

УДК 621.181

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАКЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТОПКАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОТЛОВ

Осинцев К.В.

ФГБОУ ВПО ЮУрГУ (НИУ)

Факельное сжигание угольной пыли в топках сопряжено с систематическими терморазрушениями амбразур и металлоконструкций горелочных устройств. При подаче через горелки пыли шлакующего топлива расплавляются частицы сопутствующей топливной породы, налипая на амбразуры и стены топочных камер; загрязнения имеют устойчивый, иногда прогрессирующий, характер, снижают эффективность теплообмена факела с экранами. Концентрация образующихся при горении и выводимых в атмосферу с продуктами сгорания вредных оксидов азота нередко значительно превышает допустимые нормы. Ухудшение качества поставляемого на ТЭС проектного топлива, как правило, усиливает отмеченные негативные процессы. Так, на Челябинской ТЭЦ-2, оснащенной котлами БКЗ-210-140Ф для сжигания местного бурого угля, теплота сгорания последнего с 50-х по 90-е годы прошлого столетия при добыче уменьшилась, а балластные включения влаги и породы увеличились в 1,5 раза (табл. 1); использование такого угля на ТЭС привело к усилению шлакования экранов и ширм в выходных окнах топочных камер, обусловило необходимость снижения паровой нагрузки котлов на 35–40%.

Таблица 1

Характеристики челябинского бурого угля

№ п/п	Показатели, обозначения, размерность	Варианты качества	
		У1 (проектное)	У2 (ухудшенное)
1	Теплота сгорания, $Q_{н}^p$, кДж/кг	≥ 15000	10265–12780
2	Зольность на сухую массу, A^c , %	≤ 30	40–47
3	Влажность рабочая, W^p , %	13	18–25
4	Температура факела, разрешаемая нормами в зоне активного горения, $T_{а.г}$, К	≤ 1600	
5	Температура факела на выходе из топки, разрешаемая нормами, $T''_т$, К	≤ 1320	

Эксплуатирующая компания (на рассматриваемый период ОАО «Челябэнерго») приняла решение о проведении на котлах ст.№№1-4 первой очереди ЧТЭЦ-2 научно-исследовательской работы по выявлению рациональных условий ввода реагентных потоков в топку и отработке реализующей их конструкции горелок с целью улучшения внутритопочных тепловых процессов и повышения паропроизводительности. Приоритет более затратным исследованиям на натуральных топках, а не распространенным исследованиям на уменьшенных и упрощенных термогазодинамических и математических моделях обусловлен автоматически реализуемыми на котлах условиями геометрического, кинематического, динамического и теплового подобия входных, основных и выходных участков камеры, дающих максимально достоверные картины развития факела и позволяющих более уверенно осуществлять перенос полученных результатов на другие объекты и виды топлива с минимальными погрешностями [1, 2]. Использо-

вание новых сортов топлива, как и внедрение ранее не опробованных технологий его сжигания, на которые предполагался перевод котлов ЧТЭЦ-2, допустимо также по результатам испытаний и наладки тех же промышленных объектов; полученные основные характеристики топочных процессов далее могут быть использованы для корректировки физико-математических моделей, прогнозной оценки поведения факела на иных установках.

Топки котлов БКЗ-210-140Ф ст.№№1-4 Челябинской ТЭЦ-2 изначально оснащены прямоточными низкоскоростными эжекционными горелками смешительного типа, размещенными в один горизонтальный ряд на фронтных стенах (рис. 1а).

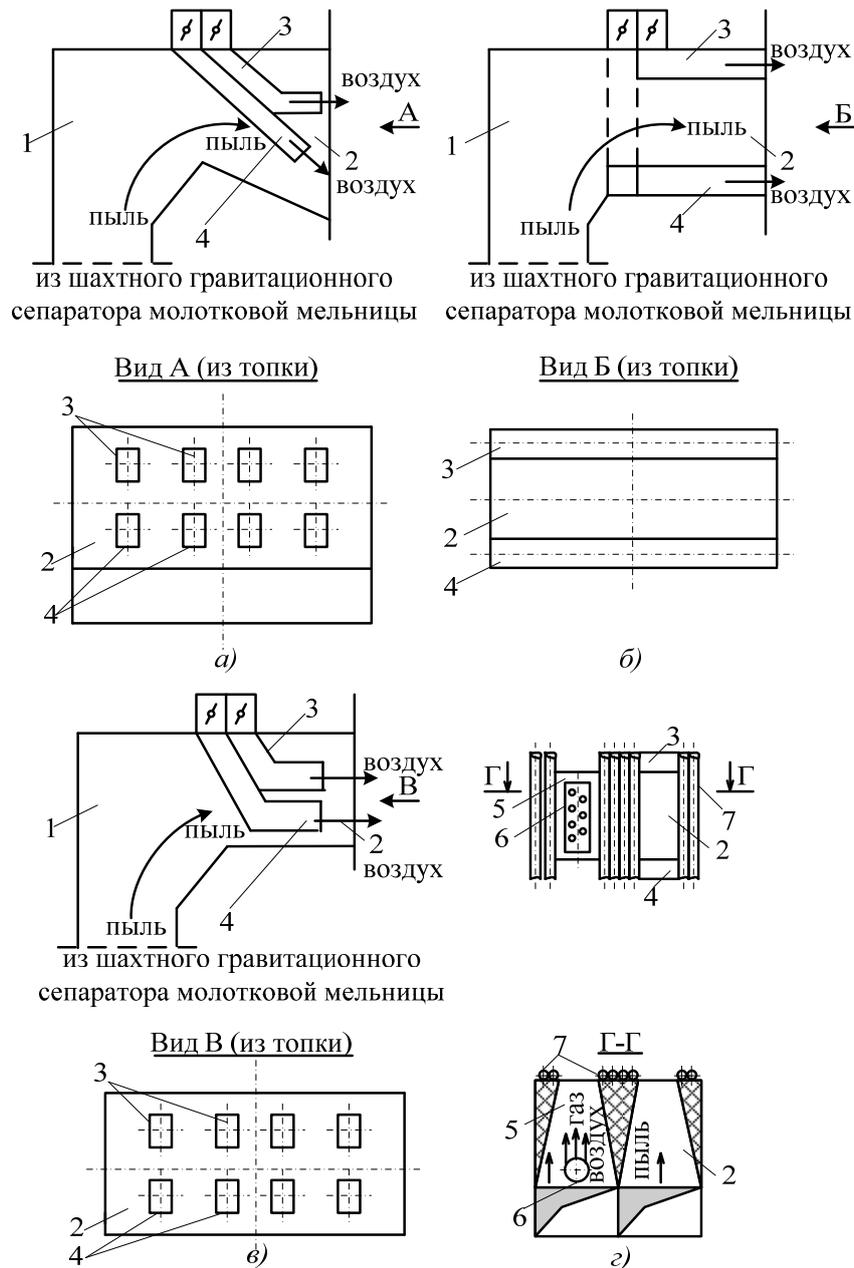


Рис. 1. Схемы горелок ст.№1 котлов БКЗ-210-140Ф ЧТЭЦ-2: а – исходная горелка (котлы ст.№№1-4) со встроенными соплами вторичного дутья, б – модернизированные горелки (котел ст.№1) с разнесенными по периферии соплами вторичного дутья, в – промежуточный вариант горелки с повышенной скоростью выхода реагентов в топку, г – многофункциональная горелка, 1 – шахта мельницы, 2 – пылевой канал, 3, 4, 5 – воздушные каналы, 6 – насадок с газовыпускными соплами, 7 – топочные экраны

На каждом котле по четыре горелки, каждая из которых подключена к собственной молотковой мельнице с шахтным (гравитационным) сепаратором пыли. Подробное описание котлов с топками и горелками приводится в литературе [3]. Траектория движения факела в топочной камере с фронтальным размещением горелок имеет горизонтальный (между амбразурами и задней стеной) и вертикальный (до выходного окна топки) участки [4]. В горелках смесительного типа на выходе из амбразур образуется практически однородная реагентная смесь. Горение смеси начинается с разогрева, выхода и воспламенения летучих веществ и мелких фракций коксового остатка [5, 6]. По мере перемещения реагирующей смеси к задней стене прогреваются и горят более крупные частицы коксового остатка. При этом вдоль траектории факела на его горизонтальном участке происходит нарастание значений температуры и степени выгорания топлива с сопровождающимся уменьшением концентрации кислорода и увеличением концентрации углекислого газа. Расстояние от среза амбразур до максимальных значений температуры $T_{\phi 0}$ степени выгорания $a_{\phi 0}$ при работе эжекционных горелок не превышало $l_{\phi 0} = 0,25 - 0,50$ м, при этом фиксировался весь перечисленный выше комплекс негативных свойств формируемого факела (табл.2).

Таблица 2

Характеристики горения бурого угля ухудшенного качества
(У2 по табл. 1) при $D_{пп}=43,0$ кг/с и $\alpha''_{r}\approx 1,28$

№ п/п	Параметр, обозначение, размерность	Вариант конструкции горелки			
		рис.1,а	рис.1,б	рис.1,в	рис.1,г
1	Максимальная температура факела, T_{ϕ} , К	1700–1750			1500
2	Средняя температура продуктов сгорания в выходном окне топки, $T''_{т}$, К	1350–1375			≤1300
3	Степень недожога топлива на горизонтальном участке факела	0,90	0,82–0,86		
4	Степень недожога топлива в выходном окне топки	0,98–0,99			
5	Длина участка воспламенения основной массы топлива, l_{ϕ} , м	≤0,5	2,5		
6	Средняя по топке степень эффективности экранов, Ψ ,	0,33	0,35	0,50	
7	Концентрация оксидов азота в отводимых продуктах сгорания, NO_x , мг/м ³	800–900			390–450
8	Максимальная безаварийная нагрузка котла, $D_{пп}$, кг/с	40,8–43,0			49–52,7

Для улучшения газодинамики собственно горелок были реализованы принятые в топочной технике мероприятия: увеличена скорость истечения реагентных потоков и выполнена газодинамическая защита циркуляционных зон подачи по периферии потоков вторичного воздуха, реализованные реконструкцией горелок (рис. 1, б, 1, в). Этими мероприятиями удалось сместить границу с максимальными параметрами T_{ϕ} и a_{ϕ} до $l_{\phi} = 2,0 - 2,5$ м. Улучшилась работа горелок, снизился тепловой поток со стороны факела на амбразуры, существенно снизилось шлакование последних. Однако сохранившийся высокий уровень температуры факела T_{ϕ} по-прежнему инициировал активное протекание негативных процессов (табл. 2). Из-за продолжавшегося шлакования по-прежнему была ограничена паровая нагрузка. Лишь последующее перереконструирование горе-

лочных устройств по типу рис 1, з с разделенными узлами ввода пылевоздушной смеси и вторичного воздуха привело к снижению уровня температуры факела на $\Delta T_{\phi} = T_{\phi 0} - T_{\phi} \approx 200 - 250 \text{ К}$ при $l_{\phi} \approx 2,5 \text{ м}$. Здесь реализовался комбинированный характер горения с однородным вводом первичной порции топливоздушной смеси с недостатком кислорода ($\alpha_r < 1,0$) и последующей диффузионно-приточной присадкой последнего из спутных потоков воздуха. В условиях топочной камеры котла БКЗ-210-140Ф после установки горелок по типу рис. 1, з удалось снизить активность шлакования с доведением коэффициента эффективности экранов до $\Psi_3 \geq 0,50$ против исходного $\Psi_{3,0} \approx 0,33$ и поднять паровую нагрузку котлов до $D_{пп} \approx 0,9 D_{пп0}$ при работе на угле ухудшенного качества. В дымовых газах при этом более чем вдвое снизился уровень концентрации оксидов азота, значения $a_{\phi} \approx 0,85 - 0,90$, потери теплоты с мехнедожогом топлива $q_4 \approx 1,0 - 1,5$. Заметим, изменения скоростного режима новых горелок при изменении сечений выхлопа пылеугольных и воздушных сопел приводили к отрицательному результату. Так при увеличении исходной скорости в горелках увеличивался параметр l_{ϕ} . Как только $l_{\phi} \geq 3,0 - 3,5 \text{ м}$, начиналось шлакование задней стены с увеличением температурного уровня продуктов сгорания в выходном окне топки и уходящих газов. При снижении исходной скорости уменьшался параметр l_{ϕ} ; как только $l_{\phi} \leq 2,0 \text{ м}$, увеличивалась температура T_{ϕ} и начинался нагрев горелок и обмуровки амбразур. Таким образом, конструкция горелок, реализующая $l_{\phi} \approx 2,5 \text{ м}$ оказалась оптимальной. Попытки организации третичного дутья из сопел на фронтных, боковых и задних стенах топки работу последних лишь ухудшили из-за недожога крупных коксовых частиц в провале и увеличения температуры факела в выходном окне топки и в уходящих газах. Горелками по типу рис. 1, з (по патентной версии «многофункциональное горелочное устройство» [7]) оснастили котлы ст.№№1–4 ЧТЭЦ-2. Срок службы этих устройств и их амбразур много выше того же показателя для исходных эжекционных горелок по типу рис. 1, а. По результатам проведенных исследований скорректирована математическая модель расчета температуры факела с использованием временных зависимостей горения летучих и коксового остатка и адаптационных поправок на термогазодинамическую неравномерность [5, 6, 8]. Использование последней позволило выполнить проект реконструкции котлов БКЗ-210-140Ф второй очереди ЧТЭЦ-2 (ст.№№6–9) с заменой вихревых горелок на многофункциональные горелочные устройства при размещении их на фронтных стенах топок в два горизонтальных ряда. В горелках по типу рис. 1, з проведена отработка технологии сжигания иных топлив с $V^r = 20 - 40 \%$, с $V^r \approx 48 \%$ (с подачей газов рециркуляции в мельницы) и с $V^r \approx 2 - 3 \%$ с подсветкой газом через работающие горелки. Во всех случаях минимизированы температура факела в зоне активного горения и в выходном окне топки, шлакование экранов и пароперегревателей, концентрация оксидов азота в отводимых газах.

Литература

1. Михеев, М.А. Моделирование тепловых устройств / М.А. Михеев, М.В. Кирпичев. – М. – Л.: Изд-во АН ССР, 1936. – 180 с.
2. Кутателадзе, С.С. Моделирование теплоэнергетического оборудования / С.С. Кутателадзе, Д.Н. Ляховский, В.А. Пермяков. – М.–Л.: Энергия, 1966. – 340 с.

3. Анализ эффективности сжигания природного газа и бурого угля ухудшенного качества на котлах БКЗ-210-140Ф Челябинской ТЭЦ-2 / В.В. Осинцев, Г.Ф. Кузнецов, В.В. Петров, М.П. Сухарев // Электрические станции. – 2001. – № 6. – С. 26–34.
4. Хзмалян, Д.М. Теория горения и топочные устройства / Д.М. Хзмалян, Я.А. Каган. – М.: Энергия, 1976. – 488 с.
5. Бабий, В.И. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела / В.И. Бабий, Ю.Ф. Куваев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 210 с.
6. Осинцев, К.В. Учет неоднородности и неустойчивости тепловой структуры топочного факела при использовании многофункциональных горелок / К.В. Осинцев, В.В. Осинцев // Теплоэнергетика. – 2007. – № 6. – С. 66 – 70.
7. Пат. 2309332 Российская Федерация, МПК⁷ F 23 D 17/00. Многофункциональная горелка / Осинцев В.В., Кузнецов Г.Ф., Сухарев М.П., Криницын Г.К., Мудрых Б.А., Стародубцев В.В., Осинцев К.В. – № 2006121028/06; заявл. 13.06.06; опубл. 27.10.2007, Бюл. № 30. – 9 с.
8. Совершенствование методов снижения температурных неравномерностей в топках с фронтальной компоновкой горелок / В.В. Осинцев, В.В. Осинцев, А.М. Хидиятов и др. // Теплоэнергетика. – 1990. – №4. – С. 23 – 26.