список литературы

1. Qian, Zhu. Development in Circulating Fluidized Bed Combustion / Zhu Qian / IEA Clean Coal Centre. – April 2013. – 60 p.
2. Современное состояние и развитие технологий циркулирующего кипящего слоя в энергетике и ее применение для снижения выброса парниковых газов / Г. А. Рябов, О. М. Фоломеев, Д. А. Санкин, Д. А. Мельников // Горение твердого топлива : VIII Всероссийская конференция с международным участием, 13–16 ноября 2012 г., Новосибирск. – Новосибирск : Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, 2012. – С. 87.1–87.10.
3. Johnsson, Filip. Fluidized Bed Combustion for Clean Energy / Filip Johnsson // New Horizons in Fluidization Engineering : Refereed Proceedings of the 12th International Conference on Fluidization, 2007. – P. 47–62.
4. Разработка и внедрение новых технологий сжигания топлива в энергетике / Ф. А. Серант, И. О. Будилов, В. В. Стропус, А. А. Смышляков // Инновационная энергетика : междунар. науч.-практ. конф., 2005. – С. 1–8.
5. Клименко, В. В. Мировая энергетика и климат планеты в XXI веке в контексте исторических тенденций / В. В. Клименко, А. Г. Терешин, О. В. Микушина // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д. И. Менделеева). – Иваново, 2008. – Т. LII, № 6. – С. 11–17.
6. Niemeld, Karl. Experience of Fluidized Bed Technology for Biomass Plants in Different Applications and Development towards New Applications in RDF Burning / Karl Niemeld // Power-Gen Europe Conference, May 2003, Dusseldorf, Germany. – P. 14–16.
7. Agglomeration in Fluidized Bed Combustion System / V. Dillibab, N. Azavindhan, M. Kzighnakumari, C. Bibin // International Journal for Scientific Research and Development. – 2017. – Vol. 5, № 3. – P. 103–107.

С. П. Высоцкий, В. А. Хиженяк

ГОУВПО Донецкая национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка
Особенности сжигания антрацитов, шламов и продуктов переобогащения сухих отходов
в циркулирующем кипящем слое

Ограниченность топливно-энергетических ресурсов, увеличение массы отходов топлива, снижение их теплотворной способности и изменчивость состава топлива вызывают необходимость применения новых технологий сжигания топлива. Перспективной технологией, которая уже нашла применение на Старобешевской ТЭС, является сжигание топлива в циркулирующем кипящем слое. Это обусловлено следующими преимуществами указанной технологии: возможностью использования углей низкого качества, использованием смесевых видов топлива, включая разнообразные отходы и возобновляемые ресурсы, а также реализацией возможностей применения относительно малозатратных технологий снижения эмиссии диоксида серы и окислов азота.

Отходы мокрого обогащения угля (шламы) отличаются малым размером частиц, что ограничивает возможность их использования в технологии ЦКС без добавления угля крупной фракции. При сушке шламов, за счет наличия в них глинистых включений, происходит агломерация частиц угля, что обеспечивает возможность использования этих видов топлива для сжигания в ЦКС.

Процесс горения твердого топлива в значительной степени зависит от пористости горючего вещества. Приведена характеристика пористой структуры шести типов отходов обогатительных фабрик и двух типов углей Украины.

Эксперименты по определению скорости псевдооживления частиц угля на аэродинамической модели показали, что для взвешивания частиц при равной дисперсности самая высокая скорость необходима для дробленого антрацита и самая низкая для шламов газовых углей.

Кинетические характеристики скорости окисления коксов, антрацитового шлама и дробленого антрацита, а также коксов шлама газового угля (Г) и дробленого газового угля (ДГ) зависят от степени конверсии. В пределах степени конверсии от 20 до 60 % скорость окисления остается практически постоянной. Для шламов скорость окисления примерно в 2 раза больше по сравнению с дробленным углем.

КОТЕЛ, ЦИРКУЛЯЦИОННЫЙ КИПЯЩИЙ СЛОЙ, СЖИГАНИЕ, УГОЛЬ, ПЕРЕОБОГАЩЕННЫЕ ОТХОДЫ, ОЖИЖЕНИЕ

S. P. Vysotskiy, V. A. Khizniak
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka
Combustion Peculiarities of Anthracites, Slimes and Products of Dry Wastes Overriching
in Circulating Fluidized Bed

As fuel and energy resources are limited, an increase in the mass of fuel waste, reduction of their fuel efficiency and variability of fuel composition cause the need for application of new fuel combustion technologies. Perspective technology having applied at the Starobeshevskaya thermal power station is the fuel combustion in the circulating fluidized bed. It is due to the following advantages of the indicated technology: possibility of low quality coals usage, usage of mixed fuels including various wastes and renewable resources and implementation of application possibilities relatively to low-cost technologies of emission liquefaction of the sulfur dioxide and nitrogen oxides.

Wastes of the coal washing (slimes) differ in small size of particles that limits the possibility of their using in the technology of circulating fluidized bed (CFB) without adding coarse coal. When drying slime agglomeration of coal particles takes place due to the presence of clay inclusions in them that provides possibility of these fuels usage for combustion in CFB.

The process of the solid fuel combustion significantly depends on the porosity of the combustion agent. Porous structure characteristics of concentrator wastes of six types and Ukrainian coals of two types is given.

Experiments to determine the rate of coal particles pseudo fluidization in the aerodynamic model have shown that for particle weighing at equal dispersity the highest rate is necessary for crushed anthracite and the lowest one is for slimes of gas coal.

Oxidation rate kinetic characteristics of cokes, anthracite slime and crushed anthracite and also cokes of gas coal slimes (G) and crushed gas coal (CG) depend on the conversion level. Within the conversion level from 20 to 60 % oxidation rate remains practically constant. For slimes, oxidation rate is approximately twice as large as crushed coal.

BOILER, CIRCULATING FLUIDIZED BED, COMBUSTION, COAL, OVERRICHED WASTES, LIQUEFACTION

Сведения об авторах:

С. П. Высоцкий

SPIN-код: 7497-0100
 Телефон: +38 (050) 649-84-36
 Эл. почта: sp.vysotsky@gmail.com

В. А. Хижняк

Телефон: +38 (095) 446-78-41
 Эл. почта: Khizhnyak1995@list.ru

Статья поступила 24.10.2017

© С. П. Высоцкий, В. А. Хижняк, 2017

Рецензент: А. П. Карпинец, канд. хим. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДонНТУ»